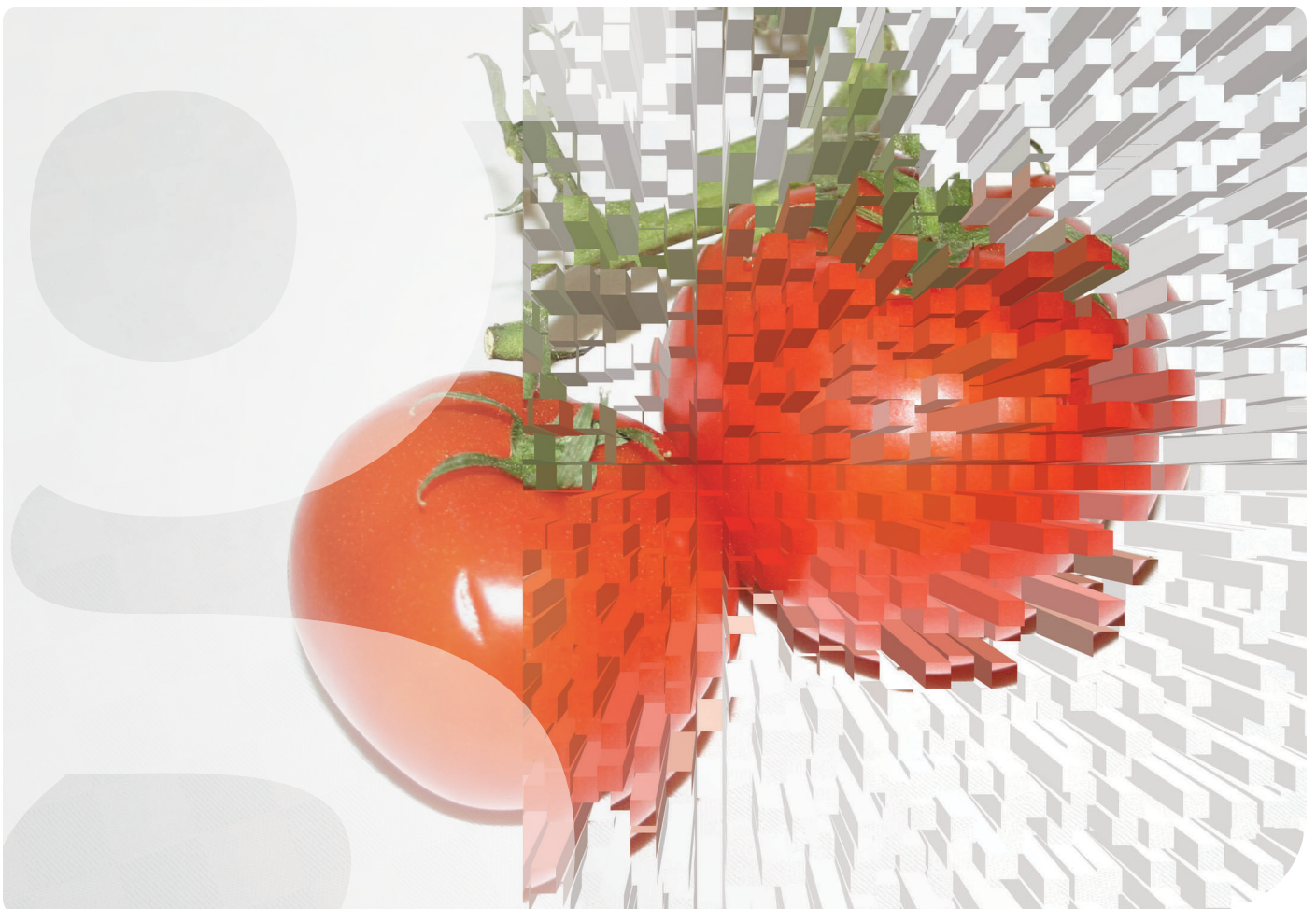




BUNDESMINISTERIUM
FÜR GESUNDHEIT

Neue Verfahren und Techniken bei der Lebensmittelherstellung und Lebensmittelversorgung

Bedeutung für Konsumentinnen und Konsumenten



Impressum

Herausgeber, Medieninhaber und Hersteller:

Bundesministerium für Gesundheit, Sektion II
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren:

Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Emmerich Berghofer
Ass. Prof. Univ. Doz. Dr. Mag. Regine Schönlechner
DI Julia Schmidt

Für den Inhalt verantwortlich:

Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Emmerich Berghofer

Cover-Foto:

Magdalena Amann; Idee: Madeleine Gromann und Magdalena Amann

Druck:

Kopierstelle des BMG, Radetzkystraße 2, 1031 Wien

Diese Studie steht als Download auf der Website des BMG unter www.bmg.gv.at zur Verfügung.

Erscheinungstermin:

Juli 2015

ISBN 978-3-902611-95-6

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG.....	1
SUMMARY	3
1. Allgemeines	6
1.1. Trends im Bereich der Lebensmittelversorgung und Ernährung	9
1.1.1. Gesellschaftliche Trends.....	9
1.1.1.1. Adipositas	9
1.1.1.2. Bevölkerungsstruktur	11
1.1.1.3. Urbanisierung	11
1.1.1.4. Vegetarismus versus Fleischkonsum.....	12
1.1.2. Ökologische Trends	17
1.1.2.1. Klimawandel	17
1.1.2.2. Verlust der landwirtschaftlichen Biodiversität.....	18
1.1.3. Ökonomische Trends.....	21
1.1.3.1. Ökonomische Globalisierung.....	21
1.1.3.2. Regionalisierung	24
1.1.4. Technologie-Trends	25
1.1.4.1. Industrie 4.0.....	25
1.1.4.2. Sonstige technologische Trends	27
2. Literatur zu Teil 1.....	28
Teil 2 Entwicklungen im Bereich von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen; und bei Stoffen und Maßnahmen, um diese zu ersetzen.	31
1. Zusatzstoffe	32
1.1. Einleitung.....	32
1.1.1. Rechtliche Entwicklungen seit 2009	32
1.1.2. Allgemeine Anmerkungen	33
1.1.3. Nutzen, Risiko und Akzeptanz von Lebensmittelzusatzstoffen	37
1.2. "Frei von"- ("free from"-), "clean label"- und "natürlich"- ("natural"-) Trend	39
1.2.1. Einleitung.....	39
1.2.2. "clean label"-Trend.....	39
1.2.3. Definition von "clean label".....	41
1.2.4. Gesetzliche Regelungen.....	42
1.2.5 Prinzipielle Möglichkeiten zur Erreichung eines "clean label"	43
1.2.6. Erreichung eines "clean label" in der Praxis.....	44
1.2.6.1. Tatsächlich zusatzstofffrei oder doch Täuschung?.....	44
1.2.6.2. Noch Zutat oder schon Zusatzstoff?.....	45
1.2.7. "clean label" – Trend, Plateau oder Hype?.....	46

1.2.8. Abschätzung der Marktentwicklung.....	48
1.2.9. Schlussfolgerungen und Ausblick	50
1.3. Effektkennzeichnung bzw. Nichtkennzeichnung	55
1.3.1. Lebensmittelsicherheit und Verbraucherinformation	55
1.3.2. Zusatzstoffe versus Verarbeitungshilfsstoffe	56
1.3.3. Der technisch unvermeidbarer Rückstand	56
1.3.4. „Grauzone“ Lebensmittelenzyme	57
1.3.5. Beispiel	58
1.4. Extrakte.....	58
1.4.1. Bezeichnungen	59
1.4.2. Trend: Multifunktionsextrakte	59
1.4.3. Nebenproduktextrakte (side-stream extracts).....	61
1.5. Süßungsmittel.....	62
1.5.1. Rechtliche und wirtschaftliche Entwicklungen seit 2009	62
1.5.1.1. Rechtliche und wirtschaftliche Entwicklungen beim wichtigsten Süßungsmittel Zucker (Saccharose)	62
1.5.1.2. Rechtliche Entwicklungen bei Intensiv Süßungsmitteln.....	64
1.5.1.3. Wirtschaftliche Fakten und Daten zu Intensiv Süßungsmitteln	68
1.5.2. Neue Entwicklungen bei kalorienreduzierten oder kalorienfreien Süßungsmitteln.....	70
1.5.2.1. Neue bzw. neuartige Mono-, Di- und Oligosaccharide	70
1.5.2.2. Neue Entwicklungen bei Intensiv Süßungsmitteln	75
1.5.3. Neue Erkenntnisse zur Physiologie des Süßgeschmacks und zu dessen Beeinflussung	77
1.5.4. Nutzen und Risiken bei der Verwendung von kalorien-verminderten oder kalorienfreien Süßungsmitteln	78
1.5.4.1. Nutzen	78
1.5.4.2. Risiken.....	79
1.5.5. Informationsstand der Verbraucherinnen und Verbraucher und Irreführungspotential	80
1.6. Farbstoffe	80
1.6.1. Azofarbstoffe	81
1.6.2. Ammoniak-Zuckerkulöre	82
1.6.3. „Natürliche“ Farbstoffe u. färbende Lebensmittel.....	82
1.6.4. Lebensmittelzutaten mit färbender Zusatzfunktion	84
1.6.4.1. Trend und Marketing.....	84
1.6.4.2. Definition	85
1.6.4.3. Aufklärung und Transparenz	86
1.6.5. Sonstige Trends	86
1.6.5.1. Biotechnologische Produktion	86
1.6.5.2. Farbstoffe mit Zusatzfunktion	86

1.6.5.3. Farben aus Reststoffen	87
1.7. Konservierungsmittel und Stoffe und Maßnahmen, um diese zu ersetzen	87
1.7.1. Allgemeines	87
1.7.2. Neue Entwicklungen bei Konservierungsmitteln	88
1.7.2.1. Ätherische Öle als Konservierungsmittel	88
1.7.2.2. Weitere organische Stoffe	90
1.7.2.3. Bacteriocine	90
1.7.3. Bakteriophagen	91
1.7.3.1. Einsatz zur Vermeidung von lebensmittelbedingter Krankheiten ("food-borne diseases")	92
1.7.3.2. Weitere Einsatzmöglichkeiten der Bakteriophagen im s-Bereich	94
1.7.3.3. Potential von Bakteriophagen	95
1.7.3.4. Akzeptanz von Bakteriophagen	95
1.7.3.5. Nutzen und Risiken von Bakteriophagen	96
1.7.3.6. Information und Irreführungspotential	96
1.7.3.7. Kontrolle und Untersuchung	97
1.7.4. Schutzkulturen	97
1.7.4.1. Gesetzliche Regelungen	99
1.7.4.2. Sicherheit	99
1.7.4.3. Anwendung von Schutzkulturen und Bacteriocinen	99
1.7.4.4. Vorteile und Nachteile für die Anwendung von Schutzkulturen oder Bacteriocinen	101
1.7.4.5. Ausblick	102
1.8. Antioxidationsmittel und Stoffe und Maßnahmen, um diese zu ersetzen	102
1.8.1. Allgemeines	102
1.8.2. „Natürliche“ Antioxidantien	103
1.9. Emulgatoren und Stoffe und Maßnahmen, um diese zu ersetzen	105
1.9.1. Emulgierende Proteine	105
1.9.1.1. Proteinhydrolyse	106
1.9.1.2. Nanoemulsionen und Nanodispersionen	106
1.9.1.3. Multifunktionalität von Peptiden	106
1.9.1.4. Wechselwirkungen von emulgierenden Peptiden mit Polysacchariden und konventionellen Emulgatoren	106
1.9.1.5. Kennzeichnung von emulgierenden Peptiden	107
1.10. Geschmacksmodulierer, Geschmacksverstärker, Geschmackswandler und Geschmacksblocker ..	107
1.10.1 Allgemeines	107
1.10.2. Umami- und Kokumigeschmack	108
1.10.3. Salzgeschmack	109
1.10.4. Fettgeschmack	110
1.10.5. Bittergeschmack	111

1.10.6. Definitionen und rechtliche Aspekte bezüglich der Einordnung von Geschmacksmodulierern, Geschmacksverstärkern, Geschmackswandlern und Geschmacksblockern	112
1.11. Hydrokolloide	115
1.11.1. Pflanzliche Zellwandpräparate und Zellwandisolate.....	115
1.11.2. Sonstige Hydrokolloide.....	117
1.11.2.1 Mikrobielle bzw. enzymatisch gebildete Exo-Polysaccharide (EPS).....	117
1.11.2.2. Stärke und modifizierte Stärken.....	118
1.11.3. Kennzeichnungsproblematik bei Hydrokolloiden	118
1.11.4. Konsumentenbelange.....	120
2. Aromen	121
2.1. Anhang I der Verordnung (EU) 1334/2008.....	121
2.2. Ausmaß der verwendeten Aromastoffe	122
2.3. Aufklärung und Transparenz	122
2.4. Meinungsverschiedenheiten und Interpretationsspielraum	124
2.4.1. "Schokoladenstreit"	124
2.4.2. "Tanz der Moleküle"	125
2.5. Begriff "Natürlichkeit" im Zusammenhang mit Aromen	126
2.5.1. „Ja natürlich“	126
2.5.2. Biotechnologie.....	126
2.5.3. Analytik- und Toxizitätsprobleme.....	131
2.5.4. Formulierungsprobleme.....	131
2.5.5. Abgrenzungs- und Einordnungsprobleme.....	133
2.5.5.1. Zulassungspflichtig natürlich- nicht zulassungspflichtig natürlich	133
2.5.5.2. Arzneimittel	133
2.5.5.3. Zusatzstoff	133
3. Enzyme	134
3.1. Einleitung.....	134
3.2. Rechtlicher Entwicklungsstand seit 2010	134
3.3. (Effekt)-Kennzeichnung von Enzymen - Rechtliche Begriffsbestimmungen und Abgrenzungen.....	136
3.4. Nebenaktivitäten von Enzympräparaten	142
3.4.1. Substratähnlichkeit.....	142
3.4.2. Vorliegen eines Enzymgemisches.....	142
3.5. Wirtschaftliche Daten und Fakten zu Verwendung von Enzymen im Lebensmittelbereich	142
3.6. Trends und Innovationen bei der Herstellung und Verwendung von Enzymen im Lebensmittelbereich.....	143
3.6.1. Auffinden neuer Enzyme bzw. neuer Einsatzmöglichkeiten für Enzyme	143
3.6.2. Auffindung neuer Enzymfunktionen	144
3.6.3. Enzyme aus extremophilen Lebensformen	144

3.6.3.1. Thermostabile Enzyme	145
3.6.3.2. Kälte-adaptierte Enzyme	145
3.6.3.3. Enzyme adaptiert an hohe Salzkonzentrationen und an die daraus resultierende, geringere Wasseraktivität.....	146
3.7. Nutzen und Risiken bei der Verwendung von Enzymen	146
3.8. Informationsstand der Verbraucherinnen und Verbraucher und Irreführungspotential	147
3.9. Nutzen und Risiken bei der Verwendung von Enzymen	148
4. Literatur zu Teil 2.....	149
Teil 3 Neue und neuartige Rohstoffe und Lebens-mittel	163
1. Funktionelle Lebensmittel (functional food) bzw. Lebensmittel mit gesundheitsbe-zogenen Aussagen (health claims).....	164
1.1. Funktionelle Lebensmittel beziehungsweise funktionelle Ernährung durch Epigenetik	166
2. Neue Rohstoffe und Zutaten	169
2.1. Einleitung.....	169
2.1.1. Mögliche Gründe für das Interesse an neuen Rohstoffen	169
2.2. Wiedernutzung alter (einheimischer oder eingeführter) Rohstoffe	173
2.2.1. Getreidesektor.....	173
2.2.1.1. Gefärbte Getreidearten.....	175
2.2.1.2. Weitere Getreideraritäten.....	180
2.2.1.3. Pseudogetreide – Amaranth, Quinoa und Buchweizen	182
2.2.1.4. Verwendung von Getreideraritäten in den Ländern des Nordens für die Ernährung	186
2.2.1.5. Schlussfolgerungen.....	191
2.2.2. Ölsaaten und Leguminosen	191
2.2.2.1. Chia	194
2.2.2.2. Lupinen und Tarwi.....	195
2.2.2.3. Sacha Inchi.....	196
2.2.2.4. Schlussfolgerungen.....	198
2.2.3. "Superfrüchte"	198
2.2.3.1. Acerolakirschen	198
2.2.3.2. Goji-Beeren.....	198
2.2.3.3. Açai-Beeren	199
2.2.3.4. Noni	199
2.2.3.5. Schlussfolgerungen.....	200
2.3. Neue, nichttraditionelle Rohstoffe (Novel Food)	201
2.3.1. Insekten	201
2.3.1.1. Chemische Zusammensetzung von Insekten	202
2.3.1.2. Pharmakologische Wirkungen von Insekten	203
2.3.1.3. Umweltauswirkungen von Entomophagie (Insektenverzehr).....	203

2.3.1.4. Zukünftige Herausforderung für den Verzehr und die Verarbeitung von Insekten	205
2.3.1.5. Schlussfolgerungen.....	207
2.3.2. Algen als Nahrungsmittel	208
2.3.2.1. Chemische Zusammensetzung von Makroalgen	209
2.3.2.2. Chemische Zusammensetzung der Mikroalgen	212
2.3.2.3. Verwendung von Algen in der menschlichen Ernährung	212
2.3.2.4. Risiken für die Nutzung von Algen als Nahrungsmittel	213
2.3.2.5. Ökologische Aspekte der Algenproduktion	213
2.3.2.6. Schlussfolgerungen.....	214
2.4. Gesamtresümee und Ausblick	214
3. Gesamtverwertung und Fraktionierung von Rohstoffen	216
3.1. Prinzipielle Trenn- und Fraktionierungsmethoden	217
3.2. Gründe für die Fraktionierung von Rohstoffen	217
3.2.1.1. Beispiel 1 - Weizen:	218
3.2.1.2. Beispiel 2 - Soja	218
3.2.1.3. Beispiel 3 - Milch	218
3.2.2.1. Ernährungsphysiologische Zusatznutzen am Beispiel von Weizen	218
3.3. Beispiele für häufig verwendete Rohstofffraktionen	219
3.4. Konsequenzen der zunehmenden Fraktionierung von Rohstoffen	221
3.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	222
4. Gentechnisch veränderte Rohstoffe und Lebensmittel	224
4.1. Stand der Technik	224
4.2. Mögliche, zukünftige Entwicklungen im Bereich der Gentechnik.....	227
4.2.1. Modifikation der Produktqualität.....	227
4.2.2. Neue Züchtungsmethoden	227
4.2.3. Gensynthese	229
4.3. Rechtliche Aspekte	229
4.4. Nutzen und Risiken	229
4.5. Informationsstand, Wahrnehmung und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher	230
5. Biofortifikation (biofortification)	232
5.1. Biofortifikation durch klassische Züchtungsmethoden	232
5.2. Biofortifikation durch transgene Pflanzen	232
6. Nutzung von pflanzlichen und tierischen Zellkulturen	234
6.1. Pflanzliche Zellkulturen	234
6.2. Tierische Zellkulturen – in vitro-Fleisch	235
7. Indoor-Pflanzenanbau mit LED-Beleuchtung	238
8. Klonen	241

8.1. Nutzen	241
8.2. Zukünftige rechtliche Regelungen	242
8.3. Risiken.....	242
8.4. Informationsstand und Akzeptanz der Konsumentinnen und Konsumenten.....	243
9. Literatur zu Teil 3	244
Teil 4 Lebensmittel-verarbeitung	254
1. Neue Verfahren zur Lebensmittelverar-beitung - Querschnittstechniken	255
1.1. Struktur- und formgebende Verfahren.....	256
1.1.1. Nanotechnologie	256
1.1.1.1. Stand der Technik.....	256
1.1.1.2. Potential	262
1.1.1.3. Rechtliche Aspekte	263
1.1.1.4. Nutzen und Risiken.....	265
1.1.1.5. Informationsstand und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher	267
1.1.2. 3-D-Food Printing	268
1.1.2.1. Stand der Technik.....	268
1.1.2.2. Potential	270
1.1.2.3. Rechtliche Aspekte	272
1.1.2.4. Nutzen und Risiken.....	272
1.1.2.5. Informationsstand, Wahrnehmung und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher	272
1.1.3. Neue Emulgiertechniken	272
1.1.3.1. Membranemulgierung.....	272
1.1.3.2. Microfluidization	273
1.1.3.3. Ultraschall emulgierung	274
1.1.4. Mikroeing kapselung.....	275
1.1.5. Neue Zerkleinerungstechniken.....	277
1.1.5.1. Neue Schneidtechniken.....	277
1.2 Neue Trenn- und Isolierungsverfahren	278
1.2.1. Neue Entwicklungen bei den Membrantrennverfahren	278
1.2.1.1. Kombination der Membrantrennverfahren mit Ultraschall.....	278
1.2.1.2. Verbesserte Membrane durch Nanotechnologie.....	278
1.2.2. Neue Adsorptionsmaterialen	279
1.3. Verwendung von überkritischem Kohlendioxid	279
1.3.1. Einsatz von überkritischem Kohlendioxid bei der Extrusion	280
1.3.2. Einsatz von überkritischem Kohlendioxid zur Inaktivierung von Mikroorganismen in Lebensmitteln (Kaltpasteurisation)	281
1.3.3. Mikropartikelbildung mit überkritischem Kohlendioxid	281

1.3.3.1. RESS (rapid expansion of a supercritical solution)	282
1.3.3.2. SAS (supercritical antisolvent technology)	282
1.3.3.3. CPF (concentrated powder form).....	282
1.3.3.4. PGSS (particle from gas saturated solution).....	282
1.4. Einsatz von Ultraschall in der Lebensmitteltechnik.....	284
1.4.1. Prinzipielle Wirkung von Ultraschall und allgemeine Einsatzkriterien bei Lebensmitteln	284
1.4.1.1. Ultraschallunterstütztes Schneiden	285
1.4.1.2. Ultraschallunterstützte Emulsionsherstellung	285
1.4.1.3. Ultraschallunterstützte Extraktion	286
1.4.1.4. Ultraschallunterstütztes Gefrieren.....	286
1.4.1.5. Ultraschallunterstützte Trocknung	287
1.4.1.6. Inaktivierung von Mikroorganismen (Thermosonification)	287
1.4.1.7. Rechtliche Aspekte, Nutzen und Risiko der Anwendung von Ultraschall	287
1.4.1.8. Informationsstand, Wahrnehmung und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher	287
2. Neue Verfahren zur Zubereitung, Garung und Haltbarkeitsverlängerung von Lebensmitteln	288
2.1. Minimal processing (minimally processed food) / fresh cut products.....	288
2.1.1. Schutzüberzüge	290
2.1.1.1. Schutzüberzüge, die eine mechanische Barriere zwischen dem Lebensmittel und der Umgebung bilden.....	290
2.1.1.2. Schutzüberzüge mit integrierten, aktiven Substanzen.....	290
2.1.1.3. Rechtliche und sicherheitstechnische Bewertung von Schutzüberzügen.....	290
2.2. Neue oder verbesserte Garverfahren	291
2.2.1. Sous vide-Garung.....	291
2.2.2. Mikrowelleninduziertes Dämpfen	292
2.3. Vorgegarte Convenience-Produkte	293
2.4. Überhitzter Wasserdampf (superheated steam - SHS)	295
2.4.1. Prinzip von SHS	295
2.4.2. Nutzungsrelevanz von SHS	295
2.4.3. Aktuelle Forschung zur Verwendung von SHS.....	297
2.4.4. Derzeitiger, praktischer Einsatz von SHS	297
2.4.5. Risiken, rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz.....	299
2.5. Reinraumtechnik in Verbindung mit „Hygienic design“ und Robotik	300
2.5.1. Reinraumtechnik	300
2.5.2. „Hygienic design“	300
2.5.3. Robotik	301
2.6. Aseptische Abfülltechnik in Kombination mit neuen Konservierungsverfahren	302
2.7. Supercooling/superchilling	304

2.7.1. Prinzip und Nutzungsrelevanz	304
2.7.2. Kritische Parameter und Beschränkungen	305
2.7.3. Kombinationen	305
2.7.4. Mögliche Risiken und Forschungsbedarf.....	305
2.7.5. Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz	305
2.8. Nichtthermische Verfahren	306
2.8.1. Nutzung elektromagnetischer Energie	308
2.8.1.1. Radiowellen (radio frequency) (RF).....	309
2.8.1.2. Mikrowellen (microwave frequency)	312
2.8.1.3. Infrarotstrahlung (infrared frequency - IR).....	315
2.8.1.4. UV-Licht	318
2.8.1.5. Gepulstes Licht (pulsed light- PL)	323
2.8.1.6. Hochbogenentladung (high voltage arc discharge hydrodyne – HVADH).....	327
2.8.1.7. Hochspannungs-Elektroimpulsverfahren (high intensity pulsed electric fields - PEF).....	328
2.8.1.8. Oszillierende Magnetfelder (oscillating magnetic fields) (OMF).....	334
2.8.1.9. Induktionserhitzung (inductive heating) (IE)	335
2.8.1.10. Ohm'sche Erhitzung (ohmic heating) (OH)	337
2.8.1.11. Kaltplasma (cold plasma - CP)	341
2.8.1.12. Aktiviertes, elektrolysiertes Wasser (activated & electrolyzed water)	346
2.8.2. Nutzung mechanischer Energie.....	349
2.8.2.1. Hochdruckbehandlung (high pressure - HP) (Pascalisation)	349
2.8.2.2. Thermo-sonication (TS).....	355
3. Literatur zu Teil 4.....	357
Teil 5 Lebensmittel-verpackung und –kenn- zeichnung.....	375
1. Einleitung.....	376
2. Neuartige Verpackungslösungen und Ver-packungsmaterialien	377
2.1. Verpackung unter modifizierter Atmosphäre	377
2.1.1 EMAP-Verpackungen.....	379
2.1.2. Gasaustausch [GEPP (gas-exchange preservation packaging)] (SCHUTZ-GASVERPACKUNG).....	379
2.1.3. Aktive Verpackungen.....	381
2.1.4 Intelligente Verpackungen	384
2.2 "Natürliche" & bioabbaubare Verpackungen.....	386
2.2.1. Basismaterialien für bioabbaubare Verpackungsmaterialien	386
2.2.2. Zusätze zu bioabbaubaren Verpackungsmaterialien	387
2.2.3. Essbare Überzüge auf Lebensmitteln (edible films/coatings)	388
2.3 Nanostrukturierte Verpackungsmaterialien.....	389
2.3.1. Warum Nanostrukturen in Verpackungsmaterialien?	390
2.3.2. Konsumentenakzeptanz	392

2.3.3 Risiken.....	392
2.4 Spezielle Verfahren für spezielle Verpackungsmaterialien	392
2.5 Spezielle Verpackungsmaterialien für spezielle Verfahren	393
2.6 Rechtliche Aspekte von Lebensmittelkontaktmaterialien	394
3. Technische Neuerungen in der Lebensmittel-kennzeichnung	396
3.1. Anforderungen der Lebensmittelinformationsverordnung (LMIV).....	396
3.2. Laser etching (Laser engraving)	396
3.3. Weiterentwicklung des Bar-Codes, QR- Codes etc.....	397
4. Literatur zu Teil 5	399
Teil 6 Detektion und Analyse von Lebensmitteln	402
1. Einleitung	403
2. Neue Detektionsmethoden in der Lebensmittelproduktion	404
3. Neue Lebensmittel-Analysetechniken.....	408
3.1. Sensortechnik im Bereich Lebensmittel	408
3.1.1 Integrierte Sensoren in der Verpackung (⇒ intelligente Verpackung)	409
3.1.2 Externe Sensortechnik.....	410
3.2. Künstliche Sinne für die Ermittlung der Lebensmittelqualität	411
3.2.1. Elektronische Nase	411
3.2.2. Elektronische Zunge	412
3.3. Molekulares Prägen (molecular imprinting).....	412
3.4. Molekulare Typisierung (molecular typing, microbial fingerprinting)	413
4. Metagenomik (agri-food metagenomics).....	415
5. Literatur zu Teil 6	416
Abbildungsverzeichnis	418
Teil 1: Einleitung	418
Teil 2: Entwicklungen im Bereich von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen; und bei Stoffen und Maßnahmen, um diese zu ersetzen	418
Teil 3: Neue und neuartige Rohstoffe	420
Teil 4: Lebensmittelverarbeitung	421
Teil 5: Lebensmittelverpackung und -kennzeichnung.....	422
Teil 6: Lebensmittelkontrolle und -untersuchung	422
Tabellenverzeichnis	423
Teil 1: Einleitung	423
Teil 2: Entwicklungen im Bereich von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen; und bei Stoffen und Maßnahmen, um diese zu ersetzen	423
Teil 3: Neue und neuartige Rohstoffe und Lebensmittel	423

ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Report werden die technischen Neuerungen dargestellt, welche in Zukunft die Lebensmittelverarbeitung und Lebensmittelversorgung beeinflussen werden oder könnten.

Bei allen angeführten technischen Entwicklungen wurde so weit als möglich versucht deren Potential abzuschätzen und abzuklären, welche potentiellen Auswirkungen und Aspekte sich daraus für Konsumentinnen und Konsumenten ergeben.

Zur besseren Übersicht und leichteren Abhandlung wurde der Report in sechs, voneinander unabhängige Teilbereiche gegliedert.

Teil 1: Einleitung

In diesem Teil werden kurz die allgemeinen Trends im Bereich der Lebensmittelversorgung und Ernährung dargestellt, die in gesellschaftliche, ökologische, ökonomische und Technologie-Trends weiter gegliedert wurden. Die angeführten Trends erleichtern die Abschätzung des Potentials der in den anderen Teilen angeführten technischen Entwicklungen und Neuerungen.

Teil 2: Entwicklungen im Bereich von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen und bei Stoffen und Maßnahmen die diese ersetzen.

Teilweise ist dieser Abschnitt eine Aktualisierung eines früheren Berichtes zur Verwendung von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen im Lebensmittelbereich. Weiterführend wurde aber hier auf Entwicklungen und Bestrebungen eingegangen, diese Stoffe durch andere Stoffe und Maßnahmen zu ersetzen. Im Bereich der Konservierungsmittel sind in diesem Zusammenhang beispielsweise Bacteriocine, Bakteriophagen und Schutzkulturen zu nennen.

Teil 3: Neue und neuartige Rohstoffe und Lebensmittel.

Neben der Nutzung pflanzlicher Rohstoffe aus anderen Kulturkreisen wird hier eine mögliche zukünftige Verwendung von Insekten und Algen in der europäischen Ernährung diskutiert.

Weiter wird die Tatsache näher behandelt, dass Rohstoffe immer mehr fraktioniert und zu neuen Lebensmitteln kombiniert werden.

In sehr kurzer Form wird auch auf gentechnisch veränderte Rohstoffe und Lebensmittel, die Möglichkeiten zur Biofortifikation, die Nutzung pflanzlicher und tierischer Zellkulturen und das Klonen eingegangen. Dem erst vor kurzem eingeführten *Indoor*-Pflanzenanbau unter Nutzung von LED-Beleuchtungssystemen ist ebenfalls ein Kapitel gewidmet.

Teil 4: Lebensmittelverarbeitung

Dieser Teil ist zweifelsohne das Kernstück dieses Reports. Das erste Hauptkapitel ist hier den sogenannten Querschnittstechniken gewidmet, also Techniken die mehrere Teilbereiche der Lebensmittelverarbeitung betreffen. Dazu zählen neue struktur- und formgebende Verfahren, wie die Nanotechnologie, *3-D-Food Printing*, neue Zerkleinerungs- und Emulgiertechniken und die Mikroverkapselung. Ebenfalls in die Querschnittstechniken ist die Verwendung von überkritischem Kohlendioxid und von Ultraschall einzuordnen.

Das zweite Hauptkapitel beschäftigt sich mit neuen Verfahren zur Zubereitung, Garung und Haltbarkeitsverlängerung von Lebensmitteln. Hier sind Weiterentwicklungen einzuordnen im Bereich von *minimally processed foods* bzw. *fresh cut products* in Kombination mit Schutzüberzügen, neue Garprozesse, Nutzung von überhitzten Wasserdampf, Reinraumtechnik in Verbindung mit „Hygie-

nic design“ und Robotik, die aseptische Abfülltechnik in Kombination mit neuen Konservierungsverfahren und *Supercooling/Superchilling*.

Sehr ausführlich werden in weiterer Folge nichtthermische Verfahren behandelt, also Verfahren bei denen andere Prinzipien als die thermische Energiezufuhr zur Auslösung erwünschter Veränderungen in den Lebensmitteln genutzt werden, wie z.B. die Verwendung von elektromagnetischer Strahlung (Radiowellen, Mikrowellen, Infrarot- und UV-Licht, gepulstes Licht) und von elektromagnetischer Energie (Hochbogenentladung, Hochspannungs-Elektroimpulsverfahren, oszillierende Magnetfelder, Ohm'sche Erhitzung, Induktionserhitzung, Kaltplasma). Ebenfalls in diesen Bereich fällt die Nutzung von Hochdruck (Pascalisation) und die Thermosonication.

Teil 5: Lebensmittelverpackung und -kennzeichnung

Um der Bedeutung der Lebensmittelverpackung in der heutigen Form der Ernährungsversorgung gerecht zu werden, ist dieser Teil wichtigen, neuen Entwicklungen auf dem Verpackungssektor (z.B. aktiven und intelligenten Verpackungen, bioabbaubaren Verpackungen und nanostrukturierten Verpackungsmaterialien), sowie bei der Kennzeichnung von Lebensmitteln bzw. Lebensmittelverpackungen (z.B. *Laser etching*) gewidmet.

Teil 6: Detektion und Analyse von Lebensmitteln

In diesem Teil geht es nicht um neue Labor-Analysemethoden von Lebensmitteln, sondern um Entwicklungen, welche es erlauben den Zustand von Lebensmitteln bei der Herstellung und Lagerung direkt zu überwachen und zu steuern.

SUMMARY

In the present report the technological developments are presented, which will or can influence food processing or food supply in future.

For all described technological developments the aim was to estimate or clarify their potential, and which possible effects and aspects they will have for the consumers.

For better overview and clearer structure the report was divided into six independent sections.

Part 1: Introduction

In this section all general trends of the food supply and nutrition are shortly presented, which are divided into social, ecological, economical and technology trends. These mentioned trends help to evaluate the potential of the described methods and technologies in the other sections.

Part 2: Developments in the area of food additives, flavourings, enzymes and substances and measures to replace these.

This section is a partial actualisation of a former report about the use of food additives, flavourings and enzymes in the food production. The present study also explains the developments and trends, to replace these food additives, flavourings and enzymes by other substances or measures. In the field of preservatives bacteriocins, bacteriophages and protective cultures have to be mentioned for example.

Part 3: New and novel raw materials and foods.

Beside the use of plant raw materials from other cultures, a possible future use of insects or algae in the European nutrition is discussed.

Additionally the development is explained, to fractionate more and more raw materials and combine to new foods.

Very shortly genetic modified raw materials and foods, the possibilities of biofortification, the use of plant and animal cell cultures and cloning are presented. Another chapter addresses the shortly introduced indoor-plant cultivation by use of LED-lightening systems.

Part 4: Food processing

This part is without doubt the main section of this report. The first main chapter here addresses interdisciplinary technologies which affect several parts of the food production. These include structure and form giving processes like nanotechnology, 3-D-Food Printing, new cutting and emulsifying technologies and micro encapsulation. Also the use of supercritical carbon dioxide or ultrasound falls under this category.

The second main chapter deals with new processes for preparation, cooking and preservation of foods. Here developments are found in the field of minimally processed foods or fresh cut products in combination with protective coatings, new cooking processes, use of superheated steam, clean-room technology in combination with "hygienic design" and robotic, aseptic filling/bottling in combination with new preservation process and supercooling/superchilling.

Very detailed the non-thermal processes are described, which do not make use of thermal energy but apply other principles to achieve desired changes in foods, like e.g. use of electromagnetic irradiation (radio waves, microwaves, infrared and UV light, pulsed light) and of electromagnetic energy (high voltage arc discharge hydrodyne, high intensity pulsed electric fields, oscillating

magnetic fields, ohmic heating, inductive heating, cold plasma). Also the use of high pressure (pascalisation) and thermosonication are non thermal processes.

Part 5: Food packaging and labelling

In order to address the importance of food packaging in today's food supply, this section describes important new developments in the field of food packaging (e.g. active and intelligent packaging, biodegradable packaging and nanostructured packaging materials), as well as in the field of food labelling (e.g. laser etching).

Part 6: Detection and analyses for foods

This section does not cover new laboratory analyses of foods, but new developments, which allow supervising and controlling the state of food directly during the production and storing period.

Teil 1

Einleitung

1. Allgemeines

Technische Neuerungen und Erfindungen passieren einfach, wenn die Zeit dafür reif ist, oder sie werden durch gesellschaftliche (z.B. Änderung der Bevölkerungsstruktur), ökonomische (z.B. Globalisierung) und ökologische (z.B. Klimawandel) Veränderungen induziert oder erzwungen. Andererseits verändern technische Entwicklungen auch gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Strukturen. Es existiert deshalb eine ständige Wechselwirkung zwischen diesen vier Bereichen, wie das in Abb. 1.1.1 schematisch dargestellt wird. Als Ausfluss und Resultat dieser Wechselwirkung manifestieren sich jeweils spezifische Arten an Lebensmitteln, eine bestimmte Form der Lebensmittelversorgung und im Endeffekt eine bestimmte Art und Form der Ernährung.

Die Bewertung von Nutzen und Risiken technischer Entwicklungen bzw. neuer Techniken ist deshalb immer im Kontext mit gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und Umwelt-Faktoren zu sehen.

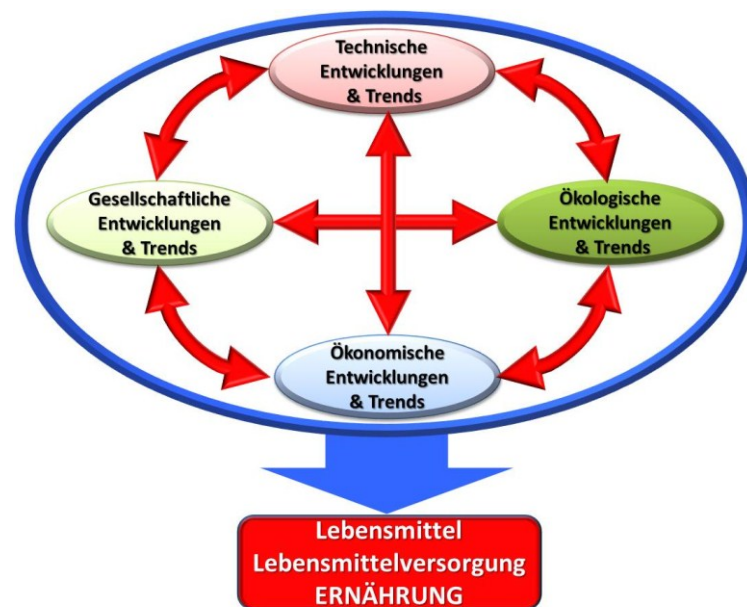


Abb. 1.1.1: Einflüsse und Wechselwirkungen auf die Art und Form der menschlichen Ernährung

Bevor auf die gegenwärtigen Trends im Bereich der Ernährung eingegangen wird, werden beispielhaft einige markante Ereignisse und Entwicklungen aus der Vergangenheit dargestellt, welche die Evolution der Menschen beeinflusst und deren Ernährung entscheidend verändert haben.

Als erstes ist hier die technische Nutzung des Feuers zur Bearbeitung der Lebensmittel zu nennen, die wahrscheinlich bereits vor 1 Million Jahre begonnen hat (Berna et al., 2012). Als sich unsere Ahnen von denen der Schimpansen vor 5-6 Mill. Jahren trennten, waren die Gehirne mit ca. 400 cm³ gleich groß. Das Gehirn der Schimpansen blieb auf diesem Niveau. Der große Schub der Gehirnentwicklung fand beim *Homo erectus* statt. Ein großes Gehirn benötigt viel Energie. Musste der *Homo erectus* also deshalb seine Ernährung umstellen (mehr Protein), weil er ein großes Gehirn hatte, oder hat er seine Ernährung umgestellt, und dann ein großes Gehirn entwickelt (Bethge, 2007)? Richard Wrangham (Primatologie in Harvard) vertritt mit seiner "Koch-Hypothese" die Ansicht, dass die Lebensmittelverarbeitung – insbesondere die Nutzung des Feuers zur Gärung – zur Gehirnentwicklung entscheidend beigetragen hat (Wrangham, 2009). Durch die Bearbeitung der Lebensmittelrohstoffe konnte das Nahrungsspektrum durch Entgiftung und durch bessere kalorische Nutzung der Rohstoffe enorm erweitert werden. Damit konnte der steigende Energiebedarf durch ein immer größeres Gehirn kompensiert werden, beziehungsweise hat diese Tatsache

die Gehirnentwicklung stimuliert. Wrangham (2009) spricht deshalb auch vom Mensch als „Cookievore“, sozusagen als Weiterentwicklung des Omnivoren-Status (Allesesser) der Menschen, und im Vergleich zu den Herbivoren (Pflanzenfresser) und Carnivoren (Fleischfresser).

Der nächste Entwicklungssprung war die Einführung von Ackerbau und Viehzucht vor etwa 10.000 Jahren, auch als neolithische Revolution bezeichnet. Daraus resultierte der Übergang von den nomadisierenden Jagd- und Sammlergesellschaften zu den sesshaften Ackerbau- und Viehzüchterkulturen. Es konnten erstmals Rohstoffüberschüsse produziert und für Not- und Mangelzeiten vorrätig gehalten werden. Dies ermöglichte die Entstehung von Städten und im Endeffekt die Zivilisation der Menschheit. Nicht von ungefähr wurde im sogenannten „fruchtbaren Halbmond“ (⇒ Zwischenstromland) nicht nur der Ackerbau erfunden, sondern es entstanden dort auch die ersten Stadtstaaten. Diese neolithische Revolution war gleichzeitig mit einer Ernährungsrevolution verbunden. Die eher eiweißdominierte Ernährung der Jäger und Sammler wurde durch eine sehr stärkereiche Kost abgelöst. Es begann die Dominanz der Getreidearten in unserer Ernährung, die bis heute anhält. Rohes Getreide ist für den Menschen kaum oder nur teilweise verdaubar. Gleichzeitig mit dem Ackerbau mussten deshalb die entsprechenden Verarbeitungsverfahren für diese stärkereichen Rohstoffe entwickelt werden. An erster Stelle ist in diesem Zusammenhang Brot und Bier zu nennen. Die Herstellung dieser beiden, fermentierten Lebensmittel bedarf schon umfangreiches technisches Wissen und handwerkliche Fähigkeiten. Es kann durchaus von *Hi-Tech* der Steinzeit gesprochen werden.

Die Konsumentinnen und Konsumenten wurden im Laufe der Zeit immer mehr von der Primärproduktion der Lebensmittelrohstoffe abgekoppelt. Auch die Weiterverarbeitung der Rohstoffe zu verzehrfähigen Lebensmitteln wurde sukzessive von Handwerksbetrieben übernommen (Müller, Bäcker, Fleischhauer etc.). Diese Entwicklung wird heute in den Ländern des Nordens als abgeschlossen betrachtet. In der Landwirtschaft arbeiten nur mehr sehr wenige Personen.

Der nächste Entwicklungssprung in unserer Ernährung begann vor etwa 200 Jahren parallel mit der industriellen Revolution. Es begann ein neues Ernährungszeitalter, das als industrielles oder „Convenience-Ernährungszeitalter“ bezeichnet werden kann. Dieses dritte Ernährungszeitalter ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Umstellung der Primärproduktion in den agroindustriellen Maßstab
- Parallel dazu Verlagerung der Lebensmittelverarbeitung vom Haushalt und Gewerbebetrieb mehr und mehr in den industriellen Maßstab
- Konzentrationstendenz im Lebensmittelhandel und in der -Produktion – Ausbildung der „Lebensmittelversorgungskette“ und deren Globalisierung
- Nach der Abkoppelung der Konsumentinnen und Konsumenten von der Primärproduktion erfolgt nun deren sukzessive Abkoppelung von der Weiterverarbeitung der Rohstoffe. Sie werden mehr und mehr zu Käufern von industriell verarbeiteten Lebensmitteln bis hin zu Fertigprodukten (⇒ Convenience-Produkte)
- Erneute Ernährungsrevolution (*nutrition transition*) ⇒ Ersatz der Ernährungs-Biodiversität durch eine begrenzte Anzahl von energiereichen pflanzlichen und tierischen Rohstoffen, insbesondere raffinierten Kohlenhydraten und Fetten.

Das gravierendste Problem des Convenience-Zeitalters ist die Tatsache, dass immer mehr Lebensmittel außer Haus verarbeitet beziehungsweise hergestellt werden. Zu Beginn der Industrialisierung wurden dadurch die Arbeitskräfte von den Mühen der Lebensmittelherstellung entlastet und konnten die freiwerdende Arbeitszeit in den Fabriken und Manufakturen verbringen. In der Zwischenzeit haben sich aber die Leute daran gewöhnt, die bei der Zubereitung der Nahrung eingesparte Zeit anderweitig zu nutzen.

Die Haltbarkeit von Lebensmitteln ist aber umso geringer, je höher sie verarbeitet und zubereitet sind. Das ist kein Problem, wenn sie sofort verzehrt werden. Im Convenience-Zeitalter ist aber ge-

nau das Gegenteil der Fall. Zwischen Zubereitung und Verzehr entsteht eine immer größere zeitliche und räumliche Lücke, bis die Lebensmittel vom Produktionsort auf die Teller der Verbraucherinnen und Verbraucher gelangen. Die zubereiteten Lebensmittel müssen daher zusätzlich konserviert bzw. in der Haltbarkeit verlängert werden, um die Transport- und die Lagerzeiten im Supermarkt und im Haushalt zu überstehen. Produzenten, Handel und Konsumentinnen und Konsumenten wünschen aus den verschiedensten Gründen aber immer längere Haltbarkeitsfristen.

Die folgende Aufstellung zeigt einige wichtige technische Neuerungen des ersten Jahrhunderts des Industriezeitalters. Der Großteil (fett gedruckt) betrifft neue Haltbarkeitsverfahren.

- 1802 Eröffnung der ersten Rübenzuckerfabrik – Franz Carl Achard, Deutschland
- 1804 Haltbarmachung von Lebensmitteln in Konserven – Nicholas Appert, Frankreich**
- 1810 Konservendose – Peter Durand, England**
- 1852 Fleischextrakt – Justus von Liebig, Deutschland**
- 1856 Gezuckerte Kondensmilch – Gail Borden, USA**
- 1867 Lösliches Milchpulver – Henri Nestle, Schweiz**
- 1871 Margarine – Mèges Mouriès, Frankreich
- 1873 Trockensuppe – Carl Knorr, Deutschland**
- 1874 Kühlmaschine, ermöglichte den Kühlschrank und die Tiefkühlung – Carl von Linde, Deutschland**
- 1874 Synthese von Vanillin – Wilhelm Haarmann, Deutschland
- 1878 Ketchup – Henry John Heinz, USA
- 1886 Coca Cola, Pemperton, USA
- 1886 Trockensuppe auf Leguminosenbasis – Julius Maggi, Schweiz**
- 1888 Maggi- Würzsoße auf Basis hydrolysierter Pflanzenproteine – Julius Maggi, Schweiz
- 1890 Kaugummi, USA
- 1893 Backpulver – August Oetker, Deutschland
- 1897 Corn flakes – Brüder Kellogg, USA**
- 1910 HABER-BOSCH-Verfahren – Ammoniak-Synthese – Ermöglichte die Intensivlandwirtschaft (2 von 5 Menschen wären wahrscheinlich ohne dieses Verfahren heute nicht auf der Erde. Der größte Teil des Stickstoffs in unseren Körpern wurde durch dieses Verfahren fixiert.)

Von den Anfängen der Lebensmittelverarbeitung vor mehr als einer Million Jahren bis zum Beginn des Industriezeitalters kam die Menschheit mit einer Handvoll von Konservierungsmaßnahmen aus [z.B. Senkung der Wasseraktivität durch Trocknung und Stoffzusatz; chemische Konservierung durch Salzen, Pökeln, Räuchern; biologische Konservierung (Fermentation)]. Innerhalb von 200 Jahren wurden nun weit mehr Haltbarkeitsmethoden entwickelt als in der langen Zeit davor. Der einleuchtende Grund dafür wurde oben genannt.

Die Entwicklung neuer Haltbarkeitsmethoden schreitet aber immer weiter und immer schneller voran. Seit dem zweiten Weltkrieg wurden völlig neue Konservierungsprinzipien eingeführt, wie z.B. die Nutzung elektromagnetischer Energie (Mikrowellen, UV-Strahlung, ionisierende Strahlung). In Teil 4 dieser Studie werden die neuesten Entwicklungen auf diesem Gebiet ausführlich dargestellt.

Nicht alles, was in der vorliegenden Studie an zukünftigen Möglichkeiten zur Herstellung und Bearbeitung von Lebensmitteln beschrieben wird, muss auch wirklich eintreffen bzw. umgesetzt werden. Rechtliche Gründe, Akzeptanzgründe seitens der Konsumentinnen und Konsumenten, ethische, ökonomische und ökologische Gründe können dagegen sprechen. Nicht alles was technisch machbar ist, muss und darf auch gemacht werden.

1.1. Trends im Bereich der Lebensmittelversorgung und Ernährung

Einleitend zu dieser Studie sollen die wichtigsten Trends (Mega-Trends) und Entwicklungen in den in Abb. 1.1.1 angeführten vier Bereichen dargelegt und ihre mögliche Beeinflussung der zukünftigen Ernährungsweise diskutiert werden.

1.1.1. Gesellschaftliche Trends

1.1.1.1. Adipositas

Menschen weisen eine Vorliebe für energiedichte Lebensmittel auf (Drewnowski, 1997; Lowe et al., 2014). Das lässt sich evolutionshistorisch erklären, weil Nahrungsmangel und Nahrungsknappheit in der Geschichte der Menschheit immer die Regel waren. Die für die Suche nach Nahrung aufgewandte Energie musste daher einen entsprechenden hohen Ertrag bringen. Nicht von ungefähr wurde deshalb auch der Geschmackssinn entwickelt, um süße und fettreiche, also kalorienreiche Nahrung erkennen zu können.

Innerhalb sehr kurzer Zeit, seit Beginn der Industrialisierung, ist nun vor allem in den Ländern des Nordens erstmals in der Menschheitsgeschichte eine Situation entstanden, in der große Bevölkerungsschichten mit einem Nahrungsüberfluss konfrontiert sind (Lowe et al., 2014). Dazu kommt noch die Umstellung der Welternährung auf eine immer energiereichere Kost (Tilman & Clark, 2014). Gepaart mit anderen gesellschaftlichen Entwicklungen, wie geringere Bewegung, führt das zu einem dramatischen Anstieg der übergewichtigen und adipösen Personen in fast allen Ländern der Erde (Abb. 1.1.2).

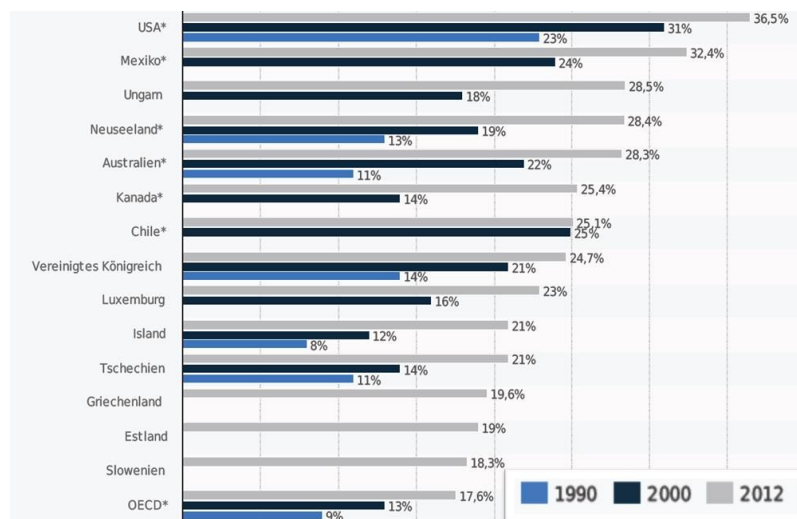


Abb. 1.1.2: Anteil der Erwachsenen mit Fettleibigkeit in den ersten 14 OECD-Ländern im Zeitraum der Jahre 1990 bis 2012 (STATISTA, 2015)

Die Entstehung von Adipositas hat keinen monokausalen Ursprung, sondern stellt vielmehr ein multifaktorielles und multikausales Problem dar. Diese Tatsache erschwert auch die Ursachenforschung zur Entstehung der Adipositas aber auch deren Prävention. Nach Gottschalk-Mazouz (2011) sind die Phänomene Übergewicht und Adipositas sowohl intrasystemisch als auch intersystemisch erzeugt, weil sie einerseits langfristige Eigendynamiken einzelner Systeme widerspiegeln, andererseits aber auch das Zusammenwirken u.a. von Gesundheit, Ernährung, Erziehung, Ökolo-

gie bzw. Stadtplanung, Wirtschaft und Politik. Jedes dieser Systeme bekommt bestenfalls einen Ausschnitt des Phänomens zu fassen und ist mit der Bewertung sowie der Ausarbeitung von Reaktionen und Maßnahmen alleine überfordert.

Als mögliche Primärursachen für die Entstehung einer Adipositas bieten sich folgende prinzipiellen Gründe an:

- a) Genetische und medizinisch pathologische Gründe
- b) Veränderung der Energiebilanz
 - durch Zufuhr von zu viel Kalorien (Essverhalten),
 - oder durch Verbrauch von zu wenig Kalorien (Bewegungsmangel)
- c) Sonstige Ursachen

Wie auch immer, die Ernährung stellt zweifelsohne einen wichtigen Faktor bei der Erklärung der Adipositasprävalenz dar. Bekannt ist auch, dass ein Zusammenhang zwischen Bildungsgrad und Einkommen einerseits und dem Body Mass Index andererseits besteht. Je geringer diese beiden Parameter sind, umso höher ist die Adipositasrate. Es stellt sich daher die Frage, ob energiereiche bzw. energiedichte Lebensmittel billiger sind und deshalb ärmere Konsumentenschichten vor allem diese Lebensmittel kaufen. Wobei wieder das steinzeitliche Prinzip zum Tragen kommt, möglichst hoher Energieertrag bei möglichst geringem Einsatz. Tatsächlich wurde in mehreren Arbeiten gefunden, dass eine kcal umso billiger wird, je energiedichter das Lebensmittel ist (z.B. Monsivais & Drewnowski, 2007). Das gilt auch für die Lebensmittel in unseren Supermärkten, wie die Arbeit von Pichler (2009) zeigt (Abb. 1.1.3). Dazu kommt nun noch, dass generell immer energiedichtere Lebensmittel auf den Markt kommen, wie in Kap. 1.1.2.2. dargestellt wird.

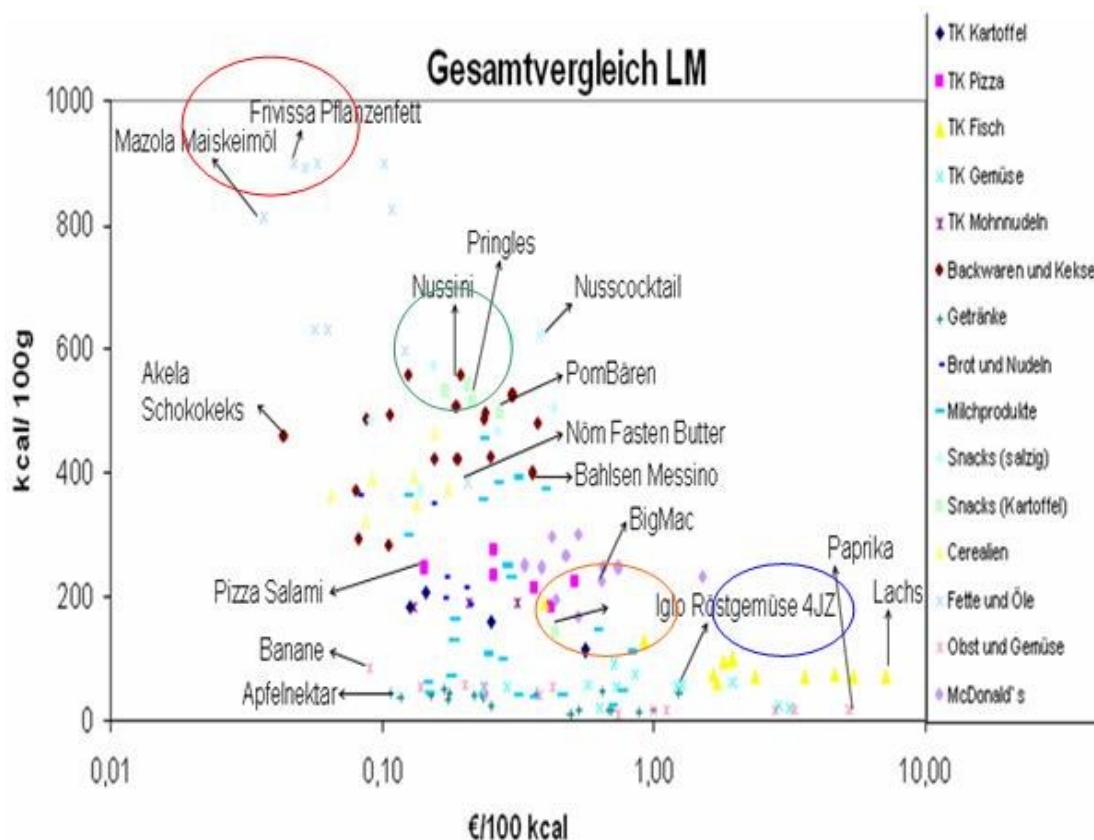


Abb. 1.1.3: Zusammenhang zwischen Energiedichte [kcal/100 g] und Energiekosten [€/100g] von Lebensmitteln in österreichischen Supermärkten (Pichler, 2009)

1.1.1.2. Bevölkerungsstruktur

Die Weltbevölkerung wird mit 80 %-iger Wahrscheinlichkeit von heute 7,2 Milliarden Menschen auf 9,6 bis 12,3 Milliarden im Jahr 2100 wachsen (Gerland et al. 2014).

Das weitaus gravierendere Problem - auch im Hinblick auf die Ernährung - wird aber nicht der Bevölkerungszuwachs an und für sich sein, sondern die Änderung der Bevölkerungsstruktur. Wie aus der Abb. 1.1.4 abgelesen werden kann, wird bis zum Jahr 2050 der Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre in den Ländern des Nordens beziehungsweise in den höher entwickelten Ländern bedingt durch den Anstieg der Lebenserwartung auf ca. 27 % steigen (Trainar, 2010).

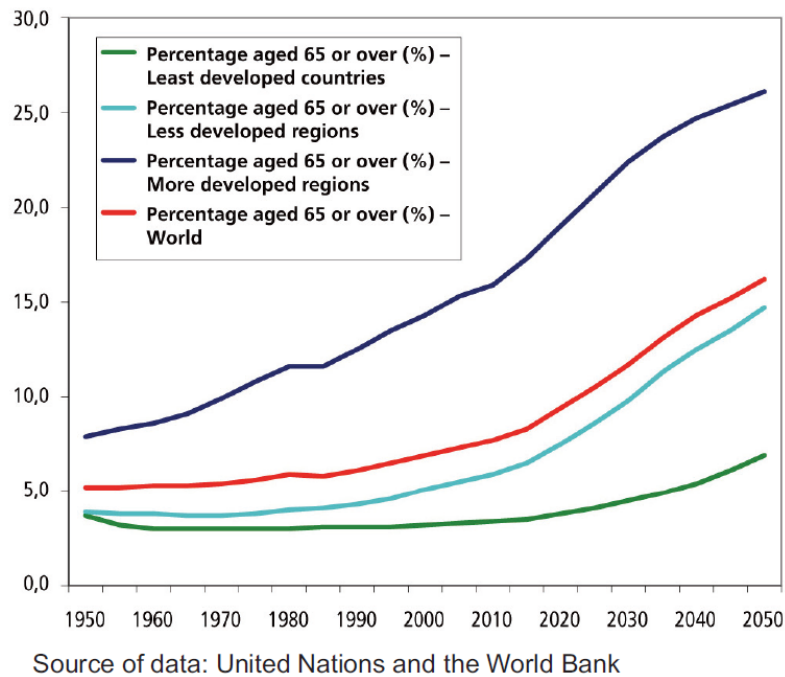


Abb. 1.1.4: Entwicklung des Anteils der Bevölkerung über 65 Jahre in Prozent der Gesamtbevölkerung (Trainar, 2010)

Bis jetzt wird den spezifischen Ernährungsbedürfnissen älterer und alter Bevölkerungsschichten noch viel zu wenig Rechnung getragen. Das gilt sowohl in der Außer-Haus-Verpflegung als auch bei den im Retail-Handel angebotenen Lebensmitteln. Dabei wäre es gesellschaftspolitisch und ökonomisch von großer Wichtigkeit den Gesundheitsstatus der älteren Bevölkerung unter anderem eben durch eine adäquate Ernährungsweise so lange als möglich aufrecht zu erhalten.

1.1.1.3. Urbanisierung

Urbanisierung bedeutet die Einwanderung der ländlichen Bevölkerung in die Stadt.

Im Welt-Risiko-Bericht 2014 (Mucke, 2014) werden dazu folgende Fakten angeführt: Zwei Drittel der Menschheit lebten 1950 auf dem Land – 100 Jahre später wird sich das Verhältnis umgekehrt haben: 2050 werden zwei Drittel der Weltbevölkerung Städter sein. Der Wendepunkt dieser Entwicklung lag im Jahr 2007, als die 50 %-Marke überschritten wurde.

Die Städte boomen: 6,3 Milliarden städtische Bewohner, so die offiziellen Prognosen der Vereinten Nationen für 2050; 2,5 Milliarden mehr als heute – ein Plus von 65 %. Im ländlichen Raum da-

gegen wird die Bevölkerung weltweit bis zum Jahr 2050 um 150 Millionen Menschen abnehmen. Das Wachstum der Weltbevölkerung findet also in den Städten statt, wobei es aber regional beträchtliche Unterschiede geben kann.

Die Urbanisierung beeinflusst die Zusammensetzung der Nahrungsmittelnachfrage. Da in Städten andere Essgewohnheiten als in ländlichen Gebieten herrschen, wird von einer sinkenden Nachfrage nach Grundnahrungsmitteln wie Weizen, Reis und Hirse ausgegangen. Die Nachfrage nach tierischen und proteinreichen Nahrungsmitteln wie Milchprodukten und Fleisch sowie nach Obst und Gemüse wird im Gegenzug deutlich ansteigen. Diese Veränderungen in der Zusammensetzung der Nachfrage lassen sich durch die höheren Einkommen und globale Veränderungen im Lebensstil der urbanen Bevölkerung erklären (Matuschke & Kohler, 2014).

1.1.1.4. Vegetarismus versus Fleischkonsum

Zweifelsohne erfordert die Produktion tierischer Lebensmittel einen weit höheren Ressourcenverbrauch als die pflanzlicher Lebensmittel. Tierzucht trägt zum Treibhauseffekt und somit zum Klimawandel bei. Wiederkäuer sind nämlich bedeutsame Produzenten von Methan, das wichtigste Treibhausgas nach Kohlendioxid. Für die Schaffung von Weideflächen und für den Anbau von Futtermitteln werden Wälder gerodet, die wiederum langfristig für die Photosynthese fehlen (Hagen, 2014).

In Zeiten des Klimawandels und steigender Umweltbelastungen liegt es daher auf der Hand, vegetarische Kost zu fördern und zu forcieren und den Fleischkonsum einzuschränken. Zahlreiche Publikationen beschäftigen sich aus wissenschaftlicher Sicht mit diesem Thema (z.B. Jalava et al., 2014; Popp et al., 2010). Noch häufiger sind die Berichte in diversen Medien, Büchern und Internetseiten, in denen - überspitzt formuliert - Vegetarismus hochgelobt und der Fleischkonsum verurteilt wird.

Neben den Umweltaspekten kommen beim negativen Image des Fleischkonsums noch folgende gesellschaftliche und wirtschaftliche Tendenzen zum Tragen:

- Vermenschlichung der Tiere (z.B. diverse Disney-Figuren)
- Philosophische Strömungen: Gleichsetzung Mensch(liches Tier) und Nichtmenschliche Tiere. Die philosophische Untermauerung des Vegetarismus geht auf die Publikationen von Pluhar (1988) zurück.
- Verlust der Ehrfurcht vor der Schöpfung: Jagdriten in allen Kulturen nehmen darauf Bezug und bezeigen Sühne für ein erlegtes Tier.
- "Entmenschlichte" Züchtungs- und Schlachtungsmethoden im Zeitalter der Massentierhaltung. In den modernen "Tierfabriken" wird der wahre Wert der Tiere auf ihren Warenwert reduziert.

Fleisch essen, oder nicht Fleisch essen, wird daher zunehmend zu einer (Glaubens)-Frage hochstilisiert. Es ist modern und liegt im gesellschaftlichen Mainstream, Vegetarier zu sein.

Dazu kommt noch das Phänomen, dass Lebensmittel zunehmend in "gut" und "böse" eingeteilt werden (z.B. pflanzliche Lebensmittel gut ⇔ tierische Lebensmittel böse; rohe Lebensmittel und sogar Rohkost gut ⇔ verarbeitete, prozessierte Lebensmittel böse). Diese zunehmende Zweiteilung (⇒ Dichotomie) der Lebensmittel in unserer Gesellschaft lässt sich wahrscheinlich auf das Omnivoren-Dilemma bzw. -Paradoxon zurückführen. Der Mensch ist von seinem Körperbau her gesehen (Kauapparat, Verdauungstrakt etc.) eindeutig ein Omnivore, also ein Allesesser. Wenn man Vieles essen kann, was die Natur zu bieten hat, wird die Entscheidung, was man essen soll, schwierig. Zumal einige der zur Wahl stehenden potentiellen Nahrungsmitteln krank machen oder

sogar töten können (Rozin, 1976). Jedes Mal wenn ein Omnivore mit einer neuen Nahrungsquelle konfrontiert wird, kämpfen zwei Gefühle miteinander, nämlich die Neophilie und die Neophobie. Die Jäger und Sammler haben dieses Dilemma durch „*try and error*“ und ein entsprechendes Kausalitätsverständnis gelöst. Moderne Anthropologen sind der Meinung, dass wir auch deswegen so große und verschachtelte Gehirne entwickelt haben, damit wir das Omnivoren-Dilemma lösen können (Pollan, 2011). Der moderne Mensch steht heute im Supermarkt vor dem gleichen Dilemma. Was tut ihm gut und was nicht? Die unüberschaubare Flut an neuen Lebensmitteln fordert permanente Entscheidungen bei der Lebensmittelauswahl. Entscheidungshilfen von außen sind daher immer mehr gefragt und willkommen, egal ob diese vorgegebenen Hilfen auch wirklich stimmen und sinnvoll sind.

Es entsteht zunehmend ein Lebensmittel-Fundamentalismus auch als *Foodamentalismus* bezeichnet. Daher ist es nicht weiter verwunderlich, dass in Umfragen 9 % der österreichischen Bevölkerung bereits angeben, Vegetarier zu sein. Bei den unter 40-jährigen sind es sogar 17 % (Anonym, 2014 a). Die Schwierigkeit bei solchen Aussagen ist die Begriffsbestimmung. Was ist bzw. ist ein Vegetarier und wann ist man ein solcher? Wie die nachstehende Aufzählung zeigt, sind diese Fragen gar nicht so leicht zu beantworten.

- **Flexetarier bzw. gelegentliche Vegetarier:** Verzichtet manchmal auf Fleisch bzw. tierische Lebensmittel
- **Teil- und Halb-Vegetarier:** Verzichtet nur teilweise auf Fleisch (& Geflügel), Fisch und Meerestiere, sowie daraus hergestellte Produkte
- **Presketarier:** Vegetarier, die Fisch essen.
- **Poultarier:** Vegetarier, die Geflügel essen.
- **Ovo-lacto-Vegetarier:** Essen nichts, was aus dem Körper getöteter Tiere hergestellt wird, also keine Wurst, kein Geflügel, keinen Fisch, keine Gelatine, keine Schlachtfette usw.
- **Lacto-Vegetarier:** Essen zudem auch keine Eier.
- **Ovo-Vegetarier:** Konsumieren zwar Eier, aber keine Milchprodukte
- **"Pudding-Vegetarier":** Diese ernähren sich weitgehend von pflanzenbasierten Fertigprodukten und Süßspeisen.
- **Rohköstler (strenge Vegetarier):** Eventuell vegan ausgerichtet, essen ausschließlich ungekochte und nicht verarbeitete Lebensmittel, darunter Früchte, Gemüse, Nüsse, Samenfrüchte sowie gesprosses Getreide und Hülsenfrüchte.
- **Makrobiotiker:** Die Ernährung stützt sich hauptsächlich auf Getreide, Hülsenfrüchte und Gemüse. In etwas geringerem Umfang werden auch Früchte, Nüsse und Samen gegessen. Manche Makrobiotiker verzehren geringe Mengen Fisch.
- **Veganer:** Meiden alle tierische Nahrung (auch Milch, alle Milchprodukte und Honig) und vermeiden in der Regel alle tierischen Produkte (Lederjacken usw.).
- **Fructaner / Frugivoren:** Strenge Form der Veganer, verzehren ausschließlich Früchte, Nüsse und Samen.

Es ist bekannt, dass nicht nur im Bereich der Ernährung erhobene Angaben mit dem tatsächlichen Verhalten nicht übereinstimmen. Ist der angebliche vegetarische/vegane Trend in unserer Gesellschaft und auch weltweit also wirklich ein anhaltender stabiler und relevanter Trend, oder nur ein Hype, resultierend aus dem Überdruß im Überfluß? Manifestiert sich dieser Trend auch in der Herstellung und im Kauf vegetarischer Produkte? Wird der Fleischkonsum bei uns und weltweit dadurch in Zukunft zurückgehen?

Hagen (2014) beschäftigt sich ausführlich mit der Frage, wie viele Vegetarier es auf der Welt gibt, und wie sich diese Zahl in Zukunft entwickeln wird. Demnach ist Vegetarismus (und Veganismus) bis jetzt vor allem ein Phänomen armer Länder. Wenn arme Länder an Wohlstand gewinnen, re-

duziert sich der Anteil der Vegetarier und es steigt der Fleischkonsum. Die Menschen können sich also leisten "nicht mehr Vegetarier sein zu müssen." Aus Abb. 1.1.5 geht dieser Zusammenhang zwischen Fleischverzehr und dem Wohlstand eines Landes eindeutig hervor. Je höher der Wohlstand, umso höher der Fleischkonsum. Auch durch die Urbanisierung wird in Zukunft ein höherer Fleischkonsum erwartet (siehe Kap. 1.1.1.3.).

Bei einem sehr hohen Bruttonationaleinkommen, also in reichen Ländern, scheint aber wieder ein leichter Rückgang einzutreten. Es liegt auf der Hand, dass der Anteil an Vegetariern in einer Gesellschaft oder in einem Land mit dem Verzehr von Fleisch in Zusammenhang steht. Tatsächlich beschreiben Leahy et al. (2010) einen starken Rückgang des Vegetarismus mit steigendem Bruttonationaleinkommen bzw. Fleischkonsum und einen leichten Wiederanstieg bei hohem Bruttonationaleinkommen.

In den Industrieländern stagniert der Fleischkonsum auf einem sehr hohen Niveau beziehungsweise er sinkt leicht. Letzteres wird vor allem auf sinkende Bevölkerungszahlen, gesättigte Märkte und auch auf veränderte Ernährungsgewohnheiten zurückgeführt. Dies trifft auch auf Österreich zu, wie aus der Abb. 1.1.6 hervor geht. In dieser Abbildung wird die Entwicklung des Fleischkonsums in den letzten 80 Jahren in Österreich dargestellt (BMLFUW, 2012). Nach einem sehr steilen Anstieg von 1960 bis 1980 pendelte sich die Verbrauchskurve bei etwa 100 kg/Kopf ein.

In Zukunft wird die Stagnation bzw. der leichte Rückgang des Fleischkonsums in den Ländern des Nordens durch einen erwarteten höheren Verzehr in den Ländern des Südens kompensiert werden, so dass sich weltweit insgesamt ein Anstieg und kein Absinken des Fleischkonsums ergeben wird (Abb. 1.1.7). Zwischen den einzelnen Fleischarten wird es aber deutliche Verschiebungen geben. Der Anteil von Rind- und Schweinefleisch am Gesamtverzehr wird sinken, der Geflügelverzehr hingegen drastisch ansteigen (Abb. 1.1.8).

Wie wird sich nun der Vegetarismus weltweit entwickeln? Insgesamt schätzen Leahy et al. (2010), dass derzeit knapp 22 % der Weltbevölkerung kein Fleisch essen. Davon bezeichnen sie jedoch wiederum 95 % als "Nicht-Vegetarier" ("*vegetarians of necessity*"), da sie in armen Ländern leben und sich somit kein Fleisch leisten können. Dem stehen nur 5 % "Wahl-Vegetarier" ("*vegetarians of choice*") gegenüber. Mögliche Motive zum Vegetarismus in den reichen Ländern können ethische, gesundheitliche, religiöse, sensorische (Ekel) oder umweltpolitische Bedenken sein (Ruby, 2012).

Laut einer Umfrage in Deutschland (Anonym, 2015 d) wollen 38 % in Zukunft weniger Fleisch essen, 46 % essen schon weniger Fleisch. Bei den angeführten Gründen für dieses nicht näher quantifizierte Verhalten liegt an erster Stelle die Gesundheit, gefolgt vom Geschmack (?) und erst an dritter Stelle ethische Argumente. In reichen Ländern wird daher der Vegetarismus (ohne Fisch) von einem niedrigen Niveau ausgehend leicht zunehmen (in Frankreich von 0,8 % der Personen in der Bevölkerung auf 1,2 %; in UK von 0,2 % auf 1,2 %; in den USA von 1,1% auf 2,5 %) (Hagen 2014). Das drückt sich auch schon in den Verkaufszahlen für vegetarische Lebensmittel aus. Beispielsweise waren in den letzten Jahren beim Gesamtumsatz an vegetarischen Teilfertigengerichten im Lebensmitteleinzelhandel in Deutschland Steigerungsraten von durchschnittlich 30 % zu verzeichnen. Absolut gesehen erwartet man im Jahr 2014, dass die Summe von 100 Millionen Euro überschritten wird (Anonym, 2015 a). Unter vegetarischen Teilfertigengerichten sind im wesentlichen Fleischersatzprodukte (Seitan, Tofu, Tempeh etc.) zu verstehen. Nur zum Vergleich sei angeführt, dass der Gesamtumsatz im deutschen Lebensmitteleinzelhandel im Jahr 2013 164 Milliarden Euro betrug (Anonym, 2015 b). 100 Millionen Euro sind ca. 0,07 % dieses Gesamtumsatzes. Der Umsatz der Ernährungsindustrie in Deutschland in den Segmenten Fleisch- und Milchprodukte lag 2013 in Deutschland bei ca. 69 Milliarden (Anonym 2015 c). 100 Millionen sind von diesem Betrag etwa 0,14 %. Diese Prozentzahlen relativieren die derzeitige Bedeutung vegetarischer Produkte im Lebensmitteleinzelhandel.

Die strengste Form des Vegetarismus, der Veganismus, ist in den reichen Ländern ein so seltenes Phänomen, dass die gemessenen Prozentanteile statistisch oft nicht von Null verschieden sind. Für Deutschland werden nur 0,1 % Veganer-Haushalte angeführt, was - falls ein Veganer-Haushalt aus zwei vegan lebenden Menschen bestünde - einer absoluten Zahl von ca. 80.500 Personen entspricht. Da anzunehmen ist, dass Veganer-Haushalte aus weniger als zwei vegan lebenden Menschen bestehen, war die Zahl wohl zumindest 2003 geringer, also irgendwo zwischen 40.000 und 80.000 Personen (Hagen, 2014).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass steigender Wohlstand in den Ländern des Südens die Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln in Zukunft weiter verstärken wird. Global betrachtet wird also wahrscheinlich die absolute Zahl an Vegetariern sinken. Die gegenteilige Tendenz in den reichen Ländern, den Fleischkonsum einzuschränken, wird nicht ausreichen, um den ersten Trend zu kompensieren.

Nur wenn es gelingt, einen zumindest teilweise eingeschränkten Fleischkonsum einerseits und den Vegetarismus andererseits auch als klimapolitisches Instrument zu etablieren und zu propagieren, könnte global ein höherer Anteil an Vegetariern erreicht werden.

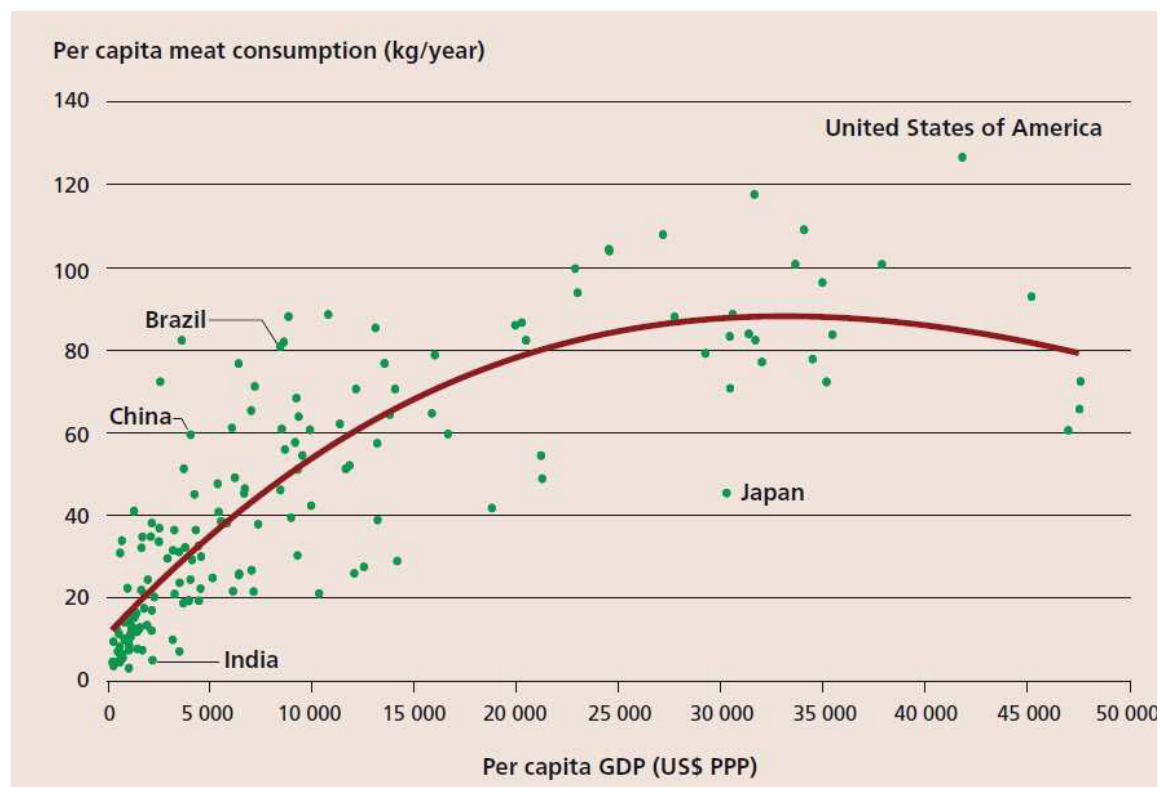


Abb. 1.1.5: Zusammenhang zwischen Fleischverzehr (kg/Jahr) und dem Bruttoinlandsprodukt (Gross Domestic Product, GDP), (FAO, 2009)

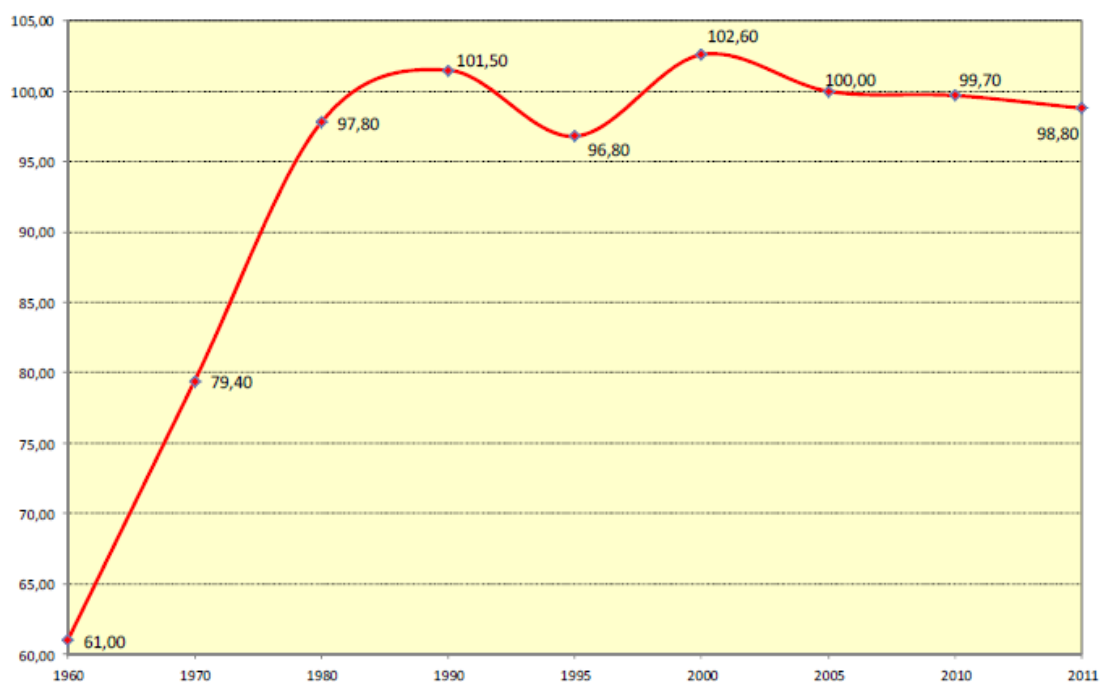


Abb. 1.1.6: Entwicklung des Fleischverbrauchs in Österreich pro Kopf/Jahr in kg (BMLFUW, 2012)

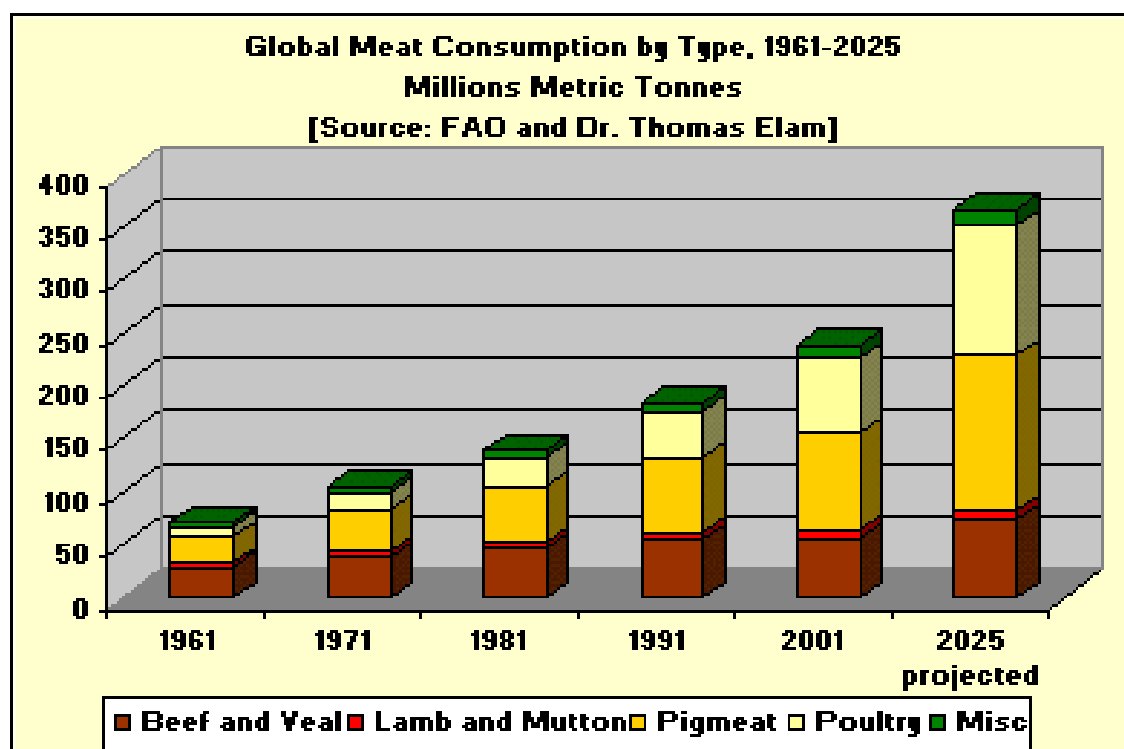


Abb. 1.1.7: Globaler Fleischkonsum, dargestellt nach Fleischarten von 1961 bis 2025 (prognostiziert) (Anonym, 2013 a)

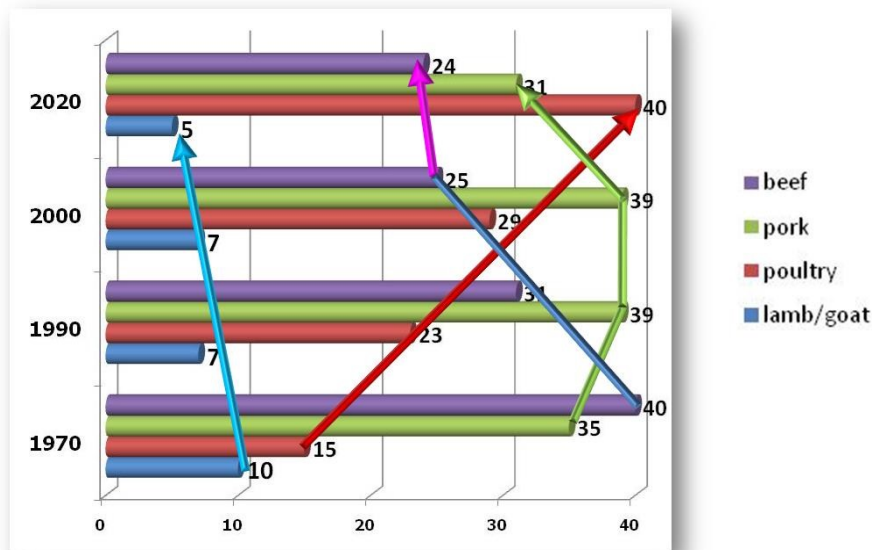


Abb. 1.1.8: Veränderungen beim globalen Fleischkonsum, innerhalb der einzelnen Fleischarten von 1961 bis 2025 (prognostiziert) (Anonym, 2013).

1.1.2. Ökologische Trends

1.1.2.1. Klimawandel

Die landwirtschaftliche Produktion von Nahrungsmitteln kann einerseits das Klima beeinflussen, sie ist aber andererseits auch selbst durch Klimaveränderungen betroffen. Zum ersteren Punkt wurde schon in Kap. 1.1.1.4. auf den klimarelevanten Einfluss der Produktion tierischer Lebensmittel hingewiesen.

Global gesehen, wird erwartet, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftlich nutzbaren Flächen weder mehr noch weniger Potential mit sich bringen wird. Das Szenario für 2071 – 2100 zeigt allerdings, dass sich die Situation für die Eignung von Agrarflächen in den Tropen verschlechtern und im Norden stark verbessern wird (Burger & Eder, 2014). Konkret bedeutet das für Österreich einen durchschnittlichen Produktionszuwachs in der Landwirtschaft von 190 Mill. € (2016-2045) bzw. 180 Mill. € (2036-2065) (Mitter et al., 2015). Dürreperioden mit derzeit noch unbekannten Eintrittswahrscheinlichkeiten könnten aber Ertragsverluste zwischen 2-7 % bringen. Profitieren würden von einem Produktionszuwachs viele Bereiche, weil Nahrungsmittel billiger werden (Mitter et al., 2015).

Der Klimawandel wird also sehr variable Auswirkungen auf die verschiedenen Regionen haben. Die tropischen und äquatorialen Gebiete werden die meisten Probleme bekommen. Schon jetzt sind diese Gegenden auch die Armutsregionen der Welt (Timmer, 2013). Wenn nun bedingt durch den Klimawandel noch Ertragseinbußen in der Landwirtschaft hinzukommen, wird dieses Problem sich weiter verschärfen. Deshalb müssen in Zukunft entsprechende Maßnahmen gesetzt werden, um die Ernährungssicherung in diesen Regionen zu garantieren. Das kann durch eine klimafreundliche Landwirtschaft und die Anpassung landwirtschaftlicher Praktiken geschehen (Graciano da Silva, 2014). Unter Letzterem ist auch die Züchtung von Sorten zu verstehen, die unter veränderten Klimabedingungen trotzdem entsprechende Erträge liefern, wie beispielsweise solche mit erhöhter Hitze- und Trockenheitstoleranz (Lobell et al., 2008; Semenov et al., 2014).

1.1.2.2. Verlust der landwirtschaftlichen Biodiversität

Wie in Kap. 1 angeführt, begann mit dem 3. Ernährungszeitalter auch ein erneuter Wandel in der Welternährung (*nutrition transition, transformation of diet*). Dieser Wandel wird durch die Globalisierung weiter intensiviert und ist durch folgende Tendenzen gekennzeichnet:

- **Verlust der landwirtschaftlichen Biodiversität**
- Dominanz von Weizen und Reis
- Zunehmender Verzehr kalorienreicher pflanzlicher Rohstoffe (Pflanzenöle und Zucker)
- Weltweite Zunahme des Fleischkonsums
- **Zunehmender Konsum von hochverarbeiteten Lebensmitteln (*processed food*) mit hohem Salz-, Zucker- und Fettgehalt**
- Konvergenz der Welternährung (*one world, one taste?*)

Biodiversität beziehungsweise biologische Vielfalt und Ernährungssicherung ($\Rightarrow$ *food security*) sind zwei Seiten derselben Medaille (Sunderland, 2011). Umso gravierender ist der dramatische Verlust der Biodiversität ($\Rightarrow$ genetische Erosion) im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Pflanzenarten in den letzten Jahrzehnten. In unserer heutigen Form der Ernährungsversorgung wird nämlich zunehmend die Vielfalt an genutzten Pflanzenarten durch eine Vielfalt an Lebensmitteln ersetzt, die aber aus immer weniger Rohstoffen gewonnen werden (Henry, 1997). Diese Entwicklung wurde erst durch die moderne Lebensmitteltechnologie ermöglicht.

Seit Beginn der Landwirtschaft vor etwa 10.000-12.000 Jahren wurden von der Menschheit ca. 7.000 Pflanzen und mehrere Tausend Tierarten domestiziert. Seit 1900 findet nun ein immer stärkerer Trend zur Nutzung immer weniger Rohstoffe statt. Nur 12 Nutzpflanzenarten und 14 Nutztierarten decken 98 % des weltweiten Nahrungsmittelbedarfs (Sunderland, 2011; Thrupp, 2000). Abb. 1.1.9 zeigt in schematischer Weise, wie drastisch diese genetische Erosion bei den Nutzpflanzen bereits fortgeschritten ist (Gruisemm & Frey, 2010).

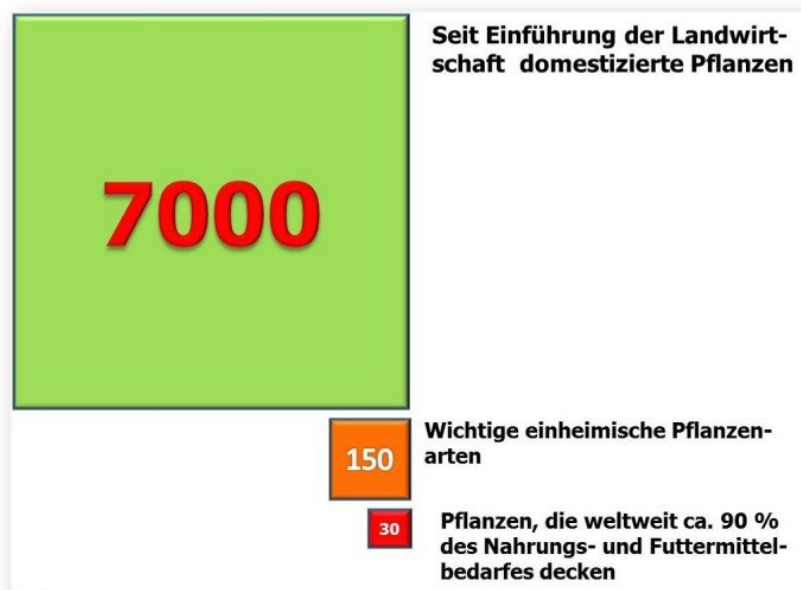


Abb. 1.1.9: Schematische Darstellung der genetischen Erosion im Bereich der Nahrungsmittelpflanzen (mod. nach Gruisemm & Frey, 2010).

Die scheinbare Vielfalt an Lebensmitteln in unseren Supermärkten täuscht über die Tatsache hinweg, dass diese aus immer weniger Rohstoffen erzeugt werden. Dazu kommt noch, dass diese Pflanzen, auf die sich die Menschheit fokussiert, vor allem Hochenergiepflanzen (Fett, Zucker, Stärke) sind (Hermann, 2009; Khoury et al. 2014, Tilman & Clark, 2014).

Abb. 1.1.10. zeigt beispielsweise den steilen Anstieg des Pflanzenölverbrauchs in den letzten zwei Jahrzehnten. Von den im Jahr 2013 produzierten 150 Millionen Tonnen an Pflanzenölen gehen über 80 % in die menschliche Ernährung. Aus dieser Graphik lässt sich auch deutlich erkennen, dass dieser Mehrverbrauch immer stärker durch nur vier Ölpflanzenarten abgedeckt wird. Diese vier Ölpflanzen machen bereits fast 90 % der Gesamtmenge aus. Wie drastisch diese Zunahme der Ölpflanzen auf Kosten regionaler Grundnahrungsmittel gegangen ist, zeigt Abb. 1.1.11.

Bei den Getreidearten decken Weizen, Reis und Mais ca. 90 % der Weltproduktion von ca. 2,4 Milliarden Tonnen ab. Sie tragen zu mehr als 50 % zur Nahrungsenergieversorgung der Menschheit bei.

Weltweit wurden im Wirtschaftsjahr 2011/12 ca. 177 Millionen Zucker (Saccharose) produziert, die fast ausschließlich in den menschlichen Konsum gehen. Diese Menge wird aus nur zwei Pflanzenarten, nämlich Zuckerrübe und Zuckerrohr, erzeugt. Abb. 1.1.12 zeigt, dass die Produktionsmenge stetig ansteigt, wobei dieser Anstieg überwiegend auf die Erhöhung des Rohrzuckeranteiles zurückzuführen ist, während die Rübenzuckerproduktion stagniert, beziehungsweise noch weiter zurückgehen wird.

Es ist zu erwarten, dass dieser Trend zur Einschränkung der Rohstoffvielfalt, weiter fortschreiten wird. Entstehende Gegentrends (z.B. Regionalisierung, Nutzung alter Pflanzenarten) werden nur marginale, regionale Bedeutung erlangen.

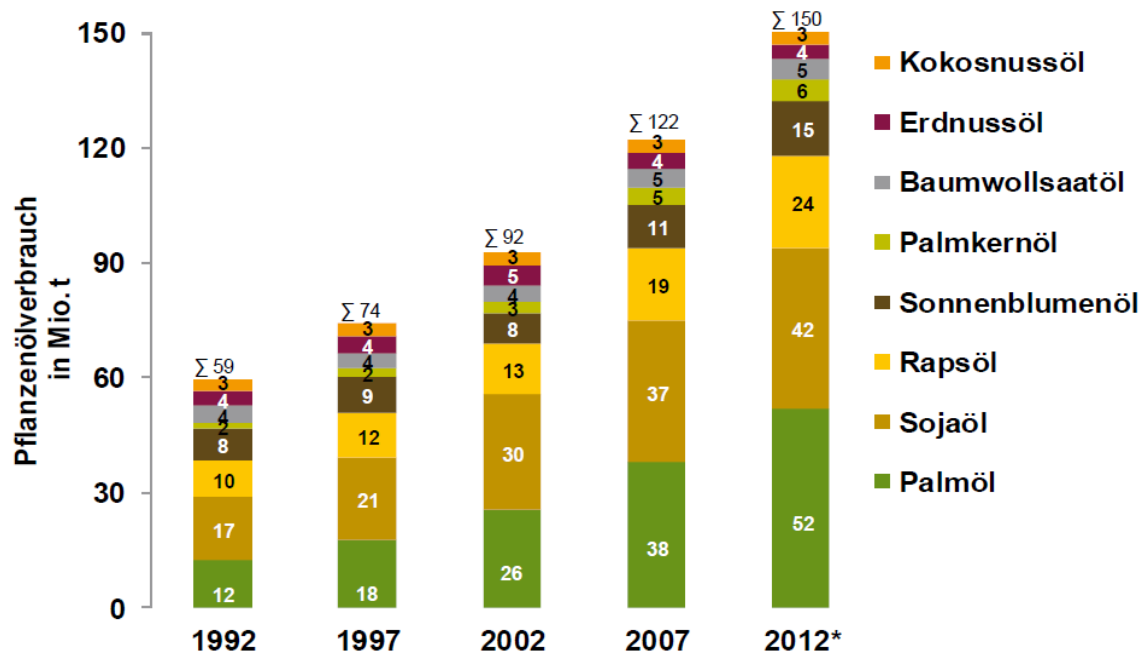


Abb. 1.1.10: Veränderung des Verbrauchs von Pflanzenölen in den letzten zwei Jahrzehnten (OVID, 2013)

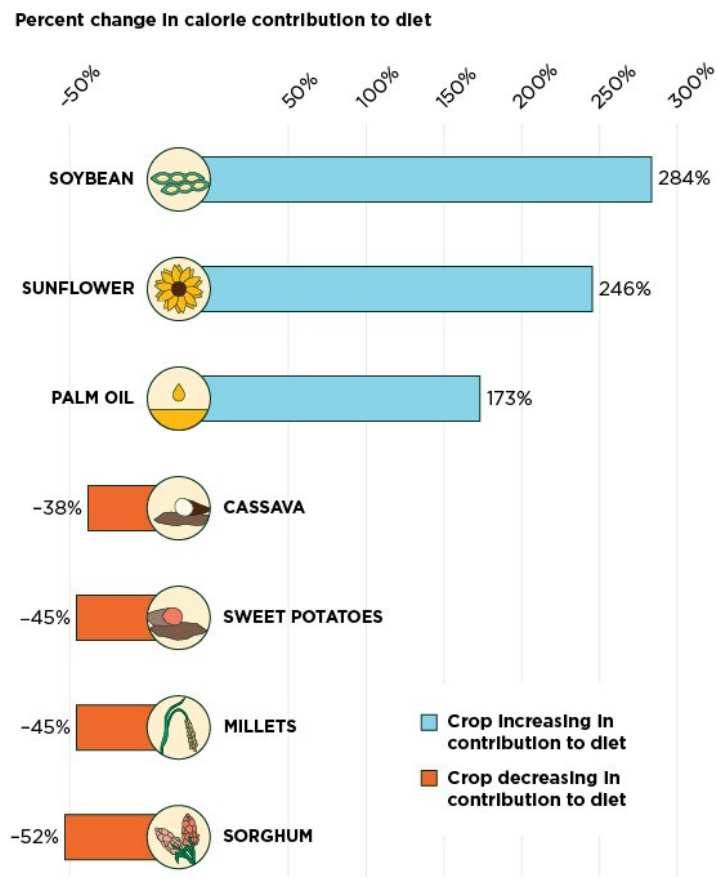


Abb. 1.1.11: Durchschnittliche Veränderung (%) des Kalorienbeitrages von Nutzpflanzen zur globalen Ernährung in den letzten 50 Jahren (nach Khoury et al., 2014)

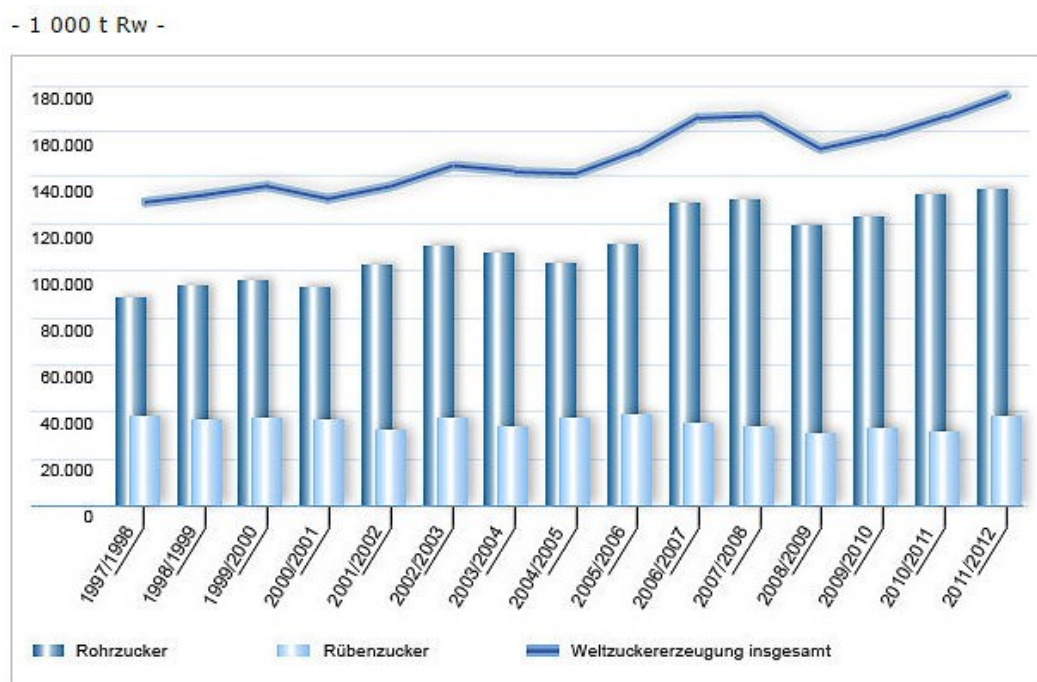


Abb. 1.1.12: Weltzuckerproduktion (Südzucker, 2012)

1.1.3. Ökonomische Trends

1.1.3.1. Ökonomische Globalisierung

Die Globalisierung betrifft heute viele Bereiche. Es ist daher zu unterscheiden zwischen der kulturellen und sozialen Globalisierung (z.B. Entstehung einer Weltküche), der institutionellen Globalisierung (z.B. Dominanz von internationalen Organisationen, wie WTO, World Bank, FAO, Codex Alimentarius) und der ökonomischen Globalisierung [z.B. Entstehung immer größeren, transnationalen Firmen (☞ Multis)].

In diesem Kapitel geht es vor allem um die ökonomische Globalisierung, welche von der OECD folgendermaßen definiert wird (OECD, 2002):

The term globalisation is generally used to describe an increasing internationalisation of markets for goods and services, the means of production, financial systems, competition, corporations, technology and industries.

Alle genannten Globalisierungsbereiche können sich gegenseitig beeinflussen oder voneinander abhängig sein. In der Lebensmittelversorgungskette (Züchtung - agrarische Primärproduktion - Agrarhandel - Lebensmittelproduktion - Lebensmittel-Groß- und -Einzelhandel, Gastronomie) ist Letzteres der Fall. Alle Glieder der Kette sind von allen Arten der Globalisierung in mehr oder weniger großem Ausmaß betroffen.

So wie jede neue Entwicklung oder Veränderung ergibt auch die Globalisierung nicht nur eine *win-win*-Situation, sondern es existieren Vor- und Nachteile (*threats and opportunities*), und daher gibt es Gewinner und Verlierer.

Insbesondere ist zu hinterfragen, wie sich die Globalisierungstendenzen auf die Lebensmittelsicherung und die Lebensmittelqualität in den einzelnen Ländern auswirken. Während man früher bestrebt war die Lebensmittelsicherung (☞ *food security*) für die Bevölkerung durch Selbstversorgung (☞ *self-subsistence*) innerhalb eines Landes oder einer Staatengemeinschaft zu erreichen, herrscht im Zeitalter der Globalisierung oft der Standpunkt vor, dass sich Länder auf das spezialisieren sollen, was sie am besten können und dann andere Länder damit mitzuversorgen. Durch diese globale Arbeitsteilung ergeben sich aber in Zukunft große Probleme, wie z.B. die Entstehung von riesigen Monokulturen, eine Einschränkung bei der Biodiversität der Lebensmittelrohstoffe, steigendes Transportaufkommen (☞ *food kilometers*) und damit verbunden negative Umwelteinflüsse (z.B. CO₂-Emission).

Der wichtigste Aspekt der Lebensmittelqualität ist die Lebensmittelsicherheit (☞ *food safety*). Auch hier ist zu überlegen, ob diese durch die Globalisierung verbessert oder verschlechtert wird. Genauso trifft das auf die ernährungsphysiologische und sensorische Qualität der Lebensmittel zu.

Jedenfalls wird durch die Globalisierung eine Tendenz verstärkt, die es schon lange weltweit gibt; nämlich die Tendenz, dass die Konsumenten mehr und mehr zu Käufern von Fertigprodukten (*processed foods*) werden. Wie bereits in Kap. 1 angeführt, sind wir nämlich mit Beginn der Industrialisierung nach den Jagd- und Sammlergesellschaften und den Ackerbau- und Viehzüchtereinkulturen in ein drittes Ernährungszeitalter eingetreten; in das industrielle bzw. Convenience Food-Zeitalter. Damit verbunden ist weltweit eine völlig neue Struktur der Ernährung zu beobachten. Während früher stärkereiche Grundnahrungsmittel die Ernährung dominierten, ist nun ein weltweiter Trend hin zum höheren Verzehr von pflanzlichen Ölen, kalorienreichen Süßungsmitteln und tierischen Lebensmitteln zu beobachten.

Die Globalisierung findet in allen Stufen bzw. Gliedern der Lebensmittelversorgungskette statt. Abb. 1.1.13 zeigt eine schematische Darstellung der Lebensmittelversorgungskette, wie sich diese im Industriezeitalter manifestiert. Genau betrachtet ist es eigentlich keine Kette, sondern ein dreidimensionaler Raum, weil sich alle Kettenglieder gegenseitig beeinflussen und mehr und mehr überschneiden.

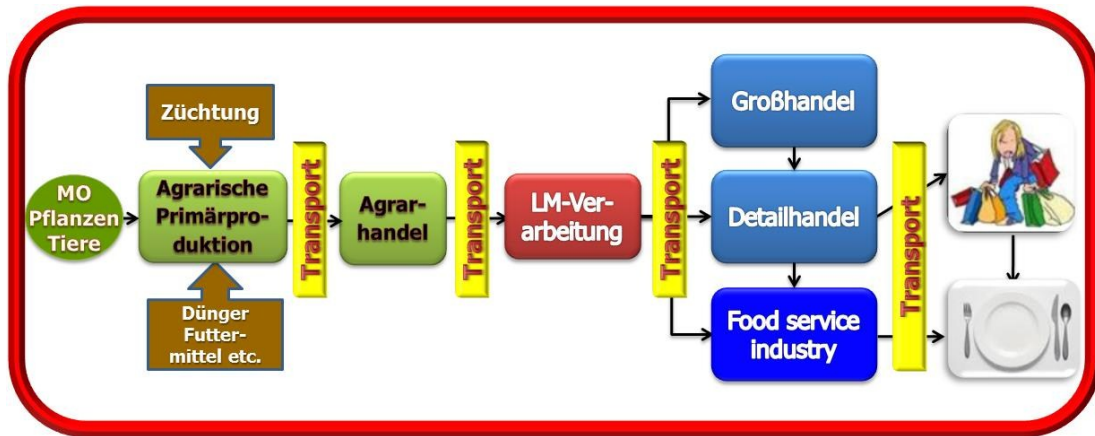


Abb. 1.1.13: Schematische Darstellung der Lebensmittelversorgungskette (*food supply chain*)

In allen drei Kettengliedern (Primärproduktion – Lebensmittelverarbeitung – Lebensmittelhandel) findet durch die Globalisierung eine immer stärkere Marktkonzentration statt.

Im Jahr 2008 deckten beispielsweise drei Saatgutfirmen über 35 % des Weltmarktes ab, die zehn größten mehr als 50 %. Im Bereich des globalen Pestizidmarktes hatten im Jahr 2010 die zehn größten Firmen einen Marktanteil von ca. 82 % (Mulle & Ruppaner, 2010). Der Marktanteil der fünf größten Hersteller von Agrarchemikalien betrug im Jahr 2002 schon 77 %. In allen drei angeführten Bereichen sind größtenteils dieselben Firmen tätig (Bayer, Monsanto, Syngenta, Dow Chemical).

Der Agrarrohstoffhandel wird durch vier internationale Konzerne dominiert, der sogenannten ABCD-Gruppe:

- Archer Daniels Midland (ADM) (USA)
- Bunge (USA)
- Cargill (USA)
- Lois Dreyfus (CH)

Sie agieren diskret, aber global im Hintergrund. 2003 wickelten sie z.B. 73 % des weltweiten Getreidehandels ab; 2012 bereits ca. 90 % (DLG, 2014).

Im Kettenglied der Lebensmittelproduktion ist der Konzentrationsgrad global gesehen im Vergleich zur Primärproduktion gar noch nicht so hoch. Die zehn größten Lebensmittelkonzerne hatten 2010 zusammen einen Marktanteil von "nur" 28 % (Mulle & Ruppaner, 2010). Wenn aber ausschließlich das Segment der sogenannten "*processed food*" beziehungsweise der Convenience Food betrachtet wird, ergibt sich schon ein ganz anderes Bild. Abb. 1.1.14 zeigt die Marktanteile der vier größten Lebensmittelkonzerne in einzelnen Produktbereichen. Bei den ersten drei Kategorien lag hier der Marktanteil im Jahr 2006 bereits bei 50 % und darüber (vander Stichle & vanderWal, 2006).

Noch weit größer als im Bereich der Lebensmittelproduktion ist die Konzentrationstendenz im Lebensmitteleinzelhandel. Das geht aus dem Vergleich der jeweils fünf größten Konzerne hervor (Tab. 1.1.1). Im Lebensmitteleinzelhandel kommt noch hinzu, dass vor allem innerhalb der einzel-

nen Länder eine immer stärkere Konzentration auf Lebensmittelhandelsketten zu Lasten kleiner Händler erfolgt. Leider nimmt Österreich hier eine eher nachteilige Spitzenposition ein, nicht nur in Europa sondern weltweit, wie Abb. 1.1.15 belegt. Die TOP 3 Lebensmittelhandelskonzerne haben in Österreich einen Marktanteil von 86 %!

Die Globalisierung in der Lebensmittelversorgungskette wird in Zukunft noch weiter durch eine mehr und mehr zu beobachtende Tatsache verstärkt werden, die als sogenanntes *“food chain clustering”* bezeichnet wird. Dabei kommt es zur Allianzen beziehungsweise Kooperation zwischen Firmen aus verschiedenen Gliedern der Lebensmittelversorgungskette. Als Beispiel sei hier die enge Allianz der Fa. Monsanto, eine der größten Saatzuchtfirmen vor allem im Bereich der gentechnisch veränderten Pflanzen, und der Fa. Cargill als Anwender von GVO genannt.

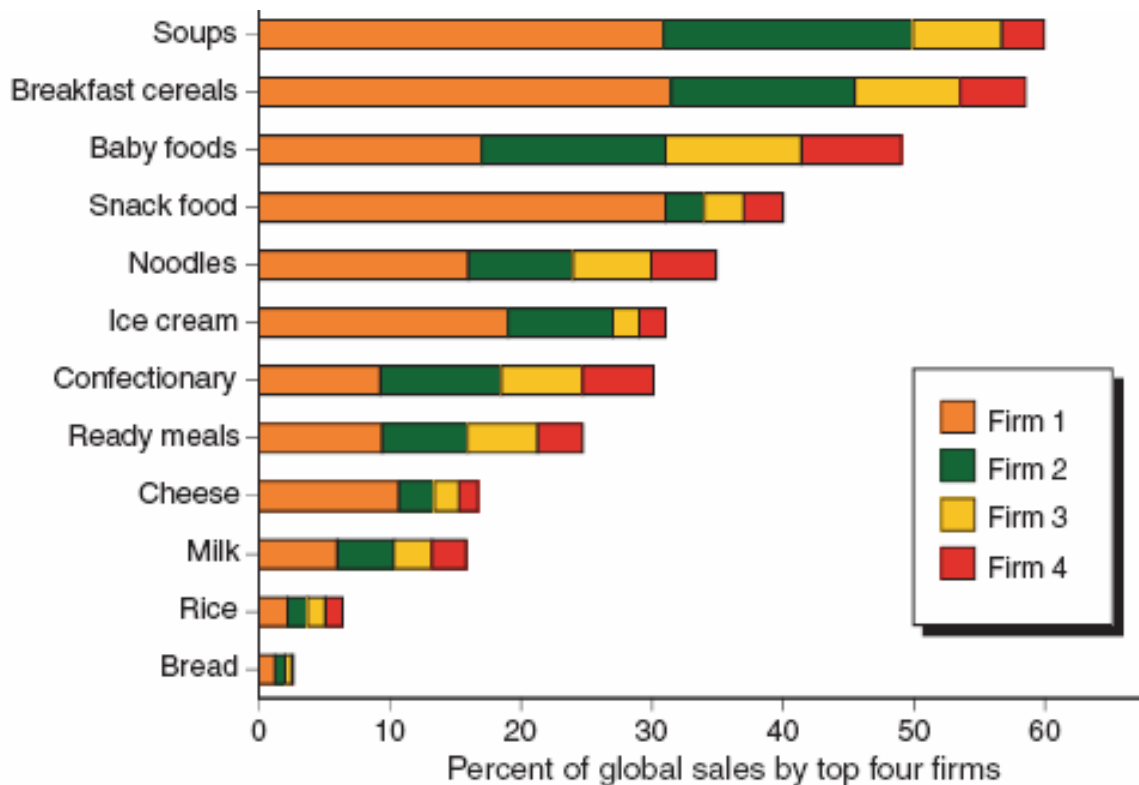


Abb. 1.1.14: Marktanteile der vier größten Lebensmittelkonzerne in einzelnen Produktbereichen (vander Stichle & vanderWal, 2006).

Tab. 1.1.1: Die weltweit fünf größten Lebensmittelproduzenten und Lebensmitteleinzelhändler

Rang	Lebensmitteleinzelhändler ¹⁾			Lebensmittelproduzenten		
	Firma/Ursprungsland	Umsatz (Milliarden Dollar)	Geschäftsjahr	Firma/Ursprungsland	Umsatz (Milliarden Dollar)	Geschäftsjahr
1	Wal-Mart/USA	476,29	2013	Cargill/USA	134,00	2014
2	Costco Wholesale Corporation/USA	105,16	2013	Nestle/CH	99,70	2010
3	Carrefour/Frankreich	98,67	2013	Pepsico Inc./USA	65,49	2012
4	Scharz Unternehmens Treuhand KG /Deutschland	98,66	2013	Mondelez Int. Inc./USA	35,30	2012
5	TESCO/UK	98,63	2013	Tyson Foods/USA	33,30	2012

¹⁾ <http://www2.deloitte.com/de/de/pages/presse/contents/Top-10-der-globalen-Einzelhaendler.html>

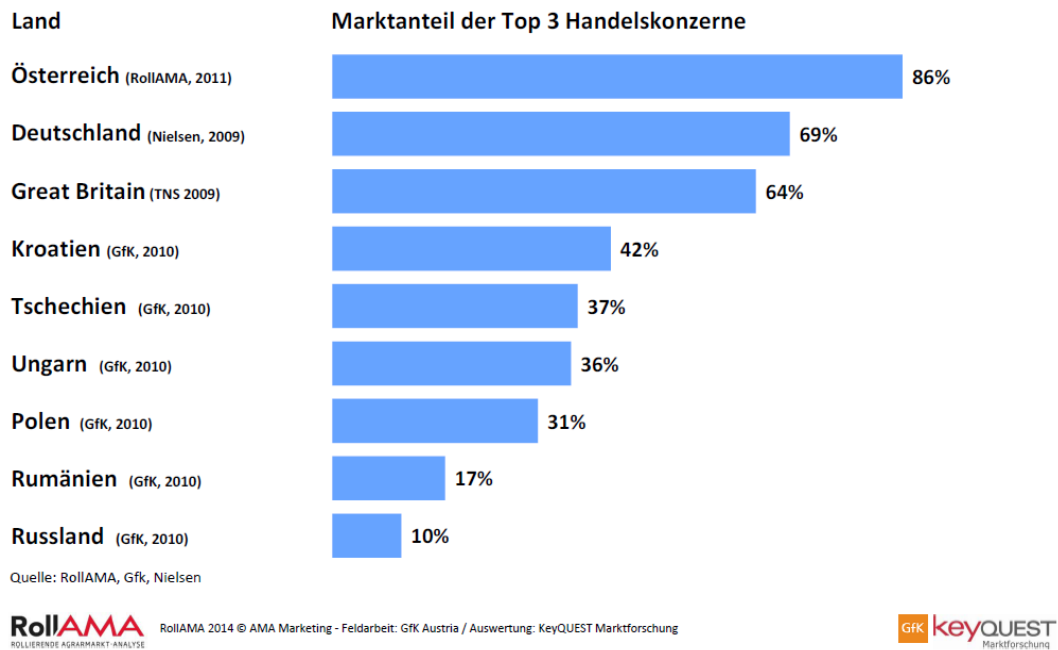


Abb. 1.1.15: Konzentration im Lebensmitteleinzelhandel in Europa (Mayr, 2014)

1.1.3.2. Regionalisierung

Jeder Trend erzeugt auch einen Gegentrend. Daher werden zu jedem Mega-Trend in Zukunft auch entsprechende Gegentrends entstehen. Auf dem Gebiet der Lebensmittelversorgung sind das beispielsweise Folgende:

Globalisierung ⇔ Regionalisierung

Fast Food bzw. Convenience Food ⇔ Slow Food

Industrielle hergestellte Lebensmittel ⇔ Handwerklich erzeugte Lebensmittel (*craft food*)

Der Gegentrend wird in den meisten Fällen eher marginale Größenordnungen erreichen. Deshalb bleibt auch abzuwarten, ob die in einer Umfrage in Österreich erhobene Aussage, dass in Zukunft regionale Lebensmittel große Bedeutung erlangen werden (Abb. 1.1.16), auch wirklich eintrifft.

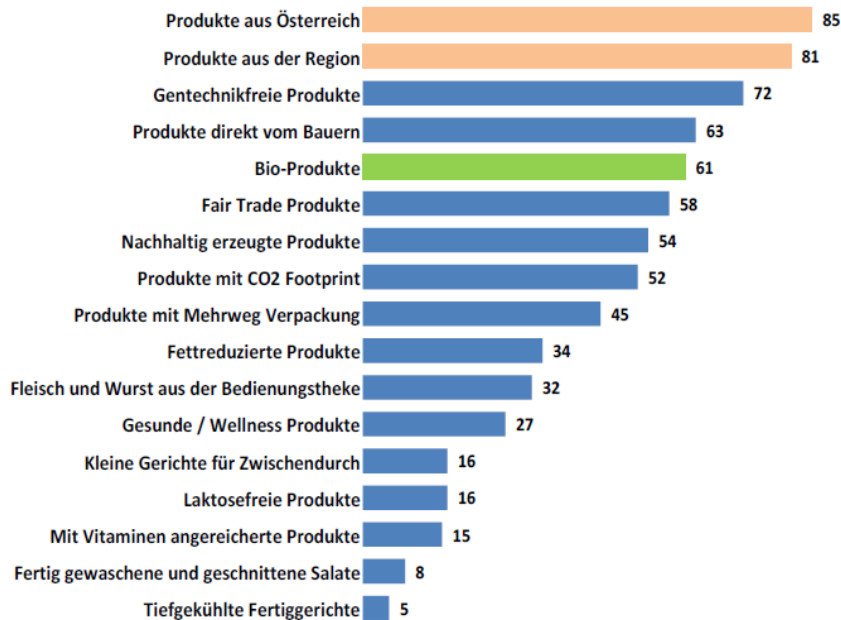
In diesem Zusammenhang ist die Agrarstatistik interessant. Österreich hat im Jahr 2013 zwar Agrarprodukte im Wert von 10,3 Milliarden Euro importiert, aber gleichzeitig solche im Wert von 9,5 Milliarden exportiert. Bedeutet Regionalisierung also, dass Österreich weniger Lebensmittel einführen, aber auch fairerweise auch weniger exportieren sollte? Wenn alle Länder so handeln würden, hätte das in letzter Konsequenz weltweit einen völligen Stopp von Lebensmittelimporten und -exporten zur Folge. Ein völlig unrealistisches Szenario, weshalb der Trend zur Regionalisierung zwar in manchen Bereichen durchaus sinnvoll sein kann, aber in überschaubaren Rahmen bleiben wird.

Zu hinterfragen beziehungsweise zu definieren wäre auch, was unter "Region" verstanden wird; eine Region innerhalb eines Bundeslandes, ein Bundesland, Österreich oder Europa?

Ein möglicher Kompromiss zwischen Globalisierung und Regionalisierung wäre, dass Lebensmittel, die über die Ursprungsregion hinaus überregionale Akzeptanz erhalten haben, auch überregional

verkauft werden. Ihre Herstellung erfolgt aber nach traditionellen, kleinstrukturierten Methoden lokal (Quaye et al., 2010). Aus „*globalization versus localization*“ entstehen dann die neuen Begriffe „*glocalization*“ und „*glocal food*“.

Frage: Welche Produkte werden in Zukunft an Bedeutung gewinnen, gleich bleiben oder an Bedeutung verlieren?



Quelle: KeyQUEST, März 2011, Telefonbefragung öst. Haushaltsführer n = 500, Teil der E-MTU, Angaben in %-Werte Antwort „gewinnen“

Abb. 1.1.16: Zukünftige Bedeutung von Lebensmittelgruppen (Mayr, 2014)

1.1.4. Technologie-Trends

1.1.4.1. Industrie 4.0

Der Begriff **Industrie 4.0** wurde 2011 in Deutschland kreiert und anlässlich der Hannover Messe vorgestellt (Anonym, 2013 b). Dabei wird die industrielle Entwicklung in vier Abschnitte beziehungsweise Stufen gegliedert (Abb. 1.1.17).

Die industrielle Revolution begann Ende des 18. Jahrhunderts mit der Einführung mechanischer Produktionsanlagen (z.B. Webstühle) die mittels Wasserkraft oder Dampf betrieben wurden (Industrie 1.0). Die Warenfertigung konnte damit entscheidend revolutioniert werden (Kagermann et al., 2013).

Die nächste Phase war die Einführung arbeitsteiliger Massenproduktion (Fließbandarbeit) mithilfe elektrischer Energie zu Beginn des 20. Jahrhunderts (Industrie 2.0) (Kagermann et al., 2013). Henry Ford führte als erstes die Fließbandfertigung in der Automobilindustrie ein, wobei er sich aber von der bereits existierenden, arbeitsteiligen Schweinezerlegung auf Fließbändern und Fördereinrichtungen in den Schlachthöfen Amerikas inspirieren ließ. Letztere ist in Cincinnati schon seit 1970 belegt (Anonym, 2014 b).

Die dritte Stufe, Industrie 3.0, begann mit der Automatisierung durch Elektronik und Informationstechnologie (IT) zu Beginn der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts und dauert bis heute an. Ein signifikanter Teil der "Handarbeit", sowie ein Teil der "Kopfarbeit" wird mehr und mehr von Maschinen bzw. Robotern übernommen (Kagermann, 2013).

Gegenwärtig treten wir nun in die 4. Phase der industriellen Revolution ein (Industrie 4.0). Diese Phase wird geprägt durch sogenannte **Cyber-Physische Systeme (CPS)**. Darunter sind Systeme zu verstehen, die aus intelligenten Objekten (z.B. Rohstoffe, Zwischenprodukte, Endprodukte, Maschinen) bestehen, die via Internet miteinander vernetzt sind, sich selbstständig steuern und interaktiv miteinander kommunizieren. Ein solcher Verbund benötigt keine zentrale Steuerung mehr.

Am besten beschrieben wird die Industrie 4.0 mit dem Begriff „**Internet der Dinge und Dienste**“. Sie führt im Endeffekt zur **Smart Factory**, die gekennzeichnet ist durch Flexibilität, Ressourceneffizienz, Ergonomie und die Möglichkeit für Kunden, Produktionsprozesse mitzubestimmen. Durch die Einführung des neuen Internetprotokolls im Jahr 2012 stehen ausreichend Adressen für die flächendeckende, unmittelbare Vernetzung von intelligenten Gegenständen per Internet zur Verfügung. Somit wird erstmals eine Vernetzung von Ressourcen, Informationen, Objekten und Menschen möglich (Kagermann, 2013). Zum Internet der Dinge zählen beispielsweise schon jetzt intelligente Stromnetze (*smart grid*).

Für Unternehmen entstehen damit Chancen, nicht nur kosteneffizienter zu produzieren, sondern auch immer komplexere Herstellungsprozesse flexibel und individualisiert zu steuern.

Derzeit lässt sich nur schwer voraussehen, wie Industrie 4.0 die (industrielle) Lebensmittelproduktion beeinflussen wird und welche Entwicklungen zu erwarten sind. Gerade dieser Industriezweig wird aber durch Industrie 4.0 sicher sehr intensiv beeinflusst werden. Becker (2014) führt folgendes Szenario an: Der Wunsch nach individualisierter Ernährung steigt. Durch Industrie 4.0 sind automatisierte Produktionsansätze möglich, die bis zur Losgröße 1 gehen. Der Verbraucher tritt vor der Herstellung direkt mit dem Produzenten in Kontakt, die Produktion verläuft entsprechend seinen Wünschen und die Zustellung erfolgt direkt an den Endkunden, ohne zusätzliche Handelsstufen oder Lagervorgänge dazwischen zu schalten. Ansätze in dieser Richtung sind durchaus schon im Internethandel zu finden (z.B. www.memarmelade.de; www.mymuesli.com).

Die Lebensmittelhersteller hätten mit solchen Systemen die Möglichkeit, direkt mit den Konsumentinnen und Konsumenten unter Ausschaltung des Handels in Kontakt zu treten. Es ist nicht anzunehmen, dass der gesamte Lebensmitteleinkauf in Zukunft allein auf diesem Weg abgewickelt werden wird. Ein mehr oder weniger großer Anteil kann es aber durchaus werden. Die Antwort des Lebensmitteleinzelhandels könnte sein, dass er noch mehr in die Lebensmittelproduktion hinein drängt. Auch jetzt haben schon viele Supermarktketten eigene Produktionsbetriebe. Die beiden Glieder in der Lebensmittelkette „Lebensmittelproduktion“ und „Lebensmittelhandel“ werden zunehmend miteinander verschmelzen.

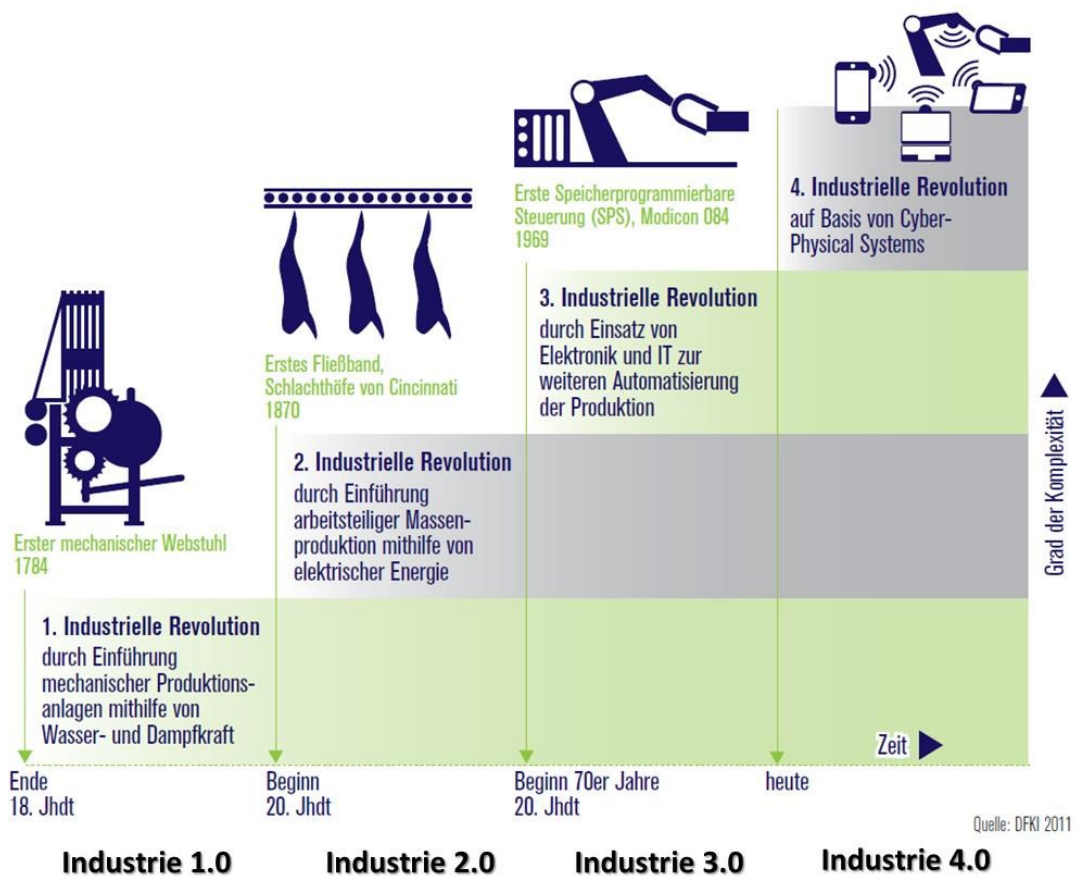


Abb. 1.1.17: Die vier Stufen der industriellen Entwicklung (Kagermann, 2013)

1.1.4.2. Sonstige technologische Trends

Alle anderen technologischen Trends im Bereich der Lebensmittelbe- und -verarbeitung werden detailliert im Teil 4 abgehandelt.

2. Literatur zu Teil 1

- Anonym (2013 a): Global trends in meat consumption. (<http://world-ostrich.org/category/ostrich-markets>. Newsletter No. 40 - July 2006 Item 1 & 2
- Anonym (2013 b): Industrie 4.0 – Ausblick für die Lebensmittelindustrie. AFT Quarterly 4, 1-4
- Anonym (2014 a): Neun Prozent essen kein Fleisch. Große Vielfalt an Tisch und Teller. (<http://orf.at/stories/2254112/2254203>, publiziert am 19.11.2014)
- Anonym (2014 b): Technik, Trends und freier Handel. DLG-Lebensmitteltage an der Hochschule Fulda. LVT Lebensmittel, 11, 50-51
- Anonym (2015 a): 100 Millionen Euro Umsatz beim Verkauf vegetarischer Fleischalternativen erwartet (<https://www.vebu.de/presse/pressemitteilungen/2267-vebu-pm-halbjahres-umsatz-vegetarische-fleischalternativen>; Zugriff 26.1.2015)
- Anonym (2015 b): Umsatz im Lebensmitteleinzelhandel in Deutschland in den Jahren 1998 bis 2013 (<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/161986/umfrage/umsatz-im-lebensmittelhandel-seit-1998/>; Zugriff 26.1.2015)
- Anonym (2015 c): Umsatz der Ernährungsindustrie in Deutschland nach Segmenten in den Jahren 2008 bis 2013 (<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/38275/umfrage/umsatz-wichtiger-zweige-des-ernaehrungsgewerbes-seit-2008/>; Zugriff 26.1.2015)
- Anonym (2015 d): Studie: Vegetarisches im Trend. DLG-Lebensmittel 10,44-46
- Becker T. (2014): Industrie 4.0 – Herausforderungen für die Getreidetechnologie. Vortrag DLG Lebensmitteltage, Forum 2: Innovation – Technologie „Lebensmittelindustrie 4.0“. 24.9.2014, Fulda
- Berna F., Goldberg P., Horwitz L.K., Brink J., Holtd S., Bamford M. and Chazang M. (2012): Microstratigraphic evidence of *in situ* fire in the Acheulean strata of Wonderwerk Cave, Northern Cape province, South Africa. Proc. of the National Academy of Science 109, E1215-E1220.
- Bethge P. (2007): Ich koche, also bin ich. Der Spiegel Nr. 52/2007
- BMLFUW (BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2012): Vieh- und Fleischwirtschaft 2012, Teil 2. Erste Auflage, August 2012
- Burger H.-G. und Eder K. (2014): Intensivierung und Ökologisierung? In: Weltagrarhandel. Wer profitiert? Wer verliert? Tagungsband der DLG-Wintertagung 2014 vom 13.-15. Jänner 2014 in München
- DLG (2014): Weltagrarhandel – Wer profitiert? Wer verliert? Archiv der Dt. Landwirtschaftsgesellschaft (DLG), Bd. 108, DLG-Verlag Frankfurt
- Drewnowski A. (1997): Why do we like fat? J. Am. Diet. Ass. 7, 58-62
- FAO (2009): The State of Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2009, ISSN 0081-4539
- Gerland P., Raftery A.E., Ševčíková H., Li N., Gu D., Spoorenberg T., Alkema L., Fosdick B.K., Chunn J., Lalic N., Bay G., Buettner T., Heilig G.K. and Wilmoth J. (2014): World population stabilization unlikely this century. Science 346, 234-237
- Gottschalk-Mazouz N. (2011): Philosophische Aspekte der Diskussion um Übergewicht und Adipositas als systemische Risiken. In: Zwick M, Deuschle J & Renn O (2011): Übergewicht und Adipositas bei Kindern und Jugendlichen. VB Verlag für Sozialwissenschaften/Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 21-30
- Graciano da Silva J. (2014): New approaches to food systems needed to cope with climate change. (www.fao.org/news/story/en/item/247782/icode/, Zugriff 28.01.2015)
- Gruissem W. und Bättig-Frey P. (2010): Magere Zeiten – Die Herausforderungen der modernen Landwirtschaft. Nova Acta Leopoldina NF 108, Nr. 374, 89-110
- Hagen T. (2014): Wie viele Vegetarier gibt es auf der Welt? Wie wird sich deren Zahl entwickeln? (<http://evidenzbasierte-wirtschaftspolitik.blogspot.co.at/2014/02>, Zugriff 26.09.2014)

- Henry C.J.K. (1997): New food processing technologies: From foraging to farming to food technology. *Proc. Nutrition Society* 56, 855-863
- Hermann M. (2009): The impact of the European novel food regulation on trade and food innovation based on traditional plant foods from developing countries. *Food Policy* 34, 499-507
- Jalava M., Kumm M., Porkka M., Siebert S. and Varis O. (2014) Diet change – a solution to reduce water use? *Environmental Research Letters* 9, 1-14
- Kagermann H., Wahlster W. und Helbig J. (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., April 2013
- Khoury C.K., Bjorkman A.D., Demoewolf H., Ramirez-Villegas J., Guarino L., Jarvis A., Rieseberg L.H. and Struill P.C. (2014): Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *PNAS* 111, 4001-4006
- Leahy E., Lyons S. and Tol R.S.J. (2010): An estimate of the number of vegetarians in the world. *ESRI working paper*, No. 340
- Lobell D.B., Burke M.B., Tebaldi C., Mastrandrea M.D., Falcon W.P. and Naylor R.L. (2008): Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2020. *Science* 319, 607-610
- Lowe C.J., Hall A. and Staines W.R. (2014): The effects of continuous theta burst stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex on executive function, food cravings, and snack food consumption. *Psychosomatic Medicine* 76, 503-511
- Matuschke I. und Kohler S. (2014): Urbanisierung und Ernährungssicherung. In: Mucke et al. (2014): *Welt-Risiko-Bericht 2014*. Hrsg. Bündnis Entwicklung Hilft, Kap. 2., 30-34
- Mayr J. (2014): Die Megatrends aus der RollAMA. Vortrag Tagung 20 Jahre RollAMA. 5.3.2014 Salzburg
- Mitter H. et al. (2015): Auswirkungen des Klimawandels auf die pflanzliche Produktion in Österreich. In: Steiniger et al. (2015): *Economic Evaluation of Climate Change Impacts: Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria*. Springer Verlag
- Monsivais P. and Drewnowski A. (2007): The Rising Cost of Low-Energy-Density Foods. *J Am. Diet. Assoc.* 107, 2071-2076.
- Mucke P. (2014): Urbanisierung – Trends und Risikobewertung. In: Mucke et al. (2014): *Welt-Risiko-Bericht 2014*. Hrsg. Bündnis Entwicklung Hilft, Kap. 1, 5-10
- Mulle E.D. and Ruppen V. (2010): Exploring the global food supply chain markets, companies systems. Companion Publications to *Seeds of Hunger*, Backgrounder No. 2 in the THREAD series, May 2010
- OECD (2002): *Manual on Statistics of International Trade in Services*, Eurostat, IMF, OECD, UN, UNCTAD, WTO, 2002 – Annex II, Glossary
- OVID (Verband der Ölsaaten verarbeitenden Industrie in Deutschland) (2013): Verbrauch Pflanzenöle weltweit 1992-2012 (<http://www.ovid-verband.de/index.php?id=318> , Zugriff 30.1.2015)
- Pichler T. (2009): Zusammenhang zwischen Adipositas und dem Kaloriengehalt von Lebensmitteln. *Bakalaureatsarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien* (2009)
- Pluhar E. (1988): When is it morally acceptable to kill animals. *J. Agric. Ethics* 1, 211-224
- Pollan M. (2011): *Das Omnivoren-Dilemma. Wie sich die Industrie der Lebensmittel bemächtigte und warum Essen so kompliziert wurde*. Goldmann, München, ISBN 978-3-442-21933-9
- Popp A., Lotze-Campen H. and Bodirsky B. (2010): Food consumption, diet shifts and associated non-CO2 greenhouse gases from agricultural production. *Global Environmental Change* 20, 451-462
- Quaye W., Joost J., Essegbey G. and Ruivenkamp G. (2010): Globalization vs. localization: Global food challenges and local solutions. *Int. J. Consumer Studies* 34, 357-366
- Rozin P. (1976): The selection of food by rats, humans and other animals. In: Rosenblatt J.S. et al.: *Advances in the studies of behaviour*. Academic Press, London - New York.

- Ruby M.B. (2012): Vegetarianism. A blossoming field of study. *Appetite* 58, 141-150
- Semenov M.A., Stratonovitch P, Alghabari F. and Gooding M.J. (2014): Adapting wheat in Europe for climate change. *J. Cer. Sci.* 59, 245-256
- STATISTA (2015): Anteil der Erwachsenen mit Fettleibigkeit in ausgewählten OECD-Ländern im Zeitraum der Jahre 1990 bis 2012 (<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/153908/umfrage/fettleibigkeit-unter-erwachsenen-in-oecd-laendern/>; Zugriff 15.01.2015)
- Südzucker (2015): Weltzuckerproduktion (<http://www.suedzucker.de/de/Zucker/Zahlen-zum-Zucker/Welt/>, Zugriff 30.1.2015)
- Sunderland T.C.H. (2011): Food security: Why is biodiversity important? *Int. Forestry Review* 13, 265-274
- Tilman D. and Clark M. (2014): Global diet link environmental sustainability and human health. *Nature* 515, 518-522
- Timmer, C.P. (2013): Coping with climate change: A food policy approach. Paper prepared for Presentation at the 57th AARES Annual Conference, Sydney, 5th-8th February, 2013
- Thrupp L.A. (2000): Linking biodiversity and food security: The valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. *Int. Affairs* 76, 265-281
- Trainor P. (2010): Aging: A global phenomenon. *SCOR Papers* No.9, 1-8
- Vander Stichle M. and vander Wal S. (2006): The profit behind your plate: Critical issues in the processed food industry. SOMO – Centre for Research on Multinational Corporations, Amsterdam
- Wrangham R. (2009): Feuer fangen. Wie uns das Kochen zum Menschen machte – eine neue Theorie der menschlichen Evolution. Dt. Verlagsanstalt, ISBN 978-3-421-04399-3

Teil 2

Entwicklungen im Bereich von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen; und bei Stoffen und Maßnahmen, um diese zu ersetzen.

1. Zusatzstoffe

1.1. Einleitung

Der vorliegende Teil 2 dieses Berichtes ist als Weiterführung der 2010 vom BMG heraus gegebenen FIAP-Broschüre „Zusatzstoffe, Aromen und Enzyme in der Lebensmittelindustrie“ (Berghofer, 2010) anzusehen. Es werden die seit 2010 stattgefunden rechtlichen und technischen Entwicklungen behandelt und diskutiert.

Nicht alles, was in dieser Studie an zukünftigen Möglichkeiten im Bereich der Zusatzstoffe beschrieben wird, muss auch wirklich eintreffen bzw. umgesetzt werden. Rechtliche Gründe, Sicherheitsaspekte, Akzeptanzgründe seitens der Konsumentinnen und Konsumenten, ethische, ökonomische und ökologische Gründe können dagegen sprechen. Nicht alles was technisch machbar ist, darf und soll auch gemacht werden.

1.1.1. Rechtliche Entwicklungen seit 2009

Mit der Basis-Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 über Lebensmittelzusatzstoffe wurden alle bisherigen Regelungen zu Zusatzstoffen zusammengefasst und grundlegend neu festgelegt. Diese Verordnung gilt unmittelbar in allen EU-Mitgliedsländern, eine Umsetzung in nationales Recht ist nicht mehr erforderlich. Nur Bereiche, die durch die EU-Rechtsvorschriften nicht abgedeckt werden, können nach wie vor durch nationale Vorschriften geregelt werden.

Der in der Basisverordnung noch fehlende Anhang II wurde in der Verordnung (EU) Nr. 1129/2011 am 11. November 2011 erlassen. Anhang II (Gemeinschaftsliste der für die Verwendung in Lebensmitteln zugelassenen Lebensmittelzusatzstoffe und ihrer Verwendungsbedingungen (gültig ab Juni 2013) ist sehr umfangreich und umfasst folgende Teile:

Teil A:

I. Einleitung

II: Allgemeine Bestimmungen über die angeführten Lebensmittelzusatzstoffe und die Verwendungsbedingungen

Teil B: Liste aller zugelassenen Zusatzstoffe

TEIL B1: Liste aller Zusatzstoffe (geordnet nach E-Nummern)

TEIL B2: Definition von Zusatzstoffgruppen (Farbstoffe, Süßungsmittel, andere ZS)

Teil C: Festlegung von 5 Zusatzstoffgruppen

(Gr.1 – ohne Höchstmengenbeschränkung, Gr. 2 – Farbstoffe ohne Höchstmengenbeschränkung, Gr. 3 – Farbstoffe mit Höchstmengenbeschränkung, Gr. 4 – Polyole, Gr. 5 andere)

Teil D: Inhaltsverzeichnis der Lebensmittelkategorien. Lebensmittelzusatzstoffe wurden erstmals **Lebensmittelkategorien** zugeordnet.

Teil E: Zugelassene Lebensmittelzusatzstoffe und Verwendungsbedingungen nach Lebensmittelkategorie

Um Lebensmittel eindeutig einer der in Anhang II, Teil D angeführten Lebensmittelkategorien zuzuordnen zu können, wurde in weiterer Folge für jedes in Teil D angeführte Lebensmittel eine Liste sogenannter „*food descriptors*“ vom EU-Kommissionsdienst nach Rücksprache mit den Experten für Lebensmittelzusatzstoffe der Mitgliedstaaten erstellt. Diese Leitlinien haben aber keine Gesetzeskraft (Guidance Document, 2013). Unabhängig davon hat auch die EFSA eine „*food classificati-*

on and description system“ zum Zweck der Verzehrsdatenerhebung für Expositionsabschätzungen entwickelt und bereits 2011 publiziert (EFSA, 2011 a).

Mit der Verordnung (EU) Nr. 231/2012 wurden Reinheitskriterien bzw. Spezifikationen für die in den Anhängen II und III der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 aufgeführten Lebensmittelzusatzstoffe festgelegt.

Wenn neue Zusatzstoffe zugelassen werden oder sonstige Änderungen anstehen, wird jeweils eine Änderungsverordnung erlassen. Auf einer Website der EU-Kommission sind die einschlägigen Rechtsvorschriften der EU auf diesem Gebiet verfügbar:
(http://ec.europa.eu/food/food/FAEF/index_en.htm)

Eine weitere Basis-Verordnung zum Zusatzstoffrecht ist die Verordnung (EU) 1331/2008, in der ein einheitliches Zulassungsverfahren für Zusatzstoffe geregelt wird. Gemäß dieser Verordnung verabschiedete das ANS-Gremium (Gremium für Lebensmittelzusatzstoffe und Lebensmitteln zugesetzten Nährstoffquellen) der EFSA im Juli 2009 eine Stellungnahme mit Angaben der Art von Daten, die von der Industrie im Zusammenhang mit der Sicherheitsbewertung von Lebensmittelzusatzstoffen vorzulegen sind (EFSA, 2014 a). Im Juni 2012 gab dieses Gremium neue Leitlinien für die Einreichung von neuen Anträgen auf Zulassung von Lebensmittelzusatzstoffen heraus.

Der EFSA obliegen im Bereich der Lebensmittelzusatzstoffe drei wichtige Hauptaufgaben:

1. die Sicherheitsbewertung von neuen Lebensmittelzusatzstoffen oder vorgeschlagenen neuen Verwendungen bereits zugelassener Lebensmittelzusatzstoffen;
2. die Neubewertung aller bereits vor dem 20. Januar 2009 zugelassenen Lebensmittelzusatzstoffe in der EU;
3. die Beantwortung von Ad-hoc-Ersuchen der Europäischen Kommission um Überprüfung bestimmter Lebensmittelzusatzstoffe angesichts neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und/oder veränderter Verwendungsbedingungen.

Im Rahmen der Neubewertung bereits zugelassener Farbstoffe re-evaluiert die EFSA gegenwärtig die Farbstoffe und hat auf Ersuchen der Europäischen Kommission die Neubewertung von Aspartam (siehe Kap. 1.5) vorgezogen und abgeschlossen. Das vorgesehene Arbeitsprogramm für die Jahre 2014-2015 umfasst die Neubewertung von 22 Lebensmittelzusatzstoffen (EFSA, 2014 b)

1.1.2. Allgemeine Anmerkungen

In den allgemeinen Erwägungsgründen und Kriterien für die Verwendung von Zusatzstoffen (Erwägungsgrund Nr. 7) laut Verordnung (EU) 1333/2008 sollen Lebensmittelzusatzstoffe (LMZ) nur dann genehmigt werden,

- wenn sie in der vorgeschlagenen Dosis für den Verbraucher gesundheitlich unbedenklich sind
- wenn eine hinreichende technologische Notwendigkeit nachgewiesen werden kann und wenn das Ziel nicht mit anderen, wirtschaftlich und technisch brauchbaren Methoden erreicht werden kann;
- und wenn der Verbraucher durch ihre Verwendung nicht irregeführt wird.

Die Verwendung eines Lebensmittelzusatzstoffes kommt auch nur dann in Betracht, wenn erwiesen ist, dass die vorgeschlagene Verwendung für den Verbraucher nachweisbare Vorteile bietet.

Für den Einsatz von LMZ müssen also aus rechtlicher Sicht entsprechende Gründe vorliegen. Die praktische Umsetzung und Präzisierung dieser Gründe ergibt die im Folgenden angeführten di-

rekten und indirekten Vorteile:

1. LMZ erleichtern bzw. ermöglichen die großtechnische Herstellung

Beispiele zu Pkt. 1:

- Mehlgebundene Soßen sind nicht scherstabil, hitzestabil, säurestabil und gefrierbeständig ⇒ Ersatz von Mehl durch Stärkederivate
- Emulgatoren vermindern die aufzuwendende mechanische Energie

2. LMZ stabilisieren und konservieren Lebensmittel bei deren Distribution und Lagerung

Beispiele zu Pkt. 2:

- Verdickungsmittel verhindern ein Absetzen bzw. Entmischung
- Rieselhilfsmittel verhindern ein Zusammenpacken
- Ausgleich von Farbstoff- und Aromaverlusten durch die Herstellung und bei der Lagerung

3. LMZ ermöglichen eine kostengünstigere Herstellungsweise

Durch die ersten beiden Punkte ergibt sich eine kostengünstigere Herstellungsweise und schlussendlich eine Verrbilligung der Lebensmittel

4. LMZ ergeben eine weitere Verrbilligung der Lebensmittel durch Ersatz teurerer Zutaten durch kostengünstigere Zusatzstoffe

Beispiele zu Pkt. 4:

- Einsatz von Verdickungsmitteln, um teurere Zutaten zu ersetzen
- Ersatz von Umami-Zutaten durch „Geschmacksverstärker“
- Ersatz von Ei durch Emulgatoren
- Lebensmittelimitate bzw. -analoge statt originaler Lebensmittel. Erstere benötigen besonders viele Zusatzstoffe (z.B.: Schinkenimitate, Käseimitate, Kaffeeweißener)

5. LMZ können sensorische Eindrücke von Lebensmitteln verstärken oder verändern

Beispiele zu Pkt. 5:

- Einsatz von Farbstoffen
- Einsatz von sogenannte Geschmacksverstärker

6. LMZ können einen Zusatznutzen ergeben

Beispiele zu Pkt. 6:

- Kalorienreduzierte Lebensmittel (*Light Food*) (Süßungsmittel)
- Salzersatzmittel für salzreduzierte Lebensmittel

7. Ermöglichung der Herstellung völlig neuer Lebensmittel bzw. Lebensmittelkategorien

Beispiele zu Pkt. 7:

- Schmelzkäse
- Dressings
- Einige Produkte der „weißen“ Milchpalette
- Einige Produkte im Süß- und Feinbackwarenereich

Trotz dieser Vorteile ist der Begriff Lebensmittelzusatzstoffe in den Medien und in den Augen der Konsumentinnen und Konsumenten sehr negativ besetzt. Das „European Food Information Council – EUFIC“ (EUFIC, 2000) führt das negative Image auf eine Änderung der Kennzeichnungsanforderungen in den 80er Jahren zurück, welche die Deklaration jedes einzelnen Zusatzstoffes auf der Liste der Inhaltsstoffe der meisten vorverpackten Lebensmittel verlangte. Bis zu dieser Zeit wurden die Zusatzstoffe in allgemeinen Gruppen angegeben, die ihre Funktion in den Lebensmitteln deutlich machten, wie zum Beispiel Konservierungsstoffe, Antioxidantien und Farben. Die neuen Etikettierungsregelungen brachten lange Listen mit Chemikaliennamen und ein neues E-

Nummerierungssystem mit sich, die es dem Konsumenten erleichtern sollten, die Zusatzstoffe zu erkennen. Das "E" bedeutet, dass sie für den Gebrauch in der Europäischen Gemeinschaft als sicher eingestuft sind. EUFIC (2000) führt weiter aus, dass in weiterer Folge die Stimmung der Konsumentinnen und Konsumenten durch viele emotionale Artikel in den Medien über die schädlichen Auswirkungen aller chemischen Zusätze aufgeheizt wurde. Darin wurden sie für eine Reihe von Krankheiten verantwortlich gemacht, von Hyperaktivität bis zu chronischen Leiden. Eine Folge dieser "Anti-Zusatzstoff-Kampagne" war, dass die Lebensmittelhersteller den Einsatz von Lebensmittelzusatzstoffen mit der Absicht prüften, ihren Gebrauch zu eliminieren bzw. zu minimieren. Parallel führte dies zu einer Zunahme von Tiefkühlkost und häufigerem Gebrauch von Kühl- und Gefriertechniken als Alternative zur Lebensmittelkonservierung.

Seit dem Jahr 2000 ist diese negative Stimmung gegenüber Lebensmittelzusatzstoffen sicher nicht geringer geworden. Das belegen auch die Umfragen im Rahmen der Eurobarometer-Umfragen aus dem Jahr 2010 (Eurobarometer, 2010). Schon die Antworten auf Frage QF2 dieser Umfrage (Abb. 2.1.1) sind eigentlich schon sehr erschütternd. Demnach halten es im EU-Durchschnitt 48 % der Bürger für sehr wahrscheinlich (8%) und ziemlich wahrscheinlich (37 %), dass ihr Essen die Gesundheit schädigt. Für Österreich sind diese Prozentsätze mit 5 und 18 % deutlich geringer.

QF2. Ich lese Ihnen nun eine Liste möglicher Gefahren vor. Sagen Sie mir bitte für jede, für wie wahrscheinlich Sie es halten, persönlich davon betroffen zu werden.

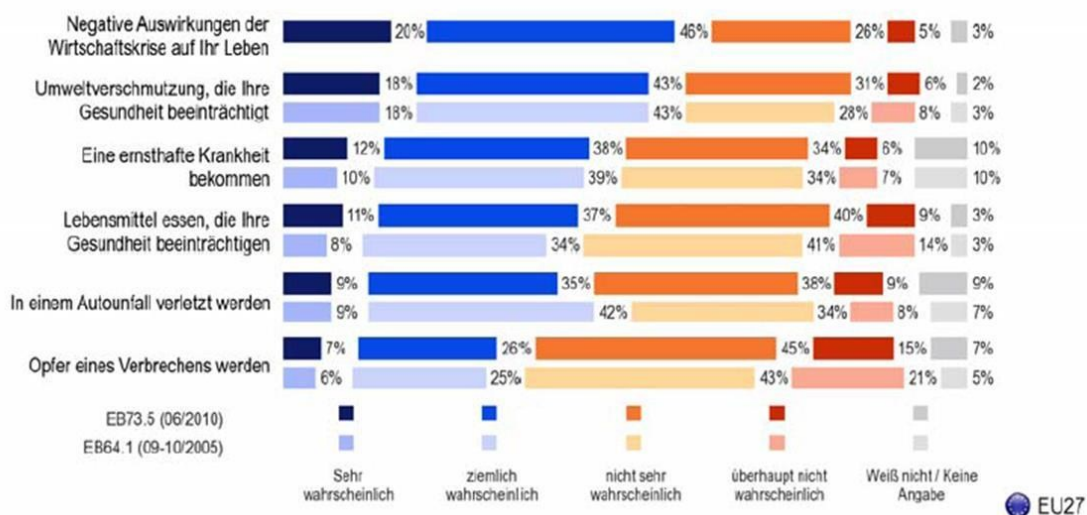


Abb. 2.1.1: Antworten der EU-Bürger auf die Frage QF-2 zu Risiken im Lebensmittelbereich allgemein (Eurobarometer, 2010)

Frage QF-4 setzt sich dann detailliert damit auseinander, worauf sich diese allgemeinen Befürchtungen bezüglich Risiken im Essen begründen (Abb. 2.1.2). Im EU-Durchschnitt steht schon das Risiko bezüglich „Zusatzstoffe, wie Farben, Konservierungsmittel oder Geschmacksverstärker“ an vierter Stelle. 66 % der EU-Bürger sehen sich sehr besorgt in dieser Hinsicht; 61 % beträgt dieser Anteil in Österreich.

Aufgrund dieser Tatsache ist es leicht verständlich, dass der Lebensmitteleinzelhandel und damit auch die Lebensmittelproduzenten verstärkt nach Möglichkeiten suchen, deklarationspflichtige Lebensmittelzusatzstoffe zu ersetzen. Weltweit ist daher ein Trend zu einem sogenannten „*clean label*“ beziehungsweise einem „*clean label(l)ing*“ zu verzeichnen. Aufgrund der anscheinend großen Bedeutung dieses Trends ist ihm in dieser Studie ein separates Kapitel gewidmet (Kap. 1.2).

Die spannende Frage in Zukunft wird sein, ob die Konsumentinnen und Konsumenten den Trend zur Vermeidung von Zusatzstoffen auch lohnen, das heißt,

- ob sie bereit sind, etwas mehr für zusatzstofffreie Lebensmitteln zu bezahlen;
- und ob Produzenten, die damit werben, einen höheren Verkaufserfolg gegenüber dem Mitbewerb haben?

Der Erfolg dieses Trends wird nicht zuletzt auch davon abhängen, ob es gelingt die Konsumentinnen und Konsumenten richtig zu informieren, wodurch Zusatzstoffe gegebenenfalls ersetzt werden.

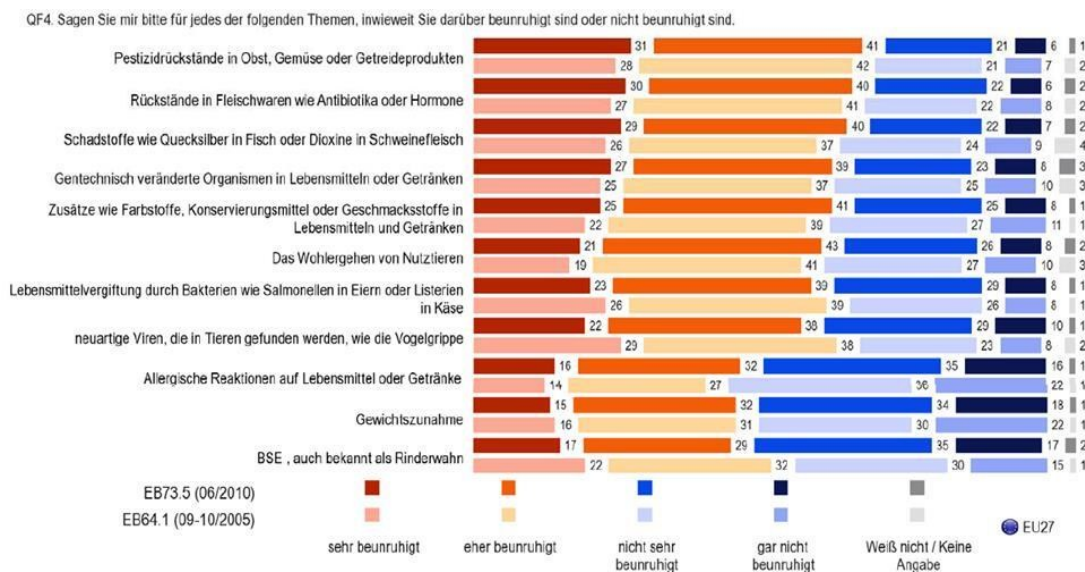


Abb. 2.1.2: Antworten der EU-Bürger auf die Frage QF-4 zu spezifischen Risiken im Lebensmittelbereich (Eurobarometer, 2010)

Beim Kauf eines Lebensmittels spielt dessen Preis eine ganz entscheidende Rolle. Das geht aus Abb. 2.1.3 aus dem Eurobarometer (2005) klar hervor. Mit 40 % : 42 % halten sich im EU-Durchschnitt die beiden wichtigsten Einflussfaktoren auf das Kaufverhalten (Preis : Qualität) ziemlich die Waage. In vielen EU-Ländern überwiegt das Preismerkmal. In Österreich lautet das Verhältnis 30 % : 48 % (Preis : Qualität). In diesem Zusammenhang muss aber sehr wohl darauf hingewiesen werden, dass diese Zahlen aus Befragungen ermittelt wurde. Das tatsächliche Kaufverhalten kann davon mehr oder weniger deutlich abweichen. So wie bei allen Befragungen werden Angaben zu nachteiligen Punkten gerne unterdrückt. Wer wird nicht gerne behaupten, er kauft nur Qualität als die Angabe zu machen, dass der Preis im Vordergrund steht.

Es kann durchaus so sein, dass der "clean label"-Trend ein gewisses Plateau erreicht, aber sicher nicht auf die ganze Produktpalette übertragen wird beziehungsweise übertragbar sein wird. Das Potential an "clean label"-Claims ist also nicht unerschöpflich, um sich von den Mitbewerbern abzugrenzen.

In Anbetracht der Bemühungen und Entwicklungen zur Erreichung eines "clean label" werden paradoxerweise Kennzeichnungsfragen in Zukunft steigende Bedeutung erlangen. Vor allem im Hinblick, wie weit und wie Konsumentinnen und Konsumenten aufgeklärt werden sollen, wodurch ein "clean label" erreicht wurde. Dieser Aspekt wird im Kapitel 1.3 näher beleuchtet.

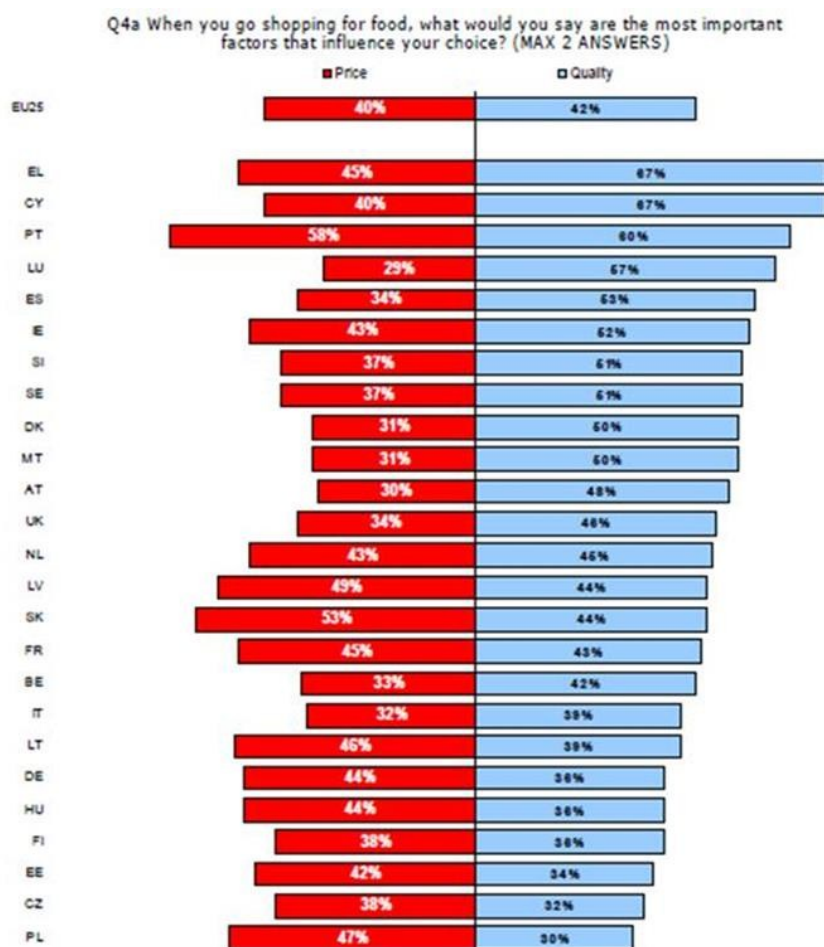


Abb. 2.1.3: Antworten der EU-Bürger auf die Frage Q4-a zu Einflussfaktoren auf das Kaufverhalten (Eurobarometer, 2005)

1.1.3. Nutzen, Risiko und Akzeptanz von Lebensmittelzusatzstoffen

Nutzen, Risiko und Akzeptanz von Lebensmittelzusatzstoffen werden jeweils für die einzelnen Zusatzstoffklassen im Detail getrennt abgehandelt, um spezifisch darauf eingehen zu können. Der allgemeine Nutzen von Zusatzstoffen wurde schon oben ausgeführt.

Derzeit sind ca. 325 Stoffe in der EU als Lebensmittelzusatzstoffe zugelassen und haben eine E-Nummer erhalten, davon sind

- ca. 43 % natürliche, organische Stoffe
- ca. 24 % anorganische Stoffe (z.B. Salze, Säuren) und
- ca. 33 % synthetische Stoffe.

Die E-Nummer bedeutet, dass der Stoff toxikologisch bewertet und in den erlaubten Mengen und Einsatzbedingungen nach dem gegenwärtigen Stand des Wissens als sicher angesehen werden kann. Im Gegensatz dazu liegen für viele natürliche Lebensmittelinhaltsstoffe noch keine Sicherheitsbewertungen vor.

Das Gesundheitsrisiko wird jedenfalls in der Bevölkerung und in den Medien maßlos überschätzt. Beispielsweise belegen schon 1981 Doll & Peto (1981), dass bei den vermutlichen Ursachen für

die Krebsmortalität die falsche Ernährung mit 35 % an der Spitze liegt, während Nahrungsmittelzusätze mit unter 1 % an letzter Stelle stehen. Im Jahr 2010 wurden die Werte von Doll & Peto (1981) durch Omenn (2014) einer Neubetrachtung unterzogen. Diese sind in Tab. 2.1.1 angeführt. Die Ergebnisse weichen nur unwesentlich von den früheren Werten ab. Das Krebsrisiko durch Lebensmittelzusatzstoffe steht wieder an letzter Stelle.

Tab. 2.1.1: Anteil der Krebserkrankungen (%) die verschiedenen Faktoren zugeschrieben werden (Omenn, 2014)

Factor	Beste Schätzung (%)	Plausibler Bereich (%)
Tabakkonsum	33	25 - 40
Ernährung (einschließlich Adipositas & Bewegungsmangel)	30	20 - 60
Infektionen durch Viren, Mikroorganismen, und Parasiten	18	10 - 15
Sexualverhalten	7	5 - 10
Natürliche radioaktive Strahlung und Röntgenstrahlung	6	4 - 8
Erbfaktoren	5	2 - 8
Berufsfaktoren	3	2 - 8
Alkohol	3	2 - 4
UV Licht	1	0,5 - 1
Umweltverschmutzung	<1	< 1 - 2
Medikamente	<1	< 1 - 2
Industrieprodukte	<1	< 1 - 2
Lebensmittelzusätze	<1	-2 - 1

Ein zu beobachtender Trend ist auch, dass stetig neue Lebensmittelzusatzstoffe zugelassen werden. Die Gründe dafür sind folgende:

- Globalisierung: Weltweite Harmonisierung des Zusatzstoffrechtes durch den Codex Alimentarius der FAO/WHO und durch die WTO (Zugelassene Zusatzstoffe in der EU: 327; Zugelassene Zusatzstoffe lt. Codex Alimentarius FAO/WHO: ca. 500)
- Schutzrechte: Entwicklung und Zulassung eines Lebensmittelzusatzstoffes sind teuer. Jeder Hersteller wird deshalb versuchen, entsprechende Schutzrechte zu erlangen. Eine Umgehung der Schutzrechte erfordert Neuentwicklungen.
- Fortschritt der Wissenschaft und Forschung, die neue Möglichkeiten für neue Lebensmittelzusatzstoffe und zu deren Herstellung und Einsatz erschließen.

In der EU sollte, so wie in Japan, überlegt werden, ob wirklich alle zugelassenen Zusatzstoffe notwendig sind und auch tatsächlich verwendet werden. Im Jahr 2009 hat die japanische Regierung angekündigt 125 erlaubte Lebensmittelzusatzstoffe von der Liste zu streichen. Falls die Hersteller sie weiter einsetzen wollen, haben sie ihren Gebrauch zu dokumentieren (Gain Report, 2009).

Der EU-Gesetzgeber selbst hat in den Erwägungsgründen zur Zulassung von Zusatzstoffen angeführt (siehe oben), dass die Verwendung eines Zusatzstoffes nur dann erfolgen soll, wenn das Ziel nicht mit anderen, wirtschaftlich und technisch brauchbaren Methoden erreicht werden kann. Bei den großen Fortschritten, welche die Lebensmitteltechnologie in den letzten Jahren gemacht hat, und bei den vielen neuen Methoden, die uns in Zukunft ins Haus stehen werden, stellt sich durchaus die Frage, ob sie einzelne Zusatzstoffe nicht obsolet machen.

1.2. "Frei von"- ("free from"-), "clean label"- und "natürlich"- ("natural"-)Trend

1.2.1. Einleitung

Das Unbehagen der Konsumentinnen und Konsumenten gegenüber Außer-Haus verarbeiteten und verzehrten Lebensmitteln ist bedingt durch den fehlenden Einblick in die Lebensmittelherstellung bzw. mangelnde Nachvollziehbarkeit im Steigen begriffen. Geschürt wird dieses Unbehagen von vielen Medien und industiekritischen Organisationen einerseits und durch mangelnde Information über bzw. Transparenz in der Herstellung andererseits. Das führt dazu, dass die tatsächlich bedeutsamen Risiken in der Ernährung (Ernährungsfehlverhalten und biologisches Risiko) weit unterschätzt und Risiken im Zusammenhang mit der Verarbeitung von Lebensmitteln maßlos überschätzt werden (siehe Kap. 1.1.1 und 1.1.2). Zu diesen weit überschätzten Ernährungsrisiken zählt auch das Risiko im Zusammenhang mit der Verwendung von Zusatzstoffen. Weniger Zusatzstoffe wird auch gleichgesetzt mit mehr **Natürlichkeit** der Lebensmittel.

Deshalb ist ein Trend entstanden, der immer mehr Eigendynamik bekommt, nämlich Zusatzstoffe zu vermeiden [**Frei von** z.B. *Geschmacksverstärker*, oder **keine** z.B. (*chemischen*) *Konservierungsmittel*]. Da Zusatzstoffe aber wichtige technologische Funktionen in den Lebensmitteln erfüllen (siehe Kap. 1.1.2), können sie vor allem aus ökonomischen Gründen in vielen Fällen nicht komplett ersatzlos gestrichen werden. Deshalb sollen sie durch „nicht deklarationspflichtige“ Stoffe (keine E-Nummer auf der Verpackung) oder durch andere technische Maßnahmen ersetzt werden, um einen sogenannten *„clean label“* bzw. *„clear label“* oder *„clear label(l)ing“* zu erzielen.

Paradoxerweise führt das auf Lebensmittelverpackungen zu zusätzlichen Angaben wie z.B. frei von Konservierungsmitteln. Ein weiterer Grund, warum auf Lebensmitteletiketten immer mehr ausgelobt wird, was in Lebensmitteln nicht enthalten ist (**frei von**....., **keine**.....), beruht auf der Allergenproblematik, und auf den wirklichen und vermeintlichen Lebensmittelintoleranzen.

An dieser Stelle wird der Trend zur Erreichung eines „clean label“s im Zusammenhang mit Zusatzstoffen behandelt.

1.2.2. "clean label"-Trend

Schon in der FIAP-Studie (Berghofer, 2010) wurde angeführt, dass bereits eine eindeutiger Trend zur Erreichung eines *„clean label“* [bzw. *„clear label“* oder *„clear label(l)ing“*] beobachtet werden kann, der mit großer Wahrscheinlichkeit noch dramatisch steigen wird. Die weiteren Ausführungen behandeln nun die Entwicklung dieses Trends in den letzten fünf Jahren.

Dieser Trend wird mehr oder weniger zum Selbstläufer, weil aufgrund des tatsächlichen oder vermeintlichen Wunsch der Konsumentinnen und Konsumenten der Lebensmitteleinzelhandel die Lebensmittelhersteller dazu „nötigt“, auf diesen Trend aufzuspringen. Viele Lebensmittelproduzenten machen bereitwillig mit, weil sie glauben, sich einen Vorteil gegenüber den Konkurrenten zu verschaffen. Mit ihren *„clean label“*-Aussagen diskriminieren sie die Hersteller, welche Zusatzstoffe verwenden. Auslobungen wie „ohne Konservierungsstoffe“ oder „ohne künstliche Süßstoffe/Aromen/etc.“ implizieren, dass der Einsatz dieser Zusatzstoffe eine negative Angelegenheit ist.

Damit den Zusatzstoffhersteller nicht die Felle davon schwimmen, sind sie mehr oder weniger gezwungen deklarationsfreie Zusatzstoffalternativen zu entwickeln und anzubieten. In der Datenbank für Lebensmittelzusatzstoffe und –rohstoffe „PROSPECTOR“ finden sich unter dem Stichwort „*clean label*“ **500 Produkte**, die ausdrücklich als Ersatz für deklarationspflichtige Zusatzstoffe angeboten werden (PROSPECTOR, 2015).

Immer mehr Symposien werden zum Thema „*clean label*“ veranstaltet. So gibt es zum Beispiel die Serie „*clean label*“ *Conferences*“, die von Global Food Forums, Inc. in den USA ins Leben gerufen wurde (Global Food Forums, 2014).

Eigenartig bei diesem Trend ist, dass die gegenüber Zusatzstoffen kritischen Verbraucherinnen und Verbraucher und Konsumentenschutzorganisationen folgende zwei Tatsachen ausblenden (Unland, 2001):

- a) Alle zugelassen Zusatzstoffe sind toxikologisch geprüft und nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand bei den zugelassenen Verwendungsbedingungen unbedenklich. Falls neue Kenntnisse oder sogar Bedenken auftauchen, muss ein zugelassener Zusatzstoff sofort neu bewertet werden. Einer der Gründe, warum ursprünglich das E-Nummern System eingeführt wurde, war das Ziel, allen zugelassenen Zusatzstoffen mit komplizierten Bezeichnungen bzw. Namen zur Vereinfachung der Kennzeichnung eine Nummer zuzuordnen. Eine E-Nummer bedeutet daher eigentlich ein Sicherheitsmerkmal.
- b) Wie schon erwähnt, bedeutet der Ersatz von toxikologisch geprüften Zusatzstoffen durch „natürliche“ Stoffe mit zusatzstoffähnlichen Wirkungen nicht automatisch eine Risikoverminderung. Natürliche Inhaltsstoffe, isoliert und in größeren Mengen eingesetzt, bedeuten a priori keine Risikoverminderung. Es kann sogar das Gegenteil eintreten, weil in unseren Nahrungsmitteln viele antinutritive Inhaltsstoffe natürlich vorkommen.

Konsumenten und Hersteller haben ein unterschiedliches Verständnis von „*clean label*“

Die Wahrnehmung von „*clean label*“ scheint zwischen Konsumenten und Produzenten unterschiedlich zu sein.

Für **Konsumenten** impliziert ein „*clean label*“, dass die Produkte als „natürlich“, „biologisch“ oder „frei von Zusatzstoffen/Konservierungsmitteln“ definiert werden können. Weiter versteht der Konsument oft, dass das Produkt weniger verarbeitet wurde und damit auch gesünder ist. Wieder ein Trugschluss, denn viele Lebensmittel sind erst nach entsprechender Verarbeitung verzehrfähig und verdaubar.

Für **Lebensmittelhersteller** bedeutet ein „*clean label*“ dagegen, dass sie auf Zutaten zurückgreifen, die dem Konsumenten geläufig sind. Auf Zutaten, die „chemisch“ klingen, bzw. eine E-Nummer enthalten, sollte verzichtet werden und generell sollte die Zutatenliste möglichst kurz und überschaubar sein (Ingredion Incorporated, 2014).

Für den Produzenten ist es in diesem Zusammenhang schwer, das Konsumentenwissen abzuschätzen. Welche Zutaten bzw. Zusatzstoffe (er)kennt der Konsument, und wie bewertet er diese? Die Verbrauchererwartungen in diesem Zusammenhang abzuschätzen ist nicht einfach, da sie völlig uneinheitlich sind. Während sich viele unkritische Verbraucher durch Kennzeichnungen und Angaben eher verwirren als informieren lassen, erwartet sich der „kritische“ Verbraucher mehr transparente Information.

1.2.3. Definition von “clean label”

Unter dem Begriff “*clean label*” werden alle Lebensmittel zusammengefasst, die **entweder gänzlich ohne Zusatzstoffe** hergestellt wurden und als solche gekennzeichnet sind; oder in denen **ein bestimmter Zusatzstoff nicht eingesetzt beziehungsweise ersetzt wurde** und in Folge mit „ohne XXX“ gekennzeichnet sind.

Auslobungen, die in diesem Zusammenhang verwendet werden, sind vielfältig und äußerst uneinheitlich. Die wenigsten Hersteller verwenden den Wortlaut “*clean label*”, beziehungsweise ist deren Verwendung rückläufig. Oft wird (wurde) auf die Natürlichkeit der Produkte verwiesen mit “**natürlich**”, “natürliche Zutaten”, “Natur pur”, “100 % Natur”, und andere ähnliche Wortlaute, wobei auch diese „natürliche“ Auslobungen in den letzten Jahren sinken zugunsten von Verweisen auf die Abwesenheit eines bestimmten Zusatzstoffes, die mit “**ohne XXX**”, oder “ohne Zusatz von XXX” erfolgen. Die Verwendung von “natürlich” ruft zunehmend Skepsis bei den Konsumenten hervor, da dieser Begriff (vor allem in der USA) überstrapaziert wurde und von den Verbrauchern oft auch missverstanden wurde (Food Navigator.com [a]).

Wird in diesem Text von “*clean label*”-Produkten gesprochen, sind Produkte mit sämtlichen Auslobungen wie “*clean label*”, „natürlich“, oder „ohne XXX“, eingeschlossen.

Da es keine spezifische gesetzliche Vorgabe zur Verwendung dieser Auslobungen gibt, existiert hier eine große Vielzahl an unterschiedlichen “*clean label*”-Auslobungen, sowohl hinsichtlich der graphischen Umsetzung als auch bei der Formulierung der Werbeaussagen. Die deutschen Verbraucherzentralen fanden in einer Studie auf 151 untersuchten Produkten 59 unterschiedlich formulierte “ohne xy”-Versprechen (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V., 2010). Slogans wie “100 % Natur” oder “natürlich” kamen z.B. bei 80 % der Tütensuppen vor. Dadurch wird Ursprünglichkeit vorgegaukelt. In den langen Zutatenlisten waren jedoch hoch verarbeitete Zutaten enthalten, z.B. Aromen oder Antioxidantien (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V., 2010).

Vermehrt zu beobachten ist auch die Tendenz der Hersteller zur Verwendung von Produktinformationen wie laktosefrei, fettfrei, fettarm, glutenfrei, zuckerfrei, zuckerarm, ohne Zuckerzusatz, usw. Diese “frei von XXX” Angaben werden oft anstelle eines „clean label“’s verwendet, können aber im weitesten Sinne dazugezählt werden. Viele dieser „frei von“ Angaben sind gesetzlich genauer definiert und Grenzwerte sind hier einzuhalten. Damit ist auch die Verwendung eines solchen Labels zuverlässiger und eine Täuschung für den Konsumenten eher ausgeschlossen.

Mehr und mehr sehen aber Konsumentenschützer den Ersatz von deklarationspflichtigen Zusatzstoffen durch deklarationsfreie Substanzen kritisch, weil er ihrer Meinung nach zur Täuschung führen kann. Es wurde der Begriff “**Zusatzstoff-Imitate**” (hochverarbeitete Stoffe, isoliert aus Lebensmitteln, die wie Zusatzstoffe wirken, sich aber einer Kennzeichnung entziehen) geprägt (Rempe, 2011). Wenn sich diese Ansicht weiter durchsetzt, wird dieser Trend wahrscheinlich gebrochen werden, weil die Hersteller dann bei den Konsumenten nicht mehr punkten können. Ein Beispiel dafür ist der weiter unten angeführte Hefeextrakt. Einige Unternehmen erwägen schon, diesen Kreislauf zu durchbrechen und schlicht wieder Natriumglutamat einzusetzen und auf Auslobungen im Zusammenhang mit Geschmacksverstärkern zu verzichten (Weck, 2013).

1.2.4. Gesetzliche Regelungen

Für die Lebensmittelproduzenten ist die Herstellung von Produkten mit einem „*clean label*“ eine Herausforderung, da es keine konkrete gesetzliche Definition dafür gibt. Ebenso wenig gibt es eine konkrete Definition bzw. EU-weite Regelung des Begriffes „natürlich“ (wird oft statt „*clean label*“(ling)“ verwendet) bei Lebensmitteln. Der Begriff „natürlich“ ist in der EU nur im Zusammenhang mit Aromen geregelt. In den meisten Fällen werden unter „*clean label*“ spezielle Produktkennzeichnungen (sogenannte Negativkennzeichnungen) verstanden, welche explizit auf das Nichtvorhandensein bestimmter Zutaten hinweisen. Angaben wie „frei von ,XXX“ oder „ohne Zusatz von XXX“ fallen unter diese Kategorie und sind freiwillige Produktinformationen seitens der Lebensmittelhersteller. In erster Linie soll dabei ausdrücklich der Verzicht von deklarationspflichtigen Zusatzstoffen betont werden, weil E-Nummern im Zutatenverzeichnis verpackter Lebensmittel für viele Konsumenten mittlerweile ein Ausschlusskriterium bei der Produktwahl darstellen (Unland, 2011).

Beispiel Geschmacksverstärker: Für die Werbung mit der Angabe „ohne Geschmacksverstärker“ gibt es keine speziellen gesetzlichen Vorgaben. Rechtlich relativ eindeutig ist die Angabe „Ohne den Zusatzstoff Geschmacksverstärker“ bzw. „ohne den Zusatzstoff Mononatriumglutamat“. Hier wird relativ deutlich, dass dem Produkt kein Zusatzstoff „Geschmacksverstärker“ im rechtlichen Sinne beigelegt wurde. Andere geschmacksverstärkende Zutaten können jedoch enthalten sein. Aus Verbrauchersicht sind solche Formulierungen schwer zu unterscheiden. Problematischer zu bewerten ist die Angabe „ohne Geschmacksverstärker“, wenn das Lebensmittel zwar keine geschmacksverstärkenden Zusatzstoffe enthält, aber Zutaten, die geschmacksverstärkende Wirkung haben (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V., 2010).

Von den Konsumenten, Händlern, Industrie und Gesetzgeber wird gleichermaßen mehr Transparenz in Zusammenhang mit Lebensmittelkennzeichnung gefordert. Im Dezember 2014 trat zwar die neue Kennzeichnungsverordnung [Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 - Verbraucherinformationsverordnung] in Kraft, die für den Konsumenten klarere Informationen der Zutaten liefern soll. Eine genaue Definition, wann „keine Zusatzstoffe“, „natürlich“ oder „biologisch“ beworben werden darf, fehlt aber dennoch.

Weitere Unsicherheiten treten bezüglich der Nicht-Kennzeichnung der sogenannten *Verarbeitungshilfsstoffe* auf. Diese Stoffe werden aus technologischen Gründen bei der Verarbeitung von Lebensmitteln verwendet und dürfen im Endprodukt letztlich nur mehr in unvermeidbaren Mengen vorhanden sein, soweit eventuell verbleibende Rückstände oder deren Umwandlungsprodukte gesundheitlich unbedenklich sind. Rückstände gelten nicht als Zutat und müssen nicht deklariert werden. (Donner, 2011). Auch Enzyme, welche vermehrt in der Lebensmittelindustrie Einsatz finden (oft genau mit dem Ziel um ein „*clean label*“ zu erlangen) müssen, als Verarbeitungshilfsstoffe eingesetzt, nicht deklariert werden.

Ausnahmen von der Deklaration bestehen auch für Zusatzstoffe, die über Zutaten, in denen sie zugelassen sind, eingebracht werden. Wenn solche Zusatzstoffe nicht direkt im Endprodukt wirken, müssen sie nach jetziger Gesetzeslage nicht deklariert werden. Ein Beispiel dafür sind Milchprodukte mit Fruchtzubereitungen. Enthalten diese ein Konservierungsmittel, das aber nur zur Konservierung der Fruchtmasse und nicht zur Haltbarmachung des Milchproduktes dient, dann muss dieses nicht deklariert werden. Das trifft auf viele zusammengesetzte Produkte zu, wie zum Beispiel auf Keksstückchen im Pudding, Schinken auf der Pizza usw.

Die wichtigste Regulierung, die im Zusammenhang mit „*clean label*“ derzeit anwendbar ist, ist das Irreführungsverbot (EG Nr. 178/2002). Artikel 16 dieser Verordnung besagt: „Unbeschadet spezifischer Bestimmungen des Lebensmittelrechts dürfen die Kennzeichnung, Werbung und Aufma-

chung von Lebensmitteln [...] gleichgültig über welches Medium, die Verbraucher nicht irreführen“.

Laut § 5 Abs. 2 des LMSVG ist es verboten, „Lebensmittel mit zur Irreführung geeigneten Angaben in Verkehr zu bringen oder zu bewerben“. Besonders hingewiesen wird in diesem Absatz auf die Werbung mit Selbstverständlichkeiten. Demnach ist es nicht erlaubt, Angaben zu machen, die zu verstehen geben, dass das Lebensmittel besondere Eigenschaften besitzt, obwohl alle vergleichbaren Lebensmittel dieselben Eigenschaften besitzen. Ein Beispiel dafür ist die Vermarktung von Produkten mit „ohne XXX“, in denen der relevante Stoff üblicherweise keine Rolle spielt. Oft passiert das in den letzten Jahren mit den Kennzeichnungen „glutenfrei“ oder „lactosefrei“ (z.B. glutenfreie Wurstwaren oder lactosefreie Nudeln). Hersteller wollen so an den steigenden Umsätzen in diesen beiden Kategorien teilhaben. Ein Verbot zur Verwendung solcher Selbstverständlichkeiten ist schwer allgemein zu regeln und muss meist von Fall zu Fall entschieden werden.

1.2.5 Prinzipielle Möglichkeiten zur Erreichung eines „clean label“

Das Ziel, keine deklarationspflichtigen Stoffe auf den Etiketten anführen zu müssen, kann prinzipiell auf drei Wegen erreicht werden.

a) Tatsächliche Vermeidung von Zusatzstoffen:

Bei BIO-Lebensmitteln beispielsweise dürfen nur etwa ein Zehntel der bei anderen Lebensmitteln zugelassenen Zusatzstoffe eingesetzt werden [VO 834/2007].

b) Ersatz durch deklarationsfreie Stoffe mit zusatzstoffähnlicher Wirkung

Die Lebensmittelhersteller suchen immer intensiver nach Lebensmittelzutaten mit zusatzstoffähnlicher Wirkung, um deklarationspflichtige Stoffe zu ersetzen. Bekannte Beispiele aus der Vergangenheit sind der Einsatz von Gewürzextrakten als Antioxidationsmittel, Hefe- und Proteinhydrolysate als „Geschmacksverstärker“, oder der Einsatz von Lebensmitteln mit färbender Wirkung.

c) Eine weitere Methode ist die Bildung von Stoffen mit zusatzstoffähnlicher Wirkung direkt in den Lebensmitteln selbst, sei es durch chemische oder enzymatische Reaktionen. Beispielsweise besteht die Möglichkeit durch Zusatz spezieller Lipasen aus Ölen und Fetten direkt in den Lebensmitteln Mono- oder Diglyceride zu erzeugen. Letztere haben emulgierende Eigenschaften und sind bei Zugabe von außen deklarationspflichtige Zusatzstoffe. Weitere Beispiele sind im vorigen Bericht „Zusatzstoffe, Aromen und Enzyme in der Lebensmittelindustrie“ angeführt (Berghofer, 2010) bzw. in den betreffenden Kapiteln in diesem Bericht.

Die Verwendung nicht zugelassener Zusatzstoffe und die Nichtdeklaration eingesetzter Zusatzstoffe sind jedenfalls verboten.

Ziel all dieser Bestrebungen sollte es dennoch sein, durch die Einführung eines „clean labels“ keine Qualitätseinbußen hinnehmen zu müssen, da sich ansonsten die bereinigten Produkte wohl kaum am Markt behaupten werden können (Rempe, 2011).

Die Umstellung von bestehenden Lebensmittelprodukten auf eine deklarationsfreie Kennzeichnung bei gleichbleibender Endqualität stellt für die Produzenten eine große Herausforderung dar und verlangt eine ganzheitliche Überarbeitung des gesamten Herstellungsprozesses.

Das simple Weglassen von Zusatzstoffen ist ohne Qualitätseinbußen zumeist unmöglich. Damit

sind die Hersteller oft auf den Ersatz von Zusatzstoffen durch andere Zutaten angewiesen. Die Verwendung solcher „natürlicher“ Ersatzstoffe verlangt in den meisten Fällen einen höheren technischen Aufwand, mehr handwerkliches Können und auch höhere Kosten. Die natürlichen Zutaten sind in der Regel teurer als die konventionellen Zusatzstoffe und müssen meist durch die geringere Ergiebigkeit höher dosiert werden. Zudem können sich durch weitere Produktionsstufen längere Prozesszeiten ergeben. Zusätzlich sind Rezepturänderungen, alternative Verarbeitungs- oder Verteilungsstrategien notwendig, um dieselbe Lagerfähigkeit des Produktes zu gewährleisten. So kann zum Beispiel die Notwendigkeit von Konservierungsstoffen durch verbesserte Hygienestandards im Betrieb, geänderte Prozessführung, Verpackung oder Verteilung eliminiert werden. Die Herstellung von „clean label“ Produkten betrifft somit nicht nur die Zutatenliste, sondern verlangt eine Anpassung des Gesamtkonzeptes der Produktion. Das verlangt eine gut durchdachte Strategie, die entsprechend Zeit und Aufwand bedeutet (Skarra, 2013, Gewürzmüller, o.J.).

1.2.6. Erreichung eines „clean label“ in der Praxis

Bei der Behandlung der einzelnen Zusatzstoffklassen wird ebenfalls noch speziell auf die jeweiligen Möglichkeiten eingegangen.

1.2.6.1. Tatsächlich zusatzstofffrei oder doch Täuschung?

Produkte, die mit einem „*clean label*“ ausgelobt sind, vermitteln dem Konsumenten, dass es sich um natürliche Produkte ohne unerwünschte Inhaltsstoffe handelt. Doch halten solche Produkte oft diese Versprechen nicht und erfüllen nicht die dadurch geweckten Erwartungen der Verbraucher. Vom Hersteller werden unbeliebte Zusatzstoffe durch deklarationsfreundliche Alternativen ersetzt, die eine ähnliche Wirkung haben, jedoch von Gesetzes wegen nicht als Zusatzstoff gekennzeichnet werden müssen. Nicht immer bedeutet eine saubere Kennzeichnung, dass die Lebensmittel tatsächlich frei von den genannten Stoffen sind. Hier liegen Verbrauchererwartung und Realität mitunter weit auseinander. Entspricht ein Lebensmittel nicht dem, was Aufmachung und Kennzeichnung erwarten lassen, fühlt sich der Verbraucher getäuscht.

Die Verbraucherzentralen in Deutschland führten eine bundesweite Markterhebung durch, um zu überprüfen inwieweit die Verbrauchererwartungen bezüglich Produkte mit „*clean label*“ erfüllt werden (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V., 2010). Die Analyse der Zutatenlisten ergab, dass Anbieter den durch „*clean label*“ ausgelobten Verzicht auf bestimmte Zusatzstoffe bzw. Zutaten, die eine gleiche oder ähnliche technologische Wirkung aufweisen, teilweise durch andere Stoffe ersetzen. Am häufigsten wurde auf den Verzicht von Konservierungsstoffen (59 %) hingewiesen, gefolgt von Geschmacksverstärkern (49 %), Farbstoffen (42 %) und Aromen (30 %). Sehr häufig wurde das Fehlen mehrerer Stoffgruppen ausgelobt. Mehrfachnennungen kamen in 55 % aller Produkte vor. Viele Hersteller wiesen speziell auf das Fehlen von „künstlichen XX“ hin. Häufig wurde zusätzlich zum „*clean label*“ durch weitere Aussagen wie z.B. „Natur pur“ eine Ursprünglichkeit impliziert, die durch den Blick auf die Zutatenlisten nicht bestätigt werden konnte. Laut der Studienergebnisse der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V. (2010) weisen Produkte mit einem „*clean label*“ selten eine höhere Qualität aus. Oft enthalten sie nicht weniger Zusatzstoffe als Lebensmittel ohne entsprechende Hinweise, und sehr oft werben Hersteller mit Selbstverständlichkeiten. Wenn zum Beispiel ein Produkt, das laut Gesetz gar nicht mit Konservierungsstoffen behandelt werden darf, mit dem Label „ohne Konservierungsstoffe“ ausgelobt wird, unterstellt der Anbieter indirekt, dass vergleichbare Produkte anderer Wettbewerber unter Umständen Konservierungsstoffe enthalten könnten. Mit solchen Aussagen werden die Label dem Verbraucherbedürfnis nach klaren Angaben auf den Verpackungen nicht gerecht. Eine Verwen-

dung in diesem Sinne wird in der Regel als irreführend beanstandet. Nicht zuletzt stellten die Verbraucherzentralen eine Reihe von Rechtsverstößen im Zusammenhang mit dem „*clean label*“ fest.

1.2.6.2 Noch Zutat oder schon Zusatzstoff?

Da gesetzliche Regelungen zur Auslobung eines „*clean label*“ fehlen, ist es für den Hersteller oft eine Gradwanderung, wenn er zugelassene Zusatzstoffe durch andere Stoffe zu ersetzen versucht. Die Vielfalt von Ersatzstoffen mit technologisch ähnlicher Wirkung ist unübersichtlich und verwirrend und auf den Zutatenlisten für Konsumenten nicht nachvollziehbar. Viele dieser Ersatzstoffe entsprechen tatsächlich nur Zutaten, ohne die vom Konsumenten unerwünschten Substanzen zu enthalten, andere Stoffe dagegen enthalten „natürlicherweise“ relevante Mengen jener Substanzen und können so die Wirkung des jeweiligen Zusatzstoffes ersetzen. Der Hersteller bewegt sich hier in einer gesetzlich undefinierten Grauzone und die Grenze zur Irreführung des Konsumenten ist oft schwer zu ziehen. Bedenklich ist in diesem Zusammenhang, dass die Höchstmengen der erlaubten Zusatzstoffe gesetzlich geregelt sind und sich sowohl auf toxikologische Studien als auch auf erhobene Verzehrsmengen stützen. Da diese Ersatzstoffe zumeist als Lebensmittelzutaten gelten, gibt es hier keine Höchstmengenbeschränkung.

Eine definierte Liste von solchen Ersatzstoffen zur Orientierung gibt es bislang nicht. In einigen Fällen wird erst nach Einsatz des Herstellers die Verwendung einer Zutat untersagt. Der Übergang von einem Lebensmittel zu einem Zusatzstoff ist nicht immer leicht festzulegen und muss im Einzelfall entschieden werden.

Im Folgenden sollen einige Beispiele für die Verwendung von Lebensmittelzutaten mit ähnlicher Wirkung wie Zusatzstoffe beschrieben werden.

Konservierungsstoffe: Hier werden oft Konservierungsstoffe durch andere (Zusatz)Stoffe ersetzt, die laut EU-Verordnung keine Konservierungsstoffe sind, aber teilweise ebenfalls konservierende Wirkung ausüben, z.B. Antioxidantien oder Säuerungsmittel. Erfolgt die Kennzeichnung unter dieser anderen Substanzklasse und wird das Produkt gleichzeitig ausgelobt mit der Aussage „ohne Konservierungsstoffe“, kann das als Irreführung des Konsumenten betrachtet werden.

Geschmacksverstärker: Ein bekanntes Beispiel ist der Ersatz von Natriumglutamat durch Hefeextrakt oder Sojaprotein. Beide Stoffe enthalten relevante Menge an Natriumglutamat. Rein rechtlich handelt es sich aber bei beiden um Lebensmittelzutaten und nicht um Zusatzstoffe, und sind daher als solche nicht zu deklarieren. Praktisch gesehen kommt es aber einer Täuschung des Konsumenten gleich. Laut der Studie der Verbraucherzentralen Deutschlands, enthielten 92 % der untersuchten Produkte, die mit dem Attribut „ohne Geschmacksverstärker“ gekennzeichnet waren, geschmacksverstärkenden Zutaten wie Hefeextrakt (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V., 2010).

Nitritpökelsalz: Als Ersatz für die Verwendung von Nitritpökelsalz zur Umrötung bei Fleischerzeugnissen könnten nitrathaltige Gemüseextrakte verwendet werden. Dabei werden stark nitrathaltige Gemüsesorten wie Spinat oder Salat zu Extrakten oder Pulvern mit erheblichen Gehalten an Nitrat verarbeitet. Diese Extrakte werden dann zum Beispiel bei der Herstellung einer Brühwurst dem fein zerkleinerten Fleischbrät zugesetzt. Gleichzeitig werden Bakterienkulturen verwendet, die das über die Gemüseextrakte zugesetzte Nitrat zu Nitrit umwandeln. Das Nitrit bewirkt wie bei einer herkömmlich mit Nitritpökelsalz gepökelten Brühwurst die typische Umrötung und die Ausbildung des Pökelaromas. Im Vergleich zur herkömmlichen Pökung kommen zwar geringere Mengen an Nitrit zum Einsatz, trotzdem wird der Verbraucher über die Herstellungsweise getäuscht. Konsumenten, die gezielt ihre Nitrat- und Nitritzufuhr über Lebensmittel reduzieren wollen und deshalb auf ungepökelte Fleischerzeugnisse zurückgreifen, bekommen ein Produkt, welches dennoch Nitrat und Nitrit enthält. Zudem haben sie keine Möglichkeit, den wahren

Sachverhalt zu erkennen. Vom Hefeextrakt kann ein gut informierter Verbraucher wissen, dass Glutamat enthalten ist. Wenn bei ungepökelten Lebensmitteln im Zutatenverzeichnis jedoch „Gemüsepulver“ oder „Gemüsebrühe“ steht, ist nicht zu folgern, dass aus rein technologischen Gründen Nitrat in Kombination mit Bakterien zur Nitritbildung zugesetzt wurde. Nitrat und nitrit-haltige Gemüseextrakte sind nach Auffassung der Arbeitsgruppe Lebensmittelzusatzstoffe der EU-Kommission als Zusatzstoffe einzuordnen, aber bislang sind sie noch nicht zugelassen. Die Verwendung von Gemüseextrakten zur Pökung ist damit verboten“ (Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2014) Im Österreichischen Lebensmittelbuch wird ausgeführt, dass Lebensmittel in getrockneter oder konzentrierter Form (einschließlich Aromen) oder gleichwertige Extrakte (ausgenommen färbende Lebensmittel) nur dann für die Herstellung von Fleischerzeugnissen verwendet werden, wenn sie zur Verleihung einer aromatisierenden, geschmacklichen oder ernährungsphysiologischen Wirkung eingesetzt werden. Zur Erzielung einer technologischen Wirkung (z.B. Umrötung, Konservierung oder Haltbarkeitsverlängerung) werden sie nicht eingesetzt (Codexkapitel B14, **C.1.6**).

Ascorbinsäure und Antioxidantien: Häufig wird Ascorbinsäure (E 300) mit „Acerolakonzentrat“ ersetzt. Welchen Verarbeitungsgrad und welche Konzentration an Vitamin C weist diese Zutat auf? Handelt es sich hier um einen versteckten Zusatzstoff? Das ist oft sehr schwierig abzuschätzen und muss von Fall zu Fall untersucht werden. Die Verwendung von Fruchtsaftkonzentraten oder Fruchtextrakten dient in vielen Fällen dem Ersatz von Antioxidantien und wird in Produkten eingesetzt, in denen sie ungewöhnlich erscheinen (z.B. in Fleischwaren).

Farbstoffe: Hier werden üblicherweise Farbstoffe durch färbende Lebensmittel ersetzt. Prinzipiell will der Konsument nicht auf Färbung, sondern auf (künstliche) Farbstoffe verzichten. Irreführend ist aber aus Verbrauchersicht, wenn Lebensmittel zur Farbgebung eingesetzt werden, ohne diesen Charakter oder Zweck besonders im Zutatenverzeichnis zu kennzeichnen. Schwierig ist für den Produzenten, dass „natürliche“ Farbstoffe und färbende Lebensmittel oft nicht dieselbe Stabilität aufweisen. Neue Technologien, um alternative Farbstoffe zu gewinnen, werden verstärkt erforscht wie z.B. Fermentationsprozesse (Shelke, 2014). Genaue Informationen über die Einteilung von Farbstoffen bzw. färbenden Lebensmittel sind im sogenannten *Guidance document* der EU erklärt (*Guidance notes on the classification of food extracts with colouring properties*, 2013)

Aromen: Laut der Studie der Verbraucherzentralen Deutschlands, enthielten 92 % der untersuchten Produkte, die mit der Aussage „ohne künstliche Aromen“ gekennzeichnet waren, andere Aromen, die rechtlich nicht unter den Begriff „künstliche Aromastoffe“ fallen (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V., 2010).

1.2.7. „*clean label*“ – Trend, Plateau oder Hype?

Betrachtet man die Produkteinführungen der vergangenen Jahre, welche Auslobungen wie „*clean label*“, „natürlich“ oder „frei von...“ enthalten, geht der Trend in den letzten Jahren nach oben. Getreu dem Motto „weniger ist mehr“ versuchen Lebensmittelhersteller ihre Etiketten zu vereinfachen und so das Vertrauen der Konsumenten zurückzugewinnen. Die Konsumenten erwarten mehr Klarheit und Transparenz bezüglich der Zutatenliste. Sie sind zunehmend interessiert, man könnte auch sagen besorgt, welche Zutaten in ihren Lebensmittelprodukten enthalten sind. Einer Umfrage zufolge erachten 78 % der europäischen Konsumenten die Zutatenliste als sehr oder ziemlich wichtig. Claims wie „natürlich“ oder „natürliche Zutaten“ werden besonders akzeptiert, im Gegensatz zu „künstliche Farbstoffe oder Aromen“. Manchen Umfragen zufolge scheint die Zutatenliste nach dem Preis der zweitwichtigste Faktor für eine Kaufentscheidung zu sein. Ein Pro-

dukt, das als „natürlich“ oder „ohne künstliche Zutaten“ beworben wird, wird demzufolge vom Konsumenten oft als gesünder wahrgenommen (Ingredion Incorporated, 2014).

Abb. 2.1.4 zeigt Produkteinführungen im „*clear label*“ Segment in verschiedenen Regionen in den Jahren 2003 und 2010. Vor allem in Amerika und Europa ist ein drastischer Anstieg zu verzeichnen (Pelofske, 2014)

Von der Fa. Mintel GNPD erhobene Daten zeigen, dass im Jahre 2013 in Europa zwischen 18-33 % (für die einzelnen Länder unterschiedlich) der neuen Produkteinführungen mit einem „*clean label*“ beworben wurden (Ingredion Incorporated, 2014). Laut Innova Market Insights dominiert der Clear label Trend die Top 10 Trends für 2015 für Lebensmittel und Getränke weltweit. Der Wechsel von „*clean*“ to „*clear labelling*“ spiegelt das Bestreben wieder, klare und einfache Kennzeichnung und Verpackung für Lebensmittel zu verwenden, um maximale Transparenz zu schaffen (Prepared Foods, 2014). Etwa ein Viertel aller Produkte und Getränkeinführungen werden mit clean bzw. clear label gekennzeichnet – Hersteller verweisen zunehmend auf die Natürlichkeit und Herkunft der Produkte.

Die Fa. Kampffmeyer Food Innovation führte eine umfassende Studie zum Thema „*clean label*“ durch und erhoben, was die Konsumenten zum Kauf motiviert. Insgesamt 4.000 Personen aus verschiedenen Ländern Europas wurden dazu interviewt. Den Ergebnissen zufolge bestimmen die Frische und Qualität die Kaufentscheidung der heutigen Konsumenten. Etwa 80 % wünschen sich Produkte ohne Zusatzstoffe. Die meisten Konsumenten sind davon überzeugt, dass diese Produkte gesünder sind, mehr Vitamine enthalten, besser schmecken und generell eine höhere Qualität aufweisen im Vergleich zu den „weniger natürlichen“ Lebensmitteln. Laut dieser Umfrage sollen vor allem Backwaren nur natürliche Zutaten enthalten, gefolgt von tiefgefrorenen Lebensmitteln (Kampffmeyer Food Innovations, 2014).

French (2013) präsentierte Daten zur „*clean label*“ Entwicklung in den USA. Demzufolge schauten im Jahre 2012 47% der Konsumenten bei Lebensmittel/Getränken auf ein Etikett mit kurzer Zutatenliste und verständlichen Zutaten, verglichen mit 37 % im Jahre 2007. Noch anschaulicher wird diese Entwicklung, wenn man die Anzahl der Produkteinführungen hernimmt, die mit „pure“, „simpler“ oder „real“ beworben wurden: Im Jahre 1999 waren es 178, im Jahre 2012 ist diese Zahl auf über 400 angestiegen.

Eine Studie von Natural Marketing Institute (NMI) erhob, dass Konsumenten auf folgende Merkmale schauen, wenn sie auf ihre Gesundheit achten wollen: nährstoffreiche Lebensmittel (68 %), ausgewogene Diät (66 %), natürliche Lebensmittel (35 %), angereicherte/ funktionelle Lebensmittel (27 %) und biologisch produzierte Lebensmittel (22 %) (French, 2013).

Vergleicht man die einzelnen Lebensmittelbranchen miteinander, so wird das Thema „*clean label*“ v.a. für die Hersteller von Tiefkühlprodukten an Bedeutung gewinnen, wie in Abb. 2.1.5 gezeigt (DLG Trendmonitor, 2012).

Laut Spiller & Zühlsdorf (2012) sind immer mehr Konsumenten dazu bereit, für qualitativ hochwertigere Produkte entsprechend mehr Geld auszugeben. Das Qualitätsbewusstsein vieler Konsumenten steigt und der Preis der Lebensmittel ist für einige möglicherweise doch zweitrangig. Diese Entwicklung birgt jedoch auch ihre Gefahren. Setzt sie sich weiterhin fort, so könnte es passieren, dass nach und nach zwei Klassen an Lebensmitteln entstehen: Zum einen preiswerte, zusatzstofffreie Lebensmittel für die Masse der Bevölkerung und zum andere teure, zusatzstoffarme Lebensmittel für die, die es sich leisten können bzw. wollen (Berghofer, 2010).

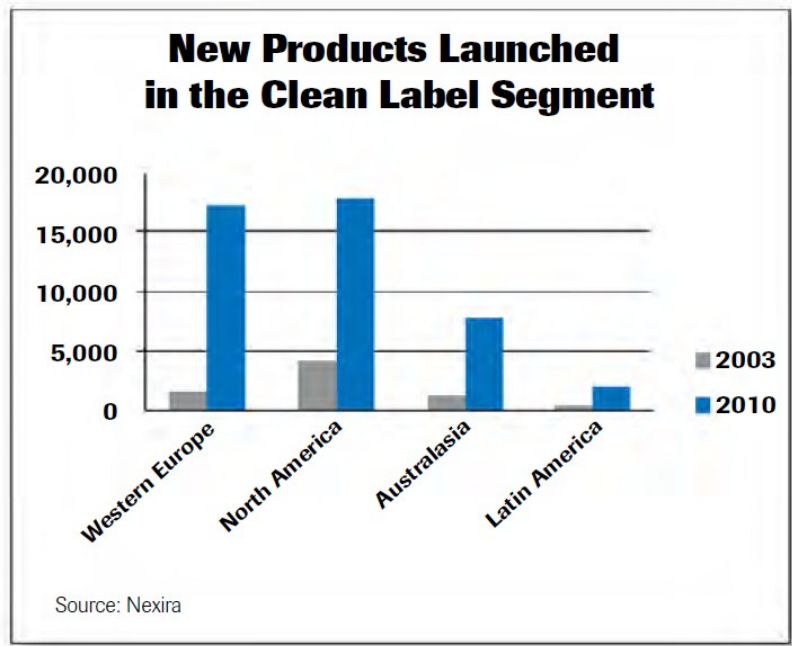


Abb. 2.1.4: „Clean label“ Produkteinführungen in den verschiedenen Regionen (aus Pelofske, 2014)

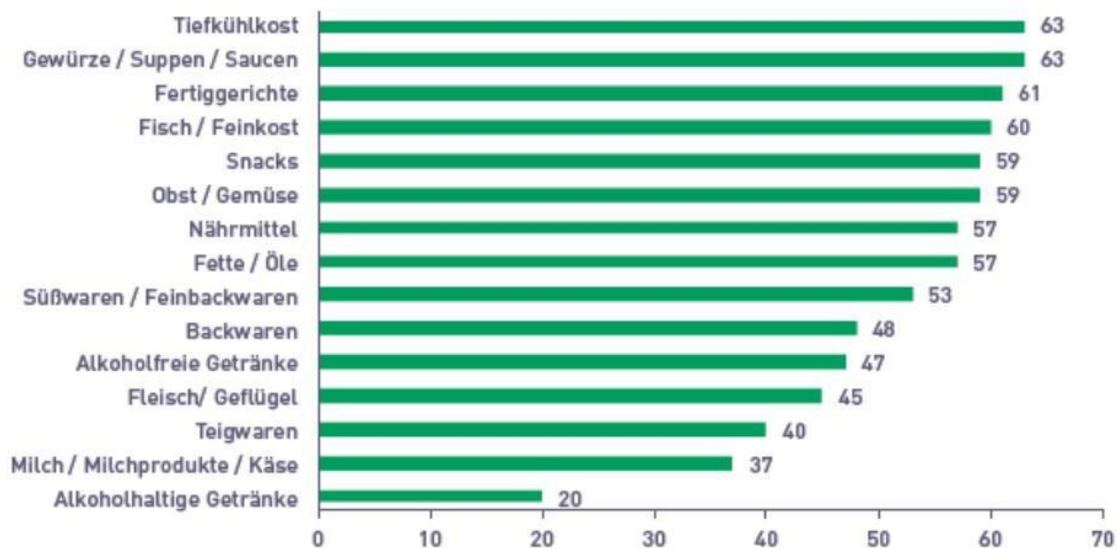


Abb. 2.1.5: Bedeutung des Themas „clean label“ in den nächsten 5 Jahren aus der Sicht der einzelnen Branchen (DLG Trendmonitor, 2012)

1.2.8. Abschätzung der Marktentwicklung

Zukünftige Prognosen sind in diesem Bereich nicht leicht. Wie eingangs erwähnt, ist in den letzten Jahren der Markt für „clean label“ Produkte massiv gestiegen. Hält dieser Trend nach oben weiterhin an, wächst der Markt für Lebensmittel „ohne künstliche Zusatzstoffe“ noch weiter, oder ist er vielleicht nicht doch langsam gesättigt?

Aus der Produktdatenbank Product Launch Analytics (Datamonitor Consumer©, Informa plc, UK) wurde erhoben, wie viele Produkte in den letzten 25 Jahren (von 1980 bis Ende 2013) weltweit, bzw. für Europa, bzw. für Nordamerika mit den folgenden *claims/tags* auf den Markt gebracht wurden:

1. *“clean label“*
2. *“no additives“*
3. *“natural“*
4. *“No Additives OR No Artificial Color OR No Artificial Flavor OR No Artificial Ingredients OR No Artificial Sweeteners OR No Chemicals OR No MSG OR No Phosphates OR No Preservatives OR No Saccharin OR No Sweeteners“*

Die *claims/tags* wurden deswegen so gewählt, weil laut Datamonitors innovation insight die Hersteller in letzter Zeit daher dazu übergehen, ihre Produkte anstatt mit „natürlich“, mit den Begriffen „frei von“, „*minimally processed*“ oder „organisch“ bewerben. Die Produkte wurden für die Kategorien „Beverages - Alcoholic OR Beverages - Non-Alcoholic OR Food“ analysiert. Alle Daten sind in Abb.2.1.6 - 2.1.9 dargestellt.

Produkte mit dem claim *“clean label“* scheinen weltweit zwar zuzunehmen, vor allem in Europa ist dieser Trend nach oben deutlich sichtbar. In Nordamerika dagegen, ist dieser Trend nach oben nicht mehr deutlich, hier ist seit einigen Jahren eher ein rückläufiger Trend zu beobachten, wobei das höchste Niveau schon vor etwa 5 Jahren erreicht worden sein dürfte. Es soll hier noch einmal betont werden, dass insgesamt nur wenige Produkte überhaupt den claim *“clean label“* verwenden. Schaut man sich die Daten für die *claims* *“no additives“* oder *“natural“* bzw. all den einzelnen unter Punkt 4 genannten *claims* an, zeichnet sich ein ähnlicher Trend ab. Weltweit und in Europa im Speziellen scheinen die Produktentwicklungen mit diesen *claims* in den letzten 2-5 Jahren ein Höchstniveau erreicht zu haben, es scheint sich hier ein Plateau auszubilden. In Nordamerika scheint der Trend eher absteigend zu sein.

Diese Daten lassen eher vermuten, dass der Markt für Lebensmittel ohne künstliche Zusatzstoffe nicht weiter wächst, sondern eventuell doch gesättigt sein könnte. Laut den Zahlen von Datamonitor sinken die neuen Produkteinführungen von 8,8 % im Jahre 2007 auf 6,3 % im Jahre 2013. Die Frage stellt sich, ob tatsächlich ein Plateau erreicht ist, oder ob es vielleicht auch daran liegt, dass die Hersteller auf andere hier nicht erfasste *claims* ausweichen (z.B. *gluten-free* – Produkte mit diesem *claim* sind nachweislich gestiegen), bzw. ihre zusatzstofffreien Produkte ohne besonderen claim vermarkten. Diese Vermutung wird zumindest dadurch genährt, dass die meisten (oben erwähnte) Studien einen nach wie vor deutlichen Marktzuwachs prognostizieren.

Aufgrund der Unsicherheit von Zukunftsprognosen lässt sich die Frage „Trend, Hype oder Plateau?“ nicht eindeutig beantworten. Möglicherweise handelt es sich beim *“clean label“* eher um einen Hype, der sich parallel zur Nachfrage nach biologischen oder Lebensmittel mit einem Zusatznutzen entwickelt hat, aber ob hier noch weiteres Wachstum erwartet werden kann oder nicht, lässt sich nur schwer abschätzen. Zu bedenken ist auch, dass das Bewusstsein der Konsumenten steigen könnte, dass Produkte aufgrund eines *“clean label“* trotzdem nicht immer qualitativ besser oder gesünder sind. Wie oben bereits erwähnt, weisen einige Konsumentenorganisationen bzw. Internet-Blogs in diese Richtung.

1.2.9. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Herstellung von „*clean label*“ Produkten scheint zumindest ein anhaltender Trend für die nächsten Jahre dar und stellt die Lebensmittelproduzenten vor besondere Herausforderungen, die vor allem auf dem Fehlen von konkreten Definitionen und spezifischen gesetzlichen Regulierungen beruhen. Es bleibt abzuwarten, wie sich der „*clean label*“ Trend in Zukunft entwickeln wird. Studien zeigten, dass die meisten Konsumenten die Begriffe „natürlich“ und „*clean label*“ anders verstehen als die Produzenten.

Der Ersatz von deklarationspflichtigen Zusatzstoffen durch andere, toxikologisch nicht abgeklärte, z.B. „natürliche Stoffe“ ist – wie bereits erwähnt - sehr oft keine Risikominderung, sondern eine Erhöhung. Teilweise müssen solche Stoffe als Allergene gekennzeichnet werden (z.B. Sojaprotein). Es könnte dem Image der Lebensmittelproduzenten mehr schaden als Vorteile bringen, wenn sie Produkte mit einem „*clean label*“ (o.ä.) bewerben, und dann Zutaten mit gleicher Wirkung verwenden, oder Stoffe einsetzen, deren Gesundheitswirkung oder –risiko nicht untersucht worden ist. Zudem tragen die Lebensmittelunternehmer hier im Gegensatz zu den geprüften Stoffen die volle Verantwortung für die Unbedenklichkeit der Produkte. Treten irgendwann mit einem solchen, mit „natürlich“ Image versehenem, Produkt Probleme auf (v.a. gesundheitliche Bedenken), könnte das langfristig vom Konsumenten als eine doppelte Täuschung wahrgenommen werden.

„*Clean label*“ ist ein Marketinginstrument, eine höhere Produktqualität ist nicht immer erkennbar. Die Labels werden dem Verbraucherbedürfnis nach klaren Angaben auf den Verpackungen nicht gerecht. Produkte ohne „*clean label*“ unterscheiden sich häufig nicht von Vergleichsprodukten mit „*clean label*“ Auslobung. Sie enthalten sehr oft nicht weniger Zutaten (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V., 2010). In vielen Fällen bedeutet „*clean label*“ nicht, dass die Produkte ohne Konservierungsmittel, etc. hergestellt werden. In der Mehrheit sind diese Stoffe, ohne die sie angeblich hergestellt werden, durch andere nicht zu deklarierende Stoffe ersetzt. Ob das dem Wunsch der Konsumenten nach mehr Natürlichkeit, bzw. nach einfacheren Lebensmitteletiketten entspricht, ist fraglich. Die Konsumenten verfügen nicht über dieses umfassende lebensmitteltechnologische Verständnis, um hier die Unterschiede zu erkennen. Eine Möglichkeit um mehr Klarheit oder Transparenz bezüglich den Zutaten zu schaffen wäre die Nennung des technologischen Zweckes, wenn Zusatzstoffe durch andere Zutaten ersetzt werden z.B. färbendes Tomatenpulver (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V., 2010).

Spezifische gesetzliche Regelungen zur Verwendung von *claims*, wie „*clean label*“, „natürlich“ oder „ohne ...“ wären sinnvoll. Die Begriffe „natürlich“ oder „künstlich“ in Zusammenhang mit Lebensmitteln sollten europaweit einheitlich definiert werden, um einerseits mehr Transparenz für die Konsumenten zu schaffen, und andererseits dem Hersteller eine Orientierung zu ermöglichen, welche Stoffe er in welchen Mengen einsetzen kann. Bislang bewegen sich die Produzenten eher in einer undefinierten Grauzone ohne Orientierungshilfe. Wenn ein Produkt mit der Aussage „ohne XXX“ ausgelobt wird, muss der Konsument sicher sein können, dass keine anderen Stoffe verwendet wurden, die diese oder eine ähnlich Wirkung haben.

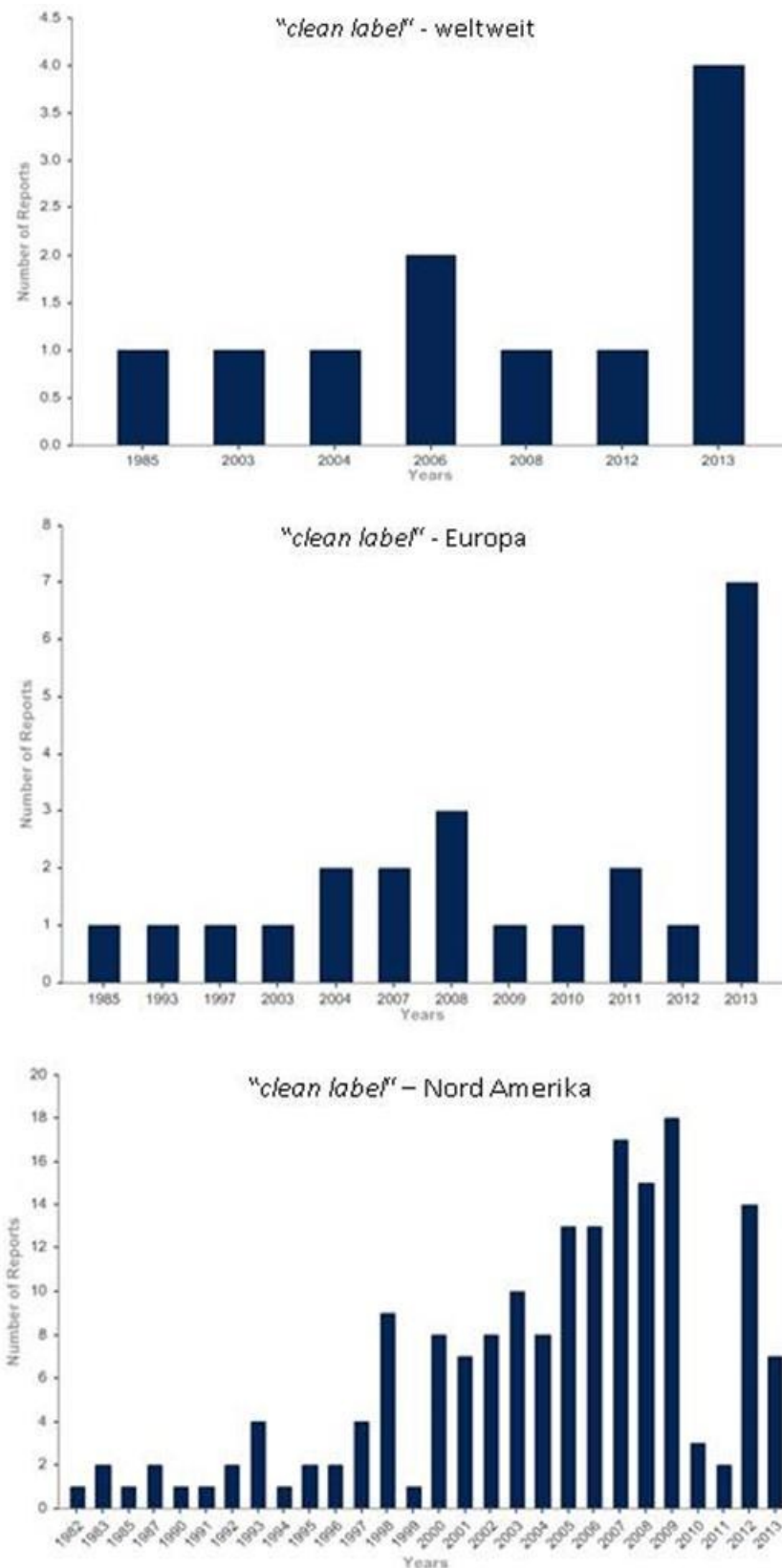


Abb. 2.1.6: Tendenz für Produkte mit dem claim/tag "clean label" weltweit (oben), Europa (Mitte) und North America (unten)

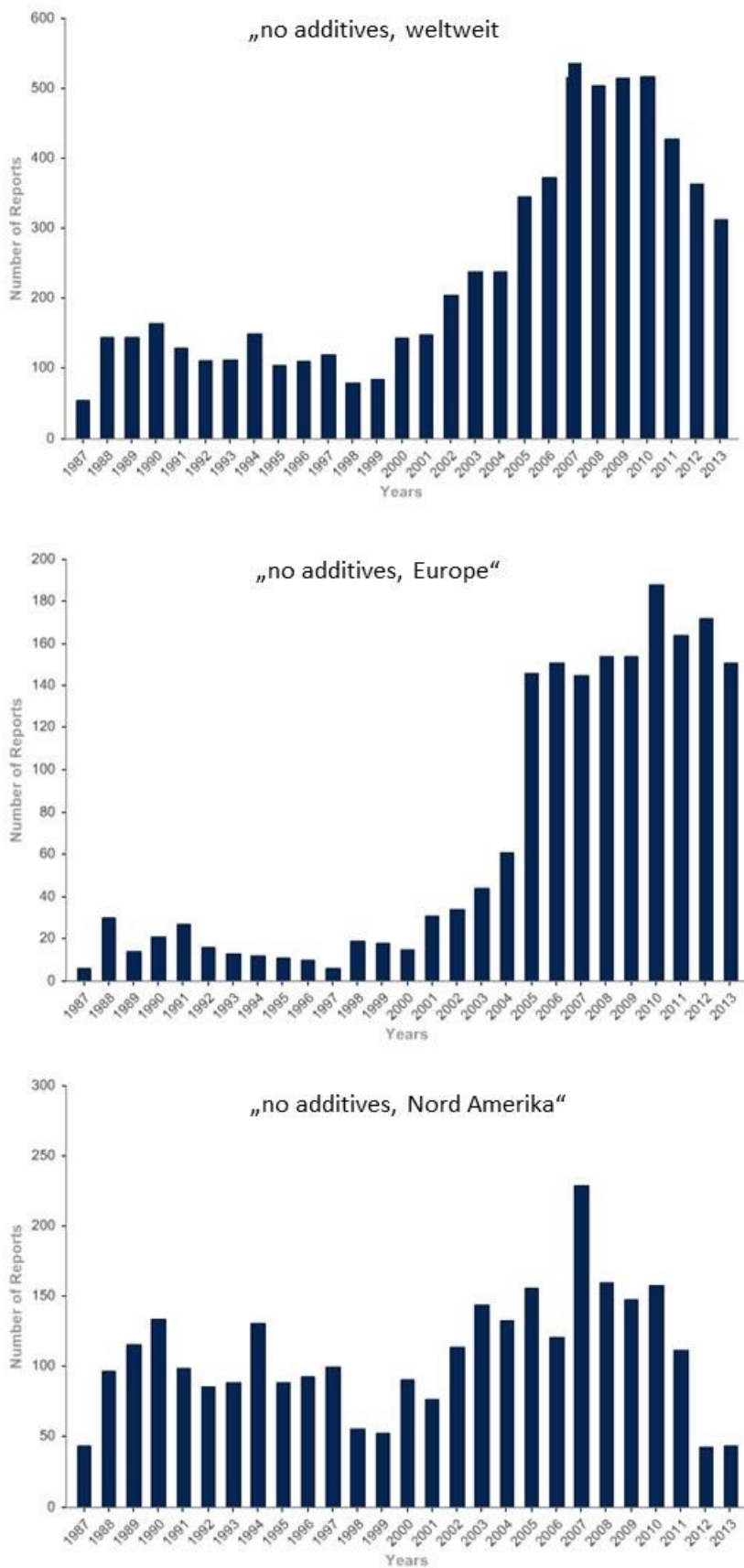


Abb. 2.1.7: Tendenz für Produkte mit dem claim/tag „no additives“ weltweit (oben), Europa (Mitte) und North America (unten)

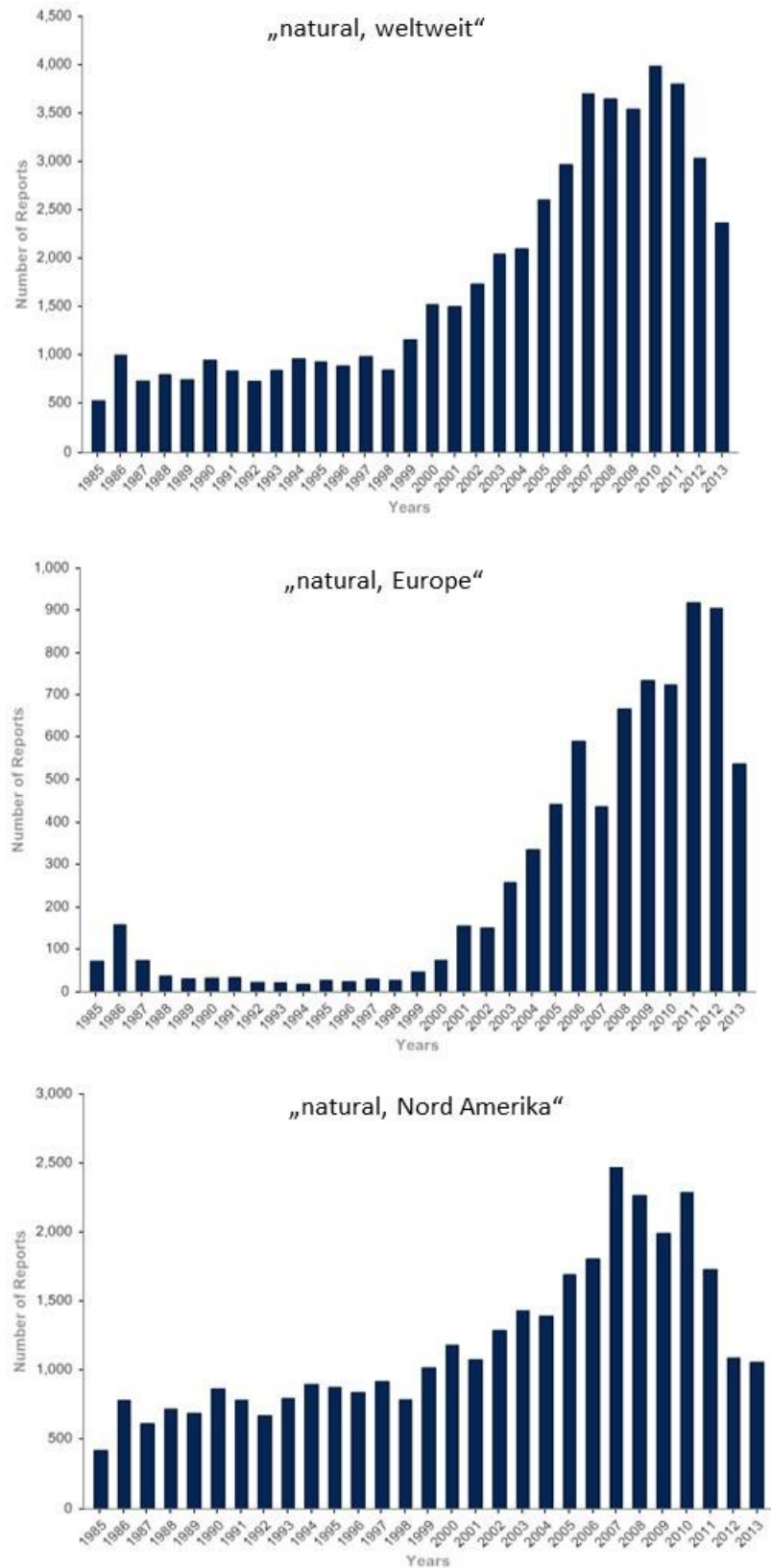


Abb. 2.1.8: Tendenz für Produkte mit dem claim/tag „natural“ weltweit (oben), Europa (Mitte) und North America (unten)

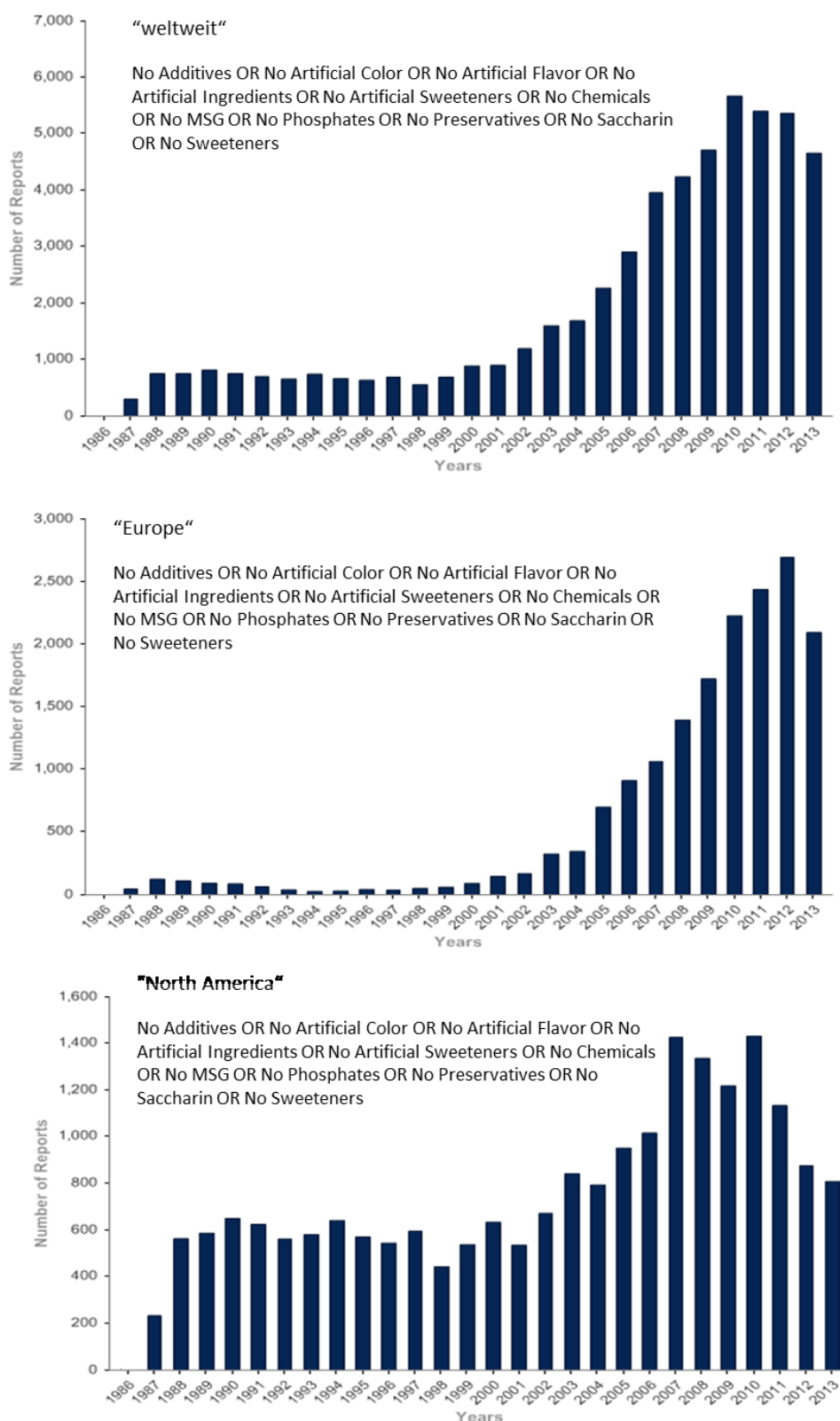


Abb. 2.1.9: Tendenz für Produkte mit den *claims/tags*: “No Additives OR No Artificial Color OR No Artificial Flavor OR No Artificial Ingredients OR No Artificial Sweeteners OR No Chemicals OR No MSG OR No Phosphates OR No Preservatives OR No Saccharin OR No Sweeteners” weltweit (oben), Europa (Mitte) und North America (unten)

1.3. Effektkennzeichnung bzw. Nichtkennzeichnung

„Effektkennzeichnung“ bedeutet, dass der Effekt im Enderzeugnis deklariert werden muss (z.B. „aus Fleischstücken zusammengefügt“ und „aus Fischstücken zusammengefügt“). Um ein Verständnis über die (Nicht)-Deklarationsmöglichkeiten zu erhalten, sollen zunächst einige dafür notwendige Grundbegriffe erklärt werden.

Eine Erläuterung des Begriffs „Effektkennzeichnung“ findet sich im *“Guidance Document on Criteria for Categorisation of Food Enzymes”*, das vom Ständigen Ausschuss Lebensmittelkette und Tiergesundheit verabschiedet wurde (Guidance Documents, 2014):

“In order to not mislead the consumer, the food enzyme Regulation (Article 7(2)(f)) requires that the entry of a food enzyme in the Union list shall specify, among other things, where necessary, specific requirements in respect of the labelling of food in which the food enzyme have been used in order to ensure that the final consumer is informed of the physical condition of the food or the specific treatment it has undergone (i.e. effect-labelling as it is the case with combined pieces of meat in a meat product).

In the context of meat products, meat preparations and fishery products which may give an impression that they are made of a whole piece of meat or fish but actually consist of different pieces combined together by other ingredients (e.g. food enzymes) or by other means shall bear the indication "formed meat" or "formed fish". This is prescribed in Annex VI Part A point 5 of Regulation (EU) No 1169/2011.

Other possible misleading characters of the label will be decided on a case-by-case basis depending on the process and in particular, taking into account the requirements of the following pieces of legislation: Article 7.2(f) of Reg 1332/2008, Articles 2.1(a)(i) and 5 of labelling Directive, and Articles 7.1(a) and 17 of Regulation (EU) No 1169/2011.”

1.3.1. Lebensmittelsicherheit und Verbraucherinformation

Einleitend ist zu erwähnen, dass die Begriffe „zulassungspflichtig“ und „deklarations- bzw. kennzeichnungspflichtig“ nicht gleichbedeutend mit unsicher oder gar gesundheitsgefährdend sind. Lebensmittelsicherheit ist einer der zentralen Begriffe des Lebensmittelrechts und regelt rigoros, dass Lebensmittel, die nicht sicher sind, auch nicht in Verkehr gebracht werden dürfen. Das liegt in der Verantwortlichkeit des Lebensmittelunternehmers, unter dessen Namen oder Firma das Lebensmittel vermarktet wird (das kann der Hersteller oder aber auch der Verkäufer sein). Der Lebensmittelunternehmer hat damit u.a. immer für alle von ihm vertriebenen Lebensmittel eine entsprechende Risikoanalyse (auch auf Basis wissenschaftlicher Literatur etc.) und Risikomanagement durchzuführen, sowie Verbraucherinteressen zu schützen (also Täuschung zu vermeiden). Für Lebensmittelbestandteile, die der Zulassung unterliegen und die vom Unternehmer in den entsprechenden festgelegten Kategorien und Einsatzmengen eingesetzt werden, ist die EFSA bei etwaigen dennoch auftretenden Gesundheitsproblemen etc. verantwortlich zu machen.

Die Deklaration dient der bestmöglichen Information der Verbraucherinnen und Verbraucher bzw. dem Schutz vor ihrer „Irreführung“. Wenn beispielsweise das Antioxidationsmittel Zitronensäure auf einem Lebensmittel deklariert ist, wird darüber informiert, dass dieses Lebensmittel nach „xy“ Tagen immer noch appetitlicher aussieht als ein unbehandeltes. Das dient auch zur Vermeidung der Wettbewerbsverzerrung.

1.3.2. Zusatzstoffe versus Verarbeitungshilfsstoffe

Eine wichtige, bereits für viele Substanzen bei ihren jeweiligen Einsatzzwecken über die Kennzeichnungspflicht vorentscheidende Einordnung ist diejenige in Zusatzstoffe bzw. Verarbeitungshilfsstoffe.

„Ein Lebensmittelzusatzstoff ist ein Stoff mit oder ohne Nährwert, der in der Regel weder selbst als Lebensmittel verzehrt noch als charakteristische Lebensmittelzutat verwendet wird und bei einem Lebensmittel aus technologische Gründen bei der Herstellung, Verarbeitung, Zubereitung, Behandlung, Verpackung, Beförderung oder Lagerung zugesetzt wird und dadurch selbst oder seine Nebenprodukte mittelbar oder unmittelbar zu einem Bestandteil des Lebensmittels wird oder werden kann.“ [Verordnung (EU) 1333/2008]

Der Stoffbegriff ist hier sehr weit gefasst und kann dabei auch ein Stoffgemisch oder auch ein MO sein. Natürliche Bestandteile eines Lebensmittels, die sich noch im natürlichen Verbund befinden (z.B. Paprikapulver) sind keine Stoffe in diesem Sinn, extrahierte Farbpigmente aus Paprikapulver hingegen schon.

„**Verarbeitungshilfsstoffe** sind definiert als Stoffe, die nicht als Lebensmittel verzehrt werden, bei der Be- und Verarbeitung von Rohstoffen, Lebensmitteln oder deren Zutaten aus technologischen Gründen während der Be- und Verarbeitung verwendet werden und unbeabsichtigte, technisch unvermeidbare **Rückstände im Enderzeugnis hinterlassen** können sofern diese Rückstände gesundheitlich unbedenklich sind und sich technologisch nicht auf das Enderzeugnis auswirken.“ [Verordnung (EU) 1333/2008]

Der wesentliche Unterschied liegt also darin, dass Verarbeitungshilfsstoffe *per definitionem* nur noch als technologisch unvermeidbare Rückstände vorliegen und damit keine technologische Wirkung im Enderzeugnis haben.

Die Lebensmittelkennzeichnungsverordnung EU 1169/2011 sieht nun vor, dass **alle „Zutaten“ auf der Verpackung gekennzeichnet** werden müssen und definiert dabei Zutaten folgendermaßen:

„Ferner bezeichnet der Ausdruck „Zutat“ jeden Stoff und jedes Erzeugnis, einschließlich Aromen, Lebensmittelzusatzstoffen und Lebensmittelenzymen, sowie jeden Bestandteil einer zusammengesetzten Zutat, der bei der Herstellung eines Lebensmittels verwendet wird und der – gegebenenfalls in veränderter Form – im Enderzeugnis vorhanden bleibt; **Rückstände gelten nicht als „Zutaten“**.“ [Verordnung (EU) 1169/2011]

Genau dieser dezidierte Ausschluss von Rückständen vom Zutatenbegriff führt letztlich dazu, dass Verarbeitungshilfsstoffe – vorausgesetzt, dass sie nur noch als Rückstände vorliegen (und so sind sie definiert [s.o. VO 1333/2008]) von der Kennzeichnungspflicht ausgenommen sind. Dieses Faktum kann unter den Lebensmittelherstellern das verständliche Bestreben hervorrufen, im Zweifelsfall von der Einordnung als Verarbeitungshilfsstoff auszugehen, um eine Deklaration zu vermeiden.

1.3.3. Der technisch unvermeidbarer Rückstand

„Rückstand“ umfasst dabei – mit der Auslegung des Wortlautes befassten Juristen nach – sowohl einen stark mengenmäßig reduzierten Ausgangsstoff als auch seine Abbau- und Reaktionsprodukte bezeichnet, wobei bei letzteren eine mengenmäßige Reduktion nicht zwingend notwendig ist

(Schulz, 2012).

Weiteres gehen Juristen von einer technischen Unvermeidbarkeit aus, wenn die Rückstände oder Abbau- und Reaktionsprodukte mit den nach dem Stand der Technik verfügbaren Methoden und unter verhältnismäßigem Aufwand nicht vollständig entfernt werden können (Jagow & Teufer, 2007).

1.3.4 „Grauzone“ Lebensmittelenzyme

Enzyme sind zwar seit in Kraft treten der Verordnung (EU) 1332/2008 separat von den Zusatzstoffen geregelt, die Regeln für ihre Kennzeichnung sind aber zu jenen der Zusatzstoffe nach wie vor weitgehend ident:

Sie sollen in ihrer Zuordnung als Zutaten nach der LMIV (VO EU 1169/2011) jedenfalls grundsätzlich gekennzeichnet werden.

Konkret sind sie –analog zu den Zusatzstoffen - nach ihrer Hauptfunktion in deren in Verordnung (EU) 1333/2008 beschriebenen Funktionsklassen einzuordnen, und Voranstellung der am besten zutreffenden Funktionsklasse zu deklarieren (z.B. Backtriebmittel Alpha-Amylase).

Die praktische Ausnahme von der Kennzeichnung ergäbe sich nun im Fall, dass belegt werden kann, dass das zugegebene Ausgangsenzym nur noch als Rückstand im Enderzeugnis vorliegt bzw. *per definitionem* den Verarbeitungshilfsstoffen zugeordnet werden kann. So einfach ist das allerdings nicht:

Diesbezüglich muss man sich nämlich darüber im Klaren sein, unter welchen Voraussetzungen ein Enzym eine technologische Funktion in einem Lebensmittel ausübt:

- Das Enzymprotein muss im Lebensmittel in seiner nativen (nicht-denaturierten) Form vorliegen UND
- Sein Substrat muss vorhanden sein UND
- Das Enzym muss in der Lage sein, dass Substrat entsprechend zu nutzen UND
- Die Umgebungsbedingungen wie pH, Temperatur und Wassergehalt müssen in seinem Arbeitsbereich liegen.

Nur wenn all diese Voraussetzungen gegeben sind, kann das Enzym seine technologische Funktion erfüllen. Ist eine dieser Voraussetzungen nicht gegeben, gilt es als inaktiv (zu keinem „Effekt fähig“).

Inaktiv ist in diesem Fall aber nicht gleichbedeutend mit der zuvor erläuterten Auslegung von Rückstand (siehe 1.3.3), da es etwa in denaturierter Form oder mangels Substrat oder mangels geeigneter Umgebungsbedingungen inaktiv weder mengenmäßig reduziert ist noch in Abbauprodukte zerlegt vorliegt. Unter die Definition Verarbeitungshilfsstoff lässt sich ein inaktives Enzym ebenfalls nicht klar einordnen, zumal auch hier das ausschließliche Vorliegen als Rückstand obligatorisch ist. Praktisch ist ein inaktives Enzym allerdings einem Verarbeitungshilfsstoff im Fall, dass es nur während der Verarbeitung genutzt wird, um einen gewissen Effekt zu erzeugen, nach „getaner Arbeit“ inaktiviert wird (also zumindest zu so einer Art Rückstand wird) und im Endprodukt keine technologische Funktion („Effekt“) mehr ausübt, sehr ähnlich. Dies kann in diesen Fällen als Grund für eine Gleichsetzung/Einordnung mit/als Verarbeitungshilfsstoff und damit Wegfall der

Kennzeichnungspflicht als Zutat angesehen werden.

Aus diesen Erwägungen heraus wurde nun die Idee der „Effektkennzeichnung“ geboren. Dabei soll der technologische Effekt, den die genutzten Enzyme für das Endprodukt haben und damit selbstverständlich die entsprechend im Endprodukt aktiven Enzyme an sich, deklariert werden. Zu deklarierende Enzyme sind dabei somit von nicht-zu deklarierenden eben dadurch zu unterscheiden, ob sie einen Effekt im Endprodukt haben oder nicht.

Damit kommt man dem Recht der Konsumentinnen und Konsumenten nach, zu erfahren, dass „das enzymbehandelte Lebensmittel seine verbesserten Eigenschaften (meist Textur oder Haltbarkeit) gegenüber vergleichbaren unbehandelten Produkt einem Enzym verdankt“. Somit wird Konsumentinnen und Konsumenten die Möglichkeit überlassen, sich für ein „naturbelassenes Brot mit begrenzter Haltbarkeit“ oder für ein enzymbehandeltes Brot mit langer Haltbarkeit zu entscheiden. Daneben dient eine Kennzeichnung von enzymbedingten Effekten auch der Verhinderung der Wettbewerbsverzerrung.

1.3.5. Beispiel

Ein aktuelles Beispiel für ein Enzym, dass unter diese Regelung fallen sollte ist das 2012 auf den Markt gekommenen Enzym „Alphamalt Fresh“ der deutschen Firma Mühlenchemie. Dieses soll Teile des für die Stärkeretrogradation („Altbacken werden“) verantwortlichen Stärketeils Amylopectin degradieren und somit die Haltbarkeit von Backwaren auf bis zu 21 Tage zu erhöhen.

Die Firma wirbt mit „*clean-labelling*“ vor dem Hintergrund der Einordnung als Verarbeitungshilfsstoff (Nieburg, 2012). Dem könnte mit der Effektkennzeichnung ein Ende gesetzt werden.

Technologisch ist dazu zu erwähnen, dass mittels Amylasen Brot zwar weichgehalten werden kann, eine knusprige, „rösche“ Kruste lässt sich damit aber nicht halten, womit am österreichischen Markt die Akzeptanz ohnehin herabgesetzt sein könnte. Weiteres lässt sich ein ähnlicher „Weichhalte-Effekt“ durch *Modified Atmosphere Packaging* (MA) erreichen. MAP-verpackte (und als solche zu kennzeichnende) Produkte haben kürzlich in Form belegter Brötchen der Billa-Eigenmarke „*freshy*“ den österreichischen Markt erobert.

Die Vielfalt an enzyminduzierten Effekten könnte diesbezüglich in nächster Zukunft noch einige Fragen hervorrufen.

1.4. Extrakte

Wie in Kap 2 Aromen diskutiert wird, sind Aromaextrakte per definitionem „natürliche Aromen“. Dabei ist es irrelevant, ob sie extrahiert oder mittels der (legalen und häufigen) biotechnologischen Produktion, sowie ggf. unter zusätzlicher Nutzung von GVMO gewonnen wurden.

Daneben ist das Streben nach Identifizierung und Nutzbarmachung von Extrakten aus natürlichen Rohstoffen - andere gibt es im Lebensmittelbereich nicht -, mit welchen sich diverse Funktionen typischer, als solche klassifizierter Zusatzstoffe ersetzen lassen, ebenfalls steigend. Dieses Interesse an Extrakten fußt auf dem Interesse nach „*clean-labeling*“ (siehe Kap. 1.2).

1.4.1. Bezeichnungen

Der Begriff „Aromaextrakt“ lt. Verordnung (EU) 1334/2008 ist deutlich weiter gefasst, als das, was im allgemeinen technischen Verständnis als Extrakt gemeint ist. Konkret sind neben Extraktion sehr viele andere, vor allem biotechnologische Produktionsmethoden eingeschlossen:

„Aromaextrakte sind andere Aromen als chemisch definierte Stoffe, die durch geeignete physikalische, enzymatische oder mikrobiologische Verfahren aus Stoffen pflanzlichen, tierischen oder mikrobiologischen Ursprungs gewonnen und als solche verwendet oder für den menschlichen Verzehr aufbereitet werden [Verordnung (EU) 1334/2008]

Unter Extraktion dagegen (aus dem lateinischen „*extrahere*“ = herausziehen) versteht man normalerweise ein Trennverfahren, bei dem mithilfe eines Extraktionsmittels (flüssig, fest, gasförmig) ein oder mehrere Komponenten aus einem Stoffgemisch herausgelöst, also vom Ausgangsstoff abgetrennt und angereichert werden.

Diese Verwirrung in der Begrifflichkeit der Extraktion beruht auf einem „Übersetzungsfehler“ aus der englischen Fassung der Aromenverordnung. In der englischen, sowie auch in allen anderen Fassungen anderer Sprachen, außer der deutschen, wird die treffendere Bezeichnung „*flavouring preparations*“ (also Aromazubereitungen anstatt Aromaextrakte) verwendet.

In weiterer Folge wird nur auf wirklich durch Extraktion gewonnene Extrakte näher eingegangen, zumal die Aromaextrakte bereits ausführlicher in Kap. 2 beschrieben werden.

1.4.2. Trend: Multifunktionsextrakte

Bis vor kurzem verstand man im Lebensmittelbereich unter Extrakten im Wesentlichen nur „Aromatisierendes“ und manches „Färbende“. Während „Aromatisierendes“ mittlerweile in der Aromenverordnung [Verordnung (EU) 1334/2008] geregelt ist, sind färbende Extrakte teilweise der Funktionsklasse Farbstoffe der Zusatzstoff-VO [Verordnung 1333/2008] zugeordnet; vorwiegend chemisch relativ klar definierte, wie z.B. Anthocyane, Betanin, Carotin, Lycopin etc..

Ein neuer Trend im Sinne des Clean-labeling ist die Nutzung von vorwiegend Gewürz- und Kräuter-Extrakten in ihrer Funktion als Antioxidans bzw. zur Konservierung. Die antioxidativen und konservierenden Funktionen sind dabei vorwiegend durch die enthaltenen phenolischen Substanzen, wie Phenolsäuren, phenolische Triterpene, Flavonoide und diverse flüchtige Öle determiniert (Brewer, 2011).: Extrakt aus Rosmarin scheinen momentan als einziges Antioxidationsmittel in der Liste der Zusatzstoffe auf, als Konservierungsmittel ist kein einziger dazu fähiger Extrakt gelistet. Extrakt aus Rosmarin ist mittlerweile kommerziell erhältlich, etwa in der Linie FreshMaxx® des deutschen Herstellers Friedrich-Gewürze mit dem Produkt „FreshMaxx Rosmarin“, das als „natürliches“ Antioxidans beworben wird. Wissenschaftlich ist die antioxidative bzw. konservierende Wirkung aber für eine Vielzahl von Gewürzen und damit Gewürzextrakte bestätigt (Kap. 1.7).

Beispielsweise wurde der antioxidative Effekt von einigen Gewürzextrakten wie Zimt und Oregano unter Senkung der Keimzahl und Lipidoxidation auf die Haltbarkeitsverlängerung von Hühnerfleisch beobachtet (Krishnan et al., 2014). Antimikrobielle Gewürzextrakte wie Rosmarin wurden erfolgreich zur Bekämpfung der pathogenen Keime *Listeria monocytogenes* und *Staphylococcus aureus* in Shrimps sowie zur Haltbarkeitsverlängerung von Mortadella eingesetzt (Weerakkody et al., 2011; Viuda-Martos et al., 2010). Für Thymian und Salbei gilt die antioxidative

Wirkung ebenfalls als bestätigt (Baboviv et al., 2010). Ein selektiver, vor allem Eugenol enthaltender, Extrakt aus Knoblauch wurde erfolgreich als Antioxidans in Mayonnaise eingesetzt (Chatterjee & Bhattharjee, 2014). Süßere Extrakte wie Anis, Kakao, Vanille und Zimt sollen antimikrobielle Wirkung gegen *Bacillus cereus* in Milchgetränken zeigen (Pina-Perez, 2013), und Vanilleextrakte gute Antioxidantien in Biscuitprodukten sein (Anuradha et al., 2010). Neben der Verwendung in den Lebensmitteln direkt, wurde durch Imprägnieren oder Oberflächenbehandlung auch der Einsatz antioxidativer (auch *anti-browning*) und antimikrobieller Extrakte als essbare Überzüge (*edible*)coatings und im *active-packaging*-Bereich erschlossen (z.B. Silva-Weiss et al., 2013).

Prinzipiell ist die Frage zu stellen, ab welcher "Extraktionsselektivität" ein Extrakt als Lebensmittelzutat, und ab wann er als Zusatzstoff angesehen wird. Chemisch befinden sich in den besprochenen Extrakten die Stoffe „im natürlichen Verbund“, was ein Einordnungskriterium als Lebensmittelzutat ist, aber der Verbund ist mehr oder weniger klar verkleinert, was bereits durch Trennung Wasserlösliches/Fettlösliches passiert. Die Extrakte sind auch oft zur Gewährleistung der notwendigen Löslichkeit und Dosierbarkeit in Lebensmitteln weiter aufbereitet, etwa mit Emulgatoren versetzt. Das ist also nichts mehr „was man als solches isst“ (ebenfalls Einordnungskriterium Lebensmittelzutat/Zusatzstoff). Bei Nutzung als Konservierungsmittel etwa wird zumindest höher aufkonzentriert als bei Einsatz desselben Extraktes für Aromazwecke. Bei Hopfenextrakten werden bestimmte Hopfensäuren für die konservierende, andere bei Absicht zur Nutzung der aromatisierenden Wirkung isoliert.

Der Vollständigkeit halber ist anzumerken, dass unverarbeitete Gewürze/Kräuter als Lebensmittelzutaten gelten, weil sie als solche verzehrt werden. In der industriellen Nutzung von Gewürzen zur Aromagebung sind lediglich die in Verordnung (EU) 1334/2008 geregelten Höchstmengen an sogenannten *active principles*, also natürlich vorkommende toxische Substanzen, zu beachten. Der Einsatz von Gewürzen in ihrer gerebelten oder pulverisierten "Urform" in der Lebensmittelindustrie wird immer weniger durchgeführt. Gewürze sind nämlich in dieser "Urform" schlecht zu dosieren und durch ihre starke Keimbelastung erfolgt eine Wiederverkeimung der fertig gegarten Speisen.

Wissenschaftliche Forschungen belegen mehr und mehr, dass nicht nur Extrakte aus „exotischen, unbekannten Regenwaldpflanzen“ sondern auch einheimische bzw. traditionell in Europa viel genutzte Gewürzextrakte pharmakologische Wirkungen aufweisen. Diese pharmakologischen Wirkungen sind vor allem auf ihre antioxidativen Eigenschaften zurückzuführen (Przygodzka et al., 2014). Es gilt die Auffassung, dass traditionelle typische Arzneipflanzen in Lebensmitteln nicht verwendet werden sollen. Nun stellt sich die Frage: Was war zuerst da, die Nutzung in Lebensmitteln oder die Nutzung als Arznei?

So ist für Basilikum die cholesterinsenkende und damit Arteriosklerose vorbeugende Wirkung bekannt (z.B. Harnafi et al., 2013). Pfeffer soll gegen Husten, allgemein antientzündlich und im speziellen auch gegen Leukämie einsetzbar sein (z.B. Nahak et al., 2011). Zur Bekämpfung von Diabetes sollen sich Gewürznelken eignen (Tu et al., 2014) und Paprikaoleoresine Antitumoraktivität aufweisen (z.B. Saponjac et al., 2014). Extrakte aus Safran wurden bereits mit zahlreichen positiven pharmakologischen Effekten wie Wirkung gegen Tumore, Entzündungen, Arteriosklerose, Bluthochdruck, Parkinson, Alzheimer, Depressionen und vieles mehr in Verbindung gebracht (z.B. Alavizadeh & Hosseinzadeh, 2014; Abb. 2.1.10.).

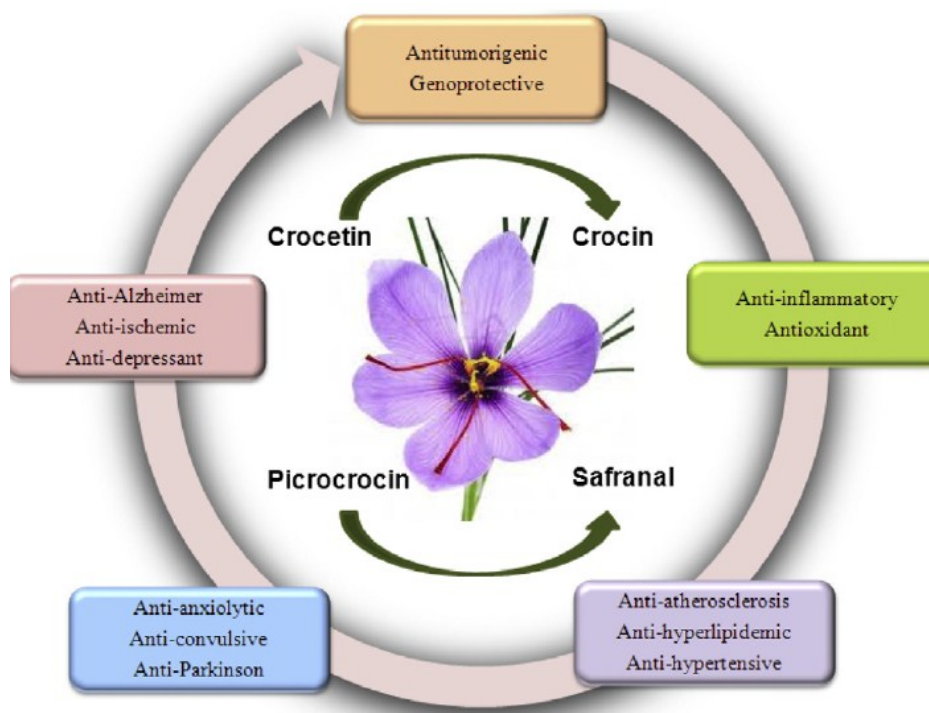


Abb. 2.1.10.: Diverse pharmakologische Effekte von Safran (entnommen aus: Alavizadeh & Hosseinzadeh, 2014)

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass Extrakte viele verschiedene Funktionen wie Aromagebung, Farbgebung, Süßung, Antioxidans, Konservierung, Vorbeugung und Heilung von Krankheiten etc. in unserer Nahrung erfüllen können. Das legt nahe, im Sinne einer kurzen Zutatenliste und im Idealfall noch unter Vermeidung der Deklaration ein Extrakt für diverse simultane Funktionen zu nutzen. Man könnte also gleichzeitig eine angenehme Geschmacksnote einbringen, durch die antioxidative Wirkung vor Farb- und Vitaminverlusten schützen und die Haltbarkeit durch einen gewissen antimikrobiellen Effekt verlängern. Momentan sind jedenfalls bei der Regelung des Einsatzes von Extrakten im Lebensmittelbereich noch viele Fragen offen.

1.4.3. Nebenproduktextrakte (*side-stream extracts*)

Neben dem Einsatz von Extrakten aus bekannten, relativ definierten Rohmaterialien für neue Zwecke, scheint die Entdeckung nutzbarer Funktionen von Extrakten aus Reststoffen der Lebensmittelindustrie ein Nebentrend der Extraktforschung zu sein (siehe auch Kap. 3 Gesamtverwertung von Rohstoffen). Dabei wurden etwa hohe Gehalte an potentiell geschmacks-, farb- und texturgebenden, antioxidativen und/oder antimikrobiellen Bestandteilen in Schalen und Samen exotischer Früchte entdeckt (z.B. Ayala-Zavala et al., 2011) (Tab. 2.1.2), deren Nutzbarmachung den ökologischen Fußabdruck der Rohstoffe verringern könnte.

Ebenso wurden beispielsweise aus Abfällen der Krabbenverarbeitung Flüssigextrakte mit guten Aroma gebenden Eigenschaften gewonnen (Bu et al., 2012). Während die ökologische und ökonomische Sinnhaftigkeit der Nutzung derartiger Extrakte klar ist (*up-cycling* des Abfalls zu höherwertigeren Produkten), wird die Verbraucherakzeptanz für Aromen und „natürlichen Zusätzen“ oder Zusatzstoffen aus solchen Reststoffen - wie auch immer diese eingeordnet werden - abzuwarten sein.

Tab. 2.1.2: potentielle Farbstoffe, Antioxidantien, Aromen, Konservierungsmittel etc. in Abfällen bei der Verarbeitung tropischer Früchte (Ayala-Zavala, 2011)

Functional compounds found in different tissues of exotic tropical fruit.

Fruit	Part of the fruit	Phenolics (mg/100 g)	Ascorbic acid (mg/100 g)	Carotenoids (µg/100 g)	Fiber (mg/100 g)	Reference
Avocado	Seed	5160**	–	630*	–	Leong and Shui (2002); Wang et al. (2010)
	Pulp	490**	9**	590**	5000**	
	Peel	1260**	–	1520*	–	
Banana	Pulp	232*	12.7**	75**	4000**	Someya, Yoshiki, and Okubo (2002); Subagio, Morita, and Sawada (1996)
	Peel	928*	–	400**	7680**	
Guava	Seed	–	–	–	–	Charoensiri, Kongkachuichai, Suknicom, and Sungpuag (2009); Jimenez-Escrig, Rincon, Pulido, and Saura-Calixto (2001); Lim, Lim, and Tee (2007); Mahattanatawee et al. (2006)
	Pulp	159.93**	13–144**	13,800*	5400**	
Jackfruit	Peel	5870**	–	–	–	Chandrika, Jansz, and Warnasuriya (2005); Soong and Barlow (2004)
	Seed	2770*	–	1910	–	
	Pulp	90*	8.0–10**	4530**	1600**	
Longan	Peel	–	–	–	–	Soong and Barlow (2004)
	Seed	6260*	–	–	–	
	Pulp	160*	60.1**	–	1100**	
Mango	Peel	–	–	–	–	Larrauri, Rupérez, Borroto, and Saura-Calixto (1996); Leong and Shui (2002); Robles Sánchez et al. (2009); Soong and Barlow (2004)
	Seed	11,700.0*	–	–	–	
	Pulp	240.0*	19.7**	4530**	1000.0**	
Pomegranate	Peel	7000.0**	–	–	28,100.0*	Li et al. (2006); Opara, Al-Ani, and Al-Shuaibi (2009)
	Seed	–	–	–	–	
	Pulp	24,990.0**	116**	–	–	
		2440.0**	10,200.0**	–	300.0**	

– No results were found.

* Dry weight.

** Fresh weight.

1.5. Süßungsmittel

1.5.1. Rechtliche und wirtschaftliche Entwicklungen seit 2009

Süßungsmittel sind laut Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 Lebensmittelzusatzstoffe, die zum Süßen von Lebensmitteln und in Tafelsüßen verwendet werden.

Sie können gegliedert werden

- in die sogenannten Zuckeraustauschstoffe (Zuckeralkohole), die Lebensmittel in größerem Ausmaß bzw. höheren Konzentrationen zugegeben werden ($\Rightarrow$ *bulk sweeteners*);
- und in die Intensivsüßungsmittel. Diese werden aufgrund ihres intensiven Süßgeschmacks nur in sehr geringen Konzentrationen Lebensmitteln zugesetzt bzw. verwendet.

1.5.1.1. Rechtliche und wirtschaftliche Entwicklungen beim wichtigsten Süßungsmittel Zucker (Saccharose)

Mono- und Disaccharide sind zwar ebenfalls Mittel zum Süßen aber explizit vom Geltungsbereich der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 ausgenommen. Deshalb gelten für sie auch nicht die Definitionen der Zusatzstoff-Funktionsklassen.

Mit Abstand das wichtigste „Süßungsmittel“ ist Zucker (Saccharose), der rechtlich eben nicht als Zusatzstoff sondern als Lebensmittel bzw. Lebensmittelzutat gilt. Aufgrund ihrer Bedeutung werden aber die rechtlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen bei der Verwendung von Zucker hier

mitbehandelt.

Die EU-Kommission und das EU-Parlament haben sich geeinigt, dass mit Ende des Zuckerwirtschaftsjahres 2016/2017 die EU-Zuckermarktordnung (ZMO) endgültig ausläuft. Die ZMO regelt seit 1968 die europäische Zuckerpolitik durch Vergabe fixer Produktionsquoten für die Mitgliedsländer und garantierten Rübenmindestpreisen. Die Zwischenreform im Jahr 2006 führte schon dazu, dass der Selbstversorgungsgrad der EU mit Zucker im Zeitraum von 2005/06 bis 2010/11 von 115 % auf 85 % gesunken ist. Das heißt, die EU wurde von einem Nettoexporteur zu einem Nettoimporteur und ist nun teilweise von globalen Zuckerlieferanten abhängig (Anonym, 2014 a). Der Zuckerweltmarkt wird von drei Exporteuren dominiert, nämlich Brasilien (50 % des Weltzuckerexportes), Thailand und Australien. In Zukunft möchte die EU deshalb zur Versorgungssicherheit einen Selbstversorgungsgrad von 85 % aufrechterhalten, nicht zuletzt deswegen, weil der Zuckerverbrauch weltweit um durchschnittlich 2 bis 3 Mio. Tonnen steigt.

Bis zum Jahr 2017 werden von der EU noch weiter Produktionsquoten und Rübenmindestpreise festgelegt. Die Quoten für das Wirtschaftsjahr 2013/2014 sind in Tab. 2.5.1 angeführt. Ab dem Zuckerwirtschaftsjahr 2017/18 werden die Rahmenbedingungen der europäischen Zuckerpolitik dann grundlegend verändert. Der Beschluss von Europäischem Parlament und Agrarministerrat sieht vor, dass das Quotensystem abgeschafft wird und die Verpflichtung zur Zahlung des Rübenmindestpreises entfällt.

Neben den wirtschaftlichen Konsequenzen für die Zuckerproduzenten und Zuckerverbraucher könnten sich in Zukunft Folgen für die Ernährung ergeben. Wie aus Tab. 2.1.3 ersichtlich ist, wird schon jetzt ein Teil des Bedarfs an Saccharose in der EU durch Isoglucose (Hochfruktosesirup - HFS) ersetzt. Wenn die Importlücke größer wird, könnte es sein, dass der Isoglucoseanteil weiter ansteigt. James Fortescue (2014), von der "Industry Association Starch Europe", erwartet nach 2017 einen Anstieg der Isoglucoseproduktion auf das Vierfache.

In den USA liegt der pro Kopf Konsum an HFS seit vielen Jahren fast gleichauf mit dem Konsum an Saccharose. In den letzten Jahren häufen sich deshalb kritische Stimmen und auch wissenschaftliche Studien, die einen Zusammenhang mit dem steigenden Konsum an HFS und dem Anstieg der Adipositas in den USA erkennen wollen. Es gibt aber auch zahlreiche Studien, die gegen diese Annahme sprechen. Parker et al. (2010) fassen den gegenwärtigen Diskussionsstand in dieser Hinsicht zusammen.

Tab. 2.1.3: Quoten für Zucker, Isoglukose und Inulinsirup in der EU ab 2013/2014
(ZUCKERVERBÄNDE, 2014)

Mitgliedstaaten	Zucker	Isoglukose	Inulinsirup
Deutschland	2 898 255,7	56 638,2	-
Frankreich			
- Mutterland	3 004 811,15		-
- DOM	432 220,05		
Polen	1 405 608,1	42 861,4	-
Großbritannien	1 056 474,0		-
Niederlande	804 888,0		-
Belgien	676 235,0	114 580,2	-
Spanien	498 480,2	53 810,2	-
Italien	508 379,0	32 492,5	-
Tschechische Republik	372 459,3		-
Dänemark	372 383,0		-
Österreich	351 027,4		-
Schweden	293 186,0		-
Kroatien	192 877,0		-
Griechenland	158 702,0		-
Slowakei	112 319,5	68 094,5	-
Ungarn	105 420,0	250 265,8	-
Rumänien	104 688,8		-
Litauen	90 252,0		-
Finnland	80 999,0		
Portugal			-
- Kontinent	-	12 500,0	
- Azoren	9 953,0		-
Bulgarien	-	89 198,0	-
EU-28	13 336 741,2	720 440,8	-

Quelle: Europäische Kommission

1.5.1.2. Rechtliche Entwicklungen bei Intensiv Süßungsmitteln

In Tab. 2.1.4 sind die derzeit in der EU erlaubten Intensiv Süßungsmittel angeführt. Daraus ist ersichtlich, dass seit 2009 drei neue solche Stoffe zugelassen wurden, nämlich Neotam, Steviolglycoside und Advantam. Bei Aspartam erfolgte eine Neubewertung.

Neubewertung von Aspartam

Aufgrund der zahlreichen, teilweise skurrilen Vorwürfe und Vorbehalte gegenüber dem Süßstoff

Aspartam in den Medien und im Internet hat die EFSA auf Ersuchen der EK und den Europäischen Mitgliedstaaten eine für 2020 vorgesehene Neubewertung und Re-Evaluierung dieses Zusatzstoffes schon 2013 durchgeführt. Dazu wurde alle zugängliche Literatur zu diesem Thema ausgewertet. Im Rahmen eines Aufrufs („*public call for data*“) zur Einreichung von Daten, der am 13. September 2011 endete, erhielt die EFSA Zugang zu zahlreichen veröffentlichten und unveröffentlichten wissenschaftlichen Studien und Datensätzen, welche alle öffentlich zugänglich gemacht wurden (EFSA, 2014 c). Im Rahmen dieser Re-Evaluierung hat sich die EFSA auch ausführlich mit den Metaboliten von Aspartam Phenylalanin, Asparaginsäure, Methanol und DKP (5-Benzyl-3,6-dioxo-2-Piperazin-Essigsäure) befasst.

Die Ergebnisse dieser Neubewertung wurden im November 2013 publiziert (EFSA-ANS Panel, 2013 a). Das Panel kam wieder zum Schluss, dass Aspartam und seine Abbauprodukte für den menschlichen Verzehr in den derzeitigen Expositionsmengen sicher sind. Es besteht daher kein Anlass den ADI-Wert von Aspartam von 40 mg/kg KG/Tag zu revidieren. Die gegenwärtigen Aufnahmemengen von Aspartam und seinen Abbauprodukten liegen unter den jeweiligen ADI-Werten.

Die American Cancer Society kommt aus den Ergebnissen einer großangelegten Studie ebenfalls zum Schluss, dass Aspartam nicht in Beziehung gebracht werden kann mit der Entwicklung von Hirntumoren, Leukämie oder Lymphomen (McCullough et al., 2014)

Neotam

Neotam wurde mit der Richtlinie 2009/163/EU im Dezember 2009 zugelassen. Die Richtlinie trat am 12. Jänner 2010 in Kraft. Neotam erhielt die E-Nummer 961. Es handelt sich um ein Dipeptid-Methylester-Derivat mit folgender chemischer Struktur: N- [N- (3,3-Dimethylbutyl) -L- α -aspartyl] -L-phenylalanin-1-methylester. Es wird durch die Reaktion von Aspartam – ebenfalls ein Intensivsüßungsmittel - und 3,3-Dimethylbutyraldehyd hergestellt, gefolgt von Reinigung, Trocknen und Mahlen (EFSA, 2007).

Neben seiner enormen Süßkraft - bis zu bis zu 13.000 mal stärker als die von Saccharose und 30 bis 60 mal größer als die von Aspartam - wirkt es auch als Geschmacksverstärker, und intensiviert vor allem Aromen von Zitrone und anderen Früchten, von Vanille, Minze und Schokolade.

Neotam zeigt ein ähnliches Geschmacksprofil wie Aspartam, ist aber letzterem aus zwei Gründen überlegen. Es enthält keine primäre Aminogruppe, sodass keine Bildung von Schiff'schen Basen möglich ist. Damit unterbleiben in weiterer Folge unerwünschte Reaktionen mit aldehydischen Aromastoffen, wie Vanillin und Zimtaldehyd (Roth, 2014). Neotam neigt im Gegensatz zu Aspartam bei höheren Temperaturen nicht zur Bildung von Dioxopiperazinen und kann deshalb auch in Backwaren verwendet werden.

Neotam wird grundsätzlich anders metabolisiert als Aspartam. Letzteres wird vollständig im Körper zur Methanol, Phenylalanin und Asparaginsäure gespalten. Bei Neotam wird zwar ebenfalls der Methanolester abgespalten, aber die zurückbleibende Verbindung wird zum Großteil unverändert ausgeschieden. Deshalb erübrigt sich auch – im Gegensatz zu Aspartam - ein Warnhinweis auf Phenylalanin für Personen mit Phenylketonurie (Roth, 2014).

Tab. 2.1.4: Übersicht über die in der Europäischen Union zugelassenen Süßstoffe
(SÜSSSTOFFVERBAND, 2014)

NAME	E-Nr.	ADI-Wert [mg/kg KG]	SÜSSKRAFT	Entdeckt	Zugelassen (EU) seit
Advantam	969	5	bis zu 37.000	?	2014
Acesulfam-K	950	SCF ^{*1} : 9 JECFA ^{*2} : 15	130 – 200	1967	1983
Aspartam	951	SCF: 40 JECFA: 50	200	1965	1994
Acesulfam – Aspartam-Salz	962	^{*3}	350	1995	2004
Cyclamat	952	SCF: 7 JECFA: 11	30 – 50	1937	1963 (D), 1994
Neohesperdin-DC	959	SCF: 5	400 – 600	1963	1994
Neotam	961	2	7.000 – 13.000	?	2010
Saccharin	954	5	300 – 500	1879	1995
Steviolglycoside	960	4	300	1887	2011
Sucralose	955	15	600	1980	2006
Thaumatococin	957	unbegrenzt	2.000 – 3.000	1855	1998

^{*1} SCF: Scientific Committee on Food; ^{*2} JECFA: Joint FAO/WHO Committee on Food Additives; ^{*3} ADI-Wert bereits durch die ADI-Werte für Aspartam und Acesulfam K abgedeckt

Steviolglycoside

Mit der VERORDNUNG (EU) Nr. 1131/2011 vom 11. November 2011 wurden Steviolglycoside zugelassen und erhielten die E-Nummer 960. Diese Zulassung wurde von vielen Herstellern und Anwendern von Steviolglycosiden sehnsüchtig erwartet. Aufgrund der Tatsache, dass Steviolglycoside in der Pflanze *Stevia rebaudiana* Bertonii natürlich vorkommen und daraus gewonnen werden, erhoffte man sich von diesen neuen Intensivsüßungsmitteln ein besseres Image im Vergleich zu den synthetisch hergestellten Süßstoffen. Nach der Zulassung kamen deshalb sehr rasch zahlreiche mit Steviolglycosiden gesüßte Lebensmittel mit Zusatzangaben wie „natürlich gesüßt“, mit „natürlichem Süßungsmittel“, „mit natürlicher Süße“ usw. auf den Markt. Nachdem für die Bezeichnung von Zusatzstoffen genaue Regelungen existieren, sah sich das Bundesministerium für Gesundheit (2012) veranlasst einen Erlass herauszugeben, um eine täuschungsfreie Kennzeichnung von Lebensmitteln, die mit dem Zusatzstoff Steviolglycoside (E 960) gesüßt sind, zu gewährleisten. Es wurde befunden, dass die beispielsweise oben angeführten Zusatzbezeichnungen zur Täuschung geeignet sind.

Ein weiterer Diskussionspunkt entstand in Europa über die Frage, ob Steviablätter, also der Ausgangsrohstoff für die Gewinnung der Steviolglycoside, als Lebensmittel eingesetzt werden können. Beispielsweise zur Gewinnung eines Stevia-Tees (Teeauszuges oder Teeextraktes). Bereits im Jahr 1997 wurde von der Katholischen Universität Leuven, Belgien der Antrag gestellt, die Stevia-Pflanze im Rahmen der Novel-Food-Verordnung als Novel Food zuzulassen. Dieser Antrag wurde im Jahr 2000 zurückgewiesen (EU Kommission, 2000). Am 10. August 2007 wurde nochmals ein Antrag auf Zulassung von getrockneten Stevia-Blättern als Novel Food eingebracht. Der Status dieser Einreichung (Nr. 80) wird in der Liste nicht angeführt (Novel Food Applications, 2014).

2013 wurde eine Petition im Europäischen Parlament eingebracht, die Steviapflanze als Lebensmittel in der EU zuzulassen (Petition EU-Parlament, 2013). Die Antwort des EU Parlaments erfolgte am 19.12.2013. Darin wird ausgeführt, dass Steviolglycoside bereits als Lebensmittelzusatzstoffe zugelassen sind. Bezüglich Neuartiger Lebensmittel (Novel Food) sind für eine anfängliche Risikobewertung die Mitgliedsstaaten zuständig. Die Kommission ist nicht autorisiert auf eigene Initiative bezüglich einer Zulassung von Stevia und deren Blätter zu handeln. Die Kommission hat sich aber erkundigt und wurde informiert, dass der Petitionseinreicher die deutschen Behörde (BVL) bereits kontaktiert hat. Weitere Anträge zur Zulassung liegen keine vor (Notice to members, 2013).

Unabhängig davon hat aber das Verwaltungsgericht München am 26. 09. 2011 ein völlig diametrales Urteil gefällt. Ein Hersteller eines Joghurts mit zugesetztem Stevia-Tee (Aufguss der getrockneten Blätter der Stevia-Pflanze) klagte den Bayrischen Freistaat auf Unterlassung der Behauptung, dass es sich hier um ein zulassungsbedürftiges, neuartiges Lebensmittel handelt. Das Gericht stellt fest, dass Stevia-Tee kein solches Lebensmittel ist und daher in den Verkehr gebracht werden darf (VG München, 2001).

Im Österr. Codexkapitel B 31 (2009) „Tee und teeähnliche Erzeugnisse“ ist jedenfalls die Stevia-Pflanze weder im Anhang I (*Offene Liste der für die Herstellung teeähnlicher Erzeugnisse üblicherweise verwendeten Pflanzenteile*) noch im Anhang II (*Liste der für die Herstellung teeähnlicher Erzeugnisse nicht verwendeter Pflanzen bzw. Pflanzenteile*) angeführt.

Steviolglycoside sind keine einheitliche Substanz, sondern eine ganze Stoffklasse mit unterschiedlicher Süßkraft (Tab. 2.1.5). Darüber hinaus weisen sie auch in Abhängigkeit von der Reinheit unterschiedliche Geschmacksprofile und Nachhaltigkeit des Süßgeschmacks auf. Sie werden durch Extraktion und weitere Aufreinigung gewonnen. Die Aufreinigung kann bis zur Gewinnung der einzelnen Glucoside gehen. Deshalb weisen Handelspräparate auch große Unterschiede hinsichtlich des Gehalts an den Einzelglycosiden auf.

Der ADI-Wert für Steviolglycoside wurde von der EFSA (2010) mit 4 mg/kg KG/Tag festgesetzt.

Zur Berechnung des Gesamtglucosidgehaltes für den ADI-Wert und beim Einsatz im Lebensmittel wurde der Begriff der Stevioläquivalente eingeführt. Als Berechnungsbasis dient das Aglucon der Steviolglycoside, das Steviol, welches daher den Faktor 1,000 hat. Steviolglycoside und Stevioläquivalente können jeweils gegeneinander umgerechnet werden (Tab. 2.1.5).

Tab. 2.1.5: Eigenschaften von Steviolglycosiden und Umrechnungsfaktoren auf Stevioläquivalente

Steviolglycosid	Süßkraft bezogen auf Zucker	Molekulargewicht [g/mol]	Stevioläquivalente ^{*2}	Steviolglucosid ^{*3}
Steviol ^{*1}		318,45	1,000	
Steviosid	150-250	804,87	0,395	2,532
Rebaudioside A	200-300	967,01	0,329	3,039
Rebaudioside C	30	951,01	0,334	2,994
Dulcoside	30	788,87	0,400	2,500
Rubusoside	114	642,73	0,496	2,016
Steviolbioside	90	642,73	0,496	2,016
Rebaudioside B	150	804,38	0,395	2,532
Rebaudioside D	221	1128,48	0,282	3,546
Rebaudioside E	174	966,43	0,329	3,039
Rebaudioside F	200	936,42	0,340	2,941
^{*1} Aglycon (= deglycosilierte Form) von Steviosid				
^{*2} Umrechnungsfaktor auf Stevioläquivalente				
^{*3} Umrechnungsfaktor auf Steviolglucoside				

Advantam

Advantam ist ein intensives künstliches Süßungsmittel, das durch chemische Synthese aus Isova-

nillin und Aspartam gewonnen wird. Die chemischen Eigenschaften des Advantam-Moleküls unterscheiden sich von denen des Aspartams. Je nach Art seiner Verwendung kann Advantam hundert-, mitunter sogar tausende Mal süßer sein als Zucker oder Intensivsüßungsmittel. Für die Verwendung in aromatisierten Getränken wird beispielsweise 100-mal weniger Advantam als Aspartam benötigt (Verordnung (EU) Nr. 497/2014).

Nach Bewertung der vom Antragsteller eingereichten zusätzlichen Daten gelangten die Sachverständigen der EFSA im Juli 2013 zu dem Schluss, dass Advantam und seine Metaboliten weder genotoxisch noch karzinogen sind und bei den vorgesehenen Verwendungen und Verwendungsmengen als Süßungsmittel keinen Anlass zu Sicherheitsbedenken für Verbraucher geben. Das ANS-Gremium legte einen ADI-Wert von 5 mg/kg KG/Tag fest (EFSA, 2013 d). Auf der Grundlage dieser Bewertung wurde Advantam von der EU am 12. Mai 2014 als Intensivsüßstoff zugelassen und erhielt die E-Nummer 969 [Verordnung (EU) Nr. 497/2014].

1.5.1.3. Wirtschaftliche Fakten und Daten zu Intensivsüßungsmitteln

Die wirtschaftliche Bedeutung von Intensivsüßungsmitteln lässt sich schon aus der Anzahl der Patente auf diesem Gebiet ableiten. Abb. 2.1.11 zeigt die Zahl der in der Datenbank „Food Science and Technology Abstracts“ zitierten Patente auf diesem Gebiet (Suchfunktion „sweetener* in TITLE“) in 5-Jahres-Zeiträumen.

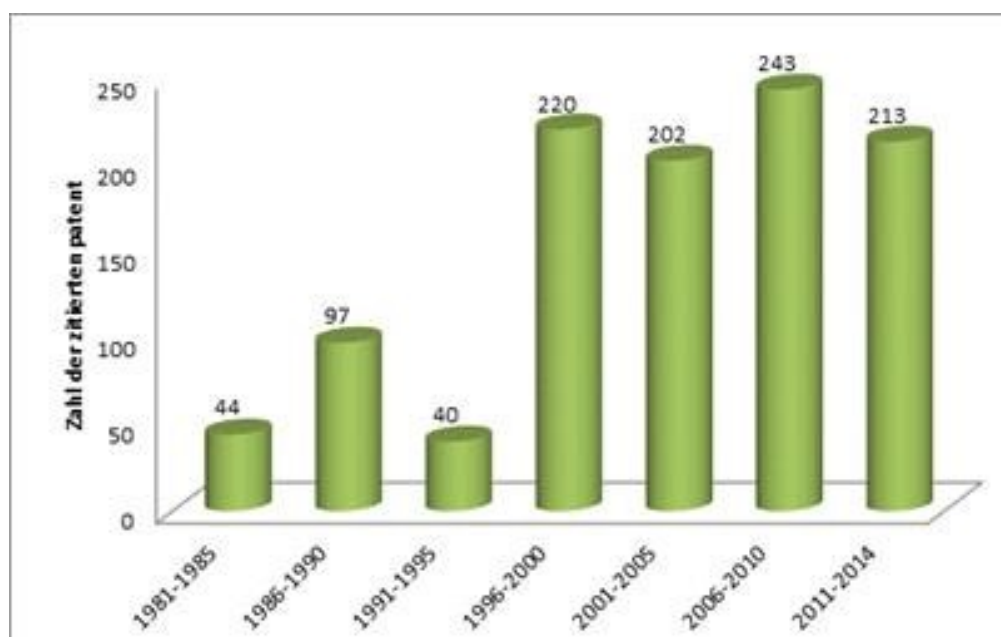


Abb. 2.1.11: Aufstellung über die in der Datenbank „Food Science and Technology Abstracts“ in Fünf-Jahres-Zeiträumen zitierten Patente bezüglich Intensivsüßungsmitteln

Wenn dabei berücksichtigt wird, dass die letzte Periode (2011-2014) nur vier Jahre erfasst, ist davon auszugehen, dass die Zahl der Patente kontinuierlich ansteigt.

Europa hält bei Intensivsüßungsmitteln einen Marktanteil von insgesamt 23 %. Davon wiederum entfällt ein Großteil auf die Länder Westeuropas. Großbritannien, Frankreich und Deutschland sind die Hauptmärkte. Hinsichtlich einzelner Intensivsüßungsmittel wurden zum Beispiel 2013 in Europa 600 Tonnen Sucralose, das entspricht einem Weltmarktanteil von 15 % und immerhin bereits 248 Tonnen Steviolglycoside eingesetzt (FoodNavigator.com, 2014).

Weltweit verwendete im Jahr 2013 die Erfrischungsgetränke-Industrie 12.300 Tonnen Aspartam und 8.700 Tonnen Acesulfam ein. Der globale Markt für Steviolglycoside wird 2014 auf 4.670 Tonnen geschätzt. Hier werden aber für die Zukunft hohe Steigerungsraten erwartet und zwar auf 7.150 Tonnen im Jahr 2017. Der weltgrößte Hersteller von Stevia-Präparaten, die malaysische Firma PureCircle meint sogar, dass Stevia das Potential hat bis zum Jahr 2050 25 % des Zuckerbedarfs zu ersetzen (Rai, 2013).

Der Weltmarktanteil für die wichtigsten Intensivsüßungsmittel betrug 2011 für

Aspartame	27,9 %
Sucralose	27,9 %
Cyclamat	15,7%
Saccharin	13,1 %
Stevia	8,7 %
Acresulfame K	5,2 %
Neotame	1,4 %

und hat ein Volumen von 1,146 Milliarden Dollar (Leatherhead Food Research, 2011).

Für Österreich wurden keine aktuellen Verbrauchszahlen gefunden. Interessant ist aber eine Aufstellung der Länder mit dem höchsten Pro-Kopf-Konsum an zuckerreduzierten, alkoholfreien Erfrischungsgetränken (Abb. 2.1.12). Das ist die Sparte, wo der Großteil der Intensivsüßungsmittel verwendet wird. Österreich nimmt hier mit einem Wert von 24 kg/Kopf den achten Platz weltweit ein. Bei kalorienreduzierten Fertig-Tees sogar den dritten Platz mit 3 kg/Kopf (Euromonitor, 2014).

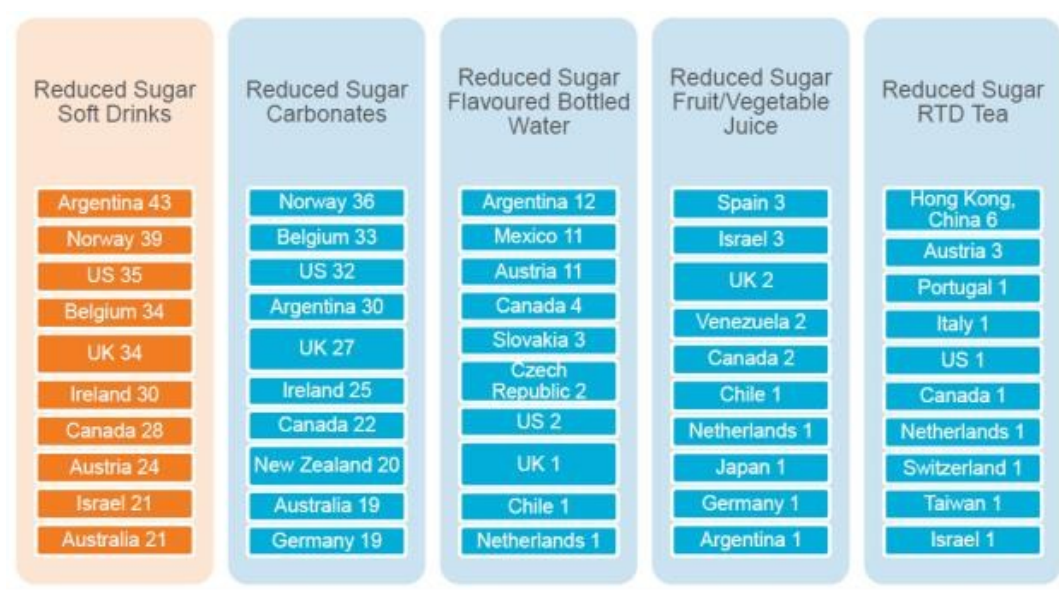


Abb. 2.1.12: Die zehn größten Märkte für die Konsumation von zuckerreduzierten, alkoholfreien Erfrischungsgetränken (*soft drinks*) (kg/Kopf) im Jahr 2013 (EUROMONITOR, 2014)

1.5.2. Neue Entwicklungen bei kalorienreduzierten oder kalorienfreien Süßungsmitteln

1.5.2.1. Neue bzw. neuartige Mono-, Di- und Oligosaccharide

In der Liste der Novel-Food Einreichungen finden sich die in Tab. 2.1.6 angeführten Stoffe, welche in diese Kategorie hineinfallen (Novel Food Applications, 2014).

Das Disaccharid **Trehalose** hat eine Süßkraft von 0,45 bezogen auf Saccharose und kommt in der Natur weit verbreitet vor. Technisch wird sie heute über mehrere enzymatische Stufen aus Stärke gewonnen (Higashiyama, 2002).

Tab. 2.1.6: Als Novel Food zugelassene oder beantragte Saccharide (Novel Food Applications, 2014)

Antrags-Nummer	Substanz	Status
24	Trehalose	Zugelassen als Novel Food am 10.10.2001
47	Isomaltulose	Zugelassen als Novel Food am 23.06.2005
52	Isomaltulose	Zugelassen als Novel Food am 29.07.2005
61	Tagatose	Kann auf den Markt gebracht werden
70	Sucromalt	Kann auf den Markt gebracht werden
90	D-Ribose	Antrags-Status nicht angeführt
103	Isomaltooligosaccharide	Antrags-Status nicht angeführt

Isomaltulose wurde von zwei Firmen (Cerestar und Südzucker) mit jeweils unterschiedlichem Herstellungsverfahren als Novel Food beantragt und zugelassen. Es handelt sich um ein reduzierendes Disaccharid, welches durch enzymatische Umwandlung von Saccharose erzeugt wird, wobei die 1,2-glycosidische Bindung zwischen Glucose und Fruktose in eine 1,6-glycosidische Bindung umgewandelt wird.

Tagatose ist eine Ketohexose, ein C-4 Epimer der Fruktose mit süßem Geschmack. Sie wird durch Isomerisierung von D-Galactose in alkalischer Gegenwart von Calcium gewonnen (Fujimaru et al., 2012).

Sucromalt wird mit dem Enzym Alternansucrase aus Saccharose und Maltose hergestellt.

Ribose kommt in jeder Zelle als Bestandteil von Adenosin-Triphosphat (ATP) vor und wird großtechnisch durch Fermentation hergestellt. Laut dem Antragsteller (Bioenergy Inc., USA) eignet sie sich auch für den Einsatz in Lebensmitteln.

Es kann angenommen werden, dass in Zukunft zahlreiche weitere, biotechnologisch hergestellte

Mono-, Di- und Oligosaccharide entwickelt und auf den Markt kommen werden. Tatsächlich werden in der einschlägigen Literatur bereits weitere Substanzen beschrieben, von denen einige im Folgenden beispielhaft angeführt werden.

Turanose

Turanose ist ein nicht kariogenes, niedrigkalorisches Strukturisomer von Saccharose (3-O-alpha-D-glycopyranosyl-D-Fruktose) und hat angeblich ein großes Potential als Süßungsmittel (Wang et al., 2012). Sie kommt natürlicherweise auch in Honig vor. Ihre Nutzung scheiterte bis jetzt daran, dass noch kein kostengünstiger Produktionsprozess zur Verfügung stand. In der Zwischenzeit wurden aber enzymatische Prozesse zur Herstellung entwickelt. Wang et al. (2012) nutzen eine rekombinante Amylosucrase ($\Rightarrow$ biotechnologisch mit Hilfe von gentechnisch veränderten Organismenhergestelltes Enzym), welches ursprünglich aus *Neisseria polysaccharea* isoliert wurde. Damit kann Saccharose leicht und effizient in Turanose umgewandelt werden.

Bis zu einer allfälligen Zulassung wird aber noch ein weiter Weg sein, weil viele funktionelle und toxikologische Daten noch ausstehen.

Weitere, niedrigkalorische Di- und Oligosaccharide

Abb. 2.1.13 aus der Arbeit von Hodonitzky et al. (2010) und Hodonitzky (2012) zeigt weitere Di- und Oligosaccharide, welche potentiell als niedrigkalorische Süßungsmittel in Frage kommen könnten. Diese Autoren untersuchten die angeführten, natürlichen Kohlenhydrate auf ihre Abbaubarkeit, beziehungsweise Nicht-Abbaubarkeit durch orale Mikroorganismen und Darmenzyme. Wie aus Abb. 2.1.14 hervorgeht, wird eine Gruppe von Sacchariden nur durch das Mundbakterium *Streptococcus mutans* metabolisiert, eine andere Gruppe nur durch Darmenzyme, eine Gruppe von beiden und eine Gruppe weder von dem Mundbakterium noch von den Darmenzymen. Zu letzteren zählen Gentiobiose, Melizitose, Maltitol und Gentionbiitol. Es lassen sich also einige potentielle Süßungsmittel erkennen, die nichtkariogen, niedrigkalorisch oder beides sind.

Seltene Zucker bzw. seltene Monosaccharide

Unter dem Begriff „seltene Monosaccharide“ („rare sugars“) werden Monosaccharide verstanden, die zwar an und für sich in der Natur vorkommen, aber nur in geringen Mengen (Abb. 2.1.15) (Izumori, 2006). In Japan existieren eine eigene Gesellschaft (*International Society of Rare Sugars*) und ein eigenes Forschungszentrum (*Rare Sugar Research Center*), die sich mit seltenen Zuckern beschäftigen. Für eine wirtschaftliche Gewinnung und Nutzung bleibt nur eine (bio)chemische, enzymatische Produktion aus billigen Monosacchariden, wie Glucose oder Xylose. Dafür können drei Enzymklassen eingesetzt werden, nämlich Keto-Aldol-Isomerasen, Epimerasen und Oxidoreductasen (Beerens et al., 2012).

Es gibt nur sieben Monosaccharide, die in größeren Mengen in der Natur vorkommen (Hexosen: Glucose, Galaktose, Mannose, Fruktose; Pentosen: Xylose, Ribose, L-Arabinose). Von den seltenen Monosacchariden sind aber 36 Hexosen und neun Pentosen bekannt (Abb. 2.1.15). Sie alle haben großes Potential zur Anwendung in der Medizin aber auch in der Lebensmitteltechnik (Beerens et al., 2012).

Abb. 2.1.16 zeigt schematisch welche seltenen Hexosen auf enzymatischem Weg aus den sechs in größerem Ausmaß vorkommenden Hexosen gewonnen werden können. Diese enzymatischen Möglichkeiten werden als Izumoring, nach dem Entdecker Prof. Izumori, bezeichnet.

Die Firma Matsutani Chemical Industry Co. Ltd, Japan stellt zwei dieser seltenen Monosaccharide, nämlich D-Psicose und D-Allose bereits technisch her. D-Psicose hat 70 % der Süßkraft von Saccharose, aber einen wesentlich geringeren Kaloriengehalt von ca. 0,39 kcal/g (O'Charon et al. 2014).

Die Tatsache, dass viele der oben angeführten Saccharide in der Natur - zwar oft nur in sehr geringen Gehalten aber doch - vorkommen, bedeutet noch keine automatische Unbedenklichkeit, wenn sie isoliert oder biotechnologisch hergestellt und dann in größeren Mengen verzehrt werden.

Fructooligosaccharide (FOS) und Galactooligosaccharide (GOS)

Diese werden schon seit vielen Jahren als Lebensmittelzutaten genutzt. Sie werden nach dem Verzehr erst durch Darmbakterien ganz oder teilweise metabolisiert. Deshalb haben sie auch eine sogenannte präbiotische Wirkung und werden zur Herstellung funktioneller Lebensmittel weltweit eingesetzt. Da es in der EU keine funktionellen Lebensmittel gibt, sondern nur solche mit „Health Claim“, ist eine gesundheitsbezogene Aussage für diese Substanzen erst nach Prüfung und Zulassung möglich.

Bezüglich der Fructooligosaccharide hat die EFSA in ihrer Stellungnahme festgestellt, dass ein Zusammenhang zwischen dem Verzehr und der potentiellen Abnahme von pathogenen Darmbakterien nicht bewiesen ist (EFSA, 2011 b). In einer weiteren Stellungnahme hat die EFSA aber folgenden Claim für Fructooligosaccharide positiv beurteilt (EFSA, 2014 e): *„Es besteht eine Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Verzehr von Lebensmitteln/Getränken mit unverdaulichen Kohlenhydraten, inklusive FOS, anstelle von Zucker und eine Reduktion der postprandialen glykämischen Reaktionen, im Vergleich zu zuckerhaltigen Lebensmitteln/Getränken.“*

Es kann angenommen werden, dass weiter nach neuen, unverdaubaren Oligosacchariden gesucht und geforscht wird. Prinzipiell können unverdaubare Oligosaccharide auf folgende Arten gewonnen werden:

- a) Isolierung aus natürlichen Quellen:** Beispielsweise die Gewinnung von Fructooligosacchariden (Inulin) aus Zichorien oder Topinambur
- b) Biotechnologische Herstellung von natürlich vorkommenden Oligosacchariden:** Beispielsweise die enzymatische Herstellung von Fructooligosacchariden.
- c) Chemische oder biotechnologische Synthese von nicht natürlichen Oligosacchariden**
- d) Chemische oder enzymatische Hydrolyse von unverdaulichen Polysacchariden:** Mit diesem Aspekt befasst sich die Arbeit von deMoura et al. (2014). Als Ausgangspolysaccharide können zum Beispiel Lignocellulose aus Maiskolben oder Zuckerrohrbagasse zu Gewinnung von Xylooligosacchariden; Chitin zu Gewinnung von Chitinooligosacchariden und Pektin dienen. Pektin ist ein Bestandteil jeder Pflanzenzelle und somit eine Lebensmittelbestandteil. Pektin kann durch den Menschen nicht abgebaut werden. Es gibt aber zahlreiche Enzyme aus Mikroorganismen und Pflanzen, welche dieses komplexe Kohlenhydrat hydrolysieren können. Es entsteht ein vielfältiges Spektrum an Oligosacchariden, von denen angenommen werden kann, dass sie

ebenfalls vom Menschen nicht metabolisiert werden können. Wie solche Substanzen bei einer allfälligen Verwendung im Lebensmittelbereich toxikologisch und rechtlich zu bewerten sind, wird sicher eine spannende Frage.

Structural group	Name	Structure
Sucrose isomers	sucrose	β -Fru-(2 $\leftarrow$ 1)- α -Glc
	turanose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 3)-Fru
	leucrose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 5)-Fru
	palatinose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 6)-Fru
α -Glucobioses	trehalose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 1)- α -Glc
	kojibiose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc
	nigerose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 3)-Glc
	maltose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-Glc
	isomaltose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 6)-Glc
β -Glucobioses	sophorose	β -Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc
	laminaribiose	β -Glc-(1 $\rightarrow$ 3)-Glc
	cellobiose	β -Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-Glc
	gentiobiose	β -Glc-(1 $\rightarrow$ 6)-Glc
Sucrose-containing oligosaccharides	raffinose	α -Gal-(1 $\rightarrow$ 6)- α -Glc-(1 $\rightarrow$ 2)- β -Fru
	1-kestose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 2)- β -Fru-(1 $\rightarrow$ 2)- β -Fru
	melezitose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 3)- β -Fru-(2 $\leftarrow$ 1)- α -Glc
	erlose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 4)- α -Glc-(1 $\rightarrow$ 2)- β -Fru
Starch-related oligosaccharides	panose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 6)- α -Glc-(1 $\rightarrow$ 4)- α -Glc
	maltotriose	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 4)- α -Glc-(1 $\rightarrow$ 4)- α -Glc
Sugar alcohols	maltotriitol	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 4)- α -Glc-(1 $\rightarrow$ 4)- α -Glc-ol
	maltitol	α -Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-Glc-ol
	gentiobiitol	β -Glc-(1 $\rightarrow$ 6)-Glc-ol

Abb. 2.1.13: Zucker und Oligosaccharide, die von Hodoniczky et al. (2012) auf ihre Abbaubarkeit im Verdauungstrakt untersucht wurden.

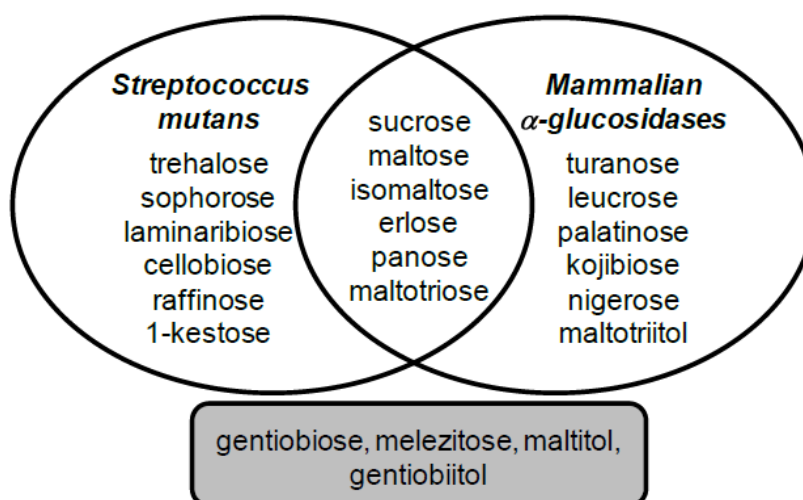


Abb. 2.1.14: Abbaubarkeit von Zucker und Oligosacchariden durch das Mundbakterium *Streptococcus mutans* und durch Darmenzyme (Fig. 6 aus Hodoniczky et al., 2010)

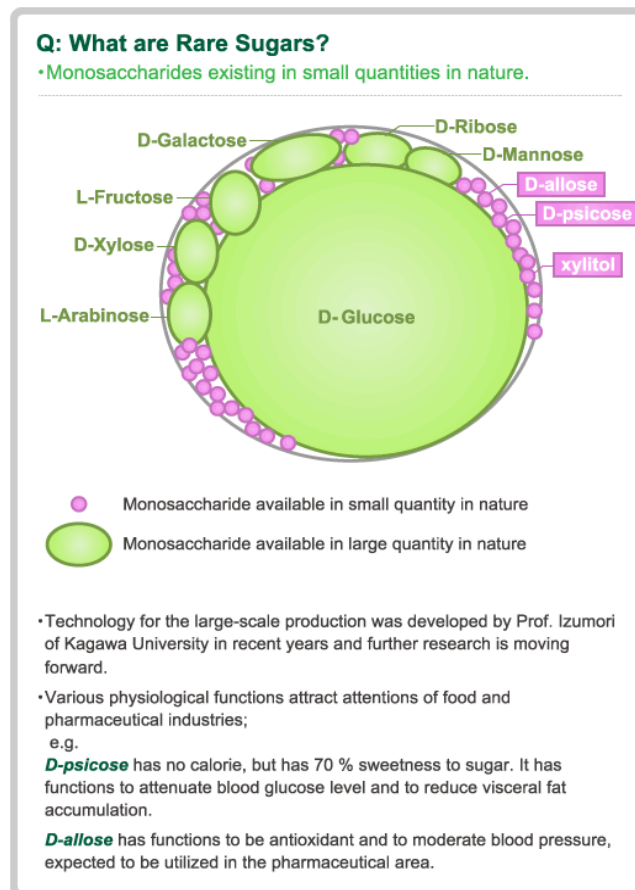


Abb. 2.1.15: Darstellung der in der Natur in welchem Ausmaß vorkommenden Monosaccharide (MATSUTANI, 2014)

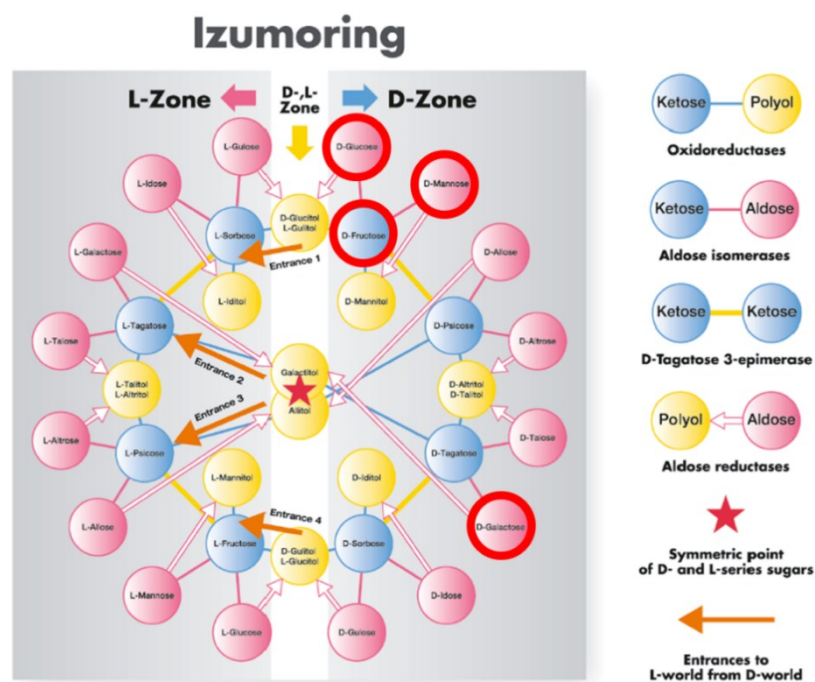


Abb. 2.1.16: Schematische Darstellung von seltenen Hexosen, die auf enzymatischem Weg aus den vier wichtigsten Hexosen gewonnen werden können (Izumori, 2006).

1.5.2.2. Neue Entwicklungen bei Intensivsüßungsmitteln

Stevia

Nachdem Steviolglucosiden ein großes Potential vorausgesagt wird, aber die mangelnde Verfügbarkeit aus der Steviapflanze eine weitverbreitete Nutzung vor allem aus Kostengründen limitiert, wird intensiv nach Lösungsmöglichkeiten gesucht. Dabei bieten sich folgende Wege an:

- a) **Pflanzenzellkulturen:** Die Herstellung von sekundären Pflanzenmetaboliten durch pflanzliche Zellkulturen gehört zum Stand der Technik. Mit dieser Methode können prinzipiell auch Steviolglycoside, losgelöst von der pflanzlichen Urproduktion, erzeugt werden (z.B. Das et al., 2006). Ob schon ein praktischer Einsatz erfolgt, ist unbekannt.
- b) **Genetische Modifikation der Steviapflanze:** Wie oben erwähnt, sind die funktionellen Eigenschaften der einzelnen Steviolglycoside sehr unterschiedlich. Es liegt deshalb nahe, durch konventionelle züchterische Maßnahmen aber auch durch gentechnische Methoden, die Steviapflanze so zu verändern, dass sie mehr erwünschte Steviolglycoside auf Kosten der unerwünschten bildet (Brandle, 1999; Kumar et al., 2011; Kumar et al., 2012).
- c) **Biotechnologische Herstellung von Steviolglucosiden durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen:** Nach Aufklärung der genetischen Grundlagen der Bildung von Steviolglucosiden in der Steviapflanze war der nächste Schritt naheliegend, diese durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen produzieren zu lassen. Wie aus der Medienmitteilung der Fa. Evolva und der Fa. Cargill vom 21. Mai 2014 entnommen werden kann, dürfte das der Fa. Evolva bereits gelungen sein. Laut Aussage dieser Firma (Evolva, 2014 a) ist es erstmals möglich, die wichtigsten Steviolglycoside durch eine rekombinante (gentechnisch veränderte) Hefe (*Saccharomyces cerevisiae*-Stamm) auf fermentativem Weg herzustellen. Als Substratquelle können dafür billige kohlenhydrathaltige Ausgangsstoffe herangezogen werden. Die entsprechende Patentanmeldung dazu wurde im August 2014 veröffentlicht (Evolva, 2014 b).

Thaumatococcus

Ähnlich, wie oben bei Stevia ausgeführt, ist auch die Herstellung von Thaumatocin aus der Ursprungspflanze *Thaumatococcus daniellii* teuer und umständlich. Bereits 1981 wurde ein Verfahren patentiert, um Thaumatocin durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen produzieren zu lassen (Shewry & Gutteridge, 1992).

Ein interessanter Ansatz im Zusammenhang mit Thaumatocin ist die Expressierung des Thaumatocin-Gens in anderen Pflanzen, wie z.B. Tomaten und Gurken. Diese Pflanzen schmecken dann süßer und angeblich auch aromatischer (Bartoszewski et al., 2003; Anonym, 2012; Kosieradzka et al., 2014).

Weitere natürliche Intensivsüßungsmittel aus Pflanzen

In Tab. 2.2.7 werden natürlich Süßstoffe aus pflanzlichen Extrakten angeführt (Zabala, 2011). Stevioloside und Thaumatocin sind davon bereits als Zusatzstoffe zugelassen. Es ist nicht auszuschließen, dass in Zukunft noch weitere Anträge auf Zulassung für solche Substanzen erfolgen werden.

Das Potential natürlicher Süßstoffe ist mit den in Tab. 2.1.7 angeführten aber bei weitem noch nicht ausgeschöpft. In chinesischen Wildpflanzen wurden einige weitere solcher Stoffe identi-

ziert (Qin & Liu, 2003):

Ruboside	aus	(<i>Rubus chigi</i>)
Baiyunoside	aus	(<i>Salvia digitaloides</i>)
Phlorizin und Trilobatin	aus	(<i>Lithocarpus litseifolius</i>)
Trilobatin 2''-acetat	aus	(<i>Lithocarpus pachyphyllus</i>)

Tab. 2.1.7: Natürliche Süßstoffe aus pflanzlichen Extrakten (Zabala, 2013).

Art	verwendeter Teil	Substanz	relative Süßungsintensität im Vergleich zu Saccharose	Vorkommen
<i>Glycyrrhiza glabra</i>	Wurzelstock	Glycyrrhizin	50-fach	Mittelmeergebiet und Westasien
<i>Stevia rebaudiana</i>	Blatt	Steviosid, Rebaudiosid	300-fach; lakritzartiger Nachgeschmack	Hochland von Brasilien und Paraguay
<i>Thaumatococcus daniellii</i>	Samen	Thaumatocin	750-3000-fach;	Regenwaldzone tropisches Afrika
<i>Dioscoreophyllum cumminsii</i>	Frucht	Monellin	1500 -2500-fach; verändert sauren Geschmack	Tropisches Afrika
<i>Synsepalum dulcificum</i>	Frucht	Miraculin	verstärkt die Wahrnehmung für Süßes – auch Saures oder Scharfes schmecken durch Miraculin süß	Tropisches westliches Afrika
<i>Perilla nankinensis</i>	Blatt	Perillartin	2000-fach	Asien
<i>Polypodium vulgare</i>	Wurzelstock	Osladin	200-300-fach; aus toxikologischen Gründen ist Osladin jedoch nicht als Süßstoff geeignet	Halbschattenpflanze, atlantisches Europa
<i>Hydrangea macrophylla</i>	Blatt	Phyllodulcin	150-fach	Ursprünglich gemäßigte Gebiete Süd- und Ostasiens sowie Nord- und Südamerikas
<i>Momordica grosvenori</i> (<i>Siraitia grosvenori</i>)	Frucht	Mogrosid	80-fach	China
<i>Lippia dulcis</i>	Blatt	Hernandulcin		Mittel- und Südamerika
<i>Myrrhis odorata</i>	Frucht	Neospiridina, Narangina	1000-fach	Ursprünglich Pyrenäen und Balkan, heute vorwiegend in Nordeuropa
<i>Polymnia sonchifolia</i>	Wurzel	Inulin, Fructooligosaccharide		Südamerika

1.5.3. Neue Erkenntnisse zur Physiologie des Süßgeschmacks und zu dessen Beeinflussung

Fernstrom et al. (2012) geben einen eindrucksvollen Überblick über den derzeitigen Wissensstand bezüglich der Physiologie des Süßgeschmacks. Abb. 2.1.17 zeigt schematisch die Auslösung des Süßgeschmacks. Es sind dafür Tastrezeptoren, sogenannte G-Proteine, verantwortlich, die in den Geschmacksinneszellen lokalisiert sind. Jede Sinneszelle ist nur für eine Grundgeschmacksrichtung zuständig. Für den Süßgeschmack gibt es zwei Rezeptoren, die als T1R2 und T1R3 bezeichnet werden. Alle Substanzen, die einen Süßgeschmack ergeben, binden an einen der beiden Rezeptoren und aktivieren sie. Die einzelnen Süßungsmittel docken aber an verschiedenen Stellen der Rezeptoren an, genauso wie Substanzen, die einen Süßgeschmack inhibieren. Jede T1R-Untereinheit besteht aus drei prinzipiellen Domains, nämlich aus einer extrazellulären, einer Venusfliegenfalle ähnlichen Domäne (VFT) (1), eine cysteinreiche Domäne (2) und eine Transmembran-Domäne.

Natürliche und künstliche Zucker (z.B.: Saccharose, Glucose und Sucralose) binden an die VFT-Domänen, sowohl von T1R2 und T1R3, während Dipeptidsüßstoffe (z.B. Aspartam und Neotam) nur an die T1R2 VFT-Domäne andocken. Die Cyclamat-Bindungstasche liegt innerhalb der transmembran-überspannenden Domäne von T1R3. Süße Proteine wie Thaumatin und Monellin interagieren auf eine größere Bindungsoberfläche. Dazu können beide Untereinheiten und die cysteinreiche Domäne zählen.

Die angeführten Mechanismen zeigen, dass zwar alle angeführten Stoffe einen Süßgeschmack auslösen, aber auf unterschiedliche Art und daher viele unterschiedliche Süßgeschmackseindrücke und Beeinflussungen desselben möglich sind.

Genetische Variationen (*allelic polymorphism*) in den T1R Genen erklären einerseits die unterschiedliche Wahrnehmung zwischen den Arten, aber auch innerhalb ethnischer Menschengruppen (Fushan et al., 2009). Genetische Unterschiede beeinflussen auch Süßstoff-Nebengeschmackseindrücke. Beispielsweise reagieren bestimmte Varianten von 2 T2R-Bitterrezeptoren auch auf Saccharin. Das könnte eine molekulare Erklärung für die Beobachtung sein, dass einige Leute Saccharin sowohl als süß als auch als bitter wahrnehmen (Fernstrom, 2012).

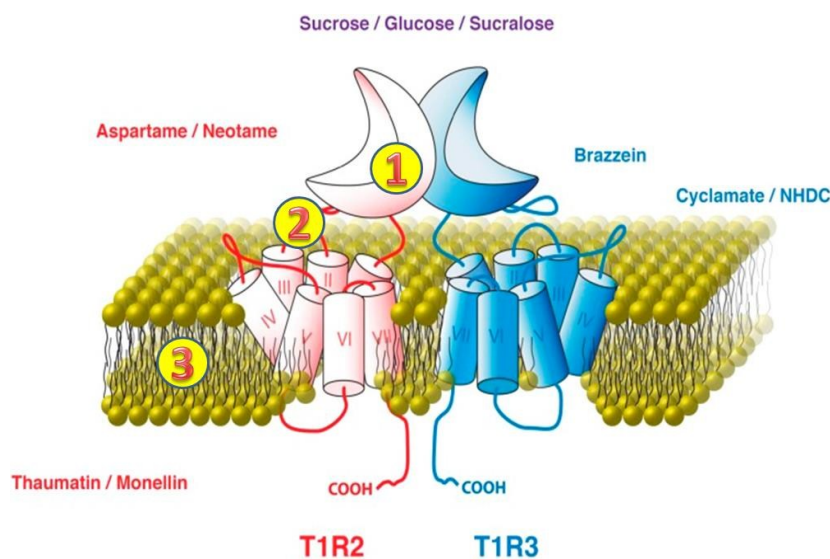


Abb. 2.1.17: Auslösung des Süßgeschmacks durch einzelne Süßungsmittel [Abb. modifiziert nach Fernstrom et al. (2012) und Servant (2011)] [① Venusfliegenfalle-ähnliche Domäne (VFT); ② cysteinreiche Domäne; ③ Transmembran-Domäne]

Die neuen Erkenntnisse zur Auslösung des Süßgeschmacks haben viele Möglichkeiten zum Auffinden neuer, süßschmeckender Stoffe, Geschmacksantagonisten und –inhibitoren, sowie Geschmacksmodulatoren eröffnet (Servant et al., 2011). Sogenannte positive, allosterische Modulatoren (PAM) sind *per se* völlig geschmackslos, können aber den Süßgeschmack von Süßungsmitteln verstärken. Dieser Mechanismus funktioniert nur bei Süßungsmitteln, sondern auch beim Umami-Geschmack. Nach Kenntnis dieser Zusammenhänge kann nun gezielt und systematisch nach solchen PAM gesucht werden. Das wird von der Fa. Senomyx schon seit einigen Jahren auch gemacht. Einer der von dieser Firma gefundenen Stoffe ermöglicht eine vier- bis sechsfache Reduktion der Sucralosekonzentration bei gleichbleibender Intensität des Süßgeschmackseindrucks.

Schwieterman et al. (2014) isolierten aus Erdbeeren sechs Aromakomponenten, welche den Süßgeschmack signifikant verstärken konnten. Diese Erkenntnisse könnten zur Züchtung von Sorten eingesetzt werden, bei denen diese Aromakomponenten in größerem Ausmaß vorkommen.

Die Verstärkung der Süßgeschmackswahrnehmung durch Aromastoffe ist schon lange bekannt. Maltol (entsteht auch beim Erhitzen von Maltose und Laktose $\Rightarrow$ Maillardreaktionsprodukt) und Ethylmaltol sind erlaubte Lebensmittelzusatzstoffe und werden in die Funktionsklasse 14 (Geschmacksverstärker) eingeordnet. In Versuchsanordnungen, in denen ausschließlich der Geschmack beurteilt werden konnte, und sein Geruch (Aroma) nicht wahrnehmbar war, wurde Maltol als bitter beurteilt (Dürschmid, 2009). In Konzentrationen von 50-300 ppm erzeugt es vor allem bei untrainierten Versuchspersonen, die schlecht in der Lage sind, zwischen Geruch und Geschmack zu differenzieren, eine deutlich intensivierte Süß-Wahrnehmung. Die synthetische Substanz Ethyl-Maltol wirkt vier- bis sechsmal stärker als Maltol. Neben der Verstärkung des Süßgeschmacks werden auch Aromaempfindungen durch diese beiden Substanzen intensiviert (Verstärkung von Fruchtaromen). Worauf diese Effekte beruhen ist bislang unklar.

1.5.4. Nutzen und Risiken bei der Verwendung von kalorienverminderten oder kalorienfreien Süßungsmitteln

1.5.4.1. Nutzen

Es stellt sich die prinzipielle Frage, ob mit kalorienreduzierten bzw. kalorienfreien Süßungsmitteln der angestrebte Zweck, nämlich eine verringerte Kalorienaufnahme durch geringeren Verzehr von verdaubaren, niedermolekularen Kohlenhydraten, auch erreicht wird. Zahlreiche wissenschaftliche Studien haben sich bereits damit auseinander gesetzt, ohne wirklich eine endgültige Klärung herbeizuführen. Die neueren Studien auf diesem Gebiet werden von Rudenga & Small (2012) aufgelistet. Es gibt Studien, die künstliche Süßstoffe als hilfreich für eine Gewichtsreduktion belegen. Mindestens ebenso viele Studien finden, dass künstliche Süßstoffe nicht nur keine erhoffte Gewichtsreduktion ergeben, sondern sogar eine Gewichtszunahme.

Anderson et al. (2012) fassen zusammen, dass es weder gesicherte Beweise dafür gibt, dass kalorienreduzierte Süßungsmittel (*low-calorie sweeteners*) Ursache für ein höheres Körpergewicht bei Erwachsenen sind; ebenso gibt es aber auch keine gesicherten Beweise, dass sie hilfreich zur Gewichtskontrolle sind.

Zur endgültigen Klärung dieser Frage wird also noch viel Forschungsarbeit zu leisten sein. Erschwert wird die Lösung durch die stetig steigende Zahl an solchen Süßungsmitteln. Ob sie alle in einen Topf zu werfen sind, ist sicher zu hinterfragen. Da die einzelnen Studien nicht immer die gleichen Süßstoffe für die Untersuchungen heran ziehen, wird die Vergleichbarkeit zusätzlich erschwert.

Wenn durch steigenden Gebrauch eine Verringerung der Aufnahme von verdaulichen, niedermolekularen Kohlenhydraten bewirkt wird, hätte auf der anderen Seite der Konsum an Zucker und Zuckerarten weltweit zumindest stagnieren oder zurückgehen müssen. Das scheint aber nicht der Fall zu sein, wie schon in der früheren Studie an Hand der weltweiten Zuckerproduktion belegt wurde (Berghofer, 2010).

Bezüglich der Situation in den USA gibt eine Studie von Powell (2014) die in Tab. 2.1.8 angeführten Daten bekannt. Dargestellt wird die Zuckeraufnahme durch verarbeitete Lebensmittel, wobei unter Zucker alle Mono- und Disaccharide verstanden werden. Demnach ist der Zuckerkonsum in drei Dekaden um 30 % gestiegen. Der höchste Konsum wurde 2004 beobachtet, seitdem ist ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Dieser leichte Rückgang ab 2004 gilt aber nicht für alle Bevölkerungsgruppen, z.B. nicht für Jugendliche zwischen 12-18 Jahre und Erwachsene über 40 Jahre. Die Werte liegen immer noch weit über den Ausgangswert von 1977 und weit über den empfohlenen Werten zur Zuckeraufnahme in den USA (Frauen: Nicht mehr als 100 kcal der täglichen Kalorienaufnahme durch Zucker; Männer: 150 kcal/Tag; Kinder 130-170 kcal/Tag)

Die WHO hat am 5. März 2014 einen Leitlinienentwurf bezüglich des Zuckerverzehrs zur öffentlichen Diskussion bis 31. März 2014 gestellt. In dieser Leitlinie wird die bisherige Empfehlung der WHO bezüglich des Konsums an Zucker von weniger als 10 % der Gesamtenergieaufnahme auf weniger als 5 % reduziert (WHO, 2014). Diese Empfehlung hat in den Medien großen Widerhall gefunden. Von vielen Seiten gab es aber auch Einwände, weil die Datenlage für eine solche Empfehlung nicht ausreichend ist (z.B. DGE, 2014; Sugar Association, 2014).

Tab. 2.1.8: Zuckerkonsum in den USA von 1977-2010 (Powell, 2004)

Zuckerkonsum^{*1}	1977	2004	2010
ERWACHSENE	228 kcal/Tag	341 kcal/Tag	300 kcal/Tag
KINDER	277 Kcal/Tag	388 kcal/Tag	329 kcal/Tag

*1 Mono- und Disaccharide in verarbeiteten Lebensmitteln

1.5.4.2. Risiken

Abgesehen davon, ob kalorienreduzierte und kalorienfreie Süßungsmittel ihr angestrebtes Ziel erreichen oder sogar das Gegenteil bewirken, gibt es Hinweise, dass einige von ihnen biologische (z.B. pharmako-kinetische) Effekte über die Auslösung des Süßgeschmacks hinaus haben und die menschliche Gesundheit beeinflussen können (Schiffmann, 2012).

Der Grund warum Süßungsmittel weniger oder gar keine Kalorien haben, liegt darin, dass sie nach dem Verzehr weder durch den Menschen selbst noch durch sein Mikrobiom gar nicht oder nur teilweise abgebaut und ausgeschieden werden. Sie gelangen also in die Kläranlagen, wobei es durchaus möglich ist, dass sie auch dort nicht abgebaut oder abgetrennt werden können. Bis jetzt wurde kaum hinterfragt wurde, was mit diesen Stoffen weiter passiert. Solche Fragestellungen fließen bei den derzeitigen Zulassungsverfahren kaum in die Bewertung ein. Dass dies nicht nur eine theoretische Angelegenheit ist, beweisen die Untersuchungen von Tollefsen et al. (2012). Die Autoren stellten fest, dass Sucralose – ein zugelassenes Intensiv Süßungsmittel, chemisch eine sehr stabile, mehrfach chlorierte Saccharose – bereits in den städtischen Abwässern und im Oberflächenwasser (10 µg/L) in den USA und Europa nachgewiesen werden kann. Der Wert liegt zwar noch weit unter dem Wert einer möglichen Beeinflussung von aquatischen Lebewesen (0,93 mg/L), aber wie geht es in Zukunft weiter?

Mawhinney et al. (2011) berichten, dass die Sucralosekonzentration im Trinkwasser bereits als In-

dikatorwert für die Belastung mit anderen anthropogenen Substanzen dienen kann.

1.5.5. Informationsstand der Verbraucherinnen und Verbraucher und Irreführungspotential

Fast alle kalorienreduzierten Masse-Süßungsmittel fallen unter die Novel Food-Verordnung. Zugelassene Neuartige Lebensmittel oder Lebensmittelzutaten (Novel Food) müssen auf den Lebensmitteletiketten entsprechend gekennzeichnet werden. Diese zusätzliche Kennzeichnung laut Art 8 der Verordnung (EG) Nr. 258/97 ist sehr detailliert und umfangreich:

Artikel 8

(1) Unbeschadet der übrigen Anforderungen der gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften für die Etikettierung von Lebensmitteln gelten folgende zusätzliche spezifische Etikettierungsanforderungen für Lebensmittel zur Unterrichtung der Endverbraucher über:

- a) alle Merkmale oder Ernährungseigenschaften, wie — Zusammensetzung,*
- Nährwert oder nutritive Wirkungen,*
- Verwendungszweck des Lebensmittels,*

die dazu führen, dass ein neuartiges Lebensmittel oder eine neuartige Lebensmittelzutat nicht mehr einem bestehenden Lebensmittel oder einer bestehenden Lebensmittelzutat gleichwertig ist.

.....

In diesem Fall sind auf der Etikettierung diese veränderten Merkmale oder Eigenschaften sowie das Verfahren, mit dem sie erzielt wurden, anzugeben;

b) vorhandene Stoffe, die in bestehenden gleichwertigen Lebensmitteln nicht vorhanden sind und die Gesundheit bestimmter Bevölkerungsgruppen beeinflussen können;

c) vorhandene Stoffe, die in bestehenden gleichwertigen Lebensmitteln nicht vorhanden sind und gegen die ethische Vorbehalte bestehen.

1.6. Farbstoffe

Laut Definition der Verordnung (EU) Nr. 1333/2008 werden Zusatzstoffe Lebensmitteln aus technologischen Gründen zugesetzt. Die Frage ist nun, inwieweit Farbstoffe einem technologischen Zweck dienen, oder ihre Verwendung nur aus organoleptischen Gründen erfolgt.

Lionell Schmitt, Vice-Präsident Commercial Development beim Lebensmittelfarbstoffhersteller Chr. Hansen, beschrieb diesen Umstand in einem Interview treffend mit „Lebensmittelfarbstoffe wären zu einem „strategischen Hilfsstoff“ geworden (Chr. Hansen, 2008). „Farben haben eine ganz massive Wirkung, steuern aber nur einen kleinen Anteil zu den Produktionskosten bei. Bei einer Premium-Eiskrem beträgt er nicht einmal 0,5 %. Damit werden natürliche Farblösungen zur logischen Wahl für Unternehmen, die den Wert ihrer bereits gut definierten Marken noch steigern möchten“, erklärt er. „Wir wissen, dass die Farbe mehr als alles andere über den Erstkauf eines Produkts entscheidet. Da alle verarbeiteten Nahrungsmittel dicht verpackt sind, spielen Geschmack, Geruch und Qualitätswahrnehmung keine wirklich wichtige Rolle. Diese Aspekte kommen erst ins Spiel, wenn wir ein Produkt ausprobieren und über den erneuten Kauf entscheiden“, schließt Lionell Schmitt (Chr. Hansen, 2008).

Eine intensivere Färbung lässt Konsumentinnen und Konsumenten gehaltvollere Lebensmittel erwarten- „je röter das Kirschjoghurt, desto mehr Kirschen“ denkt man. Daneben ist bekannt, dass eine geschickte Farbwahl dazu beitragen kann, bestimmte Zielgruppen bzw. Bedürfnisse anzusprechen. So sticht rot sofort ins Auge und stimuliert den Appetit, Gelborange gilt als nährstoff- und vitaminreich, grün gefärbte Produkte werden als natürlich und gesund angesehen, bei Kin-

dern sind knallige Farben und blau beliebt, Erwachsene mögen es eher dezent, etc. (Chr. Hansen, 2007).

Lebensmittelfarbstoffe lassen also Lebensmittel frischer und qualitativ hochwertiger erscheinen („aus frischeren Früchten“ oder „schonender verarbeitet“) und den Konsumentinnen und Konsumenten bestimmte Eigenschaften mit der Farbe/Farbintensität assoziieren. Sie können also den Konsumentinnen und Konsumenten etwas vorspiegeln beziehungsweise vortäuschen. Eine echte Täuschung wäre aber nur dann gegeben, wenn die Zugabe der Farbstoffe auf den Lebensmitteletiketten nicht deklariert wird.

1.6.1. Azofarbstoffe

Azofarbstoffe sind Tartrazin (E 102); Gelborange S (E 110); Azorubin (E 122); Cochenillerot (E 124a); Allurarot (E 129) und das - chemisch nicht zu den Azofarbstoffen zählende, aber aufgrund ähnlicher Problematik hier ebenfalls behandelte - Chinolingelb (E 104).

Die wichtigste und medial bekannteste Thematik im Bereich der Farbstoffe in den letzten Jahren ist die Diskussion um die sogenannten Azofarbstoffe. Darunter sind synthetische Farbstoffe zu verstehen, die eine oder mehrere chromophore (farbgebende) Stickstoffdoppelbindungen aufweisen, die sogenannten Azogruppen. Sie werden aus den - unter Krebsverdacht stehenden Aminen - synthetisiert, sind aber durch Sulfonierung an den reaktiven Gruppen nicht krebserregend, weil aus ihren Abbauprodukten keine Nitrosamine entstehen (EFSA 2005). Basierend auf den verfügbaren Kanzerogenitätsstudien gibt es keinen Hinweis auf ein kanzerogenes Potential (EFSA 2013). Aufgrund pseudoallergische Reaktionen war Tartrazin, 1989 in Österreich, Deutschland und der Schweiz mit der Begründung des Allergikerschutzes bis zur Einführung einheitlicher Regelungen durch die EU 1993 verboten war.. Mögliche Zusammenhänge zwischen der Aufnahme von Azofarbstoffen mit Aktivitäts- und Aufmerksamkeitsstörungen von Kindern wurden 2007 im Rahmen der, durch die britische „Food Standards Agency“ in Auftrag gegebenen, sogenannten „Southampton“ (oder „McCann“) -Studie mit 8-9-jährigen Kindern bekannt und publik. Der tatsächliche kausale Zusammenhang ist bis heute nicht eindeutig bewiesen, die Autoren der Studie selbst weisen auf weitere mögliche Einflussfaktoren wie Frühgeburt, Genetik, Erziehung etc. hin. 2010 wurde dennoch durch das Europäische Parlament auf die Studienergebnisse mit der Verpflichtung zur Angabe des Warnhinweises *„kann Aktivität und Aufmerksamkeit von Kindern beeinträchtigen“* auf Lebensmittel mit Azofarbstoffen reagiert. Auf diese verpflichtende Kennzeichnung haben viele Hersteller mit einer Umstellung in Richtung natürlicher Farbstoffe reagiert. Die Nutzung der Azofarbstoffe, welche vor allem für normalerweise besonders intensiv gefärbte Kindersüßigkeiten eingesetzt werden, bleibt aber weiterhin legal, wenngleich Verbraucherschützer das Verbot fordern. Zum Ärger der Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein wurden 2012 in einem Screening von Halloween Süßigkeiten noch sehr viele Produkte mit Azofarbstoffen identifiziert, wobei der Warnhinweis „möglichst wenig sichtbar“, in Lollies beispielsweise „in der Cellophanumwicklung versteckt“, angebracht war (Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein, 2012).

Ohne weitere Studien setzte die EFSA im Juni 2013 die ADI-Werte (die maximal lebenslang ohne Schäden aufnehmbare tägliche Dosis in mg/kg Körpergewicht) für drei der sechs umstrittenen Farben teils drastisch herab: Chinolingelb von 10 mg auf 0,5 mg; Gelborange S von 2,5 mg auf 1 mg; Cochenillerot von 4 mg auf 0,7 mg. Nichtsdestotrotz sind einige namhafte Hersteller auch im Jahr 2014 noch nicht vollkommen von der Verwendung der Azofarbstoffe abgegangen, wahrscheinlich nicht zuletzt aus Preisgründen. So wurden Azofarbstoffe im September 2014 bei einem Marktcheck der Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein in Biermischgetränken der Marken Warsteiner und Beck's gefunden und kritisiert (Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein, 2014).

Vor dem Hintergrund der steten Diskussion um ein Verbot, dem sensiblen Thema Kinder, dem

häufigen Listen und Publimachen von hartnäckigen Weiternutzern durch Verbraucherschützer und die Verbesserung der Alternativen scheint mittelfristig ein totaler Ausstieg aus der Verwendung der Azofarbstoffe durchaus denkbar.

1.6.2. Ammoniak-Zuckerkulöre

Eine weitere umstrittene Klasse der synthetischen Farbstoffe sind die Zuckerkulöre Ammoniak-Zuckerkulör (E 150c) und Ammoniumsulfid-Zuckerkulör (E 150d). Dabei wurde in diversen damit gefärbten Lebensmitteln das (auf Basis von Rattenversuchen) als krebserregend eingestufte Nebenprodukt 4-MEI (4-Methylimidazol), sowie bei E 150c zusätzlich das als Immunsystem negativ beeinflussend eingestufte THI (2-Acetyl-4-dehydroxy-butyylimidazol) gefunden. Darauf wurde durch die kalifornische Gesundheitsbehörde mit der Herausgabe eines Grenzwertes von 29 µg/Tag reagiert. Lebensmittel, bei deren Konsum diese tägliche Aufnahmemenge überschritten werden könnte, müssen in Kalifornien mit einem Warnhinweis auf den Krebsverdacht gekennzeichnet werden. 2013 wurde in braunen Getränken wie Coca-Cola und Pepsi Cola etwa die sechsfache Menge gefunden, auch diverse Lakritzeprodukte und Bratensaucen sowie Balsamicoessig enthalten hohe Menge dieser braun- bis schwarzfärbenden Farbstoffe. Beide Firmen änderten in den USA bereits ihre Rezepturen, in Europa wurde das noch nicht durchgeführt (Der Spiegel, 2012). Das ist ohne Warnhinweis möglich, weil in Europa die derzeit gültigen Grenzwerte deutlich höher sind, die erneute Sicherheitsbewertung der Farbstoffe soll aber erst 2015 abgeschlossen sein. Verbraucherschutzorganisationen fordern auch hier ein totales Verbot anstelle von Grenzwerten mit der Argumentation, „dass es letztlich egal wäre, ob ein Lebensmittel nun ein bisschen oder sehr Krebs erregend wäre“ (z.B. ÖKOTest, 2013).

1.6.3. „Natürliche“ Farbstoffe u. färbende Lebensmittel

Neben synthetischen Farbstoffen sind auch aus natürlichen Ausgangsmaterialien isolierte Stoffe wie Chlorophylle, Anthocyane, Lycopin, Annatto etc., als Zusatzstoffe gelistet. Sie besitzen ebenfalls eine E-Nummer und müssen korrekt mit Funktionsklasse und Bezeichnung (also z.B. „Farbstoff Anthocyan“ oder gleichbedeutend mit „Farbstoff E 163“) in der Zutatenliste angeführt werden. Der wesentliche Unterschied zu den sogenannten „färbenden Lebensmitteln“ ist, dass bei ihrer Herstellung die Pigmente selektiv extrahiert werden (Genaueres dazu siehe Kap. 1.6.4). Durch die mediale Diskussion um und die Forderung von Verbraucherschutzorganisationen nach einem totalen Verbot der (künstlichen) Azofarbstoffe und Zuckerkulöre angestoßen, ist der Trend Richtung natürlicher Alternativen bei Farbstoffen klar spürbar und durch die Umsatzzahlen namhafter Lebensmittel-Farbenhersteller belegt. Die Umstellung auf natürliche Farbstoffe bedeutet sowohl für die Farbstoffhersteller als auch für die Lebensmittelproduzenten eine große Herausforderung. Sie sind nämlich weit weniger stabil und nicht so farbintensiv wie die Azofarbstoffe, und haben unter Umständen eine geringere Verbraucherakzeptanz hinsichtlich der

Farbgebung. Die aufgetretenen und nach wie vor teils aktuellen Probleme sind in Abb. .1.18 (Böhler, 2011) zusammengefasst.

Natürliche und künstliche Farbstoffe im Vergleich

- Natürliche Farbstoffe haben oft dezente pastellfarbige Töne statt intensiv-brillante.
- Natürliche sind oft empfindlich gegenüber dem Milieu wie dem pH-Wert und ändern ihren Farbton bei pH-Verschiebung.
- Natürliche sind oft hitzeempfindlich.
- Einige natürliche stiften einen Nebengeschmack.
- Natürlich gefärbte Produkte haben eine viel kürzere Farbstabilität und bleichen vor allem unter Licht- oder Wärmeeinwirkung relativ schnell aus.
- Nicht alle Farbtöne lassen sich mit natürlichen Farbstoffen realisieren.
- Die natürlichen Farbstoffe als solche haben eine kürzere Haltbarkeit und müssen kühl gelagert werden.
- Die Rezeptkosten steigen mit natürlichen Farbstoffen, da der Kilopreis der natürlichen höher liegt und ebenso die nötige Dosierung.

Abb. 2.1.18: Probleme im Einsatz natürlicher Farbstoffe

Besonders problematisch war anfangs u.a. der Ersatz des blauen Azo-Farbstoffes, was selbst namhafte R&D-starke Firmen wie Nestle Rowntree im Produkt Smarties herausforderte (Böhler, 2011). Mittlerweile ist der Ersatz des synthetischen blauen Farbstoffs E 133 durch die Spirulina-Algen technologischer Standard und zugelassen. Für einige „passende“ Produkte wie Schokoladendrops wird dieser auch eingesetzt. Die blauen Gummibärchen, Brote und Aufstriche etc. sieht man dennoch in Supermarktregalen maximal als Gag, zumal sich Produzenten bewusst sind, dass „konsumenten auf die innere Stimme ihrer Vorfahren hören“, wonach blaustichige Speisen nur als verdorbenes Fleisch oder verschimmelter Brot bekannt sind. Währenddessen wird am Ersatz von Rot-Farbtönen nach wie vor intensiv geforscht und nachgebessert. Dabei ließen sich die roten Azofarbstoffe sehr einfach durch das ebenfalls relativ stabile, nach derzeitigem Wissensstand gesundheitlich unbedenkliche, natürliche echte Karmin (E 120) aus getrockneten Blattläusen ersetzen. Dessen Einsatz wurde allerdings durch die Aufdeckung dieses Hintergrundwissens durch Verbraucherschützer für das Marketing kritisch. Der Ersatz durch die gut akzeptierten Anthocyane dagegen bereitet bei vielen, insbesondere hochverarbeiteten Produkte Probleme, vor allem hinsichtlich der Temperatur-, pH- und Sauerstoffsensibilität. Während Cochenillerot bei 95 °C über 6 h weitgehend stabil ist, weisen Anthocyan-Extrakte aus Pflanzen wie Holunder und Hibiskus nach dieser Lagerzeit nur noch 64-27 % ihrer Farbkraft auf; Isolate aus roten Rüben und Opuntia lediglich 12,5-1,7% (Fernandez-Lopez et al., 2013). Auch für Annatto (gelb-rot) ist bekannt, dass die synthetische Form gegenüber der natürlichen deutlich stabiler ist (Parvon et al., 2011). Der meistgenutzte Ansatz zur Erhöhung der Stabilität ohne Prozessveränderung bei der Lebensmittelproduktion an sich ist die Verkapselung der Farbstoffe, etwa in Maltodextrin oder Gummi arabicum (z.B. DeMarco et al., 2013), wenngleich die Nutzung dieser Zusatzstoffe für an sich nun „Natürliches“ wiederum nicht ganz mit dem allgemeinen Verbraucherverständnis von „Natürlichkeit“ in Einklang steht (siehe auch Kap. 2 - Aromen). Eine Alternative und logische Folge zur Lösung dieses Dilemma stellt hier die Prozessadaptation in Richtung *minimally processed food* und/oder die Anwendung nicht-thermischer Lebensmittelverarbeitung dar (siehe auch Teil 4).

Neben den natürlichen Farbstoffen, die - wie eingangs erwähnt - als Zusatzstoffe gelten, gibt es eine weitere Klasse sozusagen „noch natürlicherer“ Färbemittel für Lebensmittel: die Lebensmittelzutaten mit färbender Zusatzfunktion.

In Abb. 2.1.19 sind die Unterschiede zwischen natürlichen Farbstoffen und diesen entsprechenden Lebensmittelzutaten mit färbender Zusatzfunktion exemplarisch dargestellt.

<u>Chlorophyll (E 140)</u> • kommt in allen grünen Pflanzen vor • aus essbaren Pflanzen sowie Gras-, Luzern- und Brennnesselarten gewonnen	<u>Spinatpulver</u> • verleiht einen leicht grünen Farbton
<u>Paprikaextrakt (Capsanthin, Capsorubin, E 160c)</u> • aus reifen Paprikaschoten extrahiert • Capsanthin und Capsorubin, die öllöslichen Hauptfarbstoffe des Extrakts, haben als reine Farbstoffe keine technische Bedeutung	<u>Paprikapräparate</u> • färbende Bestandteile nicht selektiv angereichert • sobald in diesen Naturextrakten das scharf schmeckende Capsaicin verringert wird, werden Paprikaextrakte zu Farbstoffen • Paprikaextrakt als färbendes Lebensmittel deshalb nur in Produkten eingesetzt, bei denen die Paprikaschärfe nicht stört
<u>Lycopin (E 160d)</u> • als isolierter Farbstoff keine technische Bedeutung • neben weiteren Carotinoiden der Hauptfarbstoff von roten Tomaten	<u>Tomatenextrakte oder -pulver</u> • Farbstoffe nicht selektiv angereichert



Abb. 2.1.19: Beispiele zur Unterscheidung zwischen „ähnlichen“ Lebensmittelfarbstoffen (links) und färbenden Lebensmittelzutaten (rechts) (Koch, 2002).

1.6.4. Lebensmittelzutaten mit färbender Zusatzfunktion

1.6.4.1. Trend und Marketing

Alle namhaften, die österreichische Lebensmittelverarbeitung beliefernden, Lebensmittelfarbenhersteller sind mittlerweile auf den Trend der „Lebensmittelzutaten mit färbender Zusatzfunktion“ aufgesprungen: GNT mit EXBERRY®, Chr. Hansen mit FruitMax™, Symrise mit SymColor® Färbende LM, u.v.a. Sie bewerben diese sehr offensiv bei der Lebensmittel verarbeitenden Industrie mit dem Hauptargument der Unterstützung ihrer *clean-labelling*-Strategie (Presseaussendungen und Messeauftritte GNT, Wild, Symrise, Chr. Hansen). Chr. Hansen kurbelt den Vertrieb mit „dem Bewusstsein des Konsumenten zu Lebensmittelsicherheit und Gesundheitsaspekten“ an. Die Firma erklärt weiter die Sinnhaftigkeit der Nutzung von färbenden Lebensmitteln in Kombination mit zugesetzten Vitaminen in Süßwaren, zumal der Verbraucher damit „gesunde Süßwaren“ assoziiere. Der Erfolg in dieser Sparte zeigt sich bei Chr. Hansen (2014) u.a. im starken Ausbau seines Werkes für färbende Lebensmittel in Canossa, Italien. Der Weltmarktführer im Bereich färbender Lebensmittel rechnet mit einem rasant wachsenden Weltmarkt für färbende Lebensmittel um 10-15 % jährlich.

GNT gibt als „Vorteile der färbenden Lebensmittel für Konsumenten, Handel und Industrie“ unter Bezug auf eine entsprechende Verbraucherstudie an:

„Eine von GNT in Auftrag gegebene Verbraucherstudie zeigt: EXBERRY® Färbende Lebensmittel werden im Vergleich mit Farbstoffen von den Konsumenten als natürlichste Art der Lebensmittelfärbung gewer-

tet. Fast 90 % der Teilnehmer der Marktforschungsstudie gaben an eher Produkte zu kaufen, die färbende Lebensmittel enthalten als jene, die mit Farbstoffen hergestellt sind. Zudem sind sie bereit, für Produkte mit Färbenden Lebensmitteln höhere Preise zu bezahlen.“ (GNT, 2013).

1.6.4.2. Definition

Lebensmittel mit färbender Zusatzfunktion sind - einfach ausgedrückt- im Wesentlichen Säfte, Fruchtsaftkonzentrate, sowie Frucht- und Pflanzenextrakte. Im Gegensatz zu den natürlichen Farbstoffen werden die Pigmente nicht „selektiv“ angereichert. Außerdem gibt es Spezialfälle, wo aus bereits verarbeiteten Lebensmittelfarbstoffe extrahiert werden; wie z.B. Karamelsirup. Die Firma Chr. Hansen gibt an, derzeit 400 Farbtöne (teils Mischungen) aus 25 Lebensmitteln [z.B. (schwarzer) Karotte, Hibiscus, Rote Beete, Kürbis, Rettich, Süßkartoffel, Trauben, Malz] zu gewinnen (FruitMax™). Die Herstellung erfolgt im Allgemeinen physikalisch durch Zerkleinern, Kochen, Pürieren, Filtrieren und Konzentrieren.

Lange waren Lebensmittel mit färbender Zusatzfunktion nicht weiter definiert, was sich im November 2013 mit Herausgabe der „Guidance notes on the classification of food extracts with colouring properties“ durch die EU, welche im November 2015 verpflichtend werden sollen, änderte. Der wesentliche Erwägungsgrund hierfür war die unklare Definition von „selektiver“ Extraktion (siehe auch Kap. 1.3 Extrakte), denn:

„Extraction can range from simple extraction, to degrees of selective extraction up to isolation of the pure pigments. To decide upon the classification of the product it is essential to identify when the product is no longer "a food normally consumed as such or normally used as a characteristic ingredient of food", but a colour which needs approval.“

Die Unterscheidung zu den natürlichen Lebensmittelfarbstoffen erfolgt durch den Grad der Selektivität der Pigmentextraktion. Dazu braucht es eine molekulare Bezugsgröße aus den Reihen der anderen, im Ausgangsmaterial enthaltenen Substanzen. Dafür wurden die ernährungsphysiologischen und aromatischen Komponenten für sinnvoll erachtet:

“Pigments selectively extracted relative to the nutritive constituents → food colour

Pigments selectively extracted relative to the aromatic constituents → food colour

According to the legislation both groups of constituents should be checked to conclude whether the pigments are selectively extracted or not. Once there is a selective extraction at least for one of the two groups of the constituents the extract is a food colour.“

Nun hat aber eine technische Extraktion als Trennverfahren gerade die Aufgabe Stoffe aus einer Matrix selektiv zu extrahieren, also heraus zu lösen. Sie ist damit *per se* selektiv, und sei es nur, in dem wasserlösliche von fettlöslichen Anteilen getrennt (= selektiert) werden. Die Frage war nun, wo die objektive quantitative Grenze der Anreicherung zu ziehen ist. Dazu gab es folgende Überlegungen:

“The threshold value provides a quantitative borderline between "selective extraction" and "non-selective extraction". The threshold value should be high enough to cover seasonal and geographical differences and differences in source material varieties. On the other hand it should be low enough that the primary extracts could be still considered to be foods or food ingredients (i.e. not selectively extracted) and should assure that such products do not overlap with food colour specifications. Based on these considerations the following threshold value is proposed:

The threshold value for a selective extraction > 6"

Die Antwort der EU lautet also, dass es sich um färbende Lebensmittel handelt, wenn die Pigmente gegenüber ernährungsphysiologisch relevanten Substanzen und/oder Aromakomponenten um den Faktor < 6 angereichert sind. Grundsätzlich wird die Einführung der *guide-notes* von den Farbstoffherstellern begrüßt, zumal alle wesentlichen bislang durch diese vertriebenen Produkte vermutlich unter die Definition fallen. Vermutlich deshalb, weil in den *guide-notes* auch die Analyse der bislang genutzten und damit die Festlegung von Referenzwerten angekündigt wurde, was aber noch eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen wird.

1.6.4.3. Aufklärung und Transparenz

Obgleich nun eine Definition für färbende Lebensmittel in greifbare Nähe rückt und auch die Empfehlung zur Kennzeichnung mit „Extrakt oder Konzentrat aus xy“ und Hinweis auf die färbende Wirkung steht, wird die momentane Nutzung, Kennzeichnung und Aufmachung von Verbraucherschützern noch als irreführend kritisiert. Vor allem die legale Nutzung des *clean-labels* „OHNE Farbstoff“ wird als potentiell missverständlich angeführt. 62 % aller in einer Verbraucherstudie getesteten mit „OHNE Farbstoffe“ gelabelten Lebensmittel enthielten färbende Lebensmittel, wobei nur bei etwa der Hälfte auf deren färbende Wirkung hingewiesen wurde (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen, 2010). Wenn „ohne Farbstoff“ auf einem Erdbeeryoghurt steht, nehmen jedoch 60,3 % der Verbraucher an, dass die Farbe aus Erdbeeren stammt und 57,6 % der Verbraucher erwarten nicht, dass färbende Lebensmittel wie rote Beete-Saft zum Färben eingesetzt wurden (Lebensmittelklarheit.de, 2013). In wissenschaftlichen Publikationen wird in diesem Zusammenhang an noch missverständlicheren Dingen gearbeitet, wie etwa die Nutzung von in Cyclodextrinen eingekapselten Pigmenten aus rotem Pfeffer zur gleichmäßigen Färbung von roten Fruchtjoghurts (Gomes et al., 2014).

1.6.5. Sonstige Trends

1.6.5.1. Biotechnologische Produktion

Im Sinne einer ökonomischen Produktion von – insbesondere natürlichen – Farbstoffen wurden kürzlich Wege der biotechnologischen Produktion, konkret die Herstellung von Pigmenten mit diversen Mikroorganismen erschlossen (z.B. Tuli et al., 2014; Dufosse, 2014). So sind beispielsweise bereits folgende in Mikroorganismen produzierte Pigmente in Lebensmittelreinheit herstellbar: Astaxanthin aus *Xanthophyllomyces dendrorhous*, ein Pink-Rot aus *Penicillium oxalicum*, Riboflavin aus *Ashbya gossypii*, β -Carotin aus *Blakeslea trispora* (Dufosse, 2006). Auch mit Algen ist eine Farbstoffproduktion bereits möglich (De Boer, 2014), in filamentösen Pilzen (v.a. *Monascus*-Arten) kann man manche Pigmente bereits im großindustriellen Maßstab produzieren (Dufosse et al., 2014).

1.6.5.2. Farbstoffe mit Zusatzfunktion

Viele natürliche Farbstoffe, vor allem Extrakte, weisen zusätzlich zur färbenden auch technologische Funktionen auf, wie beispielsweise konservierende (antibakteriell, antifungal) und/oder antioxidative Effekte (z.B. Siva et al., 2011) (siehe auch Kap. 1.4. - Extrakte). Dies betrifft sowohl die antioxidativ wirkenden roten Pigmente vieler Früchte (z.B. Anthocyane) als Isolate (die im Sinne der VO als kennzeichnungspflichtige Farbstoffe gelten), aber auch zahlreiche rot/violett färbende Lebensmittelzutaten mit färbenden Eigenschaften, die ebenfalls z.B. Anthocyane enthalten. Die

Erschließung neuer botanischer Quellen, die Optimierung der Anthocyanextraktion und die Stabilisierung der gewonnenen Extrakte kommt damit in Zukunft große Bedeutung zu (z.B. Chaudhary & Mukhopadhyay, 2013).

1.6.5.3. Farben aus Reststoffen

Auf der Suche nach natürlichen Quellen für Lebensmittelfarben wird - ähnlich wie bei den Aromen (siehe Kap 2. - Aromen und Teil 3- Gesamtverwertung von Rohstoffen) - auch die Produktion aus Reststoffen erschlossen. So identifizierte man beispielsweise Avocadokerne als Quelle eines stabilen orangen Farbstoffes (Dabas et al., 2011). Tomatenschalen (Wirkstoff Lycopin) wurden erfolgreich zur Färbung und Haltbarkeitsverlängerung von Fleischwaren anstelle des umstrittenen Nitrits genutzt (Salem et al., 2013). Lycopin ist als Farbstoff „Carotin E 160 a) aus Tomaten extrahiert zugelassen.

1.7. Konservierungsmittel und Stoffe und Maßnahmen, um diese zu ersetzen

1.7.1. Allgemeines

(Chemische) Konservierungsmittel sind wahrscheinlich die Klasse an Zusatzstoffen, neben den Farbstoffen und Intensivsüßungsmitteln, bei denen die Konsumenten und Konsumentinnen die meisten Vorbehalte und Bedenken haben. Es gibt zahlreiche Umfragen, wo diese Bedenken abgefragt werden (z.B. Eurobarometer, 2010). Leider konnten keine objektiven, wissenschaftlichen Studien für den europäischen Raum gefunden werden, die sich mit der Frage auseinandersetzen, warum die Konsumentinnen und Konsumenten diese Bedenken haben.

Solche Studien liegen für Konservierungsmittel aus Südkorea (Shim et al., 2011) und Indien (Kumar et al., 2013) vor. Die Ergebnisse dieser Arbeiten können so zusammengefasst werden, dass es vor allem aufgrund von mangelnden Kenntnissen und Informationen Bedenken gibt, die aber nach Aufklärung über den Nutzen dieser Stoffe deutlich verringert werden konnten.

In den USA gab es bei der Befragung von erwachsenen Konsumentinnen und Konsumenten (Anonym, 2014 b) auf die Frage „*When thinking about all of your food and beverage purchases, how important are the factor preservatives?*“ folgendes Ergebnis

<i>Very important</i>	29 %
<i>Somewhat important</i>	32 %
<i>Not very important</i>	22 %
<i>Not all important</i>	14
<i>Not at all sure</i>	3 %

Wie auch immer, aufgrund der tatsächlichen oder angeblichen Vorbehalte der Konsumentinnen und Konsumenten, und den daraus resultierenden Drucks des Lebensmitteleinzelhandels, sehen sich die Lebensmittelproduzenten gezwungen, darauf zu reagieren.

Teilweise sind die Produzenten selbst schuld an eventuellen Bedenken, beziehungsweise verstärken sie diese, wenn beispielsweise auf sterilisierten Lebensmitteln ausgelobt wird „*ohne chemi-*

sche Konservierungsmittel“. Damit wird impliziert, dass diese Zusatzstoffe in irgendeiner Weise nachteilig sind.

Das Gegenteil ist aber der Fall. Der positive Nutzen von richtig eingesetzten Konservierungsmitteln überwiegt bei weitem deren eventuelles Risiko. Bei Konservierungsmitteln mit einer E-Nummer kann davon ausgegangen werden, dass sie toxikologisch untersucht und bewertet wurden und unter dauernder Beobachtung stehen. Für viele Stoffe und Maßnahmen, die als Ersatz vorgeschlagen werden, muss dieser Beweis erst geliefert werden.

Tatsache ist, dass seitens der Hersteller immer mehr versucht wird, erlaubte Konservierungsmittel mit E-Nummer durch „natürliche Konservierungsmittel“ oder durch andere Stoffe und Maßnahmen zu ersetzen (CompaniesandMarkets.com, 2014; Gray, 2013). Je mehr dieser Trend forciert wird, umso mehr wird er zum Selbstläufer.

„Natürliche Konservierungsmittel“ sind allerdings bis jetzt zumindest nur ein sehr kleines Segment im gesamten Konservierungsmittelmarkt. Letzterer wird nach Schätzungen bis zum Jahr 2018 auf 2,7 Milliarden Dollar ansteigen (CompaniesandMarkets.com, 2014).

1.7.2. Neue Entwicklungen bei Konservierungsmitteln

Die Haltbarkeitsverlängerung von Lebensmitteln wird im Convenience-Zeitalter immer wichtiger. Je höher ein Lebensmittel verarbeitet ist, umso geringer ist seine Haltbarkeit. Es werden aber immer längere Haltbarkeitsfristen und möglichst einfache Lagerbedingungen (z.B. keine Kühlung) seitens des Lebensmitteleinzelhandels und seitens der Konsumentinnen und Konsumenten gewünscht. Aus diesem Grund und aus dem Bestreben nach einem „*clean label*“ wird sehr intensiv nach neuen Konservierungsmethoden und neuen Konservierungsmitteln gesucht, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

1.7.2.1. Ätherische Öle als Konservierungsmittel

Ätherische Öle sind sekundäre Pflanzenstoffe und kommen in vielen Pflanzen und Pflanzenteilen – vor allem in Gewürzpflanzen – vor. Chemisch gesehen handelt es sich größtenteils um Terpene, die durch die Pflanzen aus der Grundstruktur des Isoprens zu komplexen Verbindungen synthetisiert werden. Sie dienen den Pflanzen für viele Zwecke, wie beispielsweise zum Anlocken von Insekten zur Bestäubung, zur Abwehr von Fraßschädlingen und gegen den Befall durch Mikroorganismen.

Von den Menschen werden ätherische Öle in Form der Verwendung von Gewürzen schon sehr lange genutzt. Immer mehr stellt sich heraus, dass sie über ihre geruchs- und geschmacksgebenden Eigenschaften hinaus auch pharmakologische, antioxidative und konservierende Wirkungen aufweisen. Gerade zur letzteren Wirkung wurde in den letzten Jahren sehr viel Forschungsarbeit geleistet (Tajkarimi et al., 2010). Prakash et al. (2015) und Tongnuanchan & Benjakul (2014) fassen die Ergebnisse auf diesem Gebiet übersichtlich zusammen. Die ersteren Autoren führen 38 Pflanzen an, deren ätherische Öle mikrobizide Wirkungen aufweisen, also gegen den Befall von Mikroorganismen schützen.

Einige der in ätherischen Ölen enthaltenen Stoffe wurden gesondert auf ihre antimikrobiellen Eigenschaften untersucht (Tongnuanchan & Benjakul, 2014; Gutiérrez-Larrazar et al., 2012). Die Wirkung auf gram-positive Bakterien ist in vielen Fällen besser als gegenüber gram-negativen. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Diffusion der ätherischen Öle durch die Zellwand der gram-negativen Bakterien limitiert ist, beziehungsweise die Zerstörung der Zellwand nicht so leicht er-

folgt. Ätherische Ölbestandteile mit guter antimikrobieller Wirkung sind beispielsweise Carvacrol aus Oregano, sowie α -Pinen, β -Pinen, Borneol, Campher, Verbinon aus Rosmarin.

Ätherische Öle könnten potentiell als „natürliche“ Konservierungsmittel direkt Lebensmitteln zugesetzt werden. Auf die dabei auftretenden Fragen bei der Verwendung solcher Extrakte, vor allem im Hinblick auf die Kennzeichnung, wird auch in Kap. 1.4 näher eingegangen. Einige Einzelsubstanzen aus ätherischen Ölen sind als Aromastoffe in der EU gelistet [Durchführungsverordnung (EU) Nr. 872/2012]. Laut Verordnung (EG) Nr. 1334/2008 (Erwägungsgrund 15) müssen unter festgelegten Bedingungen aus Lebensmitteln hergestellte Aromaextrakte, vorausgesetzt, dass sie auch vorrangig als Aroma eingesetzt werden, vor ihrer Verwendung in Lebensmitteln nicht bewertet oder zugelassen werden, es sei denn, es bestünden Zweifel an ihrer Sicherheit. Aromaextrakte, die nicht aus Lebensmitteln hergestellt werden, müssen jedoch einer Sicherheitsbewertung unterzogen und zugelassen werden.

Ein Extrakt, nämlich Extrakt aus Rosmarin, wurde als Lebensmittelzusatzstoff bewertet und bekam als Antioxidans eine E-Nummer (siehe Kap. 1.8 - Antioxidantien).

Der Einsatz ätherischer Öle als Konservierungsmittel bereitet neben rechtlichen Fragen aber auch einige praktische Probleme, die eine breite Nutzung für diesen Zweck derzeit noch limitieren. Diese Nachteile sind folgende (Hyldgaard & Meyer, 2012; Tajkarimi et al., 2010):

- Es werden relativ hohe Konzentrationen für ihre antimikrobielle Wirkung benötigt.
- Als hydrophobe/lipophile Substanzen sind sie nur in Fetten und Ölen löslich, aber nicht in Wasser
- Unerwünschte Wechselwirkungen mit Lebensmittelinhaltsstoffen (z.B. Fette)
- ungenügende Datenlage bezüglich ihres Wirkungsspektrums
- Wirkung ist abhängig vom pH-Wert, der Temperatur und der MO-Ausgangskonzentration
- Der intensive Eigengeruch und -geschmack kann unerwünschte sensorische Beeinträchtigungen ergeben.

Zur Beseitigung dieser Nachteile gibt es mehrere Ansätze (Hyldgaard & Meyer, 2012):

- Verwendung solcher Extrakte im Rahmen eines Hürdenkonzeptes, wodurch ihre Einsatzkonzentration verringert werden könnte. Beispielsweise durch Nutzung der synergistischen oder additiven Wirkung ätherischer Öle mit anderen Konservierungsmitteln und auch untereinander (Bassolc & Juliani, 2012; Seow et al., 2014)
- Einbettung bzw. (Mikro-)Verkapselung oder Herstellung von Nanoemulsionen. Dadurch wird die Stabilität der flüchtigen Inhaltsstoffe verbessert und die Wechselwirkung mit Lebensmittelinhaltsstoffen verringert. Santos (2015) beschreiben die Einbettung von Carvacrol als β -Cyclodextrin-Einschlußkomplex.
- Einbringung der aromatischen Öle nicht in das Lebensmittel, sondern in die Verpackung ($\Rightarrow$ *Active packaging*) (Tongnuanchan & Benjakul, 2014) oder in Form von Säckchen. Letztere werden in die Verpackung gegeben [z.B. Konservierung von Schnittbrot durch Zugabe von Säckchen, die mit an Harz gebundenen ätherischen Ölen aus Oregano befüllt sind (Passarinho et al., 2014)].

Zukünftig ist mit hoher Wahrscheinlichkeit damit zu rechnen, dass ätherische Öle auch wegen ihrer konservierenden Eigenschaften Verwendung finden. Da sie aber neben ihren antimikrobiellen und antioxidativen Eigenschaften bekannter Weise auch pharmakologische Wirkungen haben können, wären bei einer intensiven Nutzung neben Kennzeichnungsaspekten sehr wohl Sicher-

heitsaspekte zu berücksichtigen.

Viele der Anmerkungen zum Einsatz ätherischer Öle als Konservierungsmittel gelten in gleicher Weise bei einer Nutzung als Antioxidantien (Kap. 1.8). Es handelt sich nämlich um Multifunktions-extrakte.

1.7.2.2. Weitere organische Stoffe

Abushelaibi et al. (2012) führen Patente der Jahre 2010-2011 an, die neue Konservierungsmittel beschreiben. Folgende organische Stoffe werden dabei erwähnt:

- Caprylsäure (octanoic acid)
- 1,3-Dibromo-5,5-Dialkylhydantoin
- Ricinolsäureester

Xylan-Chitosan-Konjugate sollen laut Li et al. (2011) ebenfalls als Konservierungsmittel geeignet sein. Die Konjugate werden durch gemeinsame Erhitzung von Xylan (Hemicellulose aus z.B. Maiskolben) und Chitosan (Polysaccharid aus den Schalen und Panzern wirbelloser Tiere, z.B. Shrimps) hergestellt.

1.7.2.3. Bacteriocine

Bacteriocine sind eine heterogene Gruppe von antibakteriellen Proteinen, die sich hinsichtlich Molekulargewicht, Wirkungsspektrum, Wirkungsweise usw. unterscheiden. Sie werden u.a. von Milchsäurebakterien und *Bacillus* ssp. produziert. Ein Bacteriocin, nämlich Nisin, ist schon seit langem als antibakterieller Zusatzstoff (E 234) in der EU zugelassen.

Wie Abb. 2.1.20 zeigt, gibt es viele andere bekannte Bacteriocine (Chen & Hoover, 2003), von denen zumindest einige auch als Konservierungsmittel in Zukunft genutzt werden könnten.

Um Bacteriocine technisch zu nutzen, können diese durch entsprechende Bakterienstämme hergestellt und aus dem Fermentationsmedium isoliert werden. Eine andere Möglichkeit ist ihre Herstellung direkt in den Lebensmitteln durch Zusatz entsprechender Bakterienkulturen. Das geschieht ja im Prinzip bei fermentierten Milchprodukten. In Form von Schutzkulturen können damit aber auch nicht fermentierte Lebensmittel auf diese Weise geschützt werden. Schutzkulturen ist ein eigenes Kapitel in diesem Bericht gewidmet (Kap. 1.7.4.).

Bacteriocins	Producer	References
Class I-type A lantibiotics		
nisin	<i>Lactococcus lactis</i>	Hurst 1981
lactocin S	<i>Lactobacillus sake</i>	Mortvedt and others 1991
epidermin	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Allgaier and others 1986
galldermin	<i>Staphylococcus gallinarum</i>	Kellner and others 1988
lactacin 481	<i>L. lactis</i>	Piard and others 1992
Class I-type B lantibiotics		
mersacidin	<i>Bacillus subtilis</i>	Altena and others 2000
cinnamycin	<i>Streptomyces cinnamomeus</i>	Sahl and Bierbaum 1998
ancovenin	<i>Streptomyces</i> ssp.	Sahl and Bierbaum 1998
duramycin	<i>S. cinnamomeus</i>	Sahl and Bierbaum 1998
actagardin	<i>Actinoplanes</i> ssp.	Sahl and Bierbaum 1998
Class IIa		
pediocin PA-1/AcH	<i>Pediococcus acidilactici</i>	Henderson and others 1992; Motlagh and others 1992
sakacin A	<i>L. sake</i>	Holck and others 1992
sakacin P	<i>L. sake</i>	Tichaczek and others 1992
leucocin A-UAL 187	<i>Leuconostoc gelidum</i>	Hastings and others 1991
mesentericin Y105	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Hechard and others 1992
enterocin A	<i>Enterococcus faecium</i>	Aymerich and others 1996
divercin V41	<i>Carnobacterium divergens</i>	Metivier and others 1998
lactococcin MMFII	<i>L. lactis</i>	Ferchichi and others 2001
Class IIb		
lactococcin G	<i>L. lactis</i>	Nissen-Meyer and others 1992
lactococcin M	<i>L. lactis</i>	van Belkum and others 1991
lactacin F	<i>Lactobacillus johnsonii</i>	Allison and others 1994
plantaricin A	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Nissen-Meyer and others 1993a
plantaricin S	<i>L. plantarum</i>	Jimenez-Diaz and others 1995
plantaricin EF	<i>L. plantarum</i>	Anderssen and others 1998
plantaricin JK	<i>L. plantarum</i>	Anderssen and others 1998
Class IIc		
acidocin B	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Leer and others 1995
carnobacteriocin A	<i>Carnobacterium piscicola</i>	Worobo and others 1994
divergicin A	<i>C. divergens</i>	Worobo and others 1995
enterocin P	<i>E. faecium</i>	Cintas and others 1997
enterocin B	<i>E. faecium</i>	Nes and Holo 2000
Class III		
helveticin J	<i>Lactobacillus helveticus</i>	Joergers and Klaenhammer 1986
helveticin V-1829	<i>L. helveticus</i>	Vaughan and others 1992

Abb. 2.1.20: Beispiele von Bacteriocinen (Table 1 in Chen & Hoover, 2003)

1.7.3. Bakteriophagen

Bakteriophagen oft auch nur „Phagen“ genannt („phagein“ = griechisch für „essen“) sind Viren, die ubiquitär (d.h. überall auf der Haut, in Schleimhäuten, im Darm, im Wasser, in Lebensmitteln, in der Atemluft usw.) in unserer Umgebung vorhanden sind und ausschließlich Bakterien infizieren können. Tierische und pflanzliche Zellen lassen sie dagegen unberührt. Ebenso sind sie äußerst wirtsspezifisch. Das bedeutet, dass eine Phagenart jeweils nur einen oder einige ausgewählte Bakterienstämme infizieren kann. Wie alle Viren besitzen Phagen keinen eigenen Stoffwechsel, womit sie unfähig sind, sich außerhalb ihres Wirtsbakteriums zu vermehren oder länger zu überleben.

Ihr Wirkmechanismus als Viren kann vereinfacht folgendermaßen beschrieben werden: Wenn ein Phage auf eine potentielle bakterielle Wirtszelle trifft (Diese muss eine spezielle Oberflächenstruktur besitzen, die mit ihrer speziellen Hüllenstruktur kompatibel ist.), perforiert er die Zelle, schleust seine DNA in die Bakterie ein und programmiert deren Genom auf „Phagenproduktion“ und Bildung des zellwandperforierenden Enzyms Lysozym um. In der Zelle vermehren sich die Phagen dann solange bis das co-produzierte Lysozym die Bakterienzelle lysiert („zum Platzen bringt“). Damit werden die Phagen in ihrer nun vergrößerten Zahl in die Umgebung freigesetzt und befallen die nächsten mit ihnen kompatiblen Bakterienzellen. Wenn alle geeigneten Bakterienwirte abgetötet sind, sind die Phagen mangels Aufgabe inaktiv und lösen sich nach und nach in ihre Bestandteile auf. Den eben beschriebenen Mechanismus nennt man lytischen (virulenten) Zyklus. Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass es auch Phagenspezies gibt, die vor allem oder ausschließlich im lysogenen (temperenten) Zyklus aktiv sind. Das bedeutet, dass sie ihr Genom in die Zelle einschleusen, diese aber nicht abtöten, was sie für einen Einsatz zur Bekämpfung von Lebensmittelpathogenen völlig ungeeignet, möglicherweise auch bedenklich macht.

1.7.3.1. Einsatz zur Vermeidung von lebensmittelbedingter Krankheiten (*“food-borne diseases”*)

Trotz deutlich verbesserter Lebensmittelhygiene sind auch heutzutage Lebensmittelkontaminationen nach wie vor ein großes Thema. In Europa liegt deren Inzidenz bei etwa 400.000 Erkrankungsfällen jährlich, wovon wiederum etwa 25.000 Todesfälle zu verzeichnen sind. Dabei ist in der EU die durch einige Salmonellen-Arten verursachte Salmonellose die Hauptursache für durch Lebensmittelverzehr verursachte Krankheiten (EFSA, 2012). Die durch Listerien-Stämme hervorgerufene Listeriose ist die lebensmittelbedingte-Erkrankung mit der höchsten Mortalitätsrate (30%). Die meisten Krankheitsfälle, der sich vor allem in Magen-Darmbeschwerden äußernden Erkrankungen, sind auf die Aufnahme von Bakterien der Gruppen Salmonella, Listeria (vor allem *Listeria monocytogenes*), Campylobacter, E. coli, Shigella und Leuconostoc zurückzuführen. Diese wiederum werden gehäuft mit Lebensmitteln der hygienisch anspruchsvoll zu verarbeitenden Kategorien Geflügel, Eier, Fisch, Fleisch, Rohmilch/Rohkäse, sowie den aufstrebenden *fresh-cut*-Gemüse- und Obstprodukten (Schnittsalate etc.) aufgenommen.

Es bietet sich demnach an, Bakteriophagen gezielt zur Bekämpfung dieser pathogenen Keime in diesen, für Kontaminationen bekannten Lebensmitteln einzusetzen.

Stand der Forschung

Obgleich die Wirkung von Bakteriophagen vor allem für medizinische Anwendungen bereits lange bekannt ist (1917 erstmals beschrieben durch den kanadischen Wissenschaftler Felix Herbert d’Herelle), wurde die Forschung im EU-Raum lange zugunsten der damals als vielversprechender geltenden Antibiotika auf Eis gelegt. Lediglich in den ehemaligen Sowjetstaaten wurde aus Geldmangel weiter an Phagentherapien geforscht. Dieses Wissen macht man sich nun zunutze, weil aufgrund der Erkenntnis der Antibiotikaresistenz-Problematik und sinkender Konsumentenakzeptanz für chemische Dekontaminationsmittel die Phagennutzung wieder an Interesse gewinnt. Dennoch sind die konkreten Wechselwirkungen zwischen den diversen Phagen, Bakterien, Lebensmittelmatrices und Verarbeitungsbedingungen noch weitgehend unbekannt. Das liegt vor allem daran, dass es sehr viele unterschiedliche mögliche Kombinationen und Einflussfaktoren gibt (Orquera- Narvaez, 2012).

Die **prinzipielle Eignung der Phagen** zur Bekämpfung der pathogenen Keime in allen hauptgefährdeten Lebensmitteln konnte bereits vielfach wissenschaftlich aufgezeigt werden und gilt grundsätzlich als unbestritten.

So konnte beispielsweise in einer Lebensmittelkategorien übergreifenden Studie mit Flüssigei, Energy drinks, Apfelsaft, Hühnerbrust und Faschiertem eine Reduktion von *Salmonella typhimurium* (mit welchem diese Lebensmittel zuvor inokuliert, d.h. „absichtlich kontaminiert“ wurden) mit dem Phagen P22 lebensmittelabhängig um 2-3 log Einheiten innerhalb von 48 h bei 4° C erzielt werden (Zinno et al., 2014). Des Weiteren konnten einige *Shigella*-Arten (*S. flexneri*, *S. dysenteriae* und *S. sonnei*) auf Hühnerfleisch mittels geeigneter lytischer Phagen vollständig eliminiert werden (Zhang et al., 2012). In inokulierter Hühnerhaut konnten Phagen die Anzahl des Bakterium *Salmonella enteritidis* mit vergleichbarer Wirkung (ca. 1 log CFU/cm²) wie typische chemische Dekontaminationsmittel (Milchsäure, Peroxyessigsäure u.ä.) senken (Hungaro et al., 2013). Die Praxisaugenblicklichkeit im Sinne des Einsatzes in Stufen der Lebensmittelverarbeitung, sowie bei nachfolgenden Behandlungen und Lagerung unter Realbedingungen wurde ebenfalls bereits für einige Phagen-Lebensmittel-Kombinationen bewiesen. So konnte ein Cocktail aus drei verschiedenen Phagen (UAB_Phi 20, UAB_Phi78 und UAB_Phi87) die beiden *Salmonella*-spezies *S. typhimurium* und *S. enteritidis* in Schweinefleisch, Hühnerbrust, Eiern und Schnittsalat im Herstellungsprozess deutlich vermindern. Bei unverändertem Phagencocktail, unveränderter Anwendungskonzentration und denselben Zielbakterien war die Wirkung in den verschiedenen Lebensmittel allerdings signifikant verschieden (Reduktion um 1 bis 4 log), was auf einen Einfluss der Lebensmittelmatrix und/oder Verarbeitungsbedingungen auf die Wirkungsintensität hindeutet (Spricigo et al., 2013). Einen Einfluss der Matrix lässt auch die 2014 von Oliveira et al. (2014) durchgeführte Studie zur Eliminierung von *Listeria monocytogenes* in *fresh-cut*-Stücken und Säften der Früchte Melone, Birne und Apfel durch das Phagenpräparat Listex P100 vermuten, wobei bei identen Verarbeitungs-/Lagerbedingungen für Melone höchste, für Birne beachtliche und für Apfel keine Reduktionen im Kontaminationslevel beobachtet wurden. Möglicherweise kann auf eine Sensitivität von Phagen (oder zumindest dieses Präparates) gegenüber niedrigen pH-Werten in der Lebensmittelmatrix geschlossen werden. Selbst bei sehr ähnlicher Lebensmittelbeschaffenheit kann die Wirksamkeit der Phagenbehandlung variieren wie Modi et al. (2009) am Beispiel pasteurisierter Milch gegenüber Rohmilch bewiesen. Damit sind auch die der Phagenzugabe vorangehenden Prozessschritte zu berücksichtigen. Erwartungsgemäß spielt auch die Konsistenz der Lebensmittel für das Ausmaß der Wirkung eine große Rolle. Dies bestätigten etwa Guenther et al. (2009) in Versuchen mit diversen flüssigen (Kakao, Mozarellalake) und festen Lebensmitteln (Hot dogs, Fleisch, Lachs, Salat etc.). Dabei sank bei gleicher, inokulierter Ausgangskeimzahl der Zielbakterien, gleicher Phagenart und -beimpfungskonzentration, sowie identen Lagerbedingungen die Belastung für flüssige Lebensmittel mit *Listeria monocytogenes* unter die Nachweisgrenze, für die festen Lebensmittel dagegen „nur“ um durchschnittlich 5 log-Einheiten. Bewiesen ist daneben, dass bei der Bakterienbekämpfung durch Phagen „viel viel wirkt“ (z.B. Guenther et al., 2009), also eine Erhöhung der Dosis direkt proportional zur Wirkung ist.

Momentane Verwendung

In den USA wurde 2006 ein Spray gegen Listerien als erstes Phagenpräparat zur Anwendung auf alle gefährdeten Lebensmittel durch die FDA zugelassen (GRAS-Status = *generally recognized as safe*), worauf weitere Produkte folgten. Derzeit sind folgende kommerziell erhältlichen **Phagenpräparate** in den USA legal im Einsatz, wobei die Namen auf die zu bekämpfenden Bakteriengruppen hinweisen:

- "ListShield" (Intralytix, US) und "Listex P100" (Micareos, NL): gewissermaßen Breitband-Listerienphagen - sie töten alle für den Menschen gefährlichen *Listeria*-Arten ab.
 - "SalmoFresh" (Intralytix, US) und "Salmonex" (Micareos, NL)
 - EcoShield (Intralytix, US): ein Phagen-Mittel gegen krankmachende Arten des Darmbakteriums *Escherichia coli*
 - "Agriphage" (OmniLytics, US): Phagencocktail zur Anwendung gegen *Xanthomonas campestris* und *Pseudomonas syringae*
-

Bei derartigen Präparaten handelt es sich im Allgemeinen um Cocktails aus mehreren Phagenstämmen, wobei auch die einzelnen Stämme idealerweise einen sehr breitem Wirtsbereich aufweisen sollen. Phagenstämmen mit weitem Wirtsbereich sind noch wenige bekannt. Gegen *Salmonella*-Arten haben sich vor allem Phagen des Typs „Felix-O1“ als besonders breit wirksam erwiesen. Die Suche nach solchen Phagen ist Gegenstand aktueller Forschungen. Bei Betrachtung der Herstellerfirmen fällt auf, dass einer dieser drei *frontrunner* in der Erforschung und Produktion von Phagenpräparaten die niederländische Firma Microos ist, womit Europa bei entsprechender Nachfrage aus der Industrie und Klärung der rechtlichen Rahmenbedingungen das *know-how* in den eigenen Reihen hätte. Ob und in welchem Umfang Phagenpräparate derzeit im EU-Raum genutzt werden, ist - ebenso wie die Notwendigkeit von Zulassungsverfahren für deren Einsatz - unklar (und Kap. 1.7.2.5 - Nutzen und Risiken).

Ursprünglich isolierte man Phagen aus entsprechend mit ihnen „kontaminiertem“ Material wie Abwasser oder eben Lebensmitteln, wobei die weitere Vermehrung naturgemäß in bakteriellen Zellkulturen stattfinden sollte. Dass die **Herstellung** ihrer Präparate in gentechnisch veränderten MO erfolgt, verneinen Vertreter der Firma Microos. Ferner können Viren und damit auch Phagen heutzutage unter der Voraussetzung der Kenntnis des Genoms künstlich synthetisiert werden.

Die **Anwendung** von Phagen kann im Wesentlichen durch Tauchen, Aufstreichen (z.B. in Käselake mit der man die Oberfläche bestreicht) oder Besprühen (Wurst beim Schneiden oder kurz vor Abpacken durch Sprühnebel) erfolgen. Spezieller ist die Gabe in ihrer natürlichen Matrix, den Bakterien, was den Vorteil bietet, dass die Phagen tief ins Lebensmittel eindringen können. So können beispielsweise Phagen, die mit dem ungefährlichen Transportbakterium *Listeria innocua* eingebracht werden, in den Milchprodukten die gefährlichen *Listeria monocytogenes* befallen. Neben diesen „klassischen“ Einbringungsmöglichkeiten im Zuge der Lebensmittelverarbeitung ist bei tierischen Produkten die orale Gabe von Phagen mit der Fütterung der Tiere kurz vor der Schlachtung ein möglicher Applikationsweg, wie für die Reduktion von *Salmonella enteritidis* in Hühnerfleisch mittels dem Phagen P22 bereits exemplarisch gezeigt wurde (Goncalves et al., 2013). Ferner wurden kürzlich Versuche zur Einkapselung von Phagen in Molkeproteinfilme, aus welchen letztlich essbare Verpackungen hergestellt werden können, unternommen (Vonasek et al., 2014). Dies zielt auf eine verzögerte Freisetzung der Phagen und einen damit möglichen Langzeitschutz des Lebensmittels vor Neukontamination ab.

1.7.3.2. Weitere Einsatzmöglichkeiten der Bakteriophagen im s-Bereich

Neben dem eben ausführlich diskutierten Einsatz zur Reduktion von pathogenen Keimen in Lebensmitteln sind weitere Einsatzmöglichkeiten der Bakteriophagen in einem weiter gefassten Bereich der Lebensmittelindustrie Gegenstand aktueller Forschung:

- Phagen zur Krankheitsbekämpfung und –verhütung bei der Tierzucht (Geflügel, Schweine, Rinder) anstelle der aufgrund der Resistenzproblematik und mangelnder Konsumentenakzeptanz umstrittenen Antibiotika
- Phagen zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten als Ersatz für umstrittene chemische Düngung/Pflanzenschutzmittel („Agriphagen“)
- Phagen zur rascheren Analytik von bakteriellen Kontaminationen: z.B. Methode an der ETH-Zürich um Prof. Martin Lössner entwickelt (Hagens und Loessner, 2014). Dabei werden Bindeproteine von Phagen hergestellt, an welche magnetische Nanopartikel gebunden sind. Damit lassen sich die von den Phagenproteinen gebundenen Bakterien leicht aus der Matrix isolieren und anschließend bestimmen, und so Salmonellen in 5-10 h statt der üblichen 4 Tage identifiziert werden.

1.7.3.3. Potential von Bakteriophagen

Sämtliche Studien bestätigen den Phagen großes Potential zur Bekämpfung von bakteriellen Kontaminationen und damit zur signifikanten Verringerung der Erkrankungsfälle im Bereich der sogenannten *food-borne diseases*. Gegenüber den bislang gängigen Methoden zur Keimzahlverminderung besticht diese Methodik in folgenden Punkten:

Es ist angesichts der langen Koexistenz zwischen Menschen und Phagen (wir nehmen täglich Milliarden davon über die Ernährung auf) davon auszugehen, dass ihr Einsatz für Konsumentinnen und Konsumenten gesundheitlich unbedenklich ist. Der Phagenexperte des ETH Zürich Prof. Lössner fasste den Stand des Wissens hierzu in einer Stellungnahme folgendermaßen zusammen (HOFER, 2013):

„Nur wenige Phagen überstehen die Passage durch den Magen, und die verbliebenen werden ausgeschieden. Tatsächlich enthält der menschliche Stuhl eine hohe Anzahl an Phagen. Gelangen Phagen dennoch in den Blutkreislauf, z.B. durch eine Injektion, so werden die Phagen nach den wissenschaftlichen Erkenntnissen als eindringende Fremdkörper von den körpereigenen Abwehrzellen des Menschen bekämpft und schnell vernichtet. Hinzu kommt, dass die Phagen nach dem Stand der Forschung ihrerseits keine pathogenen Wirkungen im menschlichen Körper entfalten. Tatsächlich sind sie dort aufgrund ihres ubiquitären Vorkommens in der Umwelt bereits in großer Anzahl vorhanden und bislang nicht als gesundheitsschädlich aufgefallen.“

Es sind bislang - im Gegensatz zu Antibiotika - keine wesentlichen Resistenzen berichtet worden. Dabei wird allerdings von einigen Experten angemerkt, „dass es eine gewisse Resistenzbildung der Bakterien Phagen gegenüber geben muss, weil es sonst angesichts der Phagenüberzahl (10-fache Menge der Bakterien weltweit) keine Bakterien mehr geben würde“.

Für den natürlichen Erhalt der Lebensmittel bieten Bakteriophagen klare Vorteile gegenüber Dekontaminationsmitteln, weil sie äußerst spezifisch auf ihre Wirtbakterien wirken und die restliche natürliche Flora sowie die Zusammensetzung und die Struktur der Lebensmittel unberührt lassen. Diese hohe Spezifität der Phagen ermöglicht auch die Wirksamkeit in fermentativen Verarbeitungsprozessen, wo es wesentlich ist, dass die fermentierenden Mikroorganismen (Milch-/Käsekulturen, Brauhefen etc.) nicht geschädigt werden.

Wenngleich das Hauptaugenmerk der Forschung momentan bei der Verhütung von lebensmittelbedingten Krankheiten (*food-borne diseases*) liegt, ist eine darauf aufbauende, weiterführende Nutzung zur Haltbarkeitsverlängerung durchaus denkbar. Grundvoraussetzung dafür ist die erfolgreiche Suche nach Phagen, die spezifisch auf Bakterien sind, welche die Haltbarkeit herabsetzen (z.B. Pseudomonaden, Milchsäurebakterien). Ein Zusatz der Phagen könnte eine Senkung der Ausgangskeimzahl des Lebensmittels bewirken, womit die Verderbnis in empfindlichen Produkten mit geringem MHD (z.B. *fresh-cut* Gemüse und Obst) entsprechend verzögert werden könnte. Zur langfristigen Konservierung scheint ihr Einsatz aufgrund des Absterbens ohne ausreichend Wirtsbakterien ungeeignet. Neben der Identifizierung von Phagen(cocktails) mit entsprechend breitem Wirtsspektrum (in den meisten Lebensmitteln trifft man auf sehr viele unterschiedliche Arten an haltbarkeitvermindernden Bakterien) wird hierfür der Kosten-Nutzenfaktor über ein Streben nach einem derartigen Einsatz entscheidend sein.

1.7.3.4. Akzeptanz von Bakteriophagen

„Viren in Lebensmitteln“ wird unerklärt bestimmt nicht auf breite Konsumentenakzeptanz stoßen. Auch die detailliertere Beschreibung „Bakteriophagen“ könnte durch den Wortstamm „Bakterien“ negative Assoziationen auslösen. Das befürchten auch Lebensmittelhersteller, was dazu führt,

dass niemand mit dem Einsatz der Phagen offen umgehen möchte. Laut dem Geschäftsführer des holländischen Herstellers einiger Phagenpräparate Microos, Marc Offerhaus, soll unter anderem "einer der weltgrößten Lebensmittelhersteller" zu den langjährigen Kunden des Unternehmens" zählen. Auch Phagenspezialist Prof. Lössner der ETH Zürich äußerte sich dazu mit

„eine simple Deklaration würde den Verbraucher möglicherweise verunsichern“ (Hofer, 2013)

1.7.3.5. Nutzen und Risiken von Bakteriophagen

Die Eignung des Phagen Einsatzes zur Bekämpfung gefährlicher durch lebensmittelpathogene Bakterien verursachter Epidemien scheint hoch zu sein. Die Wahrscheinlichkeit gesundheitlicher Auswirkungen vor allem in Anbetracht der langen Koexistenz mit dem Menschen ist nicht zu erwarten. Dennoch äußerte sich das mit der Sicherheitsbeurteilung betraute BIOHAZ-Gremium der EFSA (EFSA, 2009 a) abwartend:

„RECOMMENDATIONS: In order to assess the issue of bacteriophage persistence in foods, and their ability to prevent recontamination with bacterial pathogens, research for specific bacteriophagepathogen food combinations should be encouraged. If bacteriophages treatments are to be used for removal of surface contamination of foods of animal origin, then it is recommended that a Guidance Document on the submission of data for their evaluation is provided.“

Hintergrund ist einerseits, die Gefahr, dass die Phagenbehandlung als „Allheilmittel gegenüber Kontaminationen“ angesehen werden könnte, und die allgemeine Betriebshygiene bei Risikoprodukten vernachlässigt wird bzw. chemische Desinfektion gedankenlos nach dem Motto „jetzt kann uns ohnehin nichts passieren“ ersetzt. Dieses Vorgehen wäre mit dem Wissen aus der Vielzahl an Publikationen (Beispiele unter Kap. 1.7.2.1 - Stand der Forschung), welche für verschiedenste Kombinationen aus Phagentyp, Zielbakterium, Lebensmittelmatrix, Behandlungs- und Lagerbedingungen und Vorbehandlungen ein verändertes Wirkungsausmaß feststellen konnten, tatsächlich fahrlässig. Für einige Lebensmittelverarbeitungsbereiche stellt hier die (zwar artabhängige, aber generell) relativ rasche Inaktivierung der Phagen nach „Erledigung ihrer Aufgabe“, also der Abtötung ihrer Wirte, bei fahrlässigem Umgang eine Gefahr dar. Es ist dann davon auszugehen, dass bei einer potentiellen neuen Kontamination kein Schutz besteht. Auch die Tatsache, dass man um die Resistenzbildung und die mögliche Übertragung von bakteriellen Resistenzgenen durch die Phagen nur wenig Bescheid weiß und Phagen in ihrer Natur sehr wirtsspezifisch sind, also veränderte Bakterien möglicherweise nicht erkennen können, weisen in dieselbe Richtung. Auch die Resistenzbildung bei den Phagen selbst ist ungeklärt. Die kontinuierlich steigende Zahl an einschlägigen Publikationen über Phageninteraktionen (Orquera-Narvaez, 2012) sowie die rege voranschreitende Sequenzierung von Phagengenomen lassen auf eine steile Lernkurve über Einsatzmöglichkeiten und deren Grenzen schließen.

1.7.3.6. Information und Irreführungspotential

Wie bereits unter dem Punkt Akzeptanz erwähnt, ist die Information der Bevölkerung über die Einsatzmöglichkeiten der Bakteriophagen im Lebensmittelbereich quasi nicht vorhanden, was vermutlich auf der die Firmen erwartende Erstreaktion von Konsumentinnen und Konsumenten und Verbraucherschutzorganisationen zurückzuführen ist. Neben dieser Erwartungshaltung ist die möglicherweise unklare Einordnung der Bakteriophagen im Lebensmittelbereich, welche über Zulassungs- und Deklarationspflicht entscheidet, eine Entwicklungs- und Anwendungsbremse für die Methode.

1.7.3.7. Kontrolle und Untersuchung

Über Notwendigkeit und Möglichkeiten der vernünftigen Kontrolle des Phageneinsatzes werden mehrere Faktoren entscheiden. In erster Linie ist zu klären, ob Zulassungspflicht besteht und wenn ja, ob jedes Präparat einzeln und/oder nur für bestimmte Anwendungszwecke zugelassen werden soll. Aktive Phagen in Lebensmitteln nachzuweisen ist heutzutage Standardmikrobiologie, die Zuordnung des Typs mittels molekularbiologischer Methoden ist gleichfalls möglich. Ob man dazu in der Lage ist bzw. wie hoch der Aufwand wäre, Bakteriophageneinzelteile, wie sie nach Beendigung der Bakterienabtötung vorliegen, aufzuspüren, ist dagegen fraglich. Resistenzbildungen kann man im Verdachtsfall auch durch Genomsequenzierung klären.

1.7.4. Schutzkulturen

Die steigende Nachfrage der Konsumentinnen und Konsumenten nach natürlichen, frischen und/oder schonend verarbeiteten („*minimally processed*“) Lebensmitteln ohne Zusatzstoffe, vor allem ohne Konservierungsmittel, verlangt nach natürlichen bzw. schonenden Konservierungsmethoden (s. auch Kapitel *clean label*). Die Anwendung von Schutzkulturen kann in diesem Sinne verstanden werden.

Schutzkulturen sind aus lebenden Mikroorganismen bestehende Präparate (reine Kulturen oder Kulturkonzentrate), die Lebensmitteln mit dem Ziel zugesetzt werden, Risiken durch pathogene oder toxische Mikroorganismen zu reduzieren. Die Anwendung solcher Schutzkulturen in Lebensmitteln wird mit dem Begriff „Biokonservierung“ umschrieben (SKLM, 2010).

Bestimmte Stämme von Mikroorganismen erweisen sich unter Fermentationsbedingungen sehr wettbewerbsstark und sind in der Lage pathogene und toxische Mikroorganismen zu hemmen. Dieses Prinzip soll nun auch bei nicht-fermentierten Lebensmitteln Anwendung finden. Dafür wurde der Begriff „Biokonservierung“ (engl. „*bioprotection*“) geprägt, und die dazu verwendeten Kulturen werden als Schutzkulturen (engl. *protective cultures*) bezeichnet (SKLM 2010).

Die im Handel verfügbaren Schutzkulturen enthalten praktisch dieselben Mikroorganismen wie sie auch in den Starterkulturen für fermentierte Lebensmittel vorkommen. Die Abgrenzung zwischen Schutz- und Starterkulturen liegt im Verwendungszweck (SKLM, 2010).

Starterkulturen (Präparate lebender Mikroorganismen oder ihrer Ruheform): Heute ist es üblich, die Mikroorganismen, die für Fermentationsprozesse notwendig sind, zu isolieren und zu kultivieren, damit sie gezielter eingesetzt werden können und zur Vermeidung von Fehlgärungen. Es handelt sich also um aufgrund spezifischer Eigenschaften selektierte, definierte und vermehrungsfähige Mikroorganismen in Reinkultur oder Mischkultur. Sie werden Lebensmitteln zugesetzt, um durch ihre Stoffwechselaktivität im Lebensmittel erwünschte Wirkungen hervorzurufen. Dazu zählen sensorische und ernährungsphysiologische Eigenschaften sowie eine verlängerte Haltbarkeit, verbesserte Hygiene oder gesteigerter Gebrauchswert. Etwa ein Drittel aller derzeit verzehrten Lebensmittel ist fermentiert (unter Miteinbeziehung der Lebensmittel, die durch Spontanfermentation mit rohstoffeigenen Enzymen hergestellt werden, z.B. Tee).

Schutzkulturen entwickeln ihre schützende Wirkung über Stoffwechselleistungen im Lebensmittel, die auch für nicht-fermentierte Lebensmittel angewendet werden können. Die Wirkung von Schutzkulturen beruht einerseits auf Verdrängung von Konkurrenten im Wettbewerb (Konkurrenz um Nährstoffe, Bindungsstellen an das Substrat) und/oder der Bildung von niedermolekularen **antimikrobiellen Stoffen** (Rodgers, 2003; SKLM, 2010). Solche wirksame Stoffe sind z.B. organi-

sche Säuren (Milch-, Essig-, Propionsäure etc.), Ethanol, H₂O₂, CO₂, Bacteriocine (ribosomal synthetisierte Peptide, Proteine und proteinähnliche Verbindungen), sowie von Antibiotika bzw. anderen antagonistisch wirksamen Prinzipien mit antibakterieller oder antimykotischer Aktivität. Die Bildungsrate dieser antimikrobiotischen Stoffe ist abhängig von der Lebensmittelmatrix, der Produkttemperatur und dem Vorhandensein von anderen Lebensmittelzutaten.

Crowley et al. (2013) beschreiben folgende auf Milchsäurebakterien (lactic acid bacterias – LAB) basierende Schutzkulturen: *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, aber auch *Aerococcus*, *Alloiococcus*, *Carnobacterium*, *Dolosigranulum*, *Enterococcus*, *Globicatella*, *Lactococcus*, *Lactosphaera*, *Mlissooccus*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* und *Weissella*.

Manche dieser Milchsäurebakterien weisen gleichzeitig sowohl eine bio-funktionelle probiotische Wirkung als auch eine Schutzfunktion (technologische Wirkung - Konservierung, Erhöhung der Lebensmittelsicherheit) auf (Rodgers, 2008). Beide Anwendungen, als Probiotika oder Schutzkultur, verlangen die Zugabe einer hohen Menge an Lebendkulturen (10⁶-10⁸ cfu/g), die bis zum Ende des Mindesthaltbarkeitsdatums zu gewährleisten ist. Es muss sichergestellt werden, dass über den gesamten Zeitraum von den Schutzkulturen ausreichende Mengen an Stoffwechselprodukten (darunter auch Bacteriocine) gebildet werden, um eine zuverlässige konservierende Schutzwirkung zu garantieren.

Zu den Keimen gegen die Schutzkulturen wirken können, zählen *Pseudomonas ssp.*, *Escherichia coli*, psychotrophe Keime, Salmonellen, *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes* (ein sehr hitzeresistenter psychotroper, nicht sporenbildender MO), *Micrococci*, *Staphylococci* (z.B. *Staphylococcus aureus*), *Bacillus cereus*, *Bacillus thermosphacta*, und *Yersinia enterocolitica* (Rodgers, 2008; Rodgers, 2003).

Wie oben angeführt, zählen zu den wirksamen Stoffwechselprodukten von Schutzkulturen auch **Bacteriocine** (siehe dazu auch Kap. 1.7.2.3). Das sind biologisch aktive Proteine oder Proteinkomplexe, die antibakteriell wirksam sind, vor allem gegen grampositive Bakterien. Es sind nur sehr geringe Dosierungen von Bacteriocinen notwendig, wodurch die sensorischen Eigenschaften der Lebensmittel nicht oder kaum beeinflusst werden (Rodgers, 2003).

Beispiel für solche Bacteriocine sind Nisin (produziert von *Lactococcus lactis*), Reuterin (produziert von *L. reuteri*) oder Pediocin A (produziert von *Pediococcus pentosaceus*).

Bacteriocine können über zwei Wege in Lebensmittel eingebracht werden:

1. Zugabe von isolierten Bacteriocinen (z.B. Nisin). Grundsätzlich sind nur geringe Dosierungen notwendig, es muss aber dennoch sichergestellt werden, dass die konservierende Wirkung ausreicht, unabhängig davon wie die Produkte gelagert werden. Die Zugabe von isolierten Bacteriocinen fällt unter die Kategorie Zusatzstoffe. Die zusatzstoffrechtlichen Bestimmungen, einschließlich der die Kennzeichnung betreffenden, sind daher einzuhalten..
2. Nutzung von entsprechenden „bacteriocinogenen“ Schutzkulturen (s.oben), die als Lebendkulturen in ausreichender Menge im Lebensmittel über den gesamten Zeitraum vorhanden sein müssen. Die Schutzwirkung kann so gesteuert werden, dass die zugegebenen Lebend-Schutzkulturen erst dann Bacteriocine bilden, wenn das gekühlte Produkt einer höheren Temperatur ausgesetzt wird. (z.B. bei Nicht-Einhaltung der Kühlkette). Solange das Produkt ordnungsgemäß gekühlt wird, werden keine Bacteriocine gebildet. Nach derzeitiger gesetzlicher Lage handelt es sich bei diesen Schutzkulturen, um Zusatzstoffanwendungen.

1.7.4.1. Gesetzliche Regelungen

Für die EU gibt es keine spezifische gesetzliche Regelung für mikrobielle Kulturen im Lebensmittelbereich. Wissenschaftsbasierte Definitionen für mikrobielle Kulturen mit unterschiedlichen Anwendungen fehlen genauso wie eine eindeutige Zuordnung der in der Lebensmittelproduktion verwendeten Mikroorganismen in die Kategorien Zutat, Zusatzstoff oder Verarbeitungshilfsmittel (SKLM, 2010). Die Anwendung von Lebendkulturen fällt oftmals unter die Grauzone zwischen Lebensmittel und Medizin (Rodgers, 2008).

Eine Entscheidungsgrundlage könnte der Anwendungszweck sein. Wird die Kultur zur Erzielung eines technologischen Effektes (z.B. Konservierung) eingesetzt, sind sie als Zusatzstoffe anzusehen. Das würde somit auf die Schutzkulturen zutreffen. Allerdings sind sie auch sehr schwierig von Starterkulturen abzugrenzen, aus denen sie sich entwickelt haben. Schutzkulturen haben den Zusatznutzen ein potentiell Risiko durch pathogene oder toxinogene Mikroorganismen zu vermindern. Werden dagegen bei der Kulturenherstellung im Fermenter Hemmstoffe in wirksamen Konzentrationen gebildet und mit den Kulturorganismen in das Lebensmittel eingebracht, ist das Fermentat einem Zusatzstoff gleichzusetzen. Durch Erfassung des Keimgehaltes sowie des Hemmeffektes der Kulturpräparation *per se* (d. h. Hemmeffekt einer Kultur ohne im Lebensmittel ablaufende Fermentation) lassen sich Schutzkultur und hemmstoffhaltiges Fermentat zuverlässig unterscheiden (SKLM, 2010).

Werden isolierte Bacteriocine zugegeben, so sind diese jedenfalls ein Lebensmittelzusatzstoff..

1.7.4.2. Sicherheit

Milchsäurebakterien spielen schon seit Jahrtausenden eine große Rolle bei Lebensmittelfermentationen (z.B.: Milch, Fleisch, Gemüse, Sauerteig) und weisen generell einen GRAS (*generally recognised as safe*) Status auf (Crowley et al., 2013). Die derzeit von der Lebensmittelwirtschaft angewendeten Starterkulturen haben nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand zu keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung der Verbraucher Anlass gegeben.

Da unterschiedliche Mikroorganismen oder Kulturen als Schutzkulturen Anwendung finden können, ist keine allgemeine Sicherheitsbewertung für alle Schutzkulturen möglich. Sie sind im Einzelfall zu bewerten. Wenn Schutzkulturen aus Mikroorganismen bestehen, welche auch als Starterkulturen schon über lange Jahre (für fermentierte Lebensmittel) angewendet werden und sich als bislang sicher erwiesen haben, sollten sie bezüglich ihrer Sicherheit wie Starterkulturen gehandhabt werden. Enthalten Schutzkulturen allerdings Organismen, die bisher noch nie als Starterkulturen eingesetzt wurden, so bedürfen diese eine umfassende Sicherheitsbewertung (SKLM, 2010) und einer entsprechender rechtlichen Beurteilung. Klinische Studien sind dazu notwendig (Rodgers, 2008). Sichergestellt werden sollte ebenfalls die Abwesenheit des Potentials zur Bildung physiologisch wirksamer biogener Amine oder Antibiotika (SKLM, 2010).

1.7.4.3. Anwendung von Schutzkulturen und Bacteriocinen

Besondere Bedeutung können Schutzkulturen bei der Anwendung in nicht-fermentierten Lebensmitteln mit pH-Wert im Neutralbereich und hoher Wasseraktivität ($a_w > 0.96$) erlangen, die einem erhöhten hygienischen Risiko unterliegen (SKLM, 2010). Sie bieten eine „natürliche“ Lösung zur Verlängerung der Haltbarkeit von Produkten, welche sehr leicht verderblich sind, chemische Konservierung aber nicht möglich ist oder vom Konsumenten nicht akzeptiert wird.

Schutzkulturen finden Anwendung als kontrollierte Mikroflora, während Bacteriocine als antimikrobiotische Stoffe eingesetzt werden können. Da Milchsäurebakterien Teil der natürlichen Mikro-

flora sind, wird von manchen Forschern postuliert, dass ihr Einsatz als Schutzkultur vom Konsumenten akzeptiert wird und das „frisch und gesunde“ Image von Lebensmitteln nicht zerstört (Rodgers, 2003).

Allgemeine Beispiele für die Anwendung der Biokonservierung mit Schutzkulturen sind alle frischen Produkte, nicht oder wenig verarbeitete Produkte, sous vide Produkte, oder Produkte, welche nur gekühlt (statt tiefgekühlt) gelagert werden sollen.

Einige Studien über die Anwendung von Schutzkulturen in nicht fermentierten Lebensmitteln wurden für folgende Lebensmittel durchgeführt: faschiertes Rindfleisch, Hühnerfleisch, Krabbenfleisch, Milch, Flüssigkei, Fisch, kühl gelagerte Erbsensuppen, Fertiggemüse, Hühnchen-, Thunfisch- und Krabbensalat (Rodgers, 2008). Die Anwendung in Milchprodukten wird von Beshlovka und Frengova (2012) zusammengefasst.

Rodriguez et al. (2014) untersuchten den Einsatz von Schutzkulturen, welche Proteine mit antifungaler Wirkung bilden, in iberischem, getrockneten Schinken. Dieses Produkt ist sehr anfällig gegenüber Ochtratoxin A Kontamination. Die Anwendung von Schutzkulturen innerhalb eines angepassten HACCP-Konzeptes zeigte ein sehr hohes Potential Ochtratoxin A Kontamination zu verhindern, ohne die übliche Herstellungsmethode des getrockneten Schinkens negativ zu beeinflussen.

Settanni und Corsetti (2008) schlagen die Anwendung von Schutzkulturen und Bacteriocinen für zahlreiche pflanzliche Lebensmittel vor. Neben fermentierten Lebensmitteln (Oliven, Sauerteig, Miso, Sauerkraut) beschreiben sie die Anwendung auch für nicht fermentierte Lebensmittel wie kühl gelagerte Essiggurken, Mungobohnensprossen, Sojamilch, Tofu (Schillinger et al., 2001), Frucht- und Gemüsesäfte sowie Dosengemüse. Verschiedenste (bacteriocinogene) Schutzkulturen sollen hier vor allem gegen Listerien effektiv sein, aber auch andere Keime werden wirksam im Wachstum verzögert. In Kartoffelpüree wurde die Wirkung von Nisin (isolierte Zugabe) auf das Wachstum von *Bacillus* und *Clostridium* untersucht. Eine Zugabe von 6,25 µg Nisin /g gekochtem Kartoffelpüree konnte die Pathogene zwischen 27 Tagen (*Bacillus*) und 58 Tagen (*Clostridium*) bei einer Lagerungstemperatur von 8° C verzögern. Nisin war auch nach der Pasteurisation in ausreichender Menge vorhanden.

Crowley et al. (2013) beschreiben den Effekt von Schutzkulturen (Milchsäurebakterien) gegen Schimmelpilze als vielversprechend. Die produzierten Metaboliten, die hier Wirkung zeigten, waren die organischen Säuren (Milchsäure, Essigsäure, Propionsäure, etc.), (kurzkettige) Fettsäuren (die Kettenlänge schien entscheidend zu sein: Capronsäure wirkte gegen *Fusarium graminearum*), Phenylmilchsäure, Carboxysäuren, Reuterin (gegen *Candida albicans* und *Aspergillus flavus*, etc.), zyklische Peptide, Bacteriocine und Lacton.

Eine weitere mögliche Anwendung von Schutzkulturen könnte im Catering Bereich liegen. Aufgrund der zunehmenden Entkoppelung der Mahlzeitenzubereitung vom Konsum in der Außer Haus-Verpflegung entsteht ein „Zeitraum“, während dem angebotene Fertigmahlzeiten sehr leicht verderben. Diese Speisen sind sozusagen „ungeschützt“. Im Bereich des Caterings sind chemische Konservierungsmittel nicht einsetzbar und physikalische Methoden (wie thermische Behandlung, Bestrahlung oder Hochdruckbehandlung) nicht oder nur sehr schwer umsetzbar (apparativer Aufwand, teuer, sensorische Einbußen). Daher sind hier der Einsatz von Schutzkulturen (welche im Lebensmittel Bacteriocine bilden können) oder die Einbringung von isolierten Bacteriocinen eine Möglichkeit. Traditionelle oder „offene“ Koch/Kühloperationen sind sehr anfällig gegenüber *Listeria monocytogenes*, ein Mikroorganismus, der auch unter Kühlbedingungen zum Wachstum fähig ist (Rodgers, 2008). Rodgers (2003) untersuchte die Vermeidung von Botulismus in sous vide-Produkten mit Bacteriocine bildenden Schutzkulturen. Wenn hohe Mengen an Nisin-produzierenden *Lactococcus lactis ssp lactis* und Pediocin A produzierenden *Pediococcus pento-*

saceus Kulturen *sous vide*-Produkten zugegeben wurde, konnte die Menge an *Clostridium botulinum* auf ein nicht mehr nachweisbares Niveau gesenkt werden. Es wurden in dieser Studie keine isolierten Bacteriocine zugesetzt, diese wurden erst von den Schutzkulturen im Lebensmittel gebildet und üben dann in Folge ihre bakteriostatische Wirkung aus. Nach Rogers (2003) konnten die von den Schutzkulturen gebildeten Bacteriocine wirksamer *sous vide*-Lebensmittel bei 10° C Lagerung schützen als die Zugabe von chemischen Konservierungsmitteln. Ein kommerzieller Einsatz dieser Methode ist aber bis jetzt nicht erfolgt (Rodgers, 2008).

1.7.4.4. Vorteile und Nachteile für die Anwendung von Schutzkulturen oder Bacteriocinen

Die Anwendung von (Bacteriocin-bildenden) Schutzkulturen könnte sich zu einer vielversprechenden Möglichkeit zur Haltbarkeitsverlängerung von Lebensmitteln entwickeln. Allerdings sind ihrer breiten Verwendung Grenzen gesetzt und gewisse Fakten müssen bei Ihrem Einsatz berücksichtigt werden. Im Folgenden werden die Vor- bzw. Nachteile von Schutzkulturen, sowie die durch Schutzkulturen gebildeten Bacteriocine, soweit aus der Literatur bekannt, beschrieben.

Vorteile

- Schutzkulturen sind sehr leicht handzuhaben, leicht dosierbar (keine eigene Apparatur notwendig) und leicht zu lagern (z.B. gefriergetrocknet).
- Schutzkulturen und ihre gebildeten Stoffwechselprodukte (u.a. Bacteriocine) beeinflussen die sensorischen Eigenschaften der Lebensmittel kaum.
- Produkte können anstatt tiefgefroren, nur gekühlt gelagert werden, und haben dadurch ein „natürlicheres“ Image.
- Schutzkulturen haben teilweise auch eine probiotische Wirkung
- Schutzkulturen bieten einen von der Temperatur beeinflussten Mechanismus an: Bacteriocine werden erst produziert, wenn das Produkt höheren Temperaturen ausgesetzt wird. Die Wirkung kann so gestaltet werden, dass die Schutzkulturen während der Lagerung nur dann arbeiten, wenn die Temperatur ansteigt (Rodgers, 2008).
- Isolierte Bacteriocine sind weniger hitzeanfällig als Schutzkulturen (Rodgers, 2008).

Nachteile

- Schutzkulturen und Bacteriocine sind sehr **wirkungsspezifisch**. Nicht jede Schutzkultur wirkt gegen jeden Keim in jeder Matrix (in diesem Falle Lebensmittel). Entgegen der chemischen oder physikalischen Konservierung ist der inhibitorische Effekt graduell. Die Bildungsrate von antibakteriellen Substanzen, die Zeit die notwendig ist, um ausreichende Menge von inhibitorischen Konzentrationen zu erreichen, muss daher berücksichtigt werden. Sie sollte auf jeden Fall schneller als die Bildungsrate von pathogenen MO oder deren Toxinen sein. Die pathogenen MO sollten schon inhibiert werden, bevor sie ein gewisses Toleranzlimit überschreiten. Diese Balance ist in einigen Fällen temperaturabhängig. Erschwerend kommt dazu, dass sich durch Temperaturänderung die Sensitivität der Pathogene und die Aktivität der Bacteriocine ändern können. Genaue Fall-zu Fall Studien (Auswahl der entsprechenden Schutzkultur) sind hier daher gefordert (Rodgers, 2003; Crowley et al., 2013).

- Die genaue Kenntnis der Wirkung einzelner Schutzkulturen/Bacteriocinen innerhalb der Lebensmittelmatrix ist notwendig: Zutaten mit antibakterieller Wirkung können synergistisch mit Schutzkulturen wirken, andere Stoffe wie z.B. Glucose, Hefe oder Biotin fördern die Bacteriocinproduktion. Auch antagonistische Wirkungen zwischen bacteriocinogenen Milchsäurebakterien wurden beschrieben (Rodgers, 2003). Insgesamt sind hier noch zu wenige Fakten bekannt und viele Studien notwendig. Es gibt daher bislang nur sehr wenige kommerziell erhältliche Schutzkulturen.
- Die Hitzelabilität von Schutzkulturen (Lebendkulturen) ist ein wesentlicher Hinderungsgrund für die Kommerzialisierung dieser „natürlichen“ Biokonservierungsmethode, sie überstehen sehr oft Pasteurisation oder Heißabfüllprozesse nicht in ausreichender Konzentration. Abhilfe kann hier zum Beispiel Einkapselung oder Bildung von Liposomen sein, oder sie werden erst nach Ende der Prozesskette zugesetzt.
- Bacteriocine müssen in ausreichender Menge zugesetzt werden, unabhängig davon, wie das Produkt gelagert wird.

1.7.4.5. Ausblick

Zusammenfassend soll festgehalten werden, dass noch viele umfassende Studien zum Einsatz von Schutzkulturen und Bacteriocinen notwendig sind, um sie in großem Umfang in Lebensmitteln einsetzen zu können. Die Anwendung von Schutzkulturen und Bacteriocinen könnte sich aber zu einer vielversprechenden Möglichkeit zur Haltbarkeitsverlängerung von leicht verderblichen Lebensmitteln entwickeln. Aufgrund der Wirkspezifität von Schutzkulturen und Bacteriocinen und ihrer Abhängigkeit von der Lebensmittelmatrix wird es aber keine Schutzkulturen (oder Präparate) geben, die so wie Konservierungsmittel universell für alle Lebensmittel eingesetzt werden können.

1.8. Antioxidationsmittel und Stoffe und Maßnahmen, um diese zu ersetzen

1.8.1. Allgemeines

So wie bei den Konservierungsmitteln wird auch bei den Antioxidantien sehr intensiv daran geforscht, das Spektrum der als Zusatzstoffe erlaubten Antioxidanten durch in der Natur vorkommende Antioxidantien zu erweitern beziehungsweise zu ersetzen, um einen „*clean label*“ zu erreichen.

Potentiell weisen alle natürlichen oder synthetischen, phenolischen Verbindungen antioxidative Wirkungen auf. Polyphenole sind von Natur aus in allen pflanzlichen Rohstoffen in mehr oder weniger großen Mengen enthalten. Es gibt daher viele Quellen, aus denen natürliche Antioxidantien isoliert werden könnten. Insbesondere kommen hier Gewürzpflanzen, Obst, Gemüse und Getreide, sowie Neben- bzw. Restprodukte der Lebensmittelproduktion (z.B. Schalen, Kleie) in Frage.

Ein erfolgreiches, praktisches Einsatzbeispiel aus der Gruppe der Gewürze stammend ist der als Antioxidationsmittel eingesetzte Extrakt aus Rosmarin(siehe Kap. 1.3.7, Beispiel 3), welcher aber in der Zwischenzeit als Zusatzstoff geregelt ist (E 392).

1.8.2. „Natürliche“ Antioxidantien

Die Arbeiten und Publikationen über Antioxidantien, insbesondere über natürliche Antioxidantien sind praktisch unüberschaubar. Alleine seit dem Jahr 2010 finden sich in der Literaturlatenbank „Food Science and Technology Abstracts“ über 3.600 Zitate für dieses Gebiet.

Fleisch- und Fischprodukte sind besonders anfällig gegenüber oxidativen Verderbsreaktionen. Deshalb ist es auch verständlich, dass sich sehr viele Arbeiten mit dem Einsatz von natürlichen Antioxidantien in diesen Produktkategorien auseinander setzen (Review-Artikel: Falowo et al., 2014; Maqsood et al., 2014; Shah et al., 2014). Shah et al. (2014) führen 42 pflanzliche Rohstoffe an, aus denen potentiell antioxidative Extrakte für den Einsatz im Fleischbereich gewonnen werden können. Dass dies nicht nur eine theoretische Angelegenheit ist, zeigt Table 2 aus der Arbeit dieser Autoren (Tab. 2.1.9). In dieser Tabelle werden zahlreiche, kommerziell schon verfügbare Extrakte angeführt. Unter den Produzenten finden sich auch einige europäische Firmen.

In Tab. 2.1.10 werden beispielhaft potentielle Rohstoffe aufgelistet, die in den letzten 5 Jahren in der Literatur als mögliche Quellen zur Gewinnung von natürlichen Antioxidantien beschrieben werden. Interessant in dieser Aufstellung sind hier einerseits die Nutzung von Neben- und Restprodukten der Lebensmittelverarbeitung, sowie die Nutzung antioxidativ wirkender Peptide. Nachdem Peptid-Präparate mit großer Wahrscheinlichkeit als Lebensmittelzutaten gelten, sind sie trotz allfälliger antioxidativer Wirkungen nur als solche zu kennzeichnen.

Ähnlich wie bei den „natürlichen“ Konservierungsmitteln besteht auch hier die Möglichkeit antioxidative Substanzen in die Verpackung zu integrieren (⇒ Aktive Verpackung), wie das Beispiel von López et al. (2013) zeigt. Diese Autoren integrieren erfolgreich Polyphenole (z.B. Catechine, Quercetin) in Polypropylen. Die Polyphenole werden während der Lagerung freigesetzt und gehen in das Lebensmittel über. Gelten solche Stoffe als Zusatzstoffe sind klarerweise zusatzstoffrechtliche Bestimmungen auch in diesem Fall einzuhalten.

Tab. 2.1.9: Kommerziell erhältliche Antioxidantien pflanzlichen Ursprungs für Fleisch und Fleischprodukte (*table 2* aus Shah et al., 2014).

Name of extract	Trade name	Company	Meat/meat product tested	References
Grape seed extract	ActiVin™	InterHealth (Benicia, Calif., USA)	Ground beef	Ahn, Grun, and Fernando (2002)
	ActiVin	–	Beef sausages	Kulkarni, DeSantos, Kattamuri, Rossi, and Brewer (2011)
	Gravinol-S	–	Beef and pork	Brannan and Mah (2007)
	Gravinol Super™	–	Beef and pork patties	Rojas and Brewer (2007, 2008)
	Gravinol Super™	–	Frozen pork patties	Sasse, Colindres, and Brewer (2009)
	Gravinol Super™	Kikkoman (Tokyo, Japan).	Beef patties	Colindres and Brewer (2011)
	–	–	Ground goat meat	Rababah et al. (2011)
	–	–	Beef frankfurters	Ozvaral and Vural (2012)
White grape extract	–	Danisco A/S, Denmark	Restructured mutton slices	Reddy et al. (2013)
	–	Unilever, Vlaardingen, Holland.	Chilled beef patties	Jongberg et al. (2011)
Grape skin extract	–	Natural Health Science (Hillsdale, NJ, USA)	Pork patties	Nissen et al. (2004)
Pine bark extract	Pycnogenol®	–	Ground beef	Ahn et al. (2002)
Green tea extract (Catechins)	–	New Kinglong Natural Products Co. Ltd, Hunan, China.	Pork sausages	Valencia, O'Grady, Ansorena, Astiasarán, and Kerry (2008)
	–	Nestle Research Centre, Lausanne, Switzerland.	Pork patties	Nissen et al. (2004)
Coffee extract	–	Nestle Research Centre, Lausanne, Switzerland.	Pork patties	Nissen et al. (2004)
Green coffee antioxidant	GCA®	Applied Food Sciences, LLC, Austin, Texas.	Pork sausages	Valencia et al. (2008)
Olive leaf extract	–	Guinness Chemicals (Ireland) Ltd. (Clonminam Industrial Estate, Portlaoise, Co. Laois, Ireland).	Beef, pork patties, pork sausages	Hayes, Stepanyan, Allen, O'Grady, and Kerry (2010)
	–	–	–	Hayes, Stepanyan, Allen, O'Grady, and Kerry (2011)
Water-soluble oregano extract	Origanox™ WO	RAD Natural Technologies Ltd (Barrington Chemical Corp., Harrison, NY, USA)	Beef patties	Colindres and Brewer (2011)
	Origanox™ WS	RAD Natural Technologies Ltd., Barrington Chemical Corp., NY, USA.	Beef and pork patties	Rojas and Brewer (2007, 2008), Sasse et al. (2009)
Adzuki bean extract	–	Cosmo Foods Co., Ltd., Tokyo, Japan.	Pork sausages	Jayawardana et al. (2011)
Rosemary oleoresin	Herbalox® Seasoning HT-25	Kalsec Inc., Kalamazoo, MI, USA.	Beef and pork patties	Rojas and Brewer (2007, 2008), Sasse et al. (2009), Colindres and Brewer (2011)
Rosemary extract	–	Kalsec Inc. (Kalamazoo, Mich., USA).	Ground beef	Ahn et al. (2002)
	FlavorPlus™ Ref. # 050501	SharonBolel Chemical Marketing, South Africa.	Boerewors-South African fresh sausage	Mathenjwa, Hugo, Bothma, and Hugo (2012)
	Herbalox HT-25	Kalsec, Inc., Kalamazoo, MI, USA.	Irradiated ground beef patties	Movileanu, NunezdeGonzalez, Haffey, Miller, and Keeton (2013)
	Fortium™ R20	Kemin Americas, Inc., Des Moines, IA.	Pork sausage	Sebranek, Sewalt, Robbins, and Houser (2005)
Carob fruit extracts	–	Nestle Research Centre, Lausanne, Switzerland.	Pork patties	Nissen et al. (2004)
	Liposterine® Excenterol®	Exentia, Madrid, Spain.	Cooked pork	Bastida et al. (2009)

Tab. 2.1.10: Beispiele potentieller Rohstoffe zur Gewinnung natürlicher Antioxidantien in den letzten fünf Jahren

Antioxidantienquelle	Untersuchte bzw. mögliche Einsatzgebiete	Anmerkungen	Literatur
Rückstände bei der Herstellung von löslichen Kaffee	generelle Eignungsprüfung		Panusa et al. (2013)
gerösteter Kaffee	faschiertes Rindfleisch	anstelle von teuren Rosmarinextrakt	Lin et al. (2015)
Rückstände der Olivenölproduktion	generelle Eignungsprüfung		González-Hidalgo et al. (2012)
Melasse aus Zuckerrohr und Zuckerrübe			Caderby et al. (2013) Valli et al. (2012)
Stevia-Blätter	Fruchtextrakte		Barba et al. (2014)
Pilzextrakte	generelle Eignungsprüfung		Smolaskaite et al. (2015)
Peptide aus entfetteten Walnüssen	generelle Eignungsprüfung	hergestellt durch Abbau mit Pankreatin	Gu et al. (2015)
Peptide aus Proteinhydrolysaten von Pangasius-Protein	generelle Eignungsprüfung		Najafian & Babij (2015)
Peptide aus Zein-Proteinfraktionen	generelle Eignungsprüfung		Tang & Zhuang (2014)
Mit Schimmelpilzen fermentiertes Getreide	generelle Eignungsprüfung		Dey & Kuhad (2014)
Chitoooligosaccharide	generelle Eignungsprüfung	hergestellt durch enzymatischen Abbau von Chitosan	Sinha et al. (2012)

1.9. Emulgatoren und Stoffe und Maßnahmen, um diese zu ersetzen

Ähnlich wie bei allen anderen Zusatzstoffklassen spielt auch bei den Emulgatoren das Erreichen eines „*clean labels*“ eine immer größere Rolle, also der Ersatz deklarationspflichtiger Emulgatoren durch deklarationsfreie Zutaten mit emulgierender Wirkung. Seit dem FIAP-Report von 2009 (Berghofer, 2009) sind hier vor allem im Bereich der emulgierenden Proteine wesentliche Fortschritte festzustellen.

1.9.1. Emulgierende Proteine

Die Nutzung der oberflächenaktiven Eigenschaften vor allem von globulären Proteinen, ist eine schon lange bekannte und auch in der Küchentechnik vielgenutzte Technik (z.B. Aufschlagen von Eiweiß). Aufgrund der Vielfalt der chemischen Struktur von Aminosäuren besteht eine Proteinkette abwechselnd aus hydrophilen und hydrophoben Bereichen. Nach Auflösung der komplexen Proteinstruktur, also nach Denaturierung, könne sich die Proteinketten an Phasengrenzflächen anordnen bzw. in Grenzflächen einlagern. Die streng hydrophoben Stücke der Proteinkette ragen in die lipophile/hydrophobe Phase, die rein hydrophilen Kettenbereiche dagegen in die hydrophile/lipophile Phase. In gleicher Weise lagern sich alle anderen Emulgatoren in Grenzschichten ein (Abb. 2.1.21).

Proteine mit guten, grenzflächenaktiven Eigenschaften können daher als Ersatz für niedermolekulare Emulgatoren genutzt werden, um Emulsionen, Schäume usw. leichter herstellen zu können und die entstehenden grobdispersen Lebensmittelsysteme zu stabilisieren.

Schon lange ist bekannt, dass Eiweiß (Eialbumin), Milchproteine (Casein und Molkenproteine), Leguminosenspeicherproteine (z.B. aus Sojabohnen) besonders gute emulgierende Eigenschaften haben.

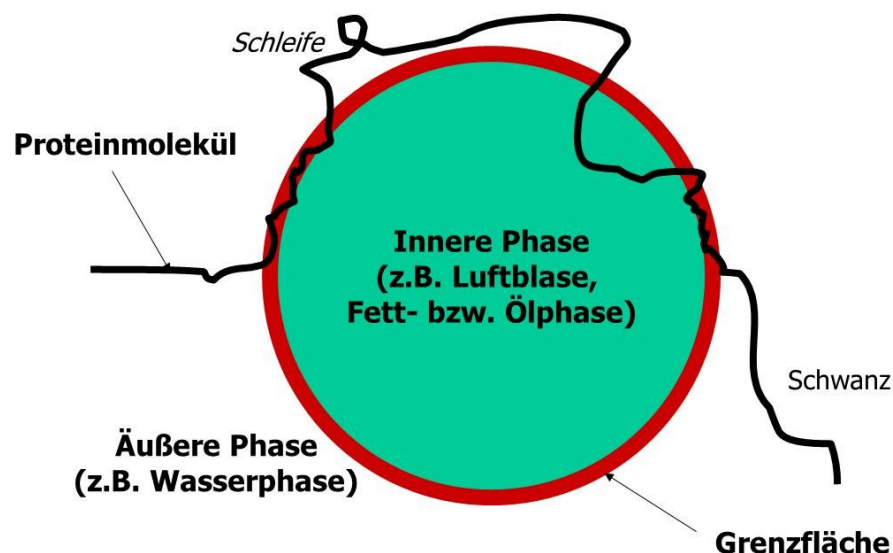


Abb. 2.1.21: Schematisierte Verteilung von oberflächenaktiven Proteinmolekülsegmenten an Grenzflächen

Die grenzflächenaktiven, also emulgierenden Eigenschaften von Proteinen hängen von mehreren Faktoren ab:

1. In der primären Proteinkette müssen abwechselnd sowohl hydrophile als auch hydrophobe Bereiche vorkommen.
2. Die (globulären) Proteine müssen entweder durch Hitze- oder Säureeinwirkung entfaltet, also denaturiert werden.
3. Die entfalteten Proteine müssen durch Diffusion an die Phasengrenzfläche heran gelangen können.

Zur bestmöglichen Erfüllung dieser drei Voraussetzungen werden nun neue Erkenntnisse und neue lebensmitteltechnische Verfahren genutzt (Adjonu et al., 2014; Lam & Nickerson, 2013; Nishinari et al., 2014).

1.9.1.1. Proteinhydrolyse

Je kleiner ein Proteinmolekül ist, umso größer ist seine Diffusionsgeschwindigkeit. Damit kann das Molekül rasch in die Phasengrenzfläche heran diffundieren und seine Wirksamkeit entfalten. Allerdings können durch eine zu hohe und unkontrollierte Hydrolyse die emulgierenden Eigenschaften beeinträchtigt oder aufgehoben werden. Die Teilhydrolyse muss deshalb so erfolgen, dass die Proteinlöslichkeit erhöht wird, und die vor allem im Inneren eines globulären Proteins liegenden hydrophoben Bereiche freigelegt werden. Das lässt sich durch eine zielgerichtete enzymatische Hydrolyse erreichen (Adjonu et al., 2014; Lam & Nickerson, 2013).

Eine weitere Verbesserung der funktionellen Eigenschaften kann dann durch Fraktionierung der Proteinhydrolysate mittels Membrantrennverfahren oder chromatographischer Methoden erreicht werden. Dabei werden niedermolekulare Peptide abgetrennt und hydrophobe Peptide angereichert.

1.9.1.2. Nanoemulsionen und Nanodispersionen

Nanosysteme können dazu benutzt werden, um emulgierende Protein(hydrolysate) leichter und besser in Lebensmittel einbringen zu können. Die Herstellung von Nanoemulsionen gehört bereits zum Stand der Technik und kann durch Microfluidisation, Ultraschalltechnik oder Membranemulgierung erfolgen. Nanoemulsionen weisen Tröpfchengrößen im Bereich von 10-200 nm auf und sind im Gegensatz zu Makroemulsionen transparent.

1.9.1.3. Multifunktionalität von Peptiden

Proteinhydrolysate bzw. Peptide können neben ihren emulgierenden und antioxidativen Eigenschaften (siehe Kap. 1.8.2 – Antioxidantien) auch bioaktive Eigenschaften aufweisen. Beispielsweise wurde gefunden, dass einige Peptidsequenzen, welche für die emulgierenden Eigenschaften verantwortlich sind, eine blutdrucksenkende Wirkung (ACE-Hemmer) besitzen (Gauthier & Pouliot, 2003).

1.9.1.4. Wechselwirkungen von emulgierenden Peptiden mit Polysacchariden und konventionellen Emulgatoren

Durch die Erhöhung der Viskosität in der äußeren Wasserphase können Verdickungsmittel (Hydrokolloide, meistens Polysaccharide) Emulsionen stabilisieren, indem sie die Aggregation der klei-

nen Öltröpfchen verhindern oder zumindest vermindern. Polysaccharide können aber darüber hinaus auch elektrostatische Wechselwirkungen mit emulgierenden Proteinen eingehen. Sie formen mit diesen an der Phasengrenzfläche Koacervate, wodurch eine sehr stabile Emulsion entsteht. Sehr gut untersucht in dieser Hinsicht wurde in den letzten Jahren die Wechselwirkung von löslichen Soja-Polysacchariden (siehe Kap. 1.11 – Hydrokolloide) und Soja-Proteinisolaten (Tran & Rousseau, 2013; Yin et al., 2012).

1.9.1.5. Kennzeichnung von emulgierenden Peptiden

Wie bereits in Kap. 1.8 angemerkt, sind Proteinhydrolysate bzw. Peptide prinzipiell Lebensmittel beziehungsweise Lebensmittelzutaten und damit in der Lebensmittelzutatenliste anzuführen. Gegebenenfalls ist ein Antrag auf Zulassung als Novel Food zu stellen. Falls die biofunktionellen Eigenschaften ausgelobt werden sollen, ist dafür ein entsprechender Health Claim zu beantragen.

1.10. Geschmacksmodulierer, Geschmacksverstärker, Geschmackswandler und Geschmacksblocker

1.10.1 Allgemeines

Wie schon im FIAP-Report (Berghofer, 2009) ausgeführt wurde, widmet sich die Forschung immer intensiver den sehr wohl existierenden echten Geschmacksverstärkern, Geschmacksmodulieren, Geschmackswandlern und Geschmacksblockern.

Die Möglichkeiten und neuen Erkenntnisse, um den Süßgeschmack zu beeinflussen, wurden bereits in Kap. 1.5.3 abgehandelt.

Prinzipiell kann eine Geschmacksmodulation entlang der gesamten Kette der Entstehung von Geschmackswahrnehmungen erfolgen. Dadurch erschließen sich folgende Möglichkeiten nach Dürrschmid (2009) und (2012):

- a) Modulation auf der Ebene der Reizmoleküle
- b) Modulation auf der Ebene der Reizaufnahme und Signalentstehung (physiologische Modulation) (z.B. Bitterblocker)
- c) Modulation auf der Ebene der Signalleitung und der Signalverarbeitung (andere Sinneswahrnehmungen, körperliche, kognitive und emotionale Zustände) [psychologische Modulation bzw. CNM (*central nervous modulation*)].

Das schwierigste Gebiet, wo auch die wenigsten wissenschaftlich gesicherten Daten und Erkenntnisse vorliegen, ist zweifelsohne die Modulation der Reize des zentralen Nervensystems. Auf dieser Ebene kommen auch Wechselwirkungen zwischen gustatorischen (ausgelöst durch Geschmacksstoffe) und olfaktorischen Reizen (ausgelöst durch Aromastoffe) zum Tragen. Beispiele für solche bimodale Interaktionen sind die Verstärkung des Salzgeschmacks durch gewisse Aromastoffe, oder die Verstärkung des Süßgeschmacks durch Aromastoffe (z.B. Vanillin, Maltol).

1.10.2. Umami- und Kokumigeschmack

In den Jahren 2001-2003 wurde entdeckt, dass sowohl für die Wahrnehmung des Süßgeschmacks als auch für den Umamigeschmack sogenannte G-Proteine verantwortlich sind, die in der Membran der Geschmackssinneszellen lokalisiert sind (Zhao et al, 2003). An solche G-Protein-Rezeptoren docken die Schlüsselsubstanzen für den Süß-, Umamigeschmack und Bittergeschmack an und lösen die entsprechenden Geschmacksempfindungen aus. Schlüsselsubstanzen für den Umamigeschmack sind Glutamat, seine Salze, Ribonucleotide und Peptide. Es handelt sich also primär eindeutig um geschmacksgebende Stoffe und nicht um geschmacksverstärkende Stoffe, wie das in der EU-Gesetzgebung impliziert wird. Sie lösen eine eigene Grundgeschmacksrichtung aus.

Eine wichtige Erkenntnis zur Geschmackswahrnehmung und –beeinflussung war die Entdeckung im Jahr 2008, dass sich calciumsensitive Rezeptoren (*calcium sensing receptors* – *CaSR*) auch auf der Zunge befinden (Bramen, 2010). Der *CaSR* ist ein membranständiges Rezeptorprotein ebenfalls aus der Gruppe der G-Proteine. Zellen mit diesem Rezeptoren finden sich in vielen Geweben des menschlichen Körpers (z.B. Nieren, Leber, Herz, Verdauungstrakt) und dienen zur Regulierung des Calciumspiegels (Oshu et al., 2010).

Auf der Zunge tragen diese Calciumrezeptoren ganz wesentlich zum Geschmacksempfinden und zur Geschmackverstärkung bei. Substanzen, die an diesen Rezeptor andocken können, sind neben Calcium beispielsweise Glutathion (GSH, γ -L-Glutamyl-L-cysteinylglycin, ein Tripeptid, aus den drei Aminosäuren Glutaminsäure, Cystein und Glycin), Protamine (basische Peptide) und L-Histidin (Aminosäure). Diese Schlüsselsubstanzen sind selbst geschmackslos, in der Gegenwart von geringen Mengen an Umamisubstanzen (z.B. Glutamat) verstärken sie aber deren Geschmack synergistisch (Oshu et al., 2010, Zagorsky, 2010). Wie diese synergistische Wirkung mit den Geschmackssinneszellen erfolgt ist noch nicht völlig geklärt. Jedenfalls sind aber Umamisubstanzen in diesem Zusammenhang keine Geschmacksverstärker, sondern im Gegenteil ihr Geschmack wird verstärkt.

Stoffe, die an *CaSR* auf der Zunge binden, können nicht nur den Umami-Geschmack, sondern auch den Süß- und Salzgeschmack verstärken. Der dadurch sich ergebende "vollmundige", "herzhafte" Geschmack von Speisen wird mit dem japanischen Wort **Kokumi** bezeichnet. Es beschreibt den vollmundigen Geschmack von Nahrungsmitteln, der beispielsweise von lang gereiftem Käse, einer über Stunden gekochten Hühnerbrühe oder Großmutter's Eintöpfen und Pasteten bekannt ist (Ajinomoto, 2014). Abb. 2.1.22 zeigt in schematischer Weise, wie Kokumisubstanzen zu einem harmonischen Geschmacksgesamteindruck beitragen können.

Hefeextrakt ist reich an dem Kokumi-Geschmacksverstärker Glutathion. Das erklärt auch, warum diese Alternative für deklarationspflichtige Umamisubstanzen so gut ankommt. Die Firma Ajinomoto nutzt die Kenntnisse bezüglich der Kokumisubstanzen bereits zur Entwicklung entsprechender Würzmittel (Ajinomoto, 2014). Es darf angenommen werden, dass in Zukunft auf dem Gebiet des Kokumigeschmacks weiter intensiv geforscht wird, und neue geschmacksverstärkende Substanzen und Substanzgemische auf den Markt kommen werden.

Proteinhydrolysate aus den verschiedensten Quellen sind bekanntlich reich an Umami-Substanzen. Stromeck und Gänzle (2011) haben nun gefunden, dass mit ausgewählten Milchsäurebakterien im Verlauf einer Sauerteigfermentation aus den Getreideproteinen freies Glutamat gebildet werden kann. Durch Zugabe von Proteasen lässt sich diese Bildung weiter erhöhen, weil sich Peptide als Ausgangssubstrat für die mikrobielle Umwandlung zu Glutamat besser eignen. Die Autoren sehen eine gute Möglichkeit zur Gewinnung von Würzmitteln aus so einem fermentierten Sauerteig (Stromeck und Gänzle, 2011). Ähnliches gilt auch für einen Extrakt aus getrockneten

Shiitake-Pilzen (Dermiki et al., 2013).

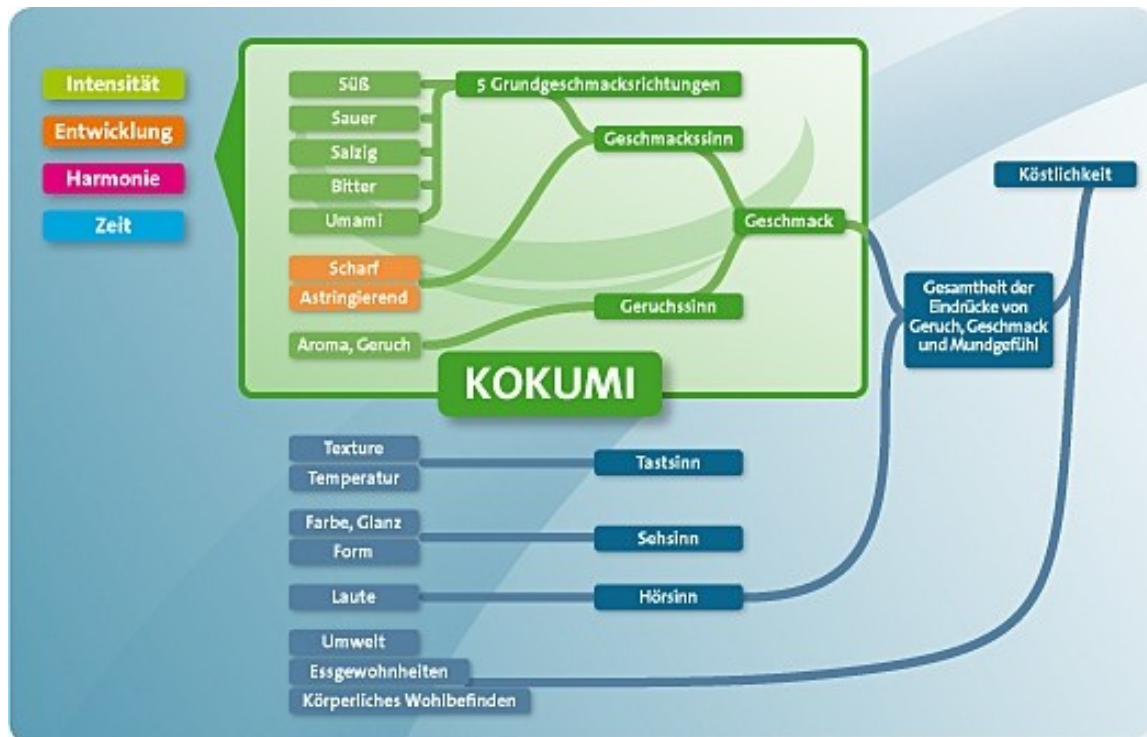


Abb. 2.1.22: Schematische Darstellung der Entwicklung des Kokumi-Gesamtgeschmacks-eindrucks (Ajinomoto, 2014)

1.10.3. Salzgeschmack

Eine Geschmackssinneszelle reagiert auf die Stoffe im Speichel in verschiedener Weise, je nachdem, welche der klassischen Geschmacksqualitäten mit ihr in Berührung kommen. Bei Bitter-, Süß- und Umamistoffen erkennen die Geschmackssinneszellen die jeweiligen Stoffe durch spezielle Proteine (G-Rezeptorproteine) auf ihren Sinnesfingern. Dabei gelangen die Geschmacksstoffe selbst nicht in die Zelle.

Bei salzigen und sauren Substanzen lösen typischerweise deren Ionen die Empfindung aus. Diese Ionen gelangen teilweise durch Ionenkanäle in den Sinnesfingern direkt in die Zellen, oder sie verändern das Verhalten von Membrankanälen für andere Ionen (Markoleske & Smith, 2001).

Salzersatzmittel sind daher ebenfalls ionogene Substanzen (anorganische und organische Salze) (Toldrá & Barat, 2012). Um deren teilweise bitteren oder metallischen Beigeschmack zu maskieren, werden oft Flavor-Stoffe zugesetzt, wie Süßholzwurzelextrakt oder Stevioside.

Eine andere Strategie um den hohen Salzkonsum zu verringern, ist der Einsatz von **Salzgeschmacksverstärkern** (Toldrá & Barat, 2012). Diese bestehen aus Mischungen anorganischer Salze in Kombination mit Salzen organischer Säuren und Aminosäuren und deren Salzen. Als Geschmacksverstärker eignen sich generell auch Proteinhydrolysate (Eiprotein- und Gelatinehydro-

lysate), oder geringe Mengen an Glutaminsäure, freies Lysin, freies Arginin und Ammoniumphosphat.

Das Morchelglycosid (S)-Morelid ist ebenfalls in der Lage den Salzgeschmack zu verstärken. Das gleiche gilt für das Maillardprodukt Alapyriadin, welches nicht nur den Salzgeschmack, sondern auch den Süßgeschmack verstärken kann (Dürschmid, 2009).

Anscheinend handelt es sich also bei allen Salzersatzmitteln und alle Salzgeschmacksverstärkern um ionogene Substanzen. Darunter fallen auch Umami-Substanzen. Letztere haben daher über ihre primäre Umamigeschmacksauslösung hinaus Wechselwirkungseffekte mit dem Salzgeschmack, ähnlich wie Wechselwirkungen zwischen dem Süß- und Bittergeschmack. Im letzteren Fall ist das auf Strukturähnlichkeiten bei den aktiven Zentren von Süß- und Bitterstoffen zurückzuführen. Durch geringe Molekülveränderungen kann ein bitterer Stoff plötzlich zum Intensivsüßungsmittel werden (Bitterstoff Flavonoid Neohesperidin $\Rightarrow$ Intensivsüßungsmittel Neohesperidin-Dihydrochalkon), weil er sozusagen nun in das „Schloss“ für den Bitterrezeptor passt.

Worauf die Wechselwirkungen beziehungsweise synergistischen Wirkungen zwischen Salz- und Umamigeschmack beruhen, scheint noch nicht völlig geklärt zu sein. Vielleicht sind hier ähnliche Mechanismen verantwortlich, wie sie zwischen den Umami-Substanzen und den Kokumisubstanzen bestehen (siehe Kap. 1.10.1). In diesem Fall sind ebenfalls ionogene Sensoren beteiligt. Die Frage ist, ob Umamisubstanzen den Salzgeschmack verstärken oder umgekehrt, oder ob einfach eine gegenseitige Beeinflussung stattfindet. Jedenfalls lassen sich durch eine Kombination von Salz- und Umamisubstanzen die Konzentrationen der Einzelsubstanzen verringern.

Das zwischen Kokumisubstanzen, Umamisubstanzen und den Stoffen, die einen Salzgeschmack auslösen können, Wechselwirkungen existieren, zeigen auch die Ergebnisse von Hong et al. (2012). Diese Autoren berichten, dass die Kokumisubstanz Glutathion-Xylose, eine Maillardreaktionsprodukt, sowohl den Umamigeschmack als auch den Salzgeschmack verstärken kann.

1.10.4. Fettgeschmack

Im Gegensatz zu Kohlenhydraten und Proteinen, deren Monomere (Zucker respektive Aminosäuren) durch spezielle Geschmacksrezeptoren erkannt werden, wurde bis jetzt die dritte Makrokomponente in unserer Nahrung, das Fett, nicht mit Geschmacksrezeptoren in Verbindung gebracht. Evolutionshistorisch betrachtet ist das eigentlich nicht logisch. Zucker- und Umamigeschmack (Proteingeschmack) erleichterten uns das Auffinden kohlenhydratreicher (energiereicher) und proteinreicher Nahrung. Warum sollten wir also für Fett bzw. Fettsäuren keine solchen Rezeptoren entwickelt haben. Bis vor wenigen Jahren wurde angenommen, dass Fett nur durch olfaktorische (Fette sind immer auch Träger von fettlöslichen Aromastoffen) und postingestive Reize wahrgenommen wird. In Ratten wurde dann nachgewiesen, dass diese in den Geschmacksinneszellen ein Rezeptorprotein für Fett beziehungsweise Fettsäuren besitzen. Galindo et al. (2014) fanden nun den bei Ratten gefundenen Proteinrezeptor für Fett auch in menschlichen Geschmacksknospen. Das ist zwar noch kein endgültiger Beweis für eine sechste Grundgeschmacksrichtung, weil dafür erst bewiesen werden muss, ob und wie ein durch diesen Fett-Rezeptor ausgelöstes Signal als Geschmackssignal an das Gehirn weiter geleitet wird. Es ist aber ein starker Hinweis.

Sollte also in Zukunft diese sechste Grundgeschmacksrichtung nachgewiesen werden, eröffnen sich Möglichkeiten zur deren Intensivierung und Beeinflussung.

1.10.5. Bittergeschmack

Nur 25 verschiedene Bittergeschmacksrezeptoren sind ausreichend um zehntausende, chemisch ganz unterschiedlich aufgebaute natürliche und synthetische Bitterstoffe wahrzunehmen. Die Entwicklung eines Bittergeschmacks spielte in der menschlichen Evolution eine große Rolle, weil er als Warnhinweis auf schädliche und toxische Stoffe in den Nahrungsmitteln diente. Deshalb ist der Bittergeschmack in den meisten Fällen unerwünscht. Nur bei wenigen Lebensmitteln wird er akzeptiert (z.B. Kaffee, Kakaoprodukte, Bier, Spirituosen).

In der lebensmitteltechnischen Praxis geht es daher nicht darum, den Bittergeschmack zu verstärken, sondern diesen zu vermindern oder zu blockieren. Da viele bittere Stoffe mit den unterschiedlichsten chemischen Strukturen existieren, ist das aber gar nicht so leicht. Ley (2008) beschreibt sieben prinzipielle Strategien zur Reduzierung des Bittergeschmacks:

- a) Entfernung der Bitterstoffe
- b) Physikalische Barrieren: Verkapselung, Beschichtung, Emulsionen, Suspensionen
- c) Bindung durch Komplexbildung
- d) Einsatz von Geschmacks- und Aromakomponenten, wie z.B. Salz, Zucker, Säuren, intensive Fruchtaromen
- e) Einsatz von kongruenten Aromen: z.B. Kaffee, Schokolade, Grapefruit
- f) Einsatz von maskierende Flavours
- g) Einsatz von modulatorisch wirkenden Substanzen, die Bitterstoffe inhibieren oder blockieren.

Hinsichtlich der letzten Möglichkeit wird sehr intensiv geforscht. Prinzipiell sind folgende, modulatorisch wirkende Substanzen vorstellbar (Dürrschmid, 2009):

- Antagonisten bzw. (Bitter)-Blocker der T2R-Andockstellen ($\Rightarrow$ Rezeptorprotein)
- Modulatoren der T2R-Andockstellen
- Modulatoren anderer Proteine, die in der Signalentstehung involviert sind.
- Modulation von Ionenkanälen
- Substanzen, welche die Freisetzung, das Binden oder die Wiederaufnahme der Neurotransmitter (Bitterstoffe) beeinflussen.
- Modulatoren der Signallöschung, z.B. Reaktivierung der G-Proteine oder Rezeptoren

Durch den Einsatz von besonderen Zellkulturverfahren mit menschlichen Zellen können heute sehr rasch tausende Substanzen auf ihre Fähigkeit geprüft werden, menschliche Bittergeschmackssensoren zu blockieren (Meyerhof & Slack, 2010). Es gibt auch schon praktische Erfolge. Firmen, die auf diesem Gebiet sehr intensiv forschen, sind die Fa. Senomyx (Senomyx, 2014) und die Fa. Givaudan Flavors Corporation (Slack et al., 2010). Beide Firmen konnten jeweils einen Bitterblocker finden, der den bitteren Nebengeschmack von Süßstoffen blockieren kann.

Bitterblocker wirken nur spezifisch auf einen oder einige Bitterstoffe. Deshalb sind wahrscheinlich in Zukunft eine Vielzahl an Bitterblockern erforderlich, um alle Probleme mit Bitterstoffen lösen zu können.

1.10.6. Definitionen und rechtliche Aspekte bezüglich der Einordnung von Geschmacksmodulierern, Geschmacksverstärkern, Geschmackswandlern und Geschmacksblockern

Die EU Gesetzgebung tut sich sehr schwer, die neuen Entwicklungen und die immer neu dazu kommenden Stoffe in diesem Gebiet entsprechend zu regeln. Nicht zuletzt deswegen, weil bei den bisherigen Regelungen bezüglich Zusatz- und Aromastoffen - aus welchen Gründen auch immer - naturwissenschaftliche Erkenntnisse und Tatsachen teilweise nicht berücksichtigt wurden. Diese Aussage betrifft folgende Punkte:

In der Verordnung(EU) 1333/2008 werden Zusatzstoffe folgendermaßen definiert:

Artikel 3

Begriffsbestimmungen

(2) Für die Zwecke dieser Verordnung gelten ferner folgende Begriffsbestimmungen:

a) „Lebensmittelzusatzstoff“: ein Stoff mit oder ohne Nährwert, der in der Regel weder selbst als Lebensmittel verzehrt noch als charakteristische Lebensmittelzutat verwendet wird und einem Lebensmittel aus technologischen Gründen bei der Herstellung, Verarbeitung, Zubereitung, Behandlung, Verpackung, Beförderung oder Lagerung **zugesetzt wird**, wodurch er selbst oder seine Nebenprodukte mittelbar oder unmittelbar zu einem Bestandteil des Lebensmittels werden oder werden können.

Eine technologische Begründung für Zusatzstoffe, die aus rein organoleptischen Gründen eingesetzt werden (z.B. Intensivsüßungsmittel, Farbstoffe), lässt sich aus naturwissenschaftlicher Sicht nur sehr schwer finden. Folgerichtig werden daher in der "Zusatzstoff"-Definition der Codex Alimentarius Commission (*General Standard for Food Additives 192-1995*) auch organoleptische Zwecke inkludiert:

2. DEFINITIONS

Food additive means any substance not normally consumed as a food by itself and not normally used as a typical ingredient of the food, whether or not it has nutritive value, the intentional addition of which to food for a technological (including organo-leptic) purpose in the manufacture, processing, preparation, treatment, packing, packaging, transport or holding of such food results, or may be reasonably expected to result (directly or indirectly), in it or its byproducts becoming a component of or otherwise affecting the characteristics of such foods.

In der Verordnung (EU) 1333/2008 finden sich organoleptische Zusatzstoff-Funktionsklassen, die Grundgeschmacksrichtungen auslösen können bzw. färben:

1. Säuerungsmittel (Grundgeschmacksrichtung SAUER)
7. Farbstoffe
12. Geschmacksverstärker (Grundgeschmacksrichtung UMAMI)
22. Süßstoffe (Grundgeschmacksrichtung SÜSS)

Wie schon oben ausgeführt, sind die in die 12. Funktionsklasse eingeordneten Umami-Substanzen primär keine Geschmacksverstärker, sondern Geschmacksstoffe. Es fehlen also zwei Grundgeschmacksrichtungen bei den Zusatzstoffklassen, nämlich SALZIG und BITTER. Salz ist ein Lebensmittel. Allerdings finden sich einige, auch für einen Salzersatz einsetzbare Stoffe in anderen Funktionsklassen (z.B. E 508 - Kaliumchlorid). Für Bitterstoffe gibt es keine entsprechende Funktionsklasse in dieser Verordnung. Bitterstoffe werden in der Verordnung (EG) Nr. 1334/2008 über "Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften" (Aromenverordnung) geregelt. Der Titel und die Definitionen der Aromenverordnung in der deutschen und englischen Fassung lauten jeweils:

Deutsch:

Verordnung (EG) Nr. 1334/2008 über **Aromen** und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften

Artikel 3: Begriffsbestimmungen

(2) Für die Zwecke dieser Verordnung gelten ferner folgende Begriffsbestimmungen:

- a) **„Aroma“**: Erzeugnis,
 - i) das als solches nicht zum Verzehr bestimmt ist und Lebensmitteln zugesetzt wird, um ihnen einen **besonderen Geruch und/oder Geschmack** zu **verleihen** oder diese **zu verändern**;.....
- b) „**Aromastoff**“: chemisch definierter Stoff mit Aromaeigenschaften

Englisch:

Regulation (EC) No. 1334/2008 on **flavourings** and certain food ingredients with flavouring properties

Article 3: Definitions

2. For the purposes of this Regulation, the following definitions shall also apply:

- (a) **‘flavourings’** shall mean products:
 - (i) not intended to be consumed as such, which are added to food in order to **impart or modify odour and/or taste**;....
- (b) **‘flavouring substance’** shall mean a defined chemical substance with flavouring properties;

Prinzipiell lassen sich Sinneseindrücke in folgende Sinnesmodalitäten gliedern (DIN 10950-1, 1999):

- a) visuelle Eindrücke
- b) olfaktorische Eindrücke**
- c) gustatorische Eindrücke**
- d) somatosensorische Eindrücke (Tastsinn, Temperatursinn, Schmerzsin)
- e) auditive Eindrücke

ergänzt durch haptische Eindrücke, Konsistenz, Textur, Mundgefühl, Aroma, Flavour.

Laut DIN EN ISO 5492 (2009) ist Flavour als die „Gesamtheit der komplexen olfaktorischen, gustatorischen und trigeminalen Sinneseindrücke, die beim Verkosten wahrgenommen werden“ definiert.

Die Verordnung (EU) Nr. 1233/2008 (Zusatzstoffverordnung) regelt Stoffe, die ausschließlich gustatorische Eindrücke ergeben; die Verordnung (EU) Nr. 1334/2008 (Aromenverordnung) hingegen Stoffe, die sowohl olfaktorische als auch gustatorische Eindrücke vermitteln.

Olfaktorische Eindrücke werden durch Aromastoffe in den Sinneszellen des Riechepithels der Nase ausgelöst. Es ist hier nicht der rechtliche Begriff für einen Aromastoff gemeint, sondern der naturwissenschaftliche Begriff.

Ein **Aromastoff** im naturwissenschaftlichen Sinn ist eine chemische definierte Verbindung, die einen Sinneseindruck ergibt. Dieser wird sowohl von den direkt durch die Nase (⇒ Geruch) als auch von den indirekt beim Verzehr über die Mundhöhlen-Nasen-Passage (⇒ retronasaler Eindruck) zu den Geruchsrezeptoren gelangenden Stoffen ausgelöst. Um das zu ermöglichen, muss ein Aromastoff folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Merklicher Dampfdruck, um zu den Geruchsrezeptoren gelangen zu können. Das Molekulargewicht muss deshalb zwischen ca. 17 (Ammoniak) und 394 (Jodoform) liegen.
- Gewisse Wasserlöslichkeit um die Schleimhaut zu durchdringen
- Gewisse Lipophilität um die Zellmembran zu erreichen.

Gustatorische Eindrücke ergeben sich durch Geschmacksstoffe, die in den Geschmackssinneszellen auf der Zunge einer der fünf Grundgeschmackseindrücke (süß, sauer, salzig, umami, bitter) hervorrufen.

Geschmackstoff ist eine chemisch definierte Verbindung, die eine der fünf Grundgeschmacksrichtungen in den Geschmackssinneszellen auf der Zunge auslösen kann, oder trigeminale Reize im Rachenraum ergibt.

In der Praxis ergeben sich nun aus der Tatsache, dass Geschmackstoffe sowohl in der Zusatzstoffverordnung als auch in der Aromenverordnung geregelt werden, Einordnungsprobleme. Dies trifft vor allem dann zu, wenn es in weiterer Folge um die **Modulation** der olfaktorischen und gustatorischen Eindrücke geht. Folgende Modulationsarten lassen sich hier unterscheiden:

- Verstärkung (Intensivierung) existierender olfaktorischer und gustatorischer Eindrücke (⇒ **Geschmacksverstärker**). Diese werden in beiden Verordnungen geregelt.
- Modifikation olfaktorischer und gustatorischer Eindrücke (z.B. Veränderung des Eintretens und der Dauer eines Eindruckes; oder Maskierung, Unterdrückung oder Abschwächung eines Off-Flavors)
- Blockierung eines gustatorischen Eindruckes (⇒ **Geschmacksblocker**) (z.B. Bitterblocker)
- Umwandlung einer Grundgeschmacksrichtung (⇒ **Geschmackswandler**) (z.B. Wandlung des sauren Geschmacks in einen süßen Geschmack, z.B. durch die Substanz Miraculin). Derzeit haben solche Substanzen keine praktische Bedeutung.

Sowohl in den Gesetzen (Aroma: Erzeugnis, das Lebensmitteln einen besonderen Geruch und/oder Geschmack verleiht), als auch in der Umgangssprache (Ein Lebensmittel „schmeckt“ gut oder nicht gut.) werden die beiden Begriffe „Geschmack“ und „Aroma“ sowohl mit olfaktorischen als auch gustatorischen Eindrücken in Verbindung gebracht. Das gilt auch für den Begriff Flavor (*flavor*). Bei den Geschmacksmodulatoren ist die Zuordnung nicht eindeutig, zumal „Geschmacksverstärker“ bereits in der Verordnung über Lebensmittelzusatzstoffe geregelt sind. Die Europäische Kommission (European Commission, 2014) sah sich deshalb veranlasst, einen Leitfaden heraus zu geben, wie und wo nun Geschmacksmodulatoren durch welche Verordnung geregelt werden.

Gemäß diesem Leitfaden gibt es nur zwei Gruppen an Geschmacksmodulatoren, nämlich:

- „Aromastoffe“ mit modifizierenden (verändernden) Eigenschaften (*flavoring substances with modifying properties*)
- und Geschmacksverstärker (*flavor enhancer*).

In der deutschsprachigen Fassung wird der Begriff Aroma gleichgesetzt mit dem Begriff Flavor. Die beiden Gruppen werden folgendermaßen geregelt:

Aromastoffe mit modifizierenden Eigenschaften: Chemisch definierte Stoffe, die den Geschmack und/oder den Geruch eines Lebensmittels verändern, werden evaluiert, zugelassen und verwendet in Übereinstimmung mit der Aromenverordnung (EG) Nr. 1334/2008 (Abschnitt 2).

Geschmacksverstärker: Chemisch definierte Stoffe, die den Geschmack und/oder Geruch eines Lebensmittels um die beabsichtigten Nutzungsstufen erweitern, werden evaluiert, zugelassen und verwendet in Übereinstimmung mit der Lebensmittelzusatzstoffverordnung (EG) Nr. 1333/2008 (siehe Abschnitt 3).

Die beabsichtigten Nutzungsmöglichkeiten für Geschmacksverstärker sind Folgende:

- Sie verstärken den Geschmack und/oder Geruch eines Lebensmittels;
- und/oder sie erhöhen die allgemeine Wahrnehmung aller Flavoreigenschaften
- und/oder sie erhöhen einzelne Flavorwahrnehmungen so deutlich, dass diese aus dem Gleichgewicht in Bezug auf die anderen Flavor-Eigenschaften gerät.

Ob mit dieser Klarstellung seitens der EU-Kommission in Zukunft wirklich alle Entwicklungen auf dem Gebiet der geschmacks- und aromagebenden, sowie vor allem der modulierenden Substanzen und Methoden abgedeckt werden, darf bezweifelt werden. Eine eindeutige und klare Regelung kann wahrscheinlich nur erfolgen, wenn für jeden Stoff spezifiziert wird, wo und wie er in der Kaskade der Auslösung der diversen sensorischen Eindrücke angreift bzw. wirkt. Voraussetzung dafür wäre allerdings die Kenntnis dieser Vorgänge, die aber größtenteils noch nicht vorliegt.

1.11. Hydrokolloide

Hydrokolloide fallen unter die Zusatzstoffklassen "Geliermittel", "Stabilisatoren" und "Verdickungsmittel". Stofflich können sie in Proteine (Gelatine, Molkeproteine) und Oligo- und Polysaccharide gegliedert werden. Letztere wiederum können mikrobiellen oder pflanzlichen Ursprungs sein.

Neben ihren techno-funktionellen Eigenschaften, eben Verdickung, Gelbildung und Stabilisierung von Lebensmittelsystemen, haben viele auch ernährungsphysiologische Funktionen als lösliche und unlösliche Ballaststoffe, beziehungsweise als präbiotische Substanzen. Unter die ernährungsphysiologischen Funktionen könnte auch ihre Verwendung zur Herstellung von kalorienreduzierten Lebensmitteln eingeordnet werden, wobei hier ihre technologischen Eigenschaften (z.B. Wasserbindung) genutzt werden. Durch diese Multifunktionalität können kennzeichnungsrechtlich Probleme entstehen, wie unten ausgeführt wird.

Wie schon im FIAP-Report (Berghofer, 2010) angeführt wurde, besteht eine große Tendenz immer mehr solcher Stoffe auf den Markt zu bringen. Das trifft vor allem auf Präparate zu, die aus pflanzlichen Zellwänden gewonnen werden. Diese werden deshalb nachfolgend eingehender abgehandelt.

1.11.1. Pflanzliche Zellwandpräparate und Zellwandisolate

Es werden immer mehr Zellwandpräparate und Zellwandisolate aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt. Das ist leicht erklärbar, weil die Fülle an Rohstoffen unerschöpflich ist. Es kommt fast jedes pflanzliche Lebensmittel, sowie alle Rest- und Nebenprodukte bei deren Verarbeitung für eine Gewinnung in Frage. Darüber hinaus können auch Pflanzen oder Pflanzenteile (z.B. Weizenstrohfasern) genutzt werden, die normalerweise nicht als Lebensmittel dienen.

Die Hauptkomponenten der pflanzlichen Zellwände sind:

- **Cellulose** - chemisch gesehen eine einheitliche Substanz aus β -1,4-glycosidisch verknüpften Glucosemonomeren

- **Hemizellulosen** - In der Natur verbinden sie die Cellulosefibrillen zu einem stabilen Gerüst. Ihre chemische Grundstruktur ist sehr vielfältig und in jeder Pflanzenart unterschiedlich.
- **Pektin** hat die Aufgabe die pflanzliche Zellwand abzudichten und Zellen zu einem Zellverband zu verbinden. Die Grundstruktur ist eine Galcturonsäurekette, die einerseits mit Methanol verestert ist und andererseits viele mannigfaltige Seitenketten aufweist. Jede Pflanzenart hat unterschiedliche Seitenketten. Durch diese Seitenketten entsteht eine sehr komplexe Molekülstruktur.

Das menschliche Enzymsystem ist nicht in der Lage pflanzliche Zellwandbestandteile abzubauen. Pektin kann teilweise durch die Darmbakterien gespalten werden.

Zum Beleg, dass immer mehr solche pflanzliche Zellwandpräparate und –isolate in den Handel kommen, sei eine Suchanfrage in der Suchmaschine bzw. Datenbank für Lebensmittelzusatzstoffe und –rohstoffe "PROSPECTOR" angeführt (<http://www.ulprospector.com/de/eu> bzw. <http://www2.ulprospector.com/prospector/>). Unter dem Stichwort „*fiber*“ finden sich unglaubliche **2.751 Treffer** in dieser Datenbank (<http://www.ulprospector.com/en/eu/Food>, Zugriff 17.11.2014).

Bei vielen der unter diesem Stichwort ausgewiesenen Substanzen ist schon im Handelsnamen der Begriff „*fiber*“ enthalten. Tab. 2.1.11 zeigt eine Auswahl einiger im Handel befindlicher Präparate und die jeweilige Rohstoffquelle.

Tab. 2.1.11: Auswahl von im Handel erhältlichen Zellwandfaserpräparaten (PROSPECTOR-Datenbank, 2015)

Bezeichnung	Quelle
Apfelfaser	Trester nach Saftgewinnung
Bambusfasern	Fasserreiche Teile der Bambuspflanze
Baobabfasern	Baobab-Fruchtpulpe
Buchweizenfasern	Buchweizensamen
Chiafasern	Chiasamen
Cranberryfasern	Früchte
Erbsenfasern	Erbsenschalen
Gerstenfaser (β-Glucan)	Gerstenkörner
Ginsenwurzelfasern	Ginsengwurzel
Granatapfelfasern	Trester nach Saftgewinnung
Haferfasern (β-Glucan)	Haferkleie
Heidelbeeren	Trester nach Saftgewinnung
Hirsefasern	Hirseendosperm
Karottenfasern	Karotten
Kartoffelfasern	Kartoffelpülpe - Reststoff der Stärkegewinnung
Kichererbsenfasern	Kichererbsensamenendosperm
Kirschenfasern	Trester nach Saftgewinnung
Leinsamenfasern	Leinsamenkleie
Linsenfasern	Linsensamenendosperm
Lupinenfasern	Lupinensamen
Maisfasern	??
Mandelfasern	Mandelpresskuchen
Pflaumenfasern	Trester nach Saftgewinnung
Psylliumfasern	Samenschalen
Reiskleiefasern	Reiskleie
Sesamfasern	Pressrückstand der Sesamölgewinnung
Sojabohnenfasern	Sojabohneschalen
Sojabohnenfasern	Okara (Presskuchen bei der Sojamilchherstellung)
Sojabohnenfasern	Nebenprodukt bei der Gewinnung von Proteinisolaten
Tomatenfasern	Nebenprodukt der Tomatenmarkherstellung
Weinraubenfasern	Trester nach Saftgewinnung

Diese Handelspräparate bestehen entweder aus einer Kombination aller Zellwandbestandteile oder aus mehr oder weniger reinen Fraktionen von Cellulose, Hemicellulosen oder Pektin. Laut den Datenblättern weisen die meisten Präparate die typischen techno-funktionellen Eigenschaften von Hydrokolloiden auf. Sehr oft wird aber auch auf die ernährungsphysiologischen Funktionen hingewiesen.

Es besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, diese Zellwandbestandteile weiter zu modifizieren. Beispielsweise sei hier die enzymatische Hydrolyse von Pektin zu Polygalcaturoniden (Oligosacchariden) genannt (Lang & Dörnborg, 2001), oder die schon lang praktizierte Herstellung chemisch modifizierter Cellulose.

Zwei isolierte pflanzliche Zellwandbestandteile haben bereits „*health claims*“ erhalten, nämlich Arabinoxylan (Hemicellulose aus Weizenendosperm) (EFSA, 2011 a) und β -Glucan (Hemicellulose aus Gerste oder Haferkleie (EFSA, 2011 b).

1.11.2. Sonstige Hydrokolloide

1.11.2.1 Mikrobielle bzw. enzymatisch gebildete Exo-Polysaccharide (EPS)

Mikrobielle EPS können im Gegensatz zu pflanzlichen Polysacchariden in hoher Reinheit und mit vergleichsweise definierterer Struktur gewonnen werden. Sie weisen vielfältige techno-funktionelle als auch bio-funktionelle Eigenschaften (präbiotische Wirkung) auf. Die derzeitigen Forschungen auf diesem Gebiet konzentrieren sich auf die Etablierung neuer EPS-Typen aus lebensmittelassoziierten Mikroorganismen (Jako & Vogel, 2012).

EPS lassen sich folgendermaßen einteilen:

- **Homo-EPS: Sind aus einem einzigen Kohlenhydratmonomer aufgebaut**
 - Glucane (z.B. Dextran, Alternan) (Glucosepolymere - durch Glycosyltransferasen erzeugt.)
 - Fructane (z.B. Inulin, Levane) (Fructosepolymere –durch Fructosyltransferasen erzeugt)
 - Cellulose (aus den entsprechenden Zuckermonomeren durch stammspezifische Enzyme extrazellulär gebildet)
 - Pullulan (E 1204) (aus den entsprechenden Zuckermonomeren durch stammspezifische Enzyme extrazellulär gebildet)
 - Curdlan (E 424) (aus den entsprechenden Zuckermonomeren durch stammspezifische Enzyme extrazellulär gebildet)
- **Hetero-EPS: Bestehen aus verschiedenen Zuckermonomeren und werden mittels intrazellulärer Isomerasen und Glycosyltransferasen aus variablen Substraten zu Oligosacchariden verknüpft, die extrazellulär zu modularen Polysacchariden zusammengesetzt werden** (Jako & Vogel, 2012)
 - Xanthan (E 415)
 - Gellan (E 418)

1.11.2.2. Stärke und modifizierte Stärken

Mehr und mehr wird versucht, die deklarationspflichtigen, chemisch modifizierten Stärkederivate durch spezielle native Stärken (z.B. Wachs-Reisstärke) oder physikalisch modifizierte Stärken zu ersetzen.

Zu den neuen physikalischen Modifikationsmethoden zählt die hydrothermische Modifikation von Stärkekörnern bzw. Stärkemolekülen. Dabei werden die Stärkekörner für längere Zeit bei Temperaturen knapp unterhalb der Verkleisterungstemperatur erhitzt. Wenn diese Erhitzung in einer Suspension, also bei hohem Wassergehalt erfolgt, wird von "Annealing" gesprochen. Wird sie hingegen bei geringem Wassergehalt durchgeführt, spricht man von einer Hitze-Feuchtbehandlung (HMT – *heat moisture treatment*) bezeichnet. Die innere Struktur der Stärkekörner wird dabei in vorteilhafter Weise verändert, ohne aber die Stärkekornstruktur vollkommen aufzulösen (Ashogbon & Akintayo, 2014; Chung et al., 2009).

1.11.3. Kennzeichnungsproblematik bei Hydrokolloiden

Bezüglich der Kennzeichnung beziehungsweise Nicht-Kennzeichnung von Hydrokolloiden gibt es in der EU keine einheitliche Vorgangsweise. Die derzeitige Situation ist unübersichtlich und aus naturwissenschaftlicher Sicht nicht immer nachvollziehbar.

Werden Hydrokolloide wegen ihrer technologischen Funktionen zur Wasserbindung, Volumenerhöhung, Texturverbesserung und -erhaltung eingesetzt, könnten sie rein rechtlich gesehen, als Zusatzstoffe angesehen werden. Tatsächlich finden sich in der Liste der erlaubten Zusatzstoffe die in Tab. 2.2.12 angeführten Hydrokolloide (ohne modifizierte Stärken). Die in Tab. 2.11.1 fett gedruckten Zusatzstoffe sind natürliche oder modifizierte Zellwandbestandteile. Dazu zählt auch die Sojabohne-Polyose (E 426). Hier handelt es sich um Hemicellulose, die aus dem Rückstand der Sojamilchproduktion dem sogenannten Okara gewonnen wird (European Commission, 2003). Warum ausgerechnet dieses Zellwandisolat als Zusatzstoff geregelt wurde, aber bis jetzt keines der beispielsweise in Tab. 2.1.12 angeführten Präparate ist unklar. Auch darunter finden sich viele Hemicelluloseisolate. β -Glucan und Arabinoxylan haben sogar „*Health claims*“ erhalten und sind keine Zusatzstoffe.

Auch bei Pektin ist die Lage nicht ganz offensichtlich. An und für sich gibt es Pektine als Zusatzstoff mit der E-Nummer 440. Gleichzeitig wird aber in Artikel 3 der Verordnung (EU) Nr. 1333/2008 angeführt, dass unter anderen auch folgender Stoff nicht als Zusatzstoff gilt:

*iv) Erzeugnisse, die Pektin enthalten und aus getrockneten Rückständen ausgepresster Äpfel oder aus getrockneten Schalen von Zitrusfrüchten oder aus einer Mischung daraus durch Behandlung mit verdünnter Säure und anschließender teilweiser Neutralisierung mit Natrium- oder Kaliumsalzen **gewonnen wurden** („flüssiges Pektin“); ...*

In der Verordnung (EU) Nr. 231/2012 wird der Zusatzstoff Pektin folgendermaßen spezifiziert

440(i) PEKTIN

Definition: Pektin setzt sich hauptsächlich zusammen aus partiellen Methylestern der Polygalacturonsäure und deren Natrium-, Kalium-, Calcium- oder Ammoniumsalzen. Pektin wird durch Extraktion in einem wässrigen Medium aus geeignetem genusstauglichem pflanzlichen Material, gewöhnlich Zitrusfrüchten und Äpfeln, gewonnen. Bei der nachfolgenden Ausfällung werden ausschließlich Methanol, Etha-

not oder Propan-2-ol als Fällungsmittel verwendet

mindestens 65 % Galacturonsäure, bezogen auf die aschefreie Trockenmasse
(nach dem Waschen mit Säure und Alkohol)

Tab. 2.1.12: Liste der Hydrokolloide, welche als Zusatzstoffe zugelassen sind [Verordnung (EU) Nr. 1119/2011].

E 400 Alginsäure	E 426 Sojabohnen-Polyose
E 401 Natriumalginat	E 427 Cassia-Gummi
E 402 Kaliumalginat	E 440 Pektine
E 403 Ammoniumalginat	E 459 Beta-Cyclodextrin
E 404 Calciumalginat	E 460 Cellulose
E 405 Propylenglycolalginat	E 461 Methylcellulose
E 406 Agar-Agar	E 462 Ethylcellulose
E 407 Carrageen	E 463 Hydroxypropyl-cellulose
E 407a Verarbeitete Euchema-Algen	E 464 Hydroxypropyl-methylcellulose
E 410 Johannisbrotkernmehl	E 465 Ethylmethylcellulose
E 412 Guarkernmehl	E 466 Carboxymethyl-cellulose
E 413 Traganth	E 468 Vernetzte Carboxy-methylcellulose
E 414 Gummi arabicum	E 469 Enzymatisch hydrolysierte Carboxy-methylcellulose
E 415 Xanthan	
E 416 Karayagummi	
E 417 Tarakernmehl	
E 418 Gellan	
E 425 Konjak	

Pektin als Nichtzusatzstoff wird **aus** Pressrückständen **„gewonnen“**. Pektin als Zusatzstoff wird **durch „Extraktion“** aus den gleichen Rohstoffen **gewonnen**. Auch bei dieser Extraktion werden Säuren eingesetzt. Der wesentliche Unterschied scheint zu sein, dass beim Zusatzstoff der Mindestgehalt an Galacturonsäure spezifiziert ist.

Wenn die Spezifikation für den Zusatzstoff Cellulose betrachtet wird, scheint die Reinheit des Stoffes ebenfalls von entscheidender Bedeutung zu sein:

E 460(ii) CELLULOSEPULVER

Definition: Gereinigte, mechanisch zerlegte Cellulose wird durch Verarbeitung von als Pülpe aus faserigem Pflanzenmaterial gewonnener Alphacellulose hergestellt. Cellulose; lineares Polymer von 1,4-verbundenen Glucoseresten.

Gehalt: mindestens 92 %

Demnach wären also Zellwandisolate als Zusatzstoffe zu betrachten, wenn sie einen definierten Gehalt an Pektin oder Cellulose überschreiten.

Für Hemicelluloseisolate ist die Sachlage aber völlig anders. Es gibt derzeit ein Hemicelluloseisolat als Zusatzstoff, nämlich Sojabohnen-Polyose. Deren Spezifikation lautet:

E 426 SOJABOHNEN-POLYOSE

Definition: Sojabohnen-Polyose ist ein raffiniertes wasserlösliches Polysaccharid, das mit heißem Wasser aus Sojafasern extrahiert wird. Bei der Ausfällung wird anschließend Ethanol als Fällungsmittel verwendet

Chemische Bezeichnung: wasserlösliche Sojabohnenpolysaccharide; wasserlösliche Sojabohnenfaser

mindestens 74 % Kohlenhydrate

Es müssen also 74 % Kohlenhydrate vorhanden sein. Diese sehr unspezifische Spezifikation trifft sicher auch auf einige Handelspräparate von Hemicelluloseisolaten zu (z.B. β -Glucan, Arabinoxylane).

Werden diese wegen ihrer technologischen Funktionen eingesetzt – und diese sind zweifelsohne auch vorhanden –, wären sie demnach Zusatzstoffe. Werden sie aber wegen ihrer ernährungsphysiologischen Eigenschaften verwendet, sind sie Lebensmittel bzw. Lebensmittelzutaten.

Auch bei ihrer Verwendung als Ballaststoffpräparate wären sie Lebensmittel beziehungsweise Zutaten. Für die Auslobung als Ballaststoffquelle gibt es entsprechende Regelungen [Verordnung (EU) Nr. 1924/2006; Richtlinie (EU) 90/496/EWG]. Als Ballaststoffquelle und auch bei ihrer Verwendung zur Herstellung von kalorienreduzierten Lebensmitteln können höhere Konzentrationen erforderlich sein, als bei der Nutzung der technologischen Eigenschaften. Daher wäre zu beachten, ob die für Zusatzstoffe teilweise geltenden Konzentrationsbeschränkungen nicht überschritten werden.

Noch komplizierter wird die Angelegenheit dadurch, dass in der Liste der Novel Food-Anträge (Novel Food Applications, 2014) Methylcellulose, β -Glucane aus Pilzen und Hefen, sowie Oligosaccharide aus Pektin (also Pektinhydrolysate) aufscheinen; und in der Liste der Novel Food Anmeldungen (Novel Food Notifications, 2014) eine Zuckerrohrfaser. Daraus Kriterien abzuleiten, wann Zellwandbestandteile beziehungsweise Zellwandisolate als Novel Food gelten, ist nicht möglich.

1.11.4. Konsumentenbelange

Varela & Fiszman (2013) präsentieren die Ergebnisse von Konsumentenbefragungen in Spanien bezüglich deren Meinung zu Hydrokolloiden. Grundsätzlich wird festgestellt, dass ein sehr geringer Wissensstand bezüglich Lebensmittelzusatzstoffe bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern vorliegt. Das Informationsangebot wird viel zu wenig benutzt, um sich eine eigenständige Meinung zu bilden. Verdickungsmittel (Hydrokolloide) werden an und für sich mit dem allgemein negativen Image von Zusatzstoffen nicht assoziiert, weil darunter vor allem Mehle und Stärken verstanden werden. Auf die konkrete Frage „Wie gesund schätzen sie ein Lebensmittel ein, wenn es folgende Verdickungsmittel enthält?“ konnten die Befragten auf einer Skala von 1-9 (1 nicht gesund, 9 gesund) Verdickungsmittel reihen. Bei keinem Verdickungsmittel wurde ein höherer Wert als 5 erreicht. Die ersten vier Plätze nahmen Maisstärke, Gelatine, Agar und Pektin ein. Die letzten vier Plätze besetzten Mikrokristalline Cellulose, Hydroxypropyliertes Di-Stärke-Phosphat, Carrageen und Carboxymethylcellulose. Je „chemischer“ eine Bezeichnung lautet, umso schlechter wurde sie also bewertet.

Dieser Befund ist nicht überraschend, weil er genau das Misstrauen der Konsumentinnen und Konsumenten gegenüber „chemischen Zusätzen“ - was immer auch darunter subsumiert und gemeint ist - widerspiegelt.

2. Aromen

Mit Januar 2011 erlangte die Verordnung (EG) Nr. 1334/2008 über Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zur Verwendung in und auf Lebensmitteln“ Geltung. Hierzu wurde 2010 der „Report zur Abschätzung der Auswirkungen des FIAP auf Forschung, Entwicklung und Anwendung von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen in der Lebensmittelindustrie“ veröffentlicht (Berghofer, 2010), in welchen die Grundzüge der Verordnung ausführlich erklärt und ihre potentiellen Auswirkungen auf naturwissenschaftlicher Basis und durch Gespräche mit Vertretern der Industrie abgeschätzt. Die Kenntnis dieses kostenlos im Internet herunterzuladen- den bzw. ebenfalls kostenfrei beim Bundesministerium für Gesundheit als *Hard-copy* anzufordernden Expertengutachtens erleichtert das Verständnis des vorliegenden „updates“, wenngleich versucht wird, die notwendigen Grundkenntnisse an den jeweiligen Stellen einleitend zu erklären.

2.1. Anhang I der Verordnung (EU) 1334/2008

Die Aromenverordnung [Verordnung (EU) Nr. 1334/2008] basiert in ihrem Grundprinzip -wie alle im Rahmen des FIAP erlassenen Verordnungen- auf dem sogenannten „Verbotsprinzip mit Erlaubnisvorbehalt“. Das bedeutet, dass der Einsatz von allem verboten ist, was nicht explizit in einer der „Positivlisten“ der Anhänge erlaubt wird.

In den seinerzeitigen Befragungen im Rahmen der Erstellung des Reports zur Abschätzung der Auswirkungen der neuen FIAP-Verordnungen wurde das Inkrafttreten der Aromenverordnung ohne ihre Basis, nämlich „Anhang I“, der sogenannten „Unionsliste“ der zugelassenen Aromen, als klare Innovationsbremse identifiziert und scharf kritisiert. Von 2008/2009, also dem Bekanntwerden des Verordnungstextes über das Inkrafttreten der Verordnung im Januar 2011 war für kein Aroma klar, ob es auf längere Sicht noch verwendet werden darf. Seit Oktober 2012 ist nun mit Erlass der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 872/2012 zur „Festlegung der Liste der Aromastoffe....“ ein Großteil der Positivliste des Anhang I Teil A (listet die zugelassenen Aromastoffe) publiziert. Konkret enthält diese Tabelle, die zum Teil A des Anhang I wird mit Stand Oktober 2014 etwa 2.100 der durch die EFSA bereits als sicher eingestuften Aromastoffe, sowie weitere 400 sich noch in der laufenden Evaluierung befindlichen Aromastoffe. Sie ist nun seit April 2013 in Geltung, mit 22.10.2014 sollten alle nicht gelisteten Aromastoffe aus dem Verkehr gezogen worden sein. Die 400 mit dem Vermerk versehenen Aromastoffe, dass ihre Bewertung noch nicht abgeschlossen ist, dürfen solange weiter verwendet werden, bis ihre Bewertung abgeschlossen ist und sie entweder in die Liste der sicheren A-Stoffe aufgenommen oder aus der Liste gestrichen werden. Laut EFSA erwartet man sich derzeit, dass die Bewertung der Aromen des Anhang I Teil A im 2. Quartal 2015 abgeschlossen werden kann.

Die anderen Teile des Anhang I der Unionsliste, nämlich Teil B (Aromaextrakte), C (thermisch gewonnene Reaktionsaromen), D (Aromavorstufen), E (sonstige Aromen) und F (Ausgangsstoffe) sollen erst zu einem späteren Zeitpunkt erstellt werden. Momentan ist die Frist für die Antragstellung auf Aufnahme von Substanzen in Anhang B-F der 22.10.2015. Ob die Anzahl der Anträge dann der tatsächlich zu beurteilenden Aromen entsprechen wird, ist fraglich, weil insbesondere für die Aromaextrakte ja erst im Einzelfall nach Plausibilität abzuschätzen ist, ob die jeweiligen Aromen zulassungspflichtig sind. Dies hängt von dem Auffinden von Hinweisen auf die Verwendung ihrer Ausgangsmaterialien als Lebensmittel ab (siehe auch Kap. 2.5.5 Einordnungs- und Abgrenzungsprobleme).

Für die Industrie ist die Unvollständigkeit der Anhänge nach wie vor unbefriedigend und entwicklungshemmend, wenngleich zumindest eine sehr große Anzahl an Aromastoffen nun offiziell als

sicher und gesundheitlich unbedenklich eingestuft wurde. Der steigende Wunsch des Lebensmitteleinzelhandels und der Konsumentinnen und Konsumenten an natürlichen Aromen, ohne Neigung aber dafür mehr zu bezahlen, macht für die Industrie zulassungspflichtige (nicht aus typischen Lebensmitteln gewonnene) Aromenextrakte und neue potentielle Ausgangsstoffe interessant (siehe auch Kap. 2.5 -Natürlich), deren Sicherheitsbeurteilung noch auf sich warten lässt.

2.2. Ausmaß der verwendeten Aromastoffe

Mit der bereits erwähnten positiven Sicherheitsbeurteilung von über 2.000 Aromastoffen keimt die Erkenntnis bei Verbraucherinnen und Verbraucher, sowie bei Konsumentenschützern weiter, dass das neben der gesundheitlichen Unbedenklichkeit der Aromen auch bedeutet, dass in europäischen Lebensmitteln viele Aromastoffe eingesetzt werden. Die Kritik gilt dabei jedoch kaum mehr der mögliche Gesundheitsgefährdung durch Aromen, deren Ausschluss durch die Sicherheitsevaluierungen im Hintergrund der Positivlisten sichergestellt werden, sondern es werden andere Überlegungen angeführt, wie beispielsweise

- Täuschung: Mittlerweile billig produzierbare Aromen könnten nicht ausreichend informierten Konsumentinnen und Konsumenten - vor allem in Kombination mit durch die Industrie zu deren Vorteil ausgelegten Aufmachung und Deklaration- das Vorhandensein echter Früchte etc. vortäuschen.
- Vitamin- und Mineralstoffmangel: Bei Konsum eines „Erdbeerjoghurts mit Erdbeeren“ isst man deutlich mehr Nährstoffe, Vitamine und Mineralstoffe mit, als bei Verzehr eines „Erdbeerjoghurts mit Erdbeeraroma“
- Geschmackliche Desensibilisierung: „Kein Kind weiß mehr, wie eine Erdbeere schmeckt, wie viele Nuancen die Natur hat“....
- Übergewicht: Aromen könnten zum übermäßigen Verzehr von Lebensmittel verleiten

Im Internet findet man etwa auf der Homepage der Verbraucherzentrale Hamburg eine durch Verbraucherinnen und Verbraucher zusammengetragene „Positivliste“ mit Lebensmitteln ohne Aroma. Derzeit sind darauf 50 Lebensmittel gelistet, wobei zu berücksichtigen ist, dass es sich bei 6 davon um Tees, die naturgemäß ohne Aroma auskommen, sowie bei je 7 um Schokoladeprodukte und Chips Sorten handelt.

2.3. Aufklärung und Transparenz

Kritik an der erlassenen Verordnung [Verordnung (EU) 1334/2008] üben Verbraucherschutzorganisationen vor allem an der aus ihrer Sicht zwar angekündigten, aber nicht erreichten Klarheits- und Transparenzverbesserung.

Eine Basis dessen ist, dass Anhang I eine Liste von chemischen Substanzen ist. Diese Bezeichnungen finden sich aber auf keiner Lebensmittelverpackung; beispielsweise also die korrekte Bezeichnung „Aroma“ auf einer Lebensmittelverpackung sich nicht mit dem enthaltenen „1-Butoxy-1-(2-phenylethoxy)ethan“ der Liste in Verbindung bringen lässt. Die Kenntnis des chemischen Namens ist aber Grundvoraussetzung, um das entsprechende EFSA-Urteil oder andere einschlägige wissenschaftliche Publikationen zu finden und sich damit bei Interesse darüber informieren zu können.

Die zweite wesentliche Enttäuschung ist das Nichterreichen der mit dem Fall der Klassifizierung „naturidenten Aroma“ erwarteten Klarheit über „Natürlichkeit im Verständnis des Verbrauchers“.

Hintergründe: Unter den vor Inkrafttreten der Verordnung (EU) Nr. 1334/2008 mit „naturidenten Aroma“ deklarierten Aromen verstand man synthetisch hergestellte Aromastoffe, die chemisch exakt gleich dem natürlichen Pendant sind. Der Wortstamm „Natur“ war aufgrund des Irreführungspotentials in steter Kritik. Mit der Verordnung (EU) Nr. 1334/2008 sind alle ehemals „naturidenten Aromen“ lediglich mit „Aroma“ zu bezeichnen. Derzeit ist es vor allem die Diskrepanz zwischen der Natürlichkeitsdefinition in der Verordnung und dem Natürlichkeitsverständnis des Verbrauchers, die Aufregung verursacht.

Natürlichkeit nach der Verordnung (EU) Nr. 1334/2008 ist gleichbedeutend damit, dass es sich beim Aromabestandteil entweder um einen „natürlichen Aromastoff“ gemäß nachstehender Definition A oder um einen „Aromaextrakt“ gemäß Definition B handelt:

A) „natürlicher Aromastoff“: Aromastoff, durch geeignete physikalische, enzymatische oder mikrobiologische Verfahren aus pflanzlichen, tierischen oder mikrobiologischen Ausgangsstoffen gewonnen, die als solche verwendet oder mittels eines oder mehrerer der in Anhang II aufgeführten herkömmlichen Lebensmittelzubereitungsverfahren für den menschlichen Verzehr aufbereitet werden. Natürliche Aromastoffe sind Stoffe, die natürlich vorkommen und in der Natur nachgewiesen wurden.

B) „Aromaextrakt“: Erzeugnis, das kein Aromastoff ist und gewonnen wird aus

i) Lebensmitteln, und zwar durch geeignete physikalische, enzymatische oder mikrobiologische Verfahren, bei denen sie als solche verwendet oder mittels eines oder mehrerer der in Anhang II aufgeführten herkömmlichen Lebensmittelzubereitungsverfahren für den menschlichen Verzehr aufbereitet werden, und/oder

ii) Stoffen pflanzlichen, tierischen oder mikrobiologischen Ursprungs, die keine Lebensmittel sind, und zwar durch geeignete physikalische, enzymatische oder mikrobiologische Verfahren, wobei die Stoffe als solche verwendet oder mittels eines oder mehrerer der in Anhang II aufgeführten herkömmlichen Lebensmittelzubereitungsverfahren aufbereitet werden.

Wenn eine der beiden Definitionen erfüllt ist, wird der LM-Unternehmer das Aroma legaler Weise mit „natürliches Aroma“ oder „natürliches xy-Aroma“ kennzeichnen (Unterschied dazu siehe nachstehend). Eine sinnvolle Einschränkung dessen wurde durch die Pflicht zur Nennung der Ausgangsquelle gesetzt, die sicherstellt, dass alle Ausgangsquellen, die einen Anteil >5% des Aromas ausmachen, als solche genannt werden müssen. Damit können die „berühmten Sägespäne im Joghurt“ (Vanillingewinnung) als solche identifiziert werden – es sei denn sie wären <5% vertreten und etwa 95% Vanilleschote, wobei dabei die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Kombination in Frage gestellt werden kann.

Natürlichkeit nach dem Verständnis der Verbraucherinnen und Verbraucher ist in etwa:

Ein Aroma, das aus Rohstoffen des Lebensmittels in dem es eingesetzt wird, stammt und auch direkt aus diesen isoliert wurde. Man erwartet sich also von einem Joghurt „das als Vanillejoghurt bezeichnet, mit dem Bild einer Vanilleschote versehen ist und in dessen Zutatenliste natürliches Aroma steht“, das ein direkt aus Vanilleschoten isoliertes möglichst wenig weiterbehandeltes Aroma drin ist.

Das kann, muss aber nicht der Fall sein.

Natürlichkeit im Sinne der Verordnung (EU) Nr. 1334/2008 und dem Verbraucherverständnis bzw. Kompromisse gibt es aber auch. Wenngleich es sich noch nicht ausreichend unter den Verbraucherinnen und Verbrauchern verbreitet hat und man aktiv aus der Industrie zur Aufklärung verständlicherweise nicht beiträgt, gibt es eine Natürlich-Deklaration, die dem Begriff der Natürlich-

keit nach dem Verbraucherverständnis sehr nahe kommt:

„Natürliches xy-Aroma“: „Ein Ausgangsstoff soll in die Namensnennung einbezogen werden, wenn dessen Anteil größer als 95% der Aromazubereitung ist. Stoffe des bei Ausgangsstoffnennung verbleibenden Anteils von 5% dürfen ausschließlich zur Verleihung einer z.B. frischeren, schärferen, reiferen oder grüneren Aromanote zugesetzt werden.“

Das bedeutet, dass es sich, wenn „natürliches Erdbeeraroma“ in der Zutatenliste steht, beim Ausgangsmaterial um mind. 95% Erdbeere handelt. Im Fokus der Kritik steht dabei allerdings nach wie vor die 5%-Regel, vor allem da es die Intention zur ausschließlichen Verleihung einer z.B. frischeren Note „zu beweisen gelte“. Zudem lasse sich mit 5% bei einer in kleinen Dosen trotzdem sehr effektiven Wirkung äußerst viel „verfälschen“.

Nicht nur Verbraucherschützer erregen diese Unklarheiten. Auch Hersteller, die sich um ein in Einklang bringen der unterschiedlichen Natürlichkeitsdefinitionen/Auffassungen bemühen, kritisieren die momentan bestehenden Diskrepanzen, zum Beispiel:

„Die Marke Frosta hat im Jahre 2003 die Produktion umgestellt. Seitdem sind alle Produkte der Marke Frosta frei von zugesetzten Aromen, Geschmacksverstärkern, Farbstoffe, Stabilisatoren, Emulgatoren und chemisch gehärteten Fetten. Auf den Verpackungen werden sämtliche Inhaltstoffe zu 100% deklariert.....Allerdings ist es für Frosta schwer, dies dem Verbraucher auch zu kommunizieren. Dadurch entstehen erhebliche Wettbewerbsnachteile.“ (Zitat: Frosta, 2010).

2010 forderte die Firma in einer Aussendung daher:

„Forderung: Lebensmittel, denen ein Aroma zugesetzt wird, egal ob es sich dabei nach der ab 2011 gültigen Terminologie um ein „Aroma“, einen „Aromastoff“, ein

„Aromaextrakt“ oder ein „thermisch gewonnenes Reaktionsaroma“ handelt, müssen in der Verkehrsbezeichnung den deutlich lesbaren Zusatz „künstlich aromatisiert“ erhalten.

Darüber hinaus muss der Begriff „natürlich“ für solche Aromen reserviert werden, die zu 100% aus der Frucht / der Zutat gewonnen werden, nach der sie schmecken (z.B. Erdbeeren, Huhn etc.).“ (Zitat: Frost-a, 2010).

Auch die deutschen Hersteller von Ökolebensmitteln, die im BNN (Bundesverband Naturkost und Naturwaren Hersteller und Handel e.V.) organisiert sind, einigten sich auf die klare Empfehlung auf „produktfremde“, also aus anderen als den für Produkte namensgebenden Rohstoffen isolierte „natürliche Aromen“ (wie eben aus Holz oder Reststoffen- siehe Kap. 2.5. Natürlich) zu verzichten und ausschließlich Öko-Lebensmittel und Extrakte aus Öko-Lebensmitteln zur Aromatisierung zu nutzen (BNN, 2014).

2.4. Meinungsverschiedenheiten und Interpretationsspielraum

Dass die Gewährleistung der Natürlichkeit bei entsprechender Deklaration einen sehr hohen Stellenwert hat, spiegelt sich bereits in einschlägigen Gerichtsverfahren hierzu wieder.

2.4.1. „Schokoladenstreit“

Im November 2013 bewertete die Stiftung Warentest im Zuge eines vorweihnachtlichen Vollnuss-Schokoladentests die bekannte Vollnuss-Schokolade der Firma Ritter Sport mit dem Urteil „mangelhaft“, dem ein (bis jetzt bereits) mehrmonatiger Rechtsstreit folgte. Als Grund für diese schlechte Beurteilung, die für die Fa. Ritter Sport einer Rufschädigung gleichkommt, wurde angegeben, dass es unmöglich wäre, dass die Deklaration „natürliches Aroma“ im Zusammenhang mit dem in der Schokolade vorhandenen Aromastoff Piperonal (Mandel/Vanillernote) korrekt ist. Begründet wurde das damit, dass die geringe natürliche Verfügbarkeit dieses Stoffes (z.B. in Pfefferschoten) in der Pflanzenwelt in Kombination mit den bekannten „natürlichen“ Verfahren nicht mit der kostendeckenden Produktion der großindustriell benötigten Mengen für Rittersport vereinbar wäre. Ritter Sport entgegnete diesem Vorwurf mit einer eidesstattlichen Erklärung vom Aromenhersteller Symrise, wonach das an Ritter Sport gelieferte natürliche Aroma Piperonal enthält, welches ausschließlich aus botanischen Quellen gewonnen und mit Verfahren hergestellt werde, die der europäischen Aromenverordnung entsprechen. Der tatsächliche Ausgangsstoff sowie die Herstellungsmethode wurden unter Verweis auf das Betriebsgeheimnis bzw. Konkurrenzdruck bislang nicht publik. Vorstellbar sind hier aber alle technologisch machbaren Möglichkeiten von nicht mit der Natürlich-Bezeichnung vereinbaren chemischen Verfahren über Extraktion aus Pflanzenmaterial (Natürlich) bis hin zu den am wahrscheinlichsten biotechnologischen Verfahren (Natürlich). Das aktuelle, im September 2014 ausgesprochene Urteil des Münchner Oberlandesgerichts ist eine einstweilige Verfügung gegenüber der Stiftung Warentest, dass diese die Behauptung nicht mehr weiter in Umlauf bringen dürfen. Die Begründung für dieses Urteil ist, dass diese Behauptung nicht auf einem chemischen Nachweis, sondern auf einer Schlussfolgerung basiert, was einer „unzulässigen Verzerrung des Testergebnisses“ entspricht. Dass der Streitfall damit abgeschlossen bzw. das Aufkeimen weiterer ähnlicher Streitfälle damit gebannt ist, ist unwahrscheinlich. Allein Piperonal ist ein in der Schokoladenherstellung oft genutzter Aromastoff, so enthalten alle Ritter Sport Schokoladen besagtes Aroma und ein themengleicher Piperonal-Rechtsstreit läuft parallel dazu um die Schokolade „K-Classic“ von Kaufland, die bis zur dessen Klärung vom Markt genommen wurde.

2.4.2. „Tanz der Moleküle“

Vor dem Landgericht Düsseldorf und in weiterer Folge dem Oberlandesgericht Düsseldorf ergab sich kürzlich ein Rechtsstreit über die korrekte Interpretation der Nutzungsmöglichkeit der Bezeichnung „natürliches xy-Aroma“, welches in der Verordnung (EU) Nr. 1334/2008 folgendermaßen definiert ist:

Der Begriff „natürlich“ darf in Verbindung mit einer Bezugnahme auf ein Lebensmittel, eine Lebensmittelkategorie oder einen pflanzlichen oder tierischen Aromaträger nur verwendet werden, wenn der Aromabestandteil ausschließlich oder mindestens zu 95 % aus dem in Bezug genommenen Ausgangsstoff gewonnen wurde.“

Die Sachlage, dem Bericht von Carsten Oelrichs und Sonja Schulz mit dem passenden Titel „Die Kennzeichnung natürlicher Aromen – Tanz der Moleküle?“ entnommen, stellte sich dabei derart dar:

„In einer Auseinandersetzung zwischen einem Lebensmittelhersteller und der Stiftung Warentest anlässlich einer Testbewertung entschied es die Frage, ob ein Aroma im Zutatenverzeichnis eines Joghurts zutreffend als „natürliches Erdbeearoma“ nach Art. 16 Abs. 4 EG-Aromenverordnung 1334/2008 bezeichnet war. Das Aroma setzte sich zu mehr als 95 Gewichtsprozent aus einem Aromaextrakt aus Erdbeere und zu weniger als fünf Prozent aus natürlichen Aromastoffen zusammen, die aus anderen Erzeugnissen als Erdbeere hergestellt waren. Alle Bestandteile waren

unstreitig natürlicher Herkunft. Der eingesetzte Aromaextrakt bestand aus einer sogenannten Erdbeer-Wasser-Phase, also einem wässrigen Extrakt aus der Erdbeere, der sowohl (erdbeereeigenes) Wasser als auch aromatisierende Moleküle enthielt und dem Aroma einen typischen Erdbeergeschmack verlieh. Er entsprach in Herstellungsweise und Zusammensetzung unstreitig den Vorgaben der Begriffsdefinition in Art. 3 Abs. 2 lit. d) der Aromenverordnung [Verordnung (EU) Nr. 1334/2008]. Die verwendeten Aromastoffe wurden zur Abrundung des Aromas eingesetzt. Das Gewicht des eingesetzten Aromaextraktes überstieg die 95 Prozent-Schwelle. Allerdings machte das Gewicht der aromatisierenden Moleküle des eingesetzten Aromaextraktes weniger als 95 Gewichtsprozent aus.“

Die Frage, die sich hieraus ergibt, ist also die Auslegung des Begriffes Aromabestandteil, d.h. ob unter Aromabestandteil in % mas lediglich das Gewicht der aromatisierenden Moleküle oder das Gewicht der aromatisierenden Moleküle inkl. des aus dem natürlichen Ausgangsstoff stammenden „Restwassers“ zu verstehen ist. Dabei wurde argumentiert,

„dass unter „Aromabestandteil“ ausschließlich die aromatisierenden Anteile der jeweiligen Aromenkategorie verstanden werden dürften, um Verbrauchertäuschung zu verhindern. Für einen Aromaextrakt bedeute dies, dass das Gewicht der Wassermoleküle, also des (neutralen) Trägerstoffes, abzuziehen sei. Dabei rechnete der Senat anhand verschiedener Beispiele vor, dass ansonsten eine „Manipulation“ des Anteils der Fremdaromastoffe über den 95-Prozent-Anteil durch die Lebensmittelindustrie möglich sei. Die technische Machbarkeit, Aromaextrakte in unterschiedlicher Konzentration herzustellen, böte dem Lebensmittelhersteller die Möglichkeit, einen Aromaextrakt mit geringer aromatischer Intensität mit hoch aromatischen Aromastoffen zu mischen und sich auf diesem Wege quasi die Bezeichnung „natürliches Erdbeeraroma“ zu erschleichen.“

In erster Instanz wurde „natürliches Erdbeeraroma“ als zutreffende Bezeichnung beurteilt, im Berufungsverfahren aufgrund soeben erklärter Täuschungsmöglichkeiten nicht. Geklärt sind dieser und potentielle weitere Fälle zum Thema damit nicht.

2.5. Begriff „Natürlichkeit“ im Zusammenhang mit Aromen

Nach wie vor ist strittig, was das allgemeine Verständnis von „Natürlichkeit“ ist und damit als natürliches Aroma auf der Verpackung bezeichnet werden sollte (siehe auch Kap. 2.3 - Aufklärung und Transparenz).

2.5.1. „Ja natürlich“

Trotz dieser bestehenden Unklarheit, ist der Trend zu „natürlichen Aromen“ von Verbraucherseite ungebrochen steigend und die Identifizierung von entsprechenden Rohmaterialien und die Weiterentwicklung mit der Bezeichnung „natürlich“ konformer Produktions- und Formulierungsverfahren durch die Industrie das wichtigste Forschungsfeld im Aromenbereich.

2.5.2. Biotechnologie

Natürliche Aromen können per Definition in Verordnung (EU) Nr. 1334/2008 „durch geeignete physikalische, enzymatische oder mikrobiologische Verfahren“ gewonnen werden. Die Innovatio-

nen im Bereich der physikalischen Verfahren drehte sich in den letzten Jahren vor allem um die Verbesserung von Ausbeuten, Qualität und Energieeffizienz, beispielsweise mittels Extraktion mit überkritischem Kohlendioxid (*supercritical fluid extraction* – SCFE) oder Ultraschall- bzw. Mikrowellen-unterstützte Extraktion etc.

Während die Anzahl an wissenschaftlichen Publikationen, sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse im Bereich physikalischer Aromenproduktion momentan relativ gering sind, scheint die Entwicklung in der enzymatischen und mikrobiologischen Aromenproduktion weiter im Aufwind begriffen. Folgende Vorzüge biotechnologischer Methoden gegenüber den physikalischen (auch chemischen) Methoden wurden beschrieben:

- Umgehung der natürlich beschränkten natürlichen Verfügbarkeit vieler Substanzen, wie sie für die ausschließlich physikalische Gewinnung aus den Ursprungspflanzen Voraussetzung ist, und damit orts-, klima-, politik- und transportunabhängig. Das ist insbesondere für Vanillin, Gewürze und in der Verfolgung des Trends nach „Exotischem“ relevant.
- Schonende und damit qualitätserhaltende, energieeffiziente Verfahren (geringe Temperaturen, keine mechanische Manipulation, keine Extraktionsmittel, keine Strahlungs- oder Druckeinwirkung)
- Nachhaltige, ressourceneffiziente Verfahren
- Sehr spezifische Produktion möglich: Das erschließt einerseits die Nutzbarkeit sehr komplexer Ausgangsmaterialien und andererseits die Herstellung sehr reiner Produkte bis hin zur Enantiomerspezifität.
- Bei ausreichendem know-how ist eine relativ hohe Ausbeute möglich.

Der Ertrag und die Zuverlässigkeit/Sicherheit bei der biotechnologischen Produktion lassen sich im Allgemeinen durch Nutzung **gentechnisch veränderter Mikroorganismen (GVMO)** als Expressionssystem erhöhen. Damit können nämlich in einfach und rasch zu vermehrende, gut kontrollierbare (u.a. weil als „Haustiere der Mikrobiologen“ gut erforschten) MO entsprechende Gene zur Produktion der gewünschten Stoffe eingebracht werden. Diese aus GVMO gewonnenen Aromen würden dennoch nach derzeitiger Gesetzgebung als „natürliche Aromen“ gelten, worin insbesondere Österreich einen Widerspruch sieht und diesen auch in Brüssel geäußert hat. Die Argumentation basiert dabei darauf, dass „natürlich“ nicht mit der Definition genetisch veränderter MO „*GMO means an organism, ...in which the genetic material has been altered in a way that does not occur naturally by mating and/or recombination*“ kompatibel sein kann.

Anhand nachfolgender, aus kürzlich erschienenen wissenschaftlichen Publikationen entnommenen Beispiele sollen die aktuellen Forschungsfelder der biotechnologischen Produktion von Aromen aufgezeigt werden:

Beispiel 1: Vielfalt ökonomischer Möglichkeiten & Spezifität für Reststoffverwertung – „Biovanillin“

Derzeit beträgt der Anteil des mit Abstand bedeutendsten Aromas, Vanillin, aus Vanilleschoten lediglich 0,5% des mit ca. 10.000 Tonnen bezifferten Weltmarktes, während der große Rest (noch) chemisch aus fossilen Rohstoffen, vorwiegend Guaiacol, synthetisiert wird. Das ist vor allem auf das grundsätzlich sehr hohe und relativ unbeständige, klimaabhängige Preisniveau von natürlichem Vanillin aus Vanilleschoten zwischen 1.200 und 4.000 US-Dollar/kg im Vergleich mit synthetisch gewonnenem Vanillin für konstante 15 US-Dollar/kg zurückzuführen (Zamzur & Abd-Aziz, 2012). Da diese momentane Marktverteilung dem Konsumentenbedürfnis nach natürlichen Aromen entgegensteht, aber eine ausschließliche Gewinnung von Vanillin aus Vanilleschoten unrealistisch ist, wird die Erforschung und Nutzung des sogenannten „Biovanillins“ vorangetrieben. Unter „Biovanillin“ versteht man aus natürlichen (pflanzlichen, tierischen oder mikrobiologischen) Quellen biotechnologisch (durch Umwandlung mittels isolierter Enzyme, Bakterien, Hefen, Pilzen)

gewonnenes Vanillin. Als Ausgangsmoleküle zur biotechnologischen Vanillinproduktion kommen im Wesentlichen Eugenol, Isoeugenol, Ferulasäure, Vanillinsäure, Glucose, Lignin, einige phenolische Stilbene, einige Glycoside und einige aromatische Aminosäuren in Frage. Dafür wurden bereits sehr viele unterschiedliche Kombinationen aus Substrat und Mikroorganismus getestet. Einige davon sind dem Review von Kaur & Chakraborty (2013) entnommen und in Tab. 2.5.1 aufgelistet, wobei die dahinter stehenden, natürlich vorhandenen oder rekombinant eingebrachten Stoffwechselungsfähigkeiten ebenso zahlreich sind. Wie die am Ende dieser Liste stehenden „Kokosnussschalen“ vermuten lassen, ist ein Trend zur weiteren Verbesserung der Wirtschaftlichkeit die Nutzung derzeit wenig ökonomisch genutzter (Verbrennung, Tierfutter) Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie. Das wird durch die hohe Spezifität der MO, also deren Fähigkeit, aus diesen komplexen Gemischen gezielt Nutzbares erkennen und verarbeiten zu können, ermöglicht. So wird Vanillin beispielsweise bereits erfolgreich biotechnologisch aus Getreidekleie (hoher Gehalt an Ferulasäure), Zuckerrübenschnitzeln (v.a. Ferulasäure) sowie Presskuchen der Reisöl- und Palmölproduktion (vor allem Ferulasäure) gewonnen. Vorstellbar sind aber sehr viele Reststoffe der Lebensmittelindustrie, wie beispielsweise Treber und Trester, sowie zahlreiche weitere vor allem durch ihre hohen Ligningehalte bestechende agrarische Reststoffe wie Stroh, Rinden, Nusschalen, nicht essbare Samen etc. (Zamzuri & Abd-Azis, 2012). Entsprechende aus „natürlichen“, biotechnologisch Reststoffen erzeugte Vanillin-Präparate sind bereits kommerziell erhältlich, wie „RHOVANIL© NATURAL“ der Firma Solvay, bei dem es sich um ein uns unbekannt prozessiertes Produkt aus Vanilleschoten und Reiskleie (Ferulasäurelieferant) gewonnenes Vanillin handeln soll (Anonym, 2014 c). Die Firma Solvay bewirbt dabei exzessiv die Möglichkeit der „Natürlich“-Kennzeichnung nach europäischer und US-amerikanischer Gesetzgebung, die GMO-Freiheit, sowie die wirtschaftliche Rentabilität des Präparates. Dazu ist zu erwähnen, dass im EU-Raum ein „natürlich“-Labeling eines derartigen Produktes nur in Frage kommt, wenn >95% des Ausgangsstoffes Vanilleschote wären. Ansonsten könnte zwar sehr theoretisch „natürliches Aroma“ (Reiskleie) tituliert werden, was praktisch jedoch kein absatzorientierter Hersteller deklarieren würde. Die Wirtschaftlichkeit mit >95% Vanilleschote ist jedoch zweifelhaft.

Beispiel 2: Spezifität für Produktreinheit – Enzymatische Synthese reiner Enantiomere

Beim „Nachbau“ von in der Natur entdeckten Substanzen, sowie auch bei deren Isolierung ist ein wesentliches Problem, dass Moleküle in mehreren Enantiomerkonfigurationen auftreten können. Dabei weist meist nur eines der möglichen Enantiomere eines Moleküls die gewünschte Aromenote auf bzw. schmeckt deutlich intensiver als die anderen. Unter Voraussetzung der Kenntnis der jeweiligen Wirkungsmechanismen der genutzten Enzyme und/oder Stoffwechselwege der eingesetzten Mikroorganismen lassen sich gezielt die aromatisch vorteilhaftesten Enantiomere produzieren. Diese Möglichkeit ist wiederum mit geringeren Produktionskosten (es wird nur das produziert, was man braucht) und geringeren Einsatzmengen des Aromapräparates verbunden (es ist das wirkungsvollste drin und keine Mischung mit Nichtwirksamem). Bortoloni et al. (2013) gelang es in diesem Zusammenhang die Enantiomere 3R und 3S des Aromastoffes 3-Hydroxy-3-Methylnonan-2,4-dion (wesentliche Aromakomponente von Grüntee) in äußerst hoher Reinheit mittels der beiden aus dem Bakterium *Bacillus licheniformis* isolierten Enzyme Acetylacetoin-Synthase und Acetylacetoin-Reduktase herzustellen.

Beispiel 3: Komplexe Zellen statt teurer Enzymisolate – Aromen durch Nutzung ganzer Hefezellen

Die Verwendung der in den Anfängen der biotechnologischen Erzeugung von Aromen gerne aufgrund ihrer Kontrollierbarkeit genutzten isolierten Enzyme wird mehr und mehr durch die Nutzung ganzer Mikroorganismen mit ihren natürlich enthaltenen oder rekombinant eingebrachten Enzymen verdrängt. Damit lassen sich Zeit- und Kostenaufwand der Enzymisolierung und -aufreinigung, sowie Coenzyme einsparen. Außerdem sind Aktivität und Stabilität der Enzyme

in ihrem natürlichen System - der MO-Zelle - höher als in isolierter Form. So wurden beispielsweise durch Bioreduktion in unterschiedlichsten Hefestämmen die beiden bedeutenden Aromastoffe (1R,4R)-Dihydrocarvon (Minznote) und (1R)-Myrtenol (Beerennote) hergestellt (Goretti et al., 2013).

Beispiel 4: Variabilität in Medien – Biosynthese von Aromaestern im Medium Kokosnuss-Sahne

Auch die vorteilhafte Wahl des Substrates und günstige Kombination aus diversen Mikroorganismen und Enzymen kann dazu beitragen, biotechnologische Prozesse optimal zur Gewinnung von Aromen zu nutzen. So gelang es beispielsweise mittels einer Kombination aus alkoholischer Fermentation durch die Hefe *Saccharomyces cerevisiae* unter Zugabe einer kommerziell erhältlichen Lipase (Palatase) im Medium Kokoscreme die Aromen Octanoat, Ethyldecanoat und Ethyllaurat zu produzieren (Sun et al., 2013). Dabei zeichnet sich die Kokosnuss-Sahne (eingedickte Kokosmilch) als Medium durch ihren niedrigen Preis und ihren hohen Gehalt an den Ausgangssubstanzen Octansäure und diversen mittelkettigen Fettsäuren, sowie ihrer prinzipiellen Eignung zur Hefenaufzucht aus.

Beispiel 5: Komplexe Aromamischungen aus komplexen Reststoffen, wie z.B. Apfeltrester

Sogar die Kombination aus Pilzkulturen und komplexen Lebensmittelreststoffen als Substraten zur Herstellung komplexer und dennoch harmonisierender Aromamischungen kann zielführend sein. Nach diesem Prinzip wurden etwa 30 verschiedene Basidiomycetenstämme (Pilze) mit 7 verschiedenen Reststoffmedien wie Apfeltrester, Weintreber, Kaffeesatz, Waffelbruch etc. kombiniert, wobei einige Kombinationen zur Produktion interessanter komplexer Aromamischungen fähig waren (Bosse et al., 2013).

Wie der Versuchsaufbau von Bosse et al. (2013) (Abb. 2.2.1), sowie der Auszug typischer Kombinationen zur Biovanillinherstellung (Tab. 2.2.13) illustrieren, sind für jeden Anwendungszweck zahlreiche Kombinationen zu testen, um Möglichkeiten auszuloten und letztlich optimale Qualität und hohe Produktionseffizienz zu erreichen. Derzeit hinken die Ausbeuten der biotechnologischen Aromenherstellungspraxis den chemischen Methoden (noch) in ihrer Ausbeute und damit Kosteneffizienz hinterher, womit für Billigprodukte die synthetisch gewonnenen Aromen weiterhin mittelfristig den Markt anführen werden. Die rege Forschung auf dem Gebiet der biotechnologischen Herstellung, könnte jedoch langfristig zu einer konkurrenzfähigen „natürliche“ Alternative werden. Kontinuierlich werden zahlreiche neue Wege entdeckt um die Produktionseffizienz weiter zu verbessern. Dennoch ist man in der tatsächlichen industriellen Umsetzung aufgrund der rechtlichen Unsicherheiten („bleibt das jetzt natürlich?“) und der Befürchtung geringer Konsumentenakzeptanz bei Bekanntwerden der dahinterstehenden biotechnologischen Produktion zurückhaltend (z.B. Davies & Deroles, 2014).

Tab 2.2.1: Auszug erforschter Substrat-MO-kombinationen zur Herstellung von „Biovanillin“ (Kaur & Chakraborty, 2013)

Substrate	Microorganisms employed	Yield (g/l)
Eugenol	<i>Pseudomonas</i> sp. HR199	2.6
	Recombinant <i>E. coli</i> XL1-Blue (pSKvaomPcalAmcalB) and <i>E. coli</i> (pSKechE/Hfcs)	0.3
	<i>Pseudomonas</i> sp. HR199	0.3
	<i>Amycolatopsis</i> sp. HR167(pRLE6SKvaom)	–
	<i>Amycolatopsis</i> sp. HR167; <i>Rhodococcus opacus</i> PD630	Trace amounts
	<i>Aspergillus niger</i>	–
	<i>P. resinovorans</i> SPR1	0.24
	<i>Bacillus subtilis</i>	0.9
Isoeugenol	<i>Pseudomonas putida</i> I58	Trace amounts
	<i>Arthrobacter</i> sp. TA13	Trace amounts
	<i>Bacillus fusiformis</i> SW-B9	32.5
	<i>Bacillus subtilis</i> HS8	1.36
	<i>Bacillus fusiformis</i> CGMCC1347	8.1
	<i>Pseudomonas chlororaphis</i> CDAE5	1.2
	<i>Bacillus pumilus</i> S-1	3.8
	<i>Pseudomonas putida</i> IE27	16.1
	Recombinant <i>Escherichia coli</i> BL21(DE3)	28.3
	<i>Pseudomonas nitroreducens</i> Jin 1	–
Ferulic acid	<i>Candida galli</i>	0.58
	<i>Psychrobacter</i> sp. Strain CSW4	1.28
	<i>Streptomyces setonii</i> ATCC 39116	>10
	Mutant <i>Pseudomonas putida</i>	2.247
	<i>P. cinnabarinus</i> MUCL39533	0.16
	<i>P. cinnabarinus</i> MUCL39533	0.584
	<i>Pseudomonas</i> sp.	0.0085
	<i>Pseudomonas putida</i>	>10
	<i>Streptomyces halstedii</i> GE107678	0.10–0.15
	<i>Escherichia coli</i> strain JM109/pBB1	0.006
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> AN103	–
	Recombinant <i>E. coli</i>	1.1
	<i>Aspergillus niger</i> CGMCC0774, <i>Pycnoporus cinnabarinus</i> CGMCC1115	5
	Lactic acid bacteria	Trace amounts
	<i>Amycolatopsis</i> sp. HR167	>10
	<i>Streptomyces</i> sp. V-1	19.2
	<i>E. coli</i> JM109 (pBB1)	2.52
	Recombinant <i>E. coli</i>	5.14
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> BF13	–
	Recombinant <i>E. coli</i>	6.6 kg/kg biomass

chen biotechnologischen Produktion oder Isolierung und die nachfolgenden Schritte zur Generierung der Transport/Lagerfähigkeit und Dosierbarkeit, sowie zum Erhalt der Stabilität der Aromen zu verstehen sind. Insbesondere ist dies für „natürliche Aromen“ von Relevanz, zumal die Substanzen tendenziell im natürlichen Verbund der Substanzen stabilisiert vorliegen, isoliert jedoch entsprechend instabil sind. Außerdem sind viele aromatisierende Moleküle an sich unter den Verarbeitungs- (Hitze, mechanischer Energieeintrag, Sauerstoff- und Lichteinwirkung etc.) und Lagerbedingungen in den Lebensmitteln (z.B. neutrale Pflanze, saure Getränke etc.) leicht degradierbar. Ein sehr bedeutendes aromagebendes, instabiles Molekül ist Citral (Zitrusaroma), welches in der wässrigen, sauren Lösung der typischen Zitrusgetränke nicht stabil ist. Es besteht aus den beiden Isomeren Neral und Geranial, welche beide bei geringen pH-Werten sowie Sauerstoffeintrag degradieren. Dabei verlieren sie ihr Zitrusaroma und bilden diverse *off-flavours* (Yang et al., 2011). Die Stabilisierung von Citral hat in den letzten Jahren viele wissenschaftliche Studien und Ansätze hervorgebracht, jedoch noch nicht die ultimative Lösung.

Eine ganze große Gruppe für die Formulierungstechnologie herausfordernde Aromen sind natürliche Öle wie Citrusöl, Kaffeeöl, Petersilieextrakt etc. Dabei handelt es sich um öllösliche Substanzen, deren Löslichkeit in wässrigen Getränken zumindest Emulgatoren, aber meist noch mehr Zusatzstoffe erfordert. Lange war die Formulierung auf die Herstellung simpler Emulsionen und Trocknung (vorwiegend Sprühtrocknung) beschränkt. „Normale“ Emulsionen liefern jedoch kaum klare Getränke. Die konventionellen Trocknungsverfahren haben für empfindliche aromatische Getränke auch ihre Grenzen. Der aufstrebende Trend im Aromen-Formulierungsbereich sind deshalb Nanoemulsionen, die sich ihrerseits mit *multilayer-emulsions*, dem Einbringen von Zusätzen, wie etwa Antioxidantien oder „(Mikro-)Verkapselung“, durch Sprüh- oder Wirbelschichttrocknung usw. kombinieren lassen.

Unter **Nanoemulsionen** versteht man Emulsionen deren Tröpfchengröße deutlich geringer (ca. um den Faktor 10) als diejenige vergleichbarer „herkömmlicher“ Emulsionen ist. Das entspricht in absoluten Zahlen in der Regel einer Tröpfchengröße von <100 nm. Sie weisen hohe kinetische, aber geringe thermodynamische Stabilität auf. Nanoemulsionen bestechen durch geringe Viskosität, hohe optische Transparenz, Resistenz gegenüber Ausflocken/Absetzen und Oxidation (Maswal & Dar, 2014). Hergestellt werden Nanoemulsionen aus „normalen Emulsionen“ durch Behandlung mit Ultrahochdruckhomogenisatoren (z.B. „Microfluidizer“). Der Erfolg der Herstellung wird neben der Nutzung der Zusammensetzung und dem Anteil der äußeren Phase und der Tröpfchengröße auch von der Zusammensetzung der inneren Ölphase (also des Aromaöls etc.) bestimmt (Rao & MacClementis, 2012). Ein Beispiel für die Sinnhaftigkeit der Kombination der Nanoemulsion mit Zusätzen ist die Verbesserung der chemischen Stabilität von Citral durch Zusatz von natürlichen Antioxidantien wie beta-Carotin bzw. Schwarzteeextrakt (Yang et al., 2011).

Mehrphasenemulsionen (*Multilayer emulsions*) zeigen gegenüber herkömmlichen Emulsionen eine erhöhte Stabilität gegenüber Partikelaggregation, Hitze- und Sauerstoffeinwirkung, Gefrier-/Tauzyklen etc. Sie werden durch mehrfache Emulgierung aus „normalen“ Emulsionen aufgebaut. Die Nutzung der Ladungsunterschiede in den Schichten, soll von Vorteil für die Multilayer Stabilität sein. So stabilisierten etwa Yang et al. (2011) Citral durch *coating* mit kationischen Biopolymerschichten.

Unter „**(Mikro-)Verkapselung**“ wird zumeist das Trocknen der Aromen unter Zusatz von Trocknungshilfsmitteln, die eine äußere Hülle um das eigentliche Aroma bilden, verstanden. Also quasi eine Emulsion, bei der zumindest die äußerste Schicht trocken ist. Die meist genutzten „Ausenschichten“ sind dabei diverse (modifizierte) Stärken, Maltodextrin und Cyclodextrine. Wasabi- Aroma, das unbehandelt bereits bei ca. 37° C in Komponenten mit Knoblauch-*off-flavour* zerfällt, soll durch die Einkapselung in den modifizierten Stärken in sterilisiertem Dosen-thunfisch im Vergleich zu verkapseltem Aroma länger intensiver in seiner ursprünglichen Note wahrgenommen werden (Ratanasiriwat et al., 2013). Für in *Gummi arabicum* mikroverkapseltes

Kaffeeöl konnte eine bessere Oxidationsstabilität auch bei erhöhten Temperaturen bestätigt werden (Frascarelli et al., 2012). Diese Beispiele zeigen, dass verkapselte Aromen die oftmals notwendigen thermischen Prozesse der Lebensmittelindustrie überstehen können.

2.5.5. Abgrenzungs- und Einordnungsprobleme

Das in der FIAP-Studie 2010 (Berghofer, 2010) ausführlich beschriebene und diskutierte Problem der Abgrenzung der Aromen im Allgemeinen gegenüber allen anderen möglichen Regelungsbereichen innerhalb ihrer eigenen Klassen stellt nach wie vor die Industrie, sowie wie Juristen vor Einzelfallentscheidungen nach Plausibilität.

2.5.5.1. Zulassungspflichtig natürlich- nicht zulassungspflichtig natürlich

Nach der Verordnung (EU) Nr. 1334/2008 unterliegen nur Aromaextrakte aus Stoffen pflanzlichen, tierischen oder mikrobiologischen Ursprungs, die keine Lebensmittel sind, der Zulassungspflicht. Ausgangsstoffe, die bis zum Inkrafttreten der Verordnung verwendet wurden gelten jedoch im Sinne der Verordnung als Lebensmittel.

Die Definition Lebensmittel im Sinne der VO ist damit weit gefasst. Während bei färbenden Extrakten eher der Weg beschritten wurde/wird, dass nur „richtige“ Lebensmittel (Spinat, Karotte, rote Beete etc.) als Lebensmittel-Extrakte bezeichnet wurden/werden, wurde/wird bei Aromen ein breiteres Spektrum miteinbezogen. Man sucht nun für strittige Ausgangsstoffe (Hölzer, andere Pflanzenteile, Reststoffe) nach Hinweisen zu Lebensmittelverwendung in anderen Kulturkreisen und „Omas Kochbüchern“. Hier besteht sehr viel Interpretationsspielraum. Mehrmals wurde die Befürchtung geäußert, dass *de facto* der Hersteller über die Einordnung (nach Omas Kochbuch) bestimmt.“

2.5.5.2. Arzneimittel

Neben ihren speziellen sensorischen besitzen viele Aromen auch andere interessante Eigenschaften, wie z.B. antimikrobielle (z.B. Vanillin, Bestandteile essentieller Öle), antifungale, antivirale, antioxidative (z.B. Vanillin, Eugenol), fettreduzierende, blutdruckregulierende (z.B. 2-Hexenal) oder entzündungshemmende (z.B. 1,8-Cineol) Eigenschaften. Damit stehen sie naturgemäß Pharmazeutika nahe (Berger, 2009) und sind nicht klar von diesen abzugrenzen. Grundsätzlich galt und gilt, dass „typische“ Arzneipflanzen nicht zur Herstellung von Lebensmittelaromen genutzt werden sollen.“ Nun ist die Begriffsbreite der Arzneipflanze sehr subjektiv. Insbesondere für den im aufstrebenden befindlichen Bereich der Aromaextrakte (*per definitionem* natürlich- siehe dazu 2.3) liefert diese Abgrenzung Diskussionsstoff (siehe Kap. 1.4.2 Multifunktionsextrakte).

2.5.5.3. Zusatzstoff

Neben pharmazeutischen Wirkungen erfüllen Aromen - vor allem Aromaextrakte - auch viele andere Funktionen, wobei vor allem für Farbgebung, antioxidative und konservierende Eigenschaften zahlreiche Hinweise vorliegen (siehe auch Kap. 1.4. - Extrakte). Der jeweilige Hauptzweck der Verwendung wird richtungsweisend für die Zuordnung Aroma oder Zusatzstoff sein. Daneben stellt die ausschließliche Kennzeichnungspflicht der Hauptfunktion eine Herausforderung dar und bietet Irreführungspotential.

3. Enzyme

3.1. Einleitung

Die Ausführungen zu diesem Kapitel sind als Weiterführung der 2007 erschienen Broschüre „Lebensmittelenzyme in der EU - Herstellung, Anwendungen“ (Spök & Proksch, 2007), sowie der Broschüre „Zusatzstoffe, Aromen und Enzyme in der Lebensmittelindustrie“ (Berghofer, 2010) anzusehen. Es werden die seit 2010 stattgefunden rechtlichen und technischen Entwicklungen behandelt und diskutiert.

Enzyme können aufgrund ihrer vielfältigen und spezifischen Wirkungen pointiert als „Heinzelmännchen der Lebensmitteltechniker“ bezeichnet werden. Ihre Bedeutung und ihre Einsatzgebiete werden daher in Zukunft noch weiter gewaltig ansteigen. Insbesondere auch deswegen, weil neue Gewinnungs- und Produktionstechniken, sowie neue Methoden, um neue Enzymfunktionen zu ermitteln, bereits zur Verfügung stehen oder in Zukunft zur Verfügung stehen werden.

3.2. Rechtlicher Entwicklungsstand seit 2010

Mit der Erlassung der Verordnung (EG) Nr. 1332/2008 über Lebensmittelenzyme und der Verordnung (EG) Nr. 1331/2008 über ein einheitliches Zulassungsverfahren für Lebensmittelzusatzstoffe, -enzyme und -aromen wurde in der EU begonnen einheitliche Rechtsvorschriften zur Verwendung von Enzymen im Lebensmittelbereich einzuführen. Bereits existierende einzelstaatliche Bestimmungen auf diesem Gebiet sollen damit auf gemeinschaftlicher Ebene harmonisiert werden.

Frankreich und Dänemark hatten bereits detaillierte Regelungen für die Verwendung von Enzymen in Lebensmitteln; Frankreich sogar eine detaillierte Liste von Enzymen, die als Prozesshilfsmittel in Lebensmitteln dienen, wobei in dieser Liste auch die Einsatzgebiete und die Wirkung dieser Enzyme angeführt sind (Arrêté du 19 Octobre, 2006).

Ausgenommen von diesen neuen EU-Regelungen sind Lebensmittelenzyme, welche zur Produktion von Verarbeitungshilfsstoffen und Lebensmittelzusatzstoffen verwendet werden, weil die Sicherheit von Zusatzstoffen bereits anderweitig geregelt ist. Interessanterweise gilt diese Sichtweise nicht für Aromen und „Neuartige Lebensmittel“ (*novel food*), obwohl auch diese beiden Gruppen eine Sicherheitsbewertung durchlaufen müssen. Das bedeutet also, dass Enzyme, die zur Herstellung dieser Gruppen eingesetzt werden, sehr wohl der Regelung unterworfen sind.

Ebenfalls ausgenommen sind Mikroorganismenkulturen, obwohl diese ebenfalls Enzyme in Lebensmitteln produzieren können. Diese Ausnahme gilt für traditionell fermentierte Lebensmittel, aber auch für neue biotechnologische Verfahren, wie beispielsweise Schutzkulturen.

Eine weitere Ausnahme sind Lebensmittelenzyme, die Lebensmitteln auf Grund ihrer ernährungsphysiologischen Wirkung zugesetzt und verzehrt werden.

Vorläufiger Endpunkt dieser rechtlichen EU-Harmonisierung soll die Erstellung einer Gemeinschaftsliste (Positivliste) sein, welche alle in der EU erlaubten Enzyme erfasst. Voraussetzung zur Aufnahme eines Enzyms in diese Positivliste ist ein entsprechender Antrag auf Zulassung und eine darauf basierende Sicherheitsbewertung durch die EFSA. Diese Aufgabe wurde der EFSA von der Europäischen Kommission übertragen. Die Frist zur Einbringung dieser Anträge wurde von der Eu-

ropäischen Kommission von ursprünglich 11. September 2014 bis zum 15. März 2015 verlängert.

Die EFSA hat in zwei Leitlinien festgelegt, wie die Sicherheitsbewertung von Enzymen erfolgen wird, und welche Daten die Antragsteller liefern müssen (EFSA, 2009 b; EFSA, 2014 f).

Wie viele Anträge zu erwarten und von der EFSA zu bearbeiten sind, kann in etwa aus der aktuellen AMFEP-Liste (AMFEP, 2014) der kommerziellen Enzyme und aus der Enzymliste der französischen Verordnung (Arrêté du 19 Octobre, 2006) abgeleitet werden. Erstere Liste (Stand April 2014) umfasst 194, die französische Liste ca. 240 Enzyme. Es sind hier viele Enzyme mit gleicher Wirkung aber aus unterschiedlichen Mikroorganismenarten inkludiert. Schätzungen der EFSA selbst gehen von bis zu 300 Anträgen in den nächsten Jahren aus (EFSA, 2014 g). Bis Anfang August 2014 sind bereits 47 Anträge bei der EFSA eingelangt.

Durch die Möglichkeit einer Gruppensicherheitsbewertung von Enzymen verschiedener Hersteller (z.B. Enzyme mit der gleichen katalytischen Wirkung aus derselben Quelle), kann die Zahl der Anträge verringert oder deren Bearbeitung beschleunigt werden. Für Enzyme aus gentechnisch veränderten Organismen ist eine solche Gruppenbewertung nicht möglich. Hier muss für jedes Enzym ein separater Antrag eingereicht werden (Anonym, 2014 a).

Nach Ablauf der Frist werden alle eingelangten Anträge von der EFSA publiziert und sukzessive abgearbeitet. Mit Stand vom 20. April 2015 liegen bereits fünf positiv erledigte Anträge seitens der EFSA vor: Zulassung von Thrombin, 3 Lipasen und einer Xylanase (EFSA, 2015).

Aus diesen beiden Zulassungen ist schon klar ersichtlich, dass die EFSA nur reine Enzyme beurteilt. Die Charakterisierung erfolgt in beiden Fällen über die pH- und Temperatur-Optimas, sowie über den Gehalt an Protein, Asche, Wasser und Schwermetallen, sowie den Gesamtgehalt an organischer Trockensubstanz (TOS = *total organic solids*). Letzterer Wert wird folgendermaßen errechnet:

$$TOS [\%] = 100 - (\text{Asche} + \text{Wasser} + \text{Verdünnungsmittel oder Trägermaterial})$$

Dieses vom JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) erstellte TOS-Konzept wurde auch auf Anraten der AMFEP (AMFEP, 2009) von der EFSA übernommen. Es soll das Problem beheben, dass Enzyme bzw. Enzympräparate eben keine reinen Chemikalien sind, verschiedene Aktivitäten und unterschiedliche Formen aufweisen (flüssige bzw. trockene Präparate). In der Praxis wird der Großteil der organischen Substanz nicht das Enzym *per se* sein. In diesem Wert können durchaus auch andere Enzyme enthalten sein, so dass das gesamte Präparat auch enzymatische Nebenaktivitäten aufweisen kann.

Es ist vorgesehen alle Anträge zu bearbeiten und erst danach die gesamte Liste auf einmal zu publizieren und rechtswirksam werden zu lassen. Aufgrund des Umfangs dieser Beurteilungsarbeit kann das einige Jahre in Anspruch nehmen, wahrscheinlich wird ein Abschluss nicht vor 2020 zu erwarten sein. Abb. 2.3.1 zeigt die Zeitschiene für die Umsetzung der Enzymregulierung in der EU. Daraus geht auch hervor, dass es sich um eine sogenannte offene Liste handelt, d.h. es sind nach Veröffentlichung der Gemeinschaftsliste weitere, neue Anträge möglich, um der technologischen Weiterentwicklung Rechnung tragen zu können.

Bis ein vollständiges EU-Verzeichnis für Lebensmittelenzyme erstellt ist, gelten die bisherigen nationalstaatlichen Regelungen. Bevor die Gemeinschaftsliste in Kraft tritt, werden Lebensmittelenzyme, die nicht als Zusatzstoffe Verwendung finden, weiterhin als Verarbeitungshilfsstoffe geregelt.

Food Enzymes Regulation: Timeline

Amfep/09/01 bis

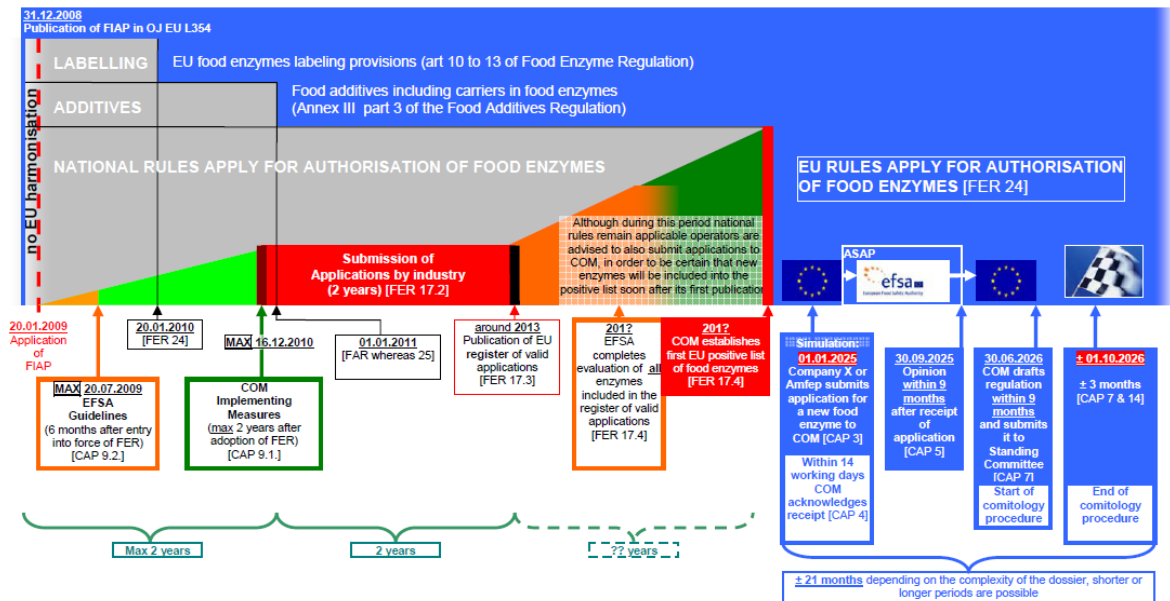


Abb. 2.3.1: Zeitschiene für die Umsetzung der Enzymregulierung in der EU

Die Gemeinschaftsliste der EU wird voraussichtlich für jedes Enzym folgende Angaben beinhalten:

- Bezeichnung des Enzyms (Name, Synonyme)
- seine Spezifikation wie Herkunft und Reinheit
- die Lebensmittel, in denen das Enzym eingesetzt werden darf
- die Bedingungen, unter denen es verwendet werden darf
- Verkaufsbeschränkungen
- erforderlichenfalls spezifische Anforderungen in Bezug auf die Kennzeichnung von Lebensmitteln, in denen die Lebensmittelenzyme verwendet wurden, um sicherzustellen, dass der Endverbraucher über den physikalischen Zustand des Lebensmittels oder die spezifische Behandlung, der es unterzogen wurde, informiert ist.

3.3. (Effekt)-Kennzeichnung von Enzymen - Rechtliche Begriffsbestimmungen und Abgrenzungen

Um die weiter unten diskutierten Abgrenzungen und Einordnungen vornehmen zu können, ist es zweckmäßig, sich vorerst einige in der VO Nr. 1332/2008 und VO Nr. 1333/2008 angeführte Definitionen und Begriffsbestimmungen vor Augen zu halten.

Auszug aus den Erwägungsgründen der VO Nr. 1332/2008:

(6) Lebensmittelenzyme sollten nur zugelassen und verwendet werden, wenn sie den in dieser Verordnung festgelegten Kriterien genügen. **Lebensmittelenzyme müssen in ihrer Verwendung sicher sein, es muss eine technologische Notwendigkeit für ihre Verwendung geben, und ihre Verwendung darf die Verbraucher nicht irreführen.** Die Irreführung der Verbraucher kann sich unter anderem aus folgenden Aspekten ergeben: Art und Frischegrad eines Erzeugnisses, Qualität der verwendeten Zutaten, Naturbelassenheit eines

Erzeugnisses bzw. Natürlichkeit des Herstellungsverfahrens oder Nährwert eines Erzeugnisses. ...

(18) Lebensmittelenzyme fallen unter den Begriff des Lebensmittels gemäß der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 und müssen deshalb gemäß der Richtlinie 2000/13/EG bei **Verwendung in Lebensmitteln als Zutaten** in der Kennzeichnung des Lebensmittels angeführt werden.

Lebensmittelenzyme sollten mit ihrer technologischen Funktion in Lebensmitteln bezeichnet werden, gefolgt vom spezifischen Namen des Lebensmittelenzyms. Es ist jedoch eine Ausnahme von den Vorschriften über die Kennzeichnung vorzusehen für Enzyme, die keine technologische Funktion im Enderzeugnis erfüllen, und nur als Ergebnis einer Übertragung aus einer oder mehreren Zutaten oder wegen einer Verwendung als Verarbeitungshilfsstoff im Lebensmittel vorhanden sind. Die Richtlinie 2000/13/EG sollte entsprechend geändert werden.

Auszug aus der VO Nr. 1332/2008:

Artikel 3

Begriffsbestimmungen

(1) Für die Zwecke dieser Verordnung gelten die Begriffsbestimmungen der Verordnungen (EG) Nr. 178/2002, (EG) Nr. 1829/2003 und (EG) Nr. 1333/2008.

(2) Ferner gelten die folgenden Begriffsbestimmungen:

a) Ein „**Lebensmittelenzym**“ ist ein Erzeugnis, das aus Pflanzen, Tieren oder Mikroorganismen oder daraus hergestellten Erzeugnissen gewonnen wird; dazu gehört auch ein Erzeugnis, das durch ein Fermentationsverfahren mit Mikroorganismen gewonnen wird, und das

- i) ein Enzym oder mehrere Enzyme enthält, die die Fähigkeit besitzen, eine spezifische biochemische Reaktion zu katalysieren, und
- ii) einem Lebensmittel zugesetzt wird, um auf irgendeiner Stufe der Herstellung, Verarbeitung, Zubereitung, Behandlung, Verpackung, Beförderung **oder Lagerung von Lebensmitteln einen technologischen Zweck zu erfüllen.**

b) Eine „**Lebensmittelenzym-Zubereitung**“ ist eine Formulierung von einem oder mehreren Lebensmittelenzymen, der Stoffe wie beispielsweise Lebensmittelzusatzstoffe und/oder andere Lebensmittelzutaten beigegeben sind, um die Lagerung, den Verkauf, die Standardisierung, die Verdünnung oder die Lösung der Lebensmittelenzyme zu erleichtern.

Auszug aus der VO Nr. 1332/2008:

Artikel 3

Begriffsbestimmungen

(2) Für die Zwecke dieser Verordnung gelten ferner folgende Begriffsbestimmungen:

b) „**Verarbeitungshilfsstoff**“: ein Stoff, der

- i) nicht als Lebensmittel verzehrt wird
- ii) bei der Verarbeitung von Rohstoffen, Lebensmitteln oder deren Zutaten **aus technologischen Gründen während der Be- oder Verarbeitung verwendet wird und**
- iii) unbeabsichtigte, technisch unvermeidbare Rückstände des Stoffes oder seiner Derivate im Enderzeugnis hinterlassen kann, sofern diese Rückstände gesundheitlich unbedenklich sind und **sich technologisch nicht auf das Enderzeugnis auswirken**

In Tab. 2.3.1 werden übersichtsmäßig nun alle derzeit vorstellbaren Möglichkeiten für den Einsatz von Enzymen im Lebensmittelbereich angeführt, die im Folgenden auf der Basis der in der Verordnung angeführten Begriffe und Definitionen der Reihe nach diskutiert werden. Eine wichtige Frage ist dabei, ob das Enzym auf dem verzehrfertigen Lebensmittel zu deklarieren ist, und wenn ja, wie das erfolgen muss. Prinzipiell kann bei Unklarheiten der Einordnung der Entscheidungsbaum des *Guidance Documents* der Kommission (Guidance Document, 2014) heran gezogen werden.

Tab. 2.3.1: Vorstellbare Möglichkeiten für den Einsatz von Enzymen im Lebensmittelbereich

	Mögliche Enzymwirkung	Enzym ist im Endprodukt (fertiges Lebensmittel) noch wirksam bzw. funktionell	Enzym ist zu betrachten als
1.1	Enzym wird bei der Verarbeitung oder erst dem verzehrfertigen Lebensmittel zugesetzt und hat im Endprodukt nur eine ernährungsphysiologische Wirkung.	ja	Enzym fällt nicht unter die Regelungen der VO 1233/2008.
1.2	Enzym wird während der Verarbeitung oder erst dem verzehrfertigen Lebensmittel zugesetzt und ist in Letzterem technologisch wirksam.	ja	Früher als deklarationspflichtiger Lebensmittelzusatzstoff, nach der neuen Regelung als deklarationspflichtige Zutat
1.3	Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt, reversibel inaktiviert oder es überdauert die Verarbeitung zumindest teilweise und ist auch im verzehrfertigen Lebensmittel noch technologisch wirksam, wenn das entsprechende Substrat vorhanden ist und pH-Wert und Temperatur das ermöglichen.	ja, zumindest teilweise	Entscheidungshilfe durch den "Entscheidungsbaum" lt. Guidance Document (2014)
2.1	Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt, reversibel inaktiviert aber nicht entfernt. Die technologische Wirkung des Enzyms ist ausschließlich auf die Herstellung beschränkt. Im verzehrfertigen Lebensmittel ist das Enzym noch aktiv oder teilaktiv enthalten. Eine Wirkung ist aber trotz Restaktivität aufgrund der Bedingungen im Lebensmittel auszuschließen (z.B. kein geeignetes Substrat vorhanden, Bedingungen außerhalb des Enzymwirkungsbereiches).	theoretisch ja, praktisch nein	Nicht deklarationspflichtiger Verarbeitungshilfsstoff.
2.2	Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt und auch wieder vollständig entfernt. Die technologische Wirkung des Enzyms ist ausschließlich auf die Herstellung beschränkt. Im verzehrfertigen Lebensmittel sind keine Auswirkungen gegeben.	nein	Nicht deklarationspflichtiger Verarbeitungshilfsstoff
2.3	Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt, vollständig und irreversibel inaktiviert (denaturiert) aber nicht entfernt. Die technologische Wirkung des Enzyms ist ausschließlich auf die Herstellung beschränkt. Im verzehrfertigen Lebensmittel sind keine Auswirkungen gegeben.	nein	Nicht deklarationspflichtiger Verarbeitungshilfsstoff
2.4	Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt. Seine Wirkung bei der Verarbeitung hat aber keine technologischen Zwecke, sondern es soll andere Reaktionen durchführen oder Stoffe bilden, die erst im verzehrfertigen Lebensmittel Auswirkungen haben. Enzym wird dann aber im Laufe der weiteren Verarbeitung inaktiviert und ist im verzehrfertigen Lebensmittel in keiner Weise wirksam.	nein	???????

Möglichkeit 1.1: Enzym wird bei der Verarbeitung oder erst dem verzehrfertigen Lebensmittel zugesetzt und hat im Endprodukt nur eine ernährungsphysiologische Wirkung.

Der Anwendungsbereich der Verordnung (EU) Nr. 1332/2008 erstreckt sich nur auf Enzyme, die zur Erfüllung technologischer Funktionen einem Lebensmittel zugesetzt werden, und nicht auf solche, die zum Verzehr bestimmt sind, wie z.B. Enzyme zu Ernährungszwecken oder zur Verdauungsförderung (z.B. Laktase, Proteasen). Es geht in diesem speziellen Fall eher um Nahrungsergänzungsmittel als um Lebensmittel. Wie eine Deklaration in einem Lebensmittel erfolgen kann oder erfolgen muss, wird nicht durch die VO 1332/2008 geregelt.

Möglichkeit 1.2: Enzym wird während der Verarbeitung oder erst dem verzehrfertigen Lebensmittel zugesetzt und ist in diesem technologisch wirksam.

In der EU waren bisher nur diejenigen Enzyme geregelt, die im verzehrfertigen Lebensmittel eben eine technologische Wirkung (enzymatische Aktivität) ausüben. Im Prinzip waren das nur zwei Enzyme, nämlich Invertase (z.B. Süßwarenerzeugung) und Lysozym als Konservierungsmittel. Sie wurden als Zusatzstoffe deklariert und erhielten deshalb eine E-Nummer (Invertase E 1103, Lysozym E 1105). In Art. 18 der Verordnung (EU) Nr. 1333/2008 wird angeführt, dass beide Enzyme in die endgültige Gemeinschaftsliste aufzunehmen sind.

Alle Enzyme, die in diese Kategorie fallen (technologische Wirksamkeit im Endprodukt), werden in Zukunft als Lebensmittelzutat aufgefasst und sind laut Verordnung (EU) Nr. 1332/2008 in der Zutatenliste entsprechend anzuführen:

(18) Lebensmittelenzyme fallen unter den Begriff des Lebensmittels gemäß der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 und müssen deshalb gemäß der Richtlinie 2000/13/EG bei Verwendung in Lebensmitteln als Zu-

taten in der Kennzeichnung des Lebensmittels angeführt werden.

Lebensmittelenzyme **sollten mit ihrer technologischen Funktion in Lebensmitteln bezeichnet werden, gefolgt vom spezifischen Namen des Lebensmittelenzyms**. Es ist jedoch eine Ausnahme von den Vorschriften über die Kennzeichnung vorzusehen für Enzyme, die keine technologische Funktion im Enderzeugnis erfüllen, und nur als Ergebnisseiner Übertragung aus einer oder mehreren Zutaten oder wegen einer Verwendung als Verarbeitungshilfsstoff im Lebensmittel vorhanden sind.

Möglichkeit 1.3: Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt, reversibel inaktiviert oder es überdauert die Verarbeitung zumindest teilweise und ist auch im verzehrfertigen Lebensmittel noch technologisch wirksam, wenn das entsprechende Substrat vorhanden ist und pH-Wert und Temperatur das ermöglichen.

In diesem Fall kann der Entscheidungsbaum des *Guidance Documents* der Kommission (Guidance Document, 2014) zur Einordnung des Enzyms heran gezogen werden. Am besten wird dieser Fall an einem konkreten Beispiel dargelegt. Der Backwarenbereich ist einer der Bereiche, wo Enzyme in sehr großem Umfang eingesetzt werden, unter vielen anderen auch Amylasen. Es gibt handelsübliche alpha-Amylasen aus hochthermophilen Mikroorganismen, die bis zu 110° C noch hochaktiv sind, also bei diesen Temperaturen nicht denaturiert werden. Werden diese Amylasen dem Teig zugesetzt, können sie den Backprozess überstehen (Anonym, 2008). Bei Backen des Brotes werden in der Krume nämlich nicht mehr als 98-100° C erreicht. Im fertigen Brot kann deshalb so ein Enzym durchaus weiterwirken und zur Frischhaltung des Brotes (Verhinderung bzw. Verzögerung der Stärkeretrogradation durch teilweise Hydrolyse der Stärkopolymerketten) beitragen.

Das bedeutet also, die technologische Wirkung wird zumindest teilweise erst im Endprodukt erreicht. Demnach wäre das Enzym als Zutat zu kennzeichnen. Erfolgt keine Kennzeichnung, stellt sich die Frage, ob eine *Irreführung der Verbraucher* unter dem Aspekt *Art und Frischegrad eines Erzeugnisses* vorliegt.

In Zukunft kann durchaus erwartet werden, dass durch die Fortschritte in der Enzymtechnologie weitere thermostabile Enzyme auf den Markt kommen, die den Herstellungsprozess zumindest teilweise überleben und im verzehrfertigen Lebensmittel Restaktivitäten aufweisen. Es wird hier immer im Einzelfall zu prüfen sein, ob diese Restaktivitäten noch eine technologische Auswirkung im verzehrfertigen Lebensmittel haben.

Möglichkeit 2.1: Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt, reversibel inaktiviert aber nicht entfernt. Die technologische Wirkung des Enzyms ist ausschließlich auf die Herstellung beschränkt. Im verzehrfertigen Lebensmittel ist das Enzym noch aktiv oder teilaktiv enthalten. Eine Wirkung ist aber trotz Restaktivität aufgrund der Bedingungen im Lebensmittel auszuschließen (z.B. kein geeignetes Substrat vorhanden, Bedingungen außerhalb des Enzymwirkungsbereiches).

Theoretisch könnte das Enzym im verzehrfertigen Lebensmittel noch wirksam sein, die vorliegenden Bedingungen lassen aber keine Aktivität zu. In diesem Fall kann das Enzym wahrscheinlich als Verarbeitungshilfsstoff angesehen werden. Wenn nun - durch wen auch immer - im verzehrfertigen Lebensmittel die Bedingungen so geändert werden, dass eine Enzymwirkung möglich ist, entsteht aber eine völlig andere Sachlage.

Möglichkeit 2.2: Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt und auch wieder vollständig entfernt. Die technologische Wirkung des Enzyms ist ausschließlich auf die Herstellung beschränkt. Im verzehrfertigen Lebensmittel sind keine Auswirkungen gegeben.

Dieser Fall ist rechtlich eindeutig. Das Enzym ist ein Verarbeitungshilfsstoff und muss nicht deklariert werden.

Möglichkeit 2.3: Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt, vollständig und irreversibel inaktiviert (denaturiert) aber nicht entfernt. Die technologische Wirkung des Enzyms ist ausschließlich auf die Herstellung beschränkt. Im verzehrfertigen Lebensmittel sind keine Auswirkungen gegeben.

Obwohl das Enzym also noch inaktiv im fertigen Lebensmittel vorliegt, ist es aufgrund der Definition für Verarbeitungshilfsstoffe eindeutig als solcher anzusehen und nicht deklarationspflichtig.

Möglichkeit 2.4: Enzym wird während der Verarbeitung zugesetzt. Seine Wirkung bei der Verarbeitung hat aber keine technologischen Zwecke, sondern es soll andere Reaktionen durchführen oder Stoffe bilden, die erst im verzehrfertigen Lebensmittel Auswirkungen haben. Enzym wird dann aber im Laufe der weiteren Verarbeitung inaktiviert und ist im verzehrfertigen Lebensmittel in keiner Weise wirksam.

Bei der in der Tab. 2.3.4 angeführten Möglichkeit gibt auch der Entscheidungsbaum des Guidance Documents (2014) keine endgültige Klarheit Antwort, ob und wie das Enzym beziehungsweise seine Wirkung rechtlich einzuordnen ist. Diese Möglichkeit lässt sich ebenfalls am besten an einem konkreten, theoretischen Beispiel erläutern. Ho und Suzuki (2014) berichten, dass durch Zusatz des Enzyms γ -Glutamyltranspeptidase bei der Herstellung von Sojasoße und Miso der Gehalt an Glutamat (Anmerkung: Bei Zusatz von außen ein deklarationspflichtiger Zusatzstoff) und umami-wirksamen Peptiden im verzehrfertigen Endprodukt deutlich gesteigert werden kann, wodurch der sensorische Gesamteindruck verbessert wird. Zweifelsohne ist die Wirkung dieses Enzyms als technologisch anzusehen. Diese technologische Wirkung hat aber keinen Einfluss auf die Herstellung sondern nur auf das verzehrfertige Lebensmittel.

Wie ist nun eine spätere sensorische Auswirkung der technologischen Wirkung bei der Herstellung zu beurteilen? Ist das Enzym nur ein Verarbeitungshilfsstoff? Wenn ja, muss das Enzym nicht deklariert werden.

Nach der Auslegung der EU bei der Definition des Begriffes Zusatzstoff (siehe Kap. 1.10.5) könnten organoleptische Gründe ebenfalls als technologisch angesehen werden. Die technologische Wirkung in angeführtem Fall wird aber bei der Verarbeitung erzielt, und daher wäre dann keine Kennzeichnung des Enzyms notwendig.

Ein weiteres theoretisches Beispiel für diese Möglichkeit wäre die Behandlung eines Wurstbräts mit Proteasen, um durch Proteinhydrolyse umami-wirksame Peptide zu erzeugen. Damit die technologischen Eigenschaften des Bräts nicht beeinträchtigt werden, könnte nur ein Teil-Brät mit den Enzymen behandelt und dann mit dem Gesamtbrät vermischt und weiterverarbeitet werden. Der Zusatz von deklarationspflichtigen Geschmacksverstärkern könnte dadurch vermieden werden.

Einige Einsatzgebiete des schon lange handelsüblichen Enzyms Transglutaminase wären ebenfalls hier einzureihen. Dieses Enzym kann unter anderem dazu verwendet werden, um Fleisch- oder Fischzuschnitte wieder zu einer kompakten Masse zu verbinden beziehungsweise zu "verkleben". Das Enzym wirkt bei der Herstellung, ist im verzehrfertigen Lebensmittel noch enthalten und kann in diesem noch aktiv sein. Letzteres ist der Fall, wenn die Produkte nicht gekocht werden, wie z.B. bei rohem Lachsschinken. Deshalb sind einige Autoren der Ansicht, dass es sich hier nicht um einen Verarbeitungshilfsstoff, sondern um eine deklarationspflichtige Zutat handelt (Donner, 2011; Anonym, 2014). Außerdem wäre zu hinterfragen, ob mit dieser Vorgangsweise den Konsumenteninnen und Konsumenten nicht eine höherwertige Ware vorgetäuscht wird. Wenn diese Frage bejaht wird, darf das Enzym laut EU-VO 1332/2008 (siehe Erwägungsgrund 6) sowieso gar nicht ein-

gesetzt werden.

Eine weitere - zumindest theoretische - Möglichkeit wäre der Zusatz spezieller Lipasen während der Verarbeitung, um Emulgatoren (Mono- und Diglyceride) *in situ*, also direkt in den Lebensmitteln zu erzeugen.

Generell ist die Bildung von deklarationspflichtigen Zusatzstoffen durch Enzyme während der Herstellung im Lichte des „*clean labelling*“-Trends in Zukunft durchaus als realistisch anzusehen. Denkbar wäre hier neben der enzymatischen Bildung von Geschmackstoffen und Emulgatoren auch die enzymatische *in situ*-Bildung von Konservierungsmitteln, Farbstoffen usw. Nachdem die Zusatzstoffe ja nicht „zugemischt“ werden, müssten sie definitionsgemäß auch nicht deklariert werden. Das Enzym als Verarbeitungshilfsstoff wäre ebenfalls nicht zu deklarieren.

Abschließend zum Thema Enzymkennzeichnung ist noch festzuhalten, dass eine spezielle Kennzeichnung von Enzymen, die mit gentechnisch veränderten Organismen hergestellt wurden, grundsätzlich nicht vorgesehen ist. Für sie gelten die gleichen Kennzeichnungsregeln. Nur bei der Sicherheitsbewertung werden teilweise strengere Maßstäbe angelegt.

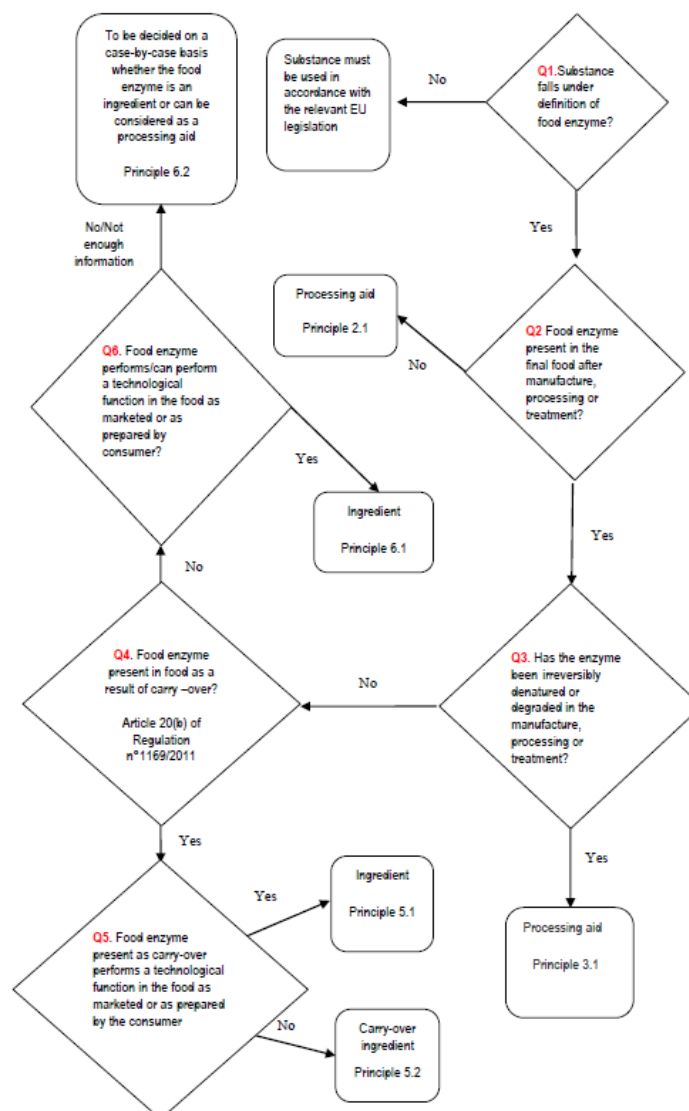


Abb. 2.3.2: Entscheidungsbaum zur Einordnung von Enzymen als deklarationspflichtige Zutat oder als nichtdeklarationspflichtiger Verarbeitungshilfsstoff (Guidance Document, 2014)

3.4. Nebenaktivitäten von Enzympräparaten

Nebenaktivitäten bei der Verwendung von Enzymen können grundsätzlich auf die im Folgenden beschriebenen zwei Ursachen zurückgeführt werden.

3.4.1. Substratähnlichkeit

Enzyme führen mit hoher Spezifität Reaktionen durch. Wenn aber Substrate mit ähnlicher Struktur vorliegen, können sie vom Enzym genutzt werden. Beispielsweise spalten einige Hemicellulasen auf Grund der Strukturähnlichkeit von Cellulose und Hemicellulosen auch Cellulose und umgekehrt (Mayer, 2012).

3.4.2. Vorliegen eines Enzymgemisches

Die in der Praxis eingesetzten Enzympräparate enthalten in den meisten Fällen nicht nur reines, isoliertes Enzym. Das lässt sich schon aus den Herstellungsverfahren ableiten. Die Aufreinigung von Fermentationssubstraten, das heißt die Gewinnung eines reinen Enzyms ist aufwändig und kostenintensiv. Es sind daher in Enzympräparaten auch andere Proteine enthalten, die ebenfalls Enzyme sein können (Froeck, 1999). Oft werden von den Enzym-Herstellern bewusst mehrere Enzyme bzw. Enzympräparate zusammen gemischt, um bestimmte Wirkungen zu erzielen (Ster-Enzym, 2014).

Für die Kennzeichnung ergeben sich aus der Tatsache von Nebenaktivitäten einige Probleme. Die EFSA beurteilt jeweils nur die angegebene Hauptaktivität. Wenn nun eine Effektkennzeichnung von Enzyme erfolgen soll, ist nur die Hauptaktivität von Relevanz, oder haben auch allfällige Nebenaktivitäten praktische Auswirkungen? Diese Frage wurde bis jetzt kaum wirklich behandelt.

3.5. Wirtschaftliche Daten und Fakten zu Verwendung von Enzymen im Lebensmittelbereich

Im Jahr 2009 waren 235 technische Enzyme auf dem europäischen Markt (Jany, 2014), davon entfielen

210	auf die Nutzung im Lebensmittelbereich;
224	wurden fermentativ aus 66 Mikroorganismenarten gewonnen;
94	wurden fermentativ mit Hilfe von gentechnisch veränderten Mikroorganismen gewonnen;
5	aus Tieren und
6	aus Pflanzen.

Der globale Markt für technische Enzyme im Segment „Lebensmittel und Getränke“ weist jährliche Wachstumsraten von ca. 5 % auf und soll von einem Marktvolumen von 0,975 Milliarden US-Dollar im Jahr 2013 auf 1,3 Milliarden US-Dollar im Jahr 2015 ansteigen (Binod et al., 2013; companiesandmarkets.com, 2014).

Diesen Markt teilen sich Enzymhersteller vor allem aus Europa und den USA, wobei Enzymhersteller aus China und Indien verstärkt auf den Markt drängen.

Derzeit hat die europäische „Association of Manufacturers and Formulators of Enzyme Products – AMFEP“ 21 Vollmitglieder und 10 assoziierte Mitglieder. Aus der Bezeichnung dieser Mitgliederorganisation geht schon hervor, dass nicht alle Mitglieder direkt Enzyme herstellen. Viele Firmen, die Enzyme und Enzympräparate auf den Markt anbieten, kaufen diese von den wirklichen Enzymproduzenten zu.

Innerhalb der Enzymproduzenten findet, wie in allen Bereichen der Lebensmittelherstellung, eine immer stärkere Globalisierung und Konzentration statt. Weltweit decken die drei größten Enzymhersteller bereits 74 % des Weltmarkts an technischen Enzymen ab (Höhn, 2014):

Novozymes	47 %
DuPont (Genencor)/Danisco (2011 erwarb DuPont eine Mehrheit an der Danisco A/S und brachte seine Tochter Genencor in die neue Firma ein)	21 %
DSM (hat bereits 1998 Gist-Brocades aufgekauft)	6 %

Vom Gesamtumsatz von Novozymes, als größter Enzymhersteller, von ca. 1,58 Milliarden Euro entfallen 27 % auf den Lebensmittel- und Getränkesektor, also ca. 0,405 Milliarden Euro (Höhn, 2014).

Es ist zu erwarten, dass diese Konzentration bei den Enzymherstellern noch weiter voran schreitet. Nicht zuletzt auch deswegen, weil die Enzymentwicklung und -zulassung immer höhere Kosten verursachen. Die Frage, die sich in diesem Zusammenhang ergibt, ist, ob ein steigender Konzentrationsgrad in Zukunft Innovationen fördert oder eher Innovationen unterdrückt.

3.6. Trends und Innovationen bei der Herstellung und Verwendung von Enzymen im Lebensmittelbereich

3.6.1. Auffinden neuer Enzyme bzw. neuer Einsatzmöglichkeiten für Enzyme

In der Vergangenheit wurden zur Auffindung nutzbarer Enzyme aus Mikroorganismen folgendermaßen vorgegangen: Mikroorganismen wurden aus den verschiedensten Bereichen (z.B. Boden, Ozean) isoliert, in Reinkultur angezüchtet und untersucht, welche Enzyme gebildet werden. Voraussetzung für diese Vorgangsweise ist, dass die Mikroorganismen auch im Labor kultivierbar sind. In weiterer Folge wurden Mikroorganismenstämme, welche geeignete Enzyme bilden können, gezüchtet und aus dem Fermentationsmedium die Enzyme gewonnen.

Mit der Entwicklung der neuen Biotechnologie stehen heute aber ganz andere Methoden zur Enzymgewinnung zur Verfügung. Damit kann das überwältigende Potential von Mikroorganismen, welches zum überwiegenden Teil durch die klassischen Kultivierungsmethoden nicht erfasst wird, ebenfalls genutzt werden. Wie groß dieses Potential ist, zeigt die Schätzung, dass 99,9 % der mikrobiellen Arten in Bodenhabitaten bislang nicht kultivierbar sind (Anonym, 2014 c).

Das grundlegende Prinzip der meisten Techniken zur Erschließung der bakteriellen Vielfalt ist die Isolierung der Gesamt-DNA – des sogenannten Metagenoms – aus Proben, die aus den verschiedensten Habitaten bzw. Biotopen gezogen werden. Damit werden sogenannte Metagenom-Bibliotheken (*metagenomic libraries*) gewonnen, welche die komplette Information aus einer Umweltprobe enthalten. Diese Informationen ermöglichen nachfolgend Struktur- und Funktionsanalysen (z.B. DNA-Sequenzen, die bestimmte Enzyme bilden) von nicht kultivierbaren Mikroorganismen mittels der klassischen Züchtungsmethoden. Dazu werden erhaltenen DNA-Sequenzen in kultivierbaren Mikroorganismen (Expressionswirt) übertragen. Falls die transferierte Erbinformation die Anweisung zum Zusammenbau eines Enzyms enthält, kann der neue Wirtsorganismus für diese „Umwelt-DNA“ anschließend in Bioreaktoren gezüchtet werden und dieses neue Enzym produzieren (Anonym, 2014 e; Urban & Adamczak, 2014).

3.6.2. Auffindung neuer Enzymfunktionen

Die Informationen von Metagenom-Datenbanken sind sehr umfangreich. Die Suche nach bestimmten Enzymfunktionen wird immer schwieriger und komplizierter. Österreichische Forscher haben deshalb ein zum Patent angemeldetes Suchsystem für Enzymfunktionen entwickelt, welches pointiert formuliert als „Enzym Google“ bezeichnet wird (Stanzer, 2014; Anonym, 2014 f).

Mit dieser Suchmaschine lässt sich die Tatsache nutzen, dass Enzyme aufgrund ihrer „katalytischen Promiskuität“ neben ihrer eigentlichen Aktivität völlig unabhängige chemische Reaktionen katalysieren können, also Nebenaktivitäten aufweisen (Steinkellner et al., 2014).

Eine weitere Methode, um zu neuen Enzymfunktionen zu kommen, ist das sogenannte „DNA shuffling“. Vereinfacht ausgedrückt, werden dabei mutierte Elterngene (DNA-Ketten) gespalten, die DNA-Bruchstücke gemischt und wieder zur ursprünglichen Kettenlänge zusammengesetzt (Ostermeier, 2003).

Ein völlig anderer, futuristischer, aber im Prinzip schon gangbarer Weg ist, zu einer gewünschten Reaktion ein künstliches Enzym - sozusagen am Reißbrett – zu konstruieren (Gross, 2013). Damit könnten auch Reaktionen katalysiert werden, die nicht im Repertoire der natürlichen Enzyme existieren.

3.6.3. Enzyme aus extremophilen Lebensformen

Ein Grund, warum der überwiegende Teil der Mikroorganismen in den diversen Habitaten mit herkömmlichen Isolierungsmethoden nicht erfasst werden kann, liegt darin, dass diese unter extremen Umweltbedingungen leben, also extremophil sind.

Prinzipiell gibt es folgende Möglichkeiten der Extremophilie:

- a) Thermophilie (Temperatur)
- b) Psychrophilie/Kryophilie (Kälte)

- c) Halophilie (Hoher Salzgehalt, geringe Wasseraktivität)
- d) Acidophilie und Alkaliphilie
- e) Barophilie/Piezophilie (Druck)
- f) Radiophilie (elektromagnetische Strahlung)

Enzyme aus diesen Mikroorganismen müssen und können ebenfalls unter solchen extremen Bedingungen wirksam sein und sind deswegen im Bereich der Lebensmittelverarbeitung von großem Interesse. Mit den oben genannten, heute zur Verfügung stehenden Methoden lassen sich solche Enzyme auffinden, in mesophilen Mikroorganismen exprimieren und damit technisch gewinnen.

Da in den extremophilen Organismen zum Großteil die gleichen metabolischen Vorgänge ablaufen, kann angenommen werden, dass für jedes Enzym aus mesophilen Organismen ein entsprechendes Gegen-Enzym aus extremophilen Organismen existiert.

3.6.3.1. Thermostabile Enzyme

Die Nutzung thermostabiler Enzyme, insbesondere Amylasen, zählt schon seit vielen Jahren zum Stand der Technik. Sie werden beispielsweise in großem Ausmaß in der Stärketechnologie verwendet.

Mit der Metagenom-Methode kann sehr leicht nach anderen, thermophilen Enzymen gesucht (gescreent) werden. Beispielsweise wurden tatsächlich schon zahlreiche neue thermostabile, lipolytische Enzyme aus nicht-kultivierbaren Bakterien gefunden (Rao et al., 2011; Tayyab et al., 2011). Denkbare Einsatzgebiete liegen in der Gewinnung und Verarbeitung von Fetten und Ölen, aber auch direkt in Lebensmitteln.

3.6.3.2. Kälte-adaptierte Enzyme

Der Großteil der Biosphäre der Erde ist „kalt“. 90 % des Wassers der Ozeane haben eine Temperatur unter 5° C. Weitere kalte Habitate sind die polaren und alpinen Regionen, die zusammen 20 % der Bodens ausmachen. Organismen, die sich an die Umweltbedingungen in diesen Bereichen adaptiert haben, sind eine enorme natürliche Ressource für kälteadaptierte Enzyme. Solche Enzyme weisen eine hohe katalytische Aktivität bei niedrigen Temperaturen auf. Diese Eigenschaft wird durch eine flexible Proteinstruktur erreicht (Cavicchioli et al., 2011; Feller, 2013). Alle derzeit technisch eingesetzten Enzymgruppen, gibt es auch in psychrophiler Version, wie Pectinasen, Proteasen, Lactasen, Amylasen, Proteasen, Phytasen, Lipasen und Xylanasen (Hamid et al., 2014)

Psychrophile Enzyme können in der Lebensmittelverarbeitung genutzt werden, um Verarbeitungsprozesse bei niedrigeren Temperaturen durchzuführen, als dies jetzt der Fall ist. Damit verbunden ergibt sich eine Reihe von denkbaren Vorteilen im Bereich der Lebensmitteltechnik:

- a) Einsparung von Energie durch niedrigere Prozesstemperatur
- b) Schonung von Inhaltsstoffen durch Verhinderung unerwünschter Abbaureaktionen, die bei höheren Temperaturen eintreten.
- c) Geringere Gefahr des Wachstums schädlicher, mesophiler Mikroorganismen
- d) Wenn notwendig, sehr leichte Inaktivierung der psychrophilen Enzyme bei niedrigen Temperaturen.
- e) Wirkung der Enzyme während der Lagerung der Lebensmittel bei niedrigen Temperaturen.

Gerade zum der Pkt. e) sind viele neue Einsatzmöglichkeiten vorstellbar:

- Hydrolysereaktionen in Lebensmitteln während der Lagerung, wie z.B.
 Laktosespaltung in Milch, Eiscreme etc.
 Stärkeabbau in gekühlten Teiglingen
 Zellwandabbauende Enzyme in Frucht- und Gemüsesäften (Trubstabilisierung)
- Einsatz zur Haltbarkeitsverlängerung (Einsatz von Enzymen, welche die Zellwände von schädlichen Bakterien abbauen, ähnlich wie Lysozym).

3.6.3.3. Enzyme adaptiert an hohe Salzkonzentrationen und an die daraus resultierende, geringere Wasseraktivität

Halophile Bakterien aus der Gruppe der *Haloarchaeae* leben nur unter extremen Salzgehalten von 10-37 %, z.B. in Salzseen (Oztetik & Cakir, 2014). Im Lebensmittelbereich liegen sehr oft ebenfalls hohe Salzkonzentrationen vor. Damit verbunden ist immer eine geringe Wasseraktivität. Halophile Enzyme sollten deshalb auch bei niedrigen Wasseraktivitätswerten wirksam sein. Es wäre deshalb zum Beispiel vorstellbar, halophile Exoenzyme zum Abbau (Hydrolyse) von Lebensmittelpolymeren oder für die Umwandlung von Inhaltsstoffen unter solchen extremen Bedingungen (z.B. Lebensmitteln mittlerer Feuchtigkeit) durchzuführen.

3.7. Nutzen und Risiken bei der Verwendung von Enzymen

Zweifelsohne wird der Einsatz von Enzymen in der Lebensmittelherstellung in Zukunft noch viel umfangreicher und vielfältiger werden. Mit den neuen Methoden zur Enzymgewinnung wird es Anwendungen geben, die derzeit kaum vorstellbar sind.

Laut Spök & Proksch (2007) beziehen sich vermutlich die bedeutsamsten Sicherheitsfragen auf die Enzymproduktion und auf das Hantieren mit Enzympräparaten während der Herstellung, Weiterverwendung, des Transports und der Lagerung. Dies betrifft gesundheitliche Risiken am Arbeitsplatz, die nicht spezifisch für Lebensmittelenzyme, sondern für alle industriellen Enzyme gleichermaßen gelten.

Risiken, die sich direkt für Konsumentinnen und Konsumenten durch den Einsatz von Enzymen ergeben könnten, werden im Rahmen der nun durch die EFSA durchgeführten Sicherheitsbewertungen für jedes Enzym neu bewertet. Eine Aufnahme in die EU-Liste der zugelassenen Lebensmittelenzyme kann nur erfolgen, wenn keine Sicherheitsbedenken vorliegen.

Von vornherein kann festgehalten werden, dass die Enzymverwendung im Lebensmittelbereich nur sehr geringe Risiken aufweist. Nicht zuletzt auch deswegen, weil in den meisten Anwendungsfällen das Enzym im Lebensmittel nicht mehr aktiv, also denaturiert ist

Der Nutzen durch den Einsatz von Enzymen, sowohl für die Hersteller als auch für die Verbraucher, überwiegt aber bei weitem potentielle Risiken.

Trotzdem ist – so wie bei allen technischen Handlungen – ein Restrisiko nie vollkommen auszuschließen. Denkbare Risiken wären zum Beispiel folgende:

- a) Risiken durch den verwendeten MO-Stamm, der zur Enzymproduktion eingesetzt wird.
- b) Enzyme und Enzympräparate enthalten in den meisten Fällen Substanzen und Verunreinigungen, die aus den Fermentationsmischen stammen. Von diesen Stoffen könnte potenti-

ell ebenfalls ein Risiko ausgehen.

- c) Unbeabsichtigte enzymatische Nebenreaktionen oder nicht erwünschte Veränderung von Inhaltsstoffen. Als Beispiel wird hier öfters die mögliche Bildung von Peptiden aus Getreideproteinen durch Transglutaminase genannt, welche - so wie Gluten - für Menschen mit Zöliakie problematisch sein könnten. Dabei handelt es sich aber bis jetzt zumindest eher um eine Vermutung, als um eine bewiesene Tatsache (BfR, 2011). Voraussetzung für eine solche Wirkung wäre, dass die Transglutaminase noch aktiv ist und neben tierischen Proteinen auch pflanzliche Proteine vorliegen.
- d) Nach Jany (2014) können auch Enzymproteine allergische Reaktionen auslösen. Bislang gibt es keine validierten *in-vitro*-Methoden, mit denen das allergische Potential eines Proteins hinreichend bewertet werden kann. Hinweise auf ein mögliches allergenes Potential können aus Strukturvergleichen (Aminosäuresequenzen) des zu bewertenden Enzyms mit bekannten Allergenen und durch Verdaulichkeitsstudien mit Pepsin abgeleitet werden. Für Enzyme, die mit Hilfe von gentechnisch veränderten Mikroorganismen gewonnen werden, sind keine besonderen Sicherheitsbewertungen vorgesehen; jedoch müssen die Produktionsorganismen den Sicherheitsanforderungen für gentechnisch veränderte Mikroorganismen entsprechen oder bereits eine EU-Zulassung für Lebensmittelzwecke besitzen.

3.8. Informationsstand der Verbraucherinnen und Verbraucher und Irreführungspotential

Ein Großteil der Konsumentinnen und Konsumenten wird mit dem Begriff "Enzym" nicht sehr viel anzufangen wissen, vor allem nicht im Zusammenhang mit Lebensmitteln. Eine Enzymkennzeichnung auf den Lebensmitteletiketten ist nur vorgesehen, wenn das Enzym noch im Lebensmittel gewollt aktiv ist. Daher ist eine Enzymverwendung bei der Herstellung gar nicht erkennbar.

Die Verwendung von Enzymen könnte natürlich unerlaubterweise auch dazu verwendet werden, um Konsumentinnen und Konsumenten zu täuschen oder in die Irre zu führen, z.B. durch enzymatische Umwandlung minderwertiger Zutaten zur Vortäuschung hochwertiger Zutaten.

Ein aktuelles Beispiel in dieser Hinsicht ist die Verwendung von Transglutaminase, um einzelne, minderwertigere Fleischabschnitte zu großen Fleischstücken („Klebeschinken“) zusammenzusetzen (⇒ zusammen kleben). Wenn nun das verwendete Enzym und die spezifische Produktverarbeitung nicht gekennzeichnet werden, kann das zu einer Irreführung der Verbraucherinnen und Verbraucher führen. Diese Meinung vertritt zumindest das deutsche Bundesinstitut für Risikoforschung (BfR, 2011).

Zu hinterfragen wäre auch die Tatsache, dass durch Enzyme viele Herstellungsprozesse schneller und kostengünstiger erfolgen können und die verzehrfertigen Lebensmittel länger haltbar sind. Aufwändigere, traditionelle Verfahren sind teurer, müssen aber mit den durch Hilfe von Enzymen erzeugten Lebensmitteln konkurrieren und haben bei Nichtdeklaration des Enzymeinsatzes einen Wettbewerbsnachteil. Genau diese Frage wird im Zusammenhang mit „Enzym“-Bäckerei (intensive Nutzung von Enzymen bei der Herstellung) und klassischer Bäckerei von den der Lebensmittelindustrie gegenüber kritisch eingestellten Organisationen diskutiert.

3.9. Nutzen und Risiken bei der Verwendung von Enzymen

Bis jetzt gibt es kaum größere Vorbehalte gegenüber der Verwendung von Enzymen im Lebensmittelbereich seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher. Sicher auch deshalb, weil sie, wie oben ausgeführt, kaum damit konfrontiert werden.

Eine Recherche auf Webseiten von Konsumentenschutzinstitutionen und industriegkritischen Organisationen ergibt das gleiche Bild. Einzige Vorbehalte, aber eher in geringem Ausmaß, gibt es gegenüber denen mittels Gentechnik erzeugten Enzymen.

Wenn der Einsatz von Enzymen in Zukunft dazu dient, dass nicht nur die Hersteller sondern auch die Konsumentinnen und Konsumenten erkennbare Vorteile haben, wird diese Akzeptanz auch so bleiben.

Voraussetzung dafür ist aber auch, dass von vornherein ehrlich und offen der Einsatz von Enzymen und deren Wirkung kommuniziert wird.

4. Literatur zu Teil 2

- Abushelaibi A.A., Al Shamsi M.S and Afifi H.S. (2012): Use of antimicrobial agents in food processing systems. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture* 4, 2-7
- Adjonu R., Doran G., Torley P. and Agboola S. (2014): Whey protein peptides as components of nanoemulsions: A review of emulsifying and biological functionalities. *J. Food Eng.* 122, 15-27
- Ajinomoto (2014): Kokumi Seasonings (http://www.ajinomoto.de/cms/front_content.php?idart=129; Zugriff 11.11.2014)
- Alavizadeh, A.H. and Hosseinzadeh, H. (2014): Bioactivity and toxicity of crocin: A comprehensive review. *Food and Chemical Toxicology* 64, 65-80.
- AMFEP (2009): Summary of AMFEP comments on EFSA draft guidelines for enzyme evaluation. (www.amfep.org/sites/amfep.drupalgardens.com/files/SUMMARY-Amfep-Comments-on-draft-EFSA-guidelines.pdf; 4. Juni 2009)
- AMFEP (2014 a) - Association of Manufacturers and Formulators of Enzyme Product: List of commercial enzymes. Update April 2014 (www.amfep.org/sites/g/files/g412356/f/201404/Amfep-Enzymes-list-April-2014_0.pdf; Zugriff 20.10.2014)
- AMFEP (2014 b): Members (www.amfep.org/content/members; Zugriff 19.10.2014)
- Anderson H. et al. (2012): The use of low-calorie sweeteners by adults: Impact on weight management. *Journal of Nutrition* 9, Suppl. 1163S-1169S
- Anonym (2008): Enzyme – magische Proteine. *Brot und Backwaren* 5, 32-34
- Anonym (2012): Genetically modified crops expressing 35S-thaumatococcus II transgene: Sensory Properties and food safety aspects. *Comp. Reviews in Food Scie & Food Safety* 11, 174-186
- Anonym (2014): Etikett: Alles (un)klar? Clean Labelling: Information oder Täuschung. Nds. Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. (http://www.laves.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=33629&article_id=110019&psmand=23; Zugriff 20.10.2014)
- Anonym (2014 a): Fragen und Antworten zur EU-Zuckermarktregelung. *Wirtschaftliche Vereinigung Zucker*, Januar 2014
- Anonym (2014 b): U.S. consumers' rating of preservatives when buying foods and beverages. (<http://www.statistica.com>; Zugriff 8.11.2014)
- Anonym (2014 c): (www.solvay.com/en/markets-and-products/featured-products/rhovani-natural.html)
- Anonym (2014 d): Metagenom-Abenteuer – Nicht kultivierbare Bakterien – Die versteckte Vielfalt. (www.naturstoff-forschung.info/nafo_media/15+Metagenom.pdf; Zugriff 25.10.2014)
- Anonym (2014 e): Expertenbericht – Enzyme in der Lebensmittelverarbeitung. *Journal für Ernährungsmedizin – online* (www.jem-online.at/expertenbericht/enzyme-in-der-lebensmittelverarbeitung-406.html; Zugriff 20.10.2014)
- Anonym (2014 f): „Enzyme-Google“ deckt verborgene Möglichkeiten der Natur auf. *Lebensmittel & Biotechnologie*. 3 (2014) 70-71
- Anuradha K.; Naidu M.M.; Manohar R.S. and Indiramma A.R. (2010): Effect of vanilla extract on radical scavenging activity in biscuits. *Flavour and Fragrance Journal* 25, 488-492
- Arrêté du 19 octobre, 2006: Relatif à l'emploi d'auxiliaires technologiques dans la fabrication de certaines denrées alimentaires. NOR: ECOC0600115A Version consolidée au 02 août 2014; Article Annex 1 (www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000020667468)
- Ashogbon A.O. and Akintayo E.T. (2014): Recent trends in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources. *Starch/Stärke* 66, 41-57
- Ayala-Zavala J.F., Vega-Vega V., Rosas-Dominguez C., Palafox-Carlos H., Villa-Rodriguez J.A., Siddiqui M.W.,

- Davila-Avina J.E. and Gonzalez-Aguilar G.A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit by-products as a source of food additives. *Food Res. Int.* 44, 1866-1874
- Barba F.J., Criado M.N., Belda-Galbis C.M., Esteve M.J. and Rodrigo D. (2014): *Stevia Rebaudiana* Bertonni as a natural antioxidant/antimicrobial for high pressure processed fruit extract: Processing parameter optimization. *Food Chem.* 148, 261-267
- Bartoszewski G. et al. (2002): Modification of tomato taste in transgenic plants carrying a thaumatin gene from *Thaumatococcus danielli* Bent. *Plant Breeding* 122, 347-351
- Bassolc I.H.N. and Juliani H. R. (2012): Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules* 17, 3989-4006
- Beerens K., Desmet T. and Soetart W. (2012): Enzymes for the biocatalytic production of rare sugars. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 39, 823-834
- Beier R.C., Byrd J.A., Kubena L.F., Hume M.E., McReynolds J.L., Anderson R.C. and Nisbet D.J. (2014): Evaluation of linalool, a natural antimicrobial and insecticidal essential oil from basil: Effects on poultry. *Poultry Science* 93, 267-272
- Berghofer (2010): Zusatzstoffe, Aromen und Enzyme in der Lebensmittelindustrie – Abschätzungen der Auswirkungen des „Food Improvement Agents Package“ auf Forschung, Entwicklung und Anwendung. Herausgeber: Bundesministerium für Gesundheit, Sektion II, Wien. ISBN 978-3-902611-40-6
- Beshkova D. and Frengova G. (2012): Bacteriocins from lactic acid bacteria: Microorganisms of potential biotechnological importance for the dairy industry. *Eng. Life Sci.* 12, 419-432
- BfR (2011): Transglutaminase in Fleischerzeugnissen. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 052/2011 des Bundesinstituts für Risikobewertung vom 30.11.2011, ergänzt am 21.01.2013
- Binod P. et al. (2013): Industrial Enzymes – Present status and future perspectives for India. *J. Scientific & Industrial Research* 72, 271-286
- Böhler (2011): Trend zu natürlichen Farbstoffen. *Lebensmittel-Industrie* Nr. 3/4 2011
- Bortolini O., Giovanni P.P., Maietti S., Massi A., Pedrini P., Sacchetti G. and Venturi V. (2013): An enzymatic approach to the synthesis of optically pure (3R)- and (3S)-enantiomers of green tea flavor compound 3-hydroxy-3-methylnonane-2,4-dione. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* 85-86, 93-98
- Bosse A.K., Fraatz M.A. and Zorn H. (2013): Formation of complex natural flavours by biotransformation of apple pomace with basidiomycetes. *Food Chem.* 141, 2952-2959
- Bramen L. (2010): The kokumi sensation. (<http://www.smitsonianmag.com/arts-culture/the-kokumi-sensation-78634272/?no-ist>; Zugriff 13.10.2014)
- Brändle J. (1999): Genetic control of rebaudioside A and C concentration in leaves of the sweet herb, *Stevia rebaudiana*. *J. Plant Sci.* 79, 85-92
- Brewer M.S. (2011): Natural antioxidants: Sources, compounds, mechanisms of action and potential applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 10, 221-247.
- Bu J.B., Dai Z., Zhou T., Lu Y. and Jiang Q. (2012): Chemical composition and flavor characteristics of a liquid extract occurring as waste in crab (*Ovalipes punctatus*) processing. *J Sci Food Agric* 93, 2267-2275.
- Bundesministerium für Gesundheit (BMG) (2012): Leitlinie über die täuschungsfreie Kennzeichnung von Lebensmitteln, die mit dem Zusatzstoff Steviolglycoside (E 960) gesüßt sind. Erlass: BMG-75210/0002-ii/B/13/2012 vom 13.06.2012
- Bundesverband Naturkost Naturwaren Hersteller und Handel e.V. (2014): Einsatz von Aromen im Naturkostfachhandel. Aussendung.
- Caderby E., Baumberger S., Hoareau W., Fargues C., Decloux M and Maillard M.N. (2013): Sugar cane stillage: A potential source of natural antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 61, 11494-11501
- Cavicchioli R. et al. (2014): Biotechnological uses of enzymes from psychrophiles. *Microbial Biotechnology* 4, 449-460
- Chatterjee D. and Bhattacharjee, P. (2014): Use of eugenol-lean clove extract as a flavoring agent and natu-

- ral antioxidant in mayonnaise: Product characterization and storage study. J. Food Sci. Techn. 51, 10
- Chaudhary B. and Mukhopadhyay, K. (2013): Solvent optimization for anthocyanin extraction from *Syzygium cumini* L. Skeels using response surface methodology. Int. J. Food Sci. Nutr. 64, 363-371.
- Chen H. and Hoover D.G.: Bacteriocins and their food application. Compr. Rev. Food Sci. & Food Safety 2, 82-100
- Chr. Hansen (2007): „Natürlich Färben mit FruitMax™, den färbenden Lebensmitteln und Pflanzenextrakten von Chr. Hansen. Presseaussendung.
- Chr. Hansen (2008): Pressemeldung (www.chr-hansen.de/presse/singlenachrichten/brillante-zukunft-fuer-natuerliche-farbstoffe.html)
- Chung H.-J, Liu Q. and Hoover R. (2009): Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. Carb. Polymers 75,436-447
- CompaniesandMarkets.com (2014): Food preservative market is shifting towards natural preservatives to align with consumer demands. (<https://uk.finance.yahoo.com/news/food-preservative-market-shifting-towards-000000922.html>; Zugriff 8.11.2014)
- Crowley S., Mahony K. and van Sinderen D. (2013): Current perspectives on antifungal lactic acid bacteria as natural bio-perservatives. Trends in Food Science and Technology 33, 93-109.
- Dabas D., Elias R.J., Lambert J.D. and Ziegler G.R. (2011): A colored avocado seed extract as a potential natural colorant. J. Food Sci. 76, C1335-C1341.
- Das K. R., Dang N. and Rajasekharan P.E. (2006): Establishment and maintenance of callus of *Stevia rebaudiana* Bertoni under aseptic environment. Natural Products Radiance 5, 373-376
- Davies K. M. and Deroules S.C. (2014): Prospects for the use of plant cell cultures in food biotechnology. Current Opinion in Biotechnology 26, 133–140.
- De Boer L. (2014): Biotechnological production of colorants (Review). Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology 143, 51-89.
- De Marco R., Vieira A.M.S., Ugri M.C.A., Monteiro A.R.G and Bergamasco R.D.C. (2013): Microencapsulation of annatto seed extract: Stability and application. Chemical Engineering Transactions 32, 1777-1782.
- deMoura F., Macagnan F.T. and daSilva L. (2014): Oligosaccharides production by hydrolysis of polysaccharides: A review. J. Food Science and Technology (2014) doi:10.1111/ijfs.12681
- Der Spiegel (2012): Presseaussendung (www.spiegel.de/wissenschaft/medizin/umstrittener-farbstoff-krebsgesetz-zwingt-cola-konzerne-zum-handeln-a-820382.html)
- Dermiki M., Phanphensophon N., Mottram D.S. and Methven L. (2013): Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minded meat. Food Chem. 141, 77-83
- Dey T.B. and Kuhad R.C. (2014): Upgrading the antioxidant potential of cereals by their fungal fermentation under solid-state cultivation conditions. Letters in Applied Microbiology 59, 493-499
- DGE (2014): Kommentare der Deutschen Gesellschaft für Ernährung zu „Guideline: Sugars intake for adults and children. <http://www.dge.de/pdf/ws/WHO-Richtlinie-Zucker-Entwurf-Kommentare-DGE.pdf>
- DIN EN ISO 5492 (2009): 12 Sensorische Analyse – Vokabular (ISO 5492:2008); Mehrsprachige Fassung EN ISO 5492:2009“, Beuth Verlag, Berlin,
- DIN 10950-1 (1999): Sensorische Prüfung. Teil 1: Begriffe. Deutsches Institut für Normung, 04-1999
- DLG – Trendmonitor Lebensmitteltechnologie 2012. Investitionen und Trends in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie. (www.dlg.org/fileadmin/downloads/Trendmonitor/Trendmonitor_Technologie_2012.pdf; Zugriff am 12.11.2014)
- Doll R. and Peto R. (1981): The causes of cancer: Quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States. Journal of the National Cancer Institute 66, 1191-1308

- Donner S. (2011): Zutaten undercover. UGB-Forum 4/11, 172-174
- Dufossé L., Fouillaud M., Caro Y., Mapari S.A.S. and Sutthiwong N. (2014): Filamentous fungi are large-scale producers of pigments and colorants for the food industry (Review). *Current Opinion in Biotechnology*, 26, 56-61.
- Dufossé, L. (2006): Microbial production of food grade pigments (Review). *Food Technology and Biotechnology* 44, 313-321.
- Durchführungsverordnung (EU) Nr. 872/2012 DER KOMMISSION vom 1. Oktober 2012 zur Festlegung der Liste der Aromastoffe gemäß der Verordnung (EG) Nr. 2232/96 des Europäischen Parlaments und des Rates, zur Aufnahme dieser Liste in Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 1334/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1565/2000 der Kommission und der Entscheidung 1999/217/EG der Kommission
- Dürschmid K. (2009): Gustatorische Wahrnehmungen gezielt abwandeln. Behr's Verlag GmbH, Hamburg
- Dürschmid, K. (2012): Strategies and methods of flavor modulation in food product development. Vortrag Symposium „Innovations in food processing and product development“. Anuga FoodTec, Köln, 26-27 March 2012
- EFSA (2007): Neotam als Süßungsmittel und Geschmacksverstärker. *EFSA Journal* 581, 1-4
- EFSA (2009 a): Guidance of the Scientific Panel of Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids (CEF) on the Submission of a Dossier on Food Enzymes for Safety Evaluation by the Scientific Panel of Food Contact Material, Enzymes, Flavourings and Processing Aids 1. 23 July 2009, *EFSA Journal* 1305, 1-26
- EFSA (2009 b): The use and mode of action of bacteriophages in food production. *EFSA Journal* 1076, 1-26
- EFSA (2010): Scientific Opinion on the safety of steviol glycosides for the proposed uses as a food additive. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS), *EFSA Journal* 2010; 8 (4): 1538
- EFSA (2011 a): The food classification and description system FoodEx 2 (draft-revision 1). Supporting Publications 2011:215. [438 pp.] (www.efsa.europa.eu/de/supporting/doc/215e.pdf)
- EFSA (2011 b) : EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA); Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to fructo-oligosaccharides (FOS) and decreasing potentially pathogenic gastro-intestinal microorganisms (ID 781). *EFSA Journal* 2011;9(6):2222
- EFSA (2011 c): Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to arabinoxylan produced from wheat endosperm and reduction of post-prandial glycaemic responses. *EFSA Journal* 2011; 9 (6):2205
- EFSA (2011 d): Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans from oats and barley and maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentrations (ID 1236, 1299), increase in satiety leading to a reduction in energy intake (ID 851, 852), reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 821, 824), and “digestive function” (ID 850). *EFSA Journal* 2011;9(6):2207
- EFSA (2012): Guidance for submission for food additive evaluations. *EFSA Journal* 2012; 10(7):2760. [60 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2760.
- EFSA (2013): Guidance document describing the food categories in Part E of Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 on Food Additives. 18. 12. 2013 (http://ec.europa.eu/food/food/FAEF/additives/docs/guidance_1333-2008_descriptors_annex2_20131218_en.pdf)
- EFSA (2014 a) : Lebensmittelzusatzstoffe (www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/additives.htm; Zugriff 11.11.2014)
- EFSA (2014 b): Re-evaluation of food additives: Tentative work programme 2014-2015 (<http://www.efsa.europa.eu/en/foodadditives/docs/foodaddtentativewp14.pdf>, Zugriff 11.11.2014)
- EFSA (2014 c): Aspartam (www.efsa.europa.de/topic/aspartame.htm; Zugriff 04.11.1014)
- EFSA (2014 d): Advantam (www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/sweeteners.htm; Zugriff 04.10.2014)
- EFSA (2014 e): Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to non-digestible carbohydrates and reduction of post-prandial glycaemic responses. *EFSA Journal* 2014; 12 (1):3513

- EFSA (2014 f): Explanatory Note for the Guidance of the Scientific Panel of Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids (CEF) on the Submission of a Dossier on Food Enzymes. EFSA supporting publication 2014:EN-579
- EFSA (2014 g): Mit Gutachten zu Lebensmittelenzymen beginnt ein neues Kapitel der Tätigkeit der EFSA. (www.efsa.europa.eu/de/press/news/140514.htm; Zugriff 19.10.2014).
- EFSA (2015): Register of questions (<http://registerofquestions.efsa.europa.eu/roqFrontend/questionsList-Loader?unit=FIP&rawPanel=CEF&foodsectorarea=12>; Zugriff 20.05.2015)
- EFSA ANS Panel (2013 a) (EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food, ANS), Scientific Opinion on the re-evaluation of aspartame (E 951) as a food additive. EFSA Journal 2013; 11(12):3496, 263 pp.
- EFSA ANS Panel (2013 b) (EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food, ANS): Scientific Opinion on the safety of Advantam for the proposed uses as a food additive. EFSA Journal 2013; 11(7): 3301
- EUFIC (2000): Was sind Lebensmittelzusatzstoffe. Newsletter FoodToday (2000)
- EU-Kommission (2000): Entscheidung der Kommission vom 22. Februar 2000 über die Zulassungsverweigerung von „*Stevia rebaudiana* Bertoni: Pflanzen und getrocknete Blätter“ als neuartige Lebensmittel oder neuartige Lebensmittelzutaten gemäß der Verordnung (EG).Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates (Bekanntgegeben unter Aktenzeichen K(2000) 77)(2000/196/EG)
- EUROBAROMETER (2005): Risk issues (www.efsa.europa.eu/en/riskperception/docs/riskperception-report.pdf)
- EUROBAROMETER (2010): 2010 Eurobarometer survey report on risk perception in the EU. (www.efsa.europa.eu/en/riskcommunication/riskperception.htm)
- EUROMONITOR (2014): Stevia: Adding value through natural – the resurgence of reduced sugar. (www.euromonitor.com/medialibrary/PDF/Stevia-GB-Sample-Slides.pdf; Zugriff 3.11.2014)
- EUROPEAN COMMISSION (2003): Opinion of the scientific committee on food on soybean hemicellulose. SCF/CS/ADD/EMU/185 Final, 10. April 2003
- EUROPEAN COMMISSION (2010): RICHTLINIE 2010/67/EU DER KOMMISSION vom 20. Oktober 2010 zur Änderung der Richtlinie 2008/84/EG zur Festlegung spezifischer Reinheitskriterien für andere Lebensmittelzusatzstoffe als Farbstoffe und Süßungsmittel. Amtsblatt der Europäischen Union L 277/17.
- EUROPEAN COMMISSION (2013): Guidance notes on the classification of food extracts with colouring properties (http://ec.europa.eu/food/food/FAEF/additives/docs/guidance_en.pdf)
- EUROPEAN COMMISSION (2014): Guidance notes on the classification of a flavouring substance with modifying properties and a flavor enhancer. 27.05.2014
- EVOLVA (2014 a): Zero-calorie, natural sweetener. (www.evolve.com/products/stevia)
- Evolve (2014 b): Methods for improved production of rebaudioside d and rebaudioside m. Patent Application No.: PCT/EP2014/052363, WO 2014122227 A2; 15.09.2014
- Falovo A.B., Fayemi P.O. and Muchenje V. (2014): Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat product: A review. Food Res. Int. 64, 171-181
- Feller G. (2013): Psychrophilic enzymes: From folding to function and biotechnology. Scientifica, Article ID 512840, 28 pages (<http://dx.doi.org/10.1155/2013/512840>)
- Fernández-López, J.; Angosto, J.M.; Gimenez, P.J. and Leon, G. (2013): Thermal stability of selected natural red extracts used as food colorants. Plant Foods for Human Nutrition 68, 11-17.
- Fernstrom J.D. (2012): Mechanisms for sweetness. Journal of Nutrition, Supplement 1134S-1141S
- Food Navigator (a): Consumers' views on natural and „clean label“ terminology. (www.foodnavigator.com, published 21.Juni 2010; Zugriff 04.11.2014).
- Food Navigator (b): What do “natural” and „clean label“ mean anyway? (www.foodnavigator.com. Published 18.Juni 2013; Zugriff 10.11.2014)

- Food Navigator.com (2014): European sweetener success is skewed to the west. (www.foodnavigator.com/content/view/print/983934; Zugriff 30.10.2014)
- Fortescue J. (2014): Isoglucose market still faces hurdles in Europe. Food Navigator.com (<http://www.foodnavigator.com/content/view/print/978291>; Zugriff 18.10.2014)
- Frascareli E.C., Silva V.M., Tonon R.V. and Hubinger, M.D. (2012): Effect of process conditions on the micro-encapsulation of coffee oil by spray drying. Food and Bioprocess Processing 90, 413-424
- French S (2013): Consumer and Market Trends: Opportunities for Simple, Clean and Pure Abound. 2013 „clean label“ Conference Report. (www.globalfoodforums.com/wp-content/uploads/2014/01/2013-Clean-Label-Conference-Report.pdf; Zugriff 04.11.2014)
- Froek M. (1999): Methodische Arbeiten zur Entwicklung verbesserter Enzymaktivitätsbestimmungen von Xylanasen und Glucanasen in komplexen Proben. Dissertation FU Berlin (1999)
- Frosta (2010): Die jetzigen Regelungen zur Lebensmittelkennzeichnung aus der Sicht einer Lebensmittelmarke, die konsequent auf Zusatzstoffe verzichtet. Presseaussendung.
- Fujimaru T., Parh J.-H. and Lim J. (2012): Sensory characteristics and relative sweetness of tagatose and other sweeteners. J. Food Science 77, 51-56
- Fushan A.A. et al. (2009): Allelic polymorphism within the TAS1R3 promotor is associated with human taste sensitivity to sucrose. Curr. Biol. 11, 1288-1293
- Gain Report (2013): Japan to ban the use of 125 food additives. Report No. JA9078, 28.12.2009
- Gallindo M.M., Voigt N., Stein J., vanLengerich J., Raguse J.D., Hofmann T., Mexerhof W. and Behrens M. (2011): G protein-coupled receptors in human fat taste perceptions. Chem. Senses 25 (08), doi: 10.1093/chemse/bjr069
- Gauthier S. and Pouliot Y. (2003): Functional and biological properties of peptides obtained by enzymatic hydrolysis of whey proteins. J. Dairy Sci. 86, E78-E87
- Gewürzmüller GmbH (o.J.): Weniger E-Nummern – mehr Wertschöpfung. (www.presseservice-gempel.de/download/154.pdf; Zugriff am 4.11.2014)
- Global food Forums, Inc., USA (2014): „Clean label“ Conferences. (<http://www.globalfoodforums.com/clean-label-conferences>; Zugriff am 4.11.2014)
- GNT (2013): EXBERRY® - Färbende Lebensmittel von GNT AFT Quarterly 1/2013
- Gomes L.M.M., Petito N, Costa V.G., Falcão D.Q. and De Lima Araújo K.G. (2014): Inclusion complexes of red bell pepper pigments with β -cyclodextrin: Preparation, characterisation and application as natural colorant in yogurt. Food Chemistry 148, 428-436
- Goncalves G.A., Donato T.C., Baptista A.A.S., Correa I.M., Garcia K.C. and Filho R.L. (2014): Bacteriophage-induced reduction in *Salmonella enteritidis* counts in the crop of broiler chickens undergoing preslaughter feed withdrawal. Poultry Science 93, 210-220.
- González-Hidalgo, Banon S. and Ros M.J.: Evaluation of table olive by-product as a source of natural antioxidants. Int. J. Food Sci. Techn. 47, 674-681
- Goretti M., Turchetti B., Cramarossa M.R., Forti L. and Buzzini P. (2013): Production of flavours and fragrances via bioreduction of (4R)-(-)-carvone and (1R)-(-)-myrtenal by non-conventional yeast whole-cells. Molecules 18, 5736-5748.
- Gray N. (2013): Preservative perceptions: Consumer demand for natural is serious, but challenges remain. (www.foodnavigator.com/content/view/print/852731)
- Gross M. (2013): Evolving new types of enzymes. Current Biology 23, 214-217
- Gu M., Chen H-P., Zhao M-M., Wang Z., Yang B., Ren J-Y. and Su G-W. (2015): Identification of antioxidant peptides released from defatted walnut (*Juglans Sigillata* Dode) meal proteins with pancreatin. LWT – Food Sci. Techn. 60, 213-220
- Guenther S., Huwyler D., Richard S. and Loessner M.J. (2009): Virulent bacteriophage for efficient biocontrol of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat-foods. Applied Environmental Microbiology 75, 93-100

- Guidance Document (2014): Guidanced document on criteria for categorization of food enzymes. (http://ec.europa.eu/food/food/FAEF/enzymes/docs/guidance_doc_categorisation-decision_en.pdf, Zugriff 30.05.2015)
- Guidance notes on the classification of food extracts with colouring properties (2013): http://ec.europa.eu/food/food/FAEF/additives/docs/guidance_en.pdf, Zugriff 30.5.2015)
- Gutiérrez-Larrainzar M., Rúa J., Caro I., deCastro C., deArriaga D., Garcia-Armesto M.R. and delValle P. (2012): Evaluation of antimicrobial and antioxidant activities of natural phenolic compounds against food-borne pathogens and spoilage bacteria. *Food Control* 26, 555-563
- Hagens S. and Loessner (2014): Phages of *Listeria* offer novel tools for diagnostics and biocontrol. *Frontiers in Microbiology*, doi: 10.3389/fmicb.2014.00159
- Hamed S.F., Sadek Z. and Edris A. (2012): Antioxidant and antimicrobial activities of clove bud essential oil and eugenol nanoparticles in alcohol-free microemulsion. *J. Oleo Sci.* 61, 641-648.
- Hamid B., Rana R.S., Chauhan D., Singh P., Mohiddin F.A., Sahay S and Abidi I. (2014): Psychrophilic yeasts and their biotechnological applications – A review. *African Journal of Biotechnology* 13, 2188-2197
- Han D., Kurusarttra S., Ryu J., Kanaly R.A. and Hur H. (2012): Production of natural fragrance aromatic acids by coexpression of trans-anethole oxygenase and p-anisaldehyde dehydrogenase genes of *Pseudomonas putida* JYR-1 in *Escherichia coli*. *J. Agric. Food Chem.* 60, 11972-11979.
- Harnafi H., Ramchoun M., Tits M., Wauters J.N., Frederich M., Angenot L., Aziz M., Alem C. and Amrani S. (2013). Phenolic acid-rich extract of sweet basil restores cholesterol and triglycerides metabolism in high fat diet-fed mice: A comparison with fenofibrate. *Biomedicine and Preventive Nutrition* 3, 393-397.
- Higashiyama T. (2002): Novel functions and applications of Trehalose. *Pure Appl. Chem.* 74, 1263-1269
- Ho T.V. and Suzuki H. (2014): Increase of “umami” compounds in miso, fermented soybeans, by the addition of bacterial γ -glutamyltranspeptidase. *Int. J. Food Sci.* 2, 39-47
- Hodonitzky J., Morris C.A. and Rae A.L. (2010): A Systematic Evaluation of Oral and Intestinal Utilization of Oligosaccharides as Potential Sweeteners. (<https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=csiro:EP114695&dsid=DS1>)
- Hodonitzky J., Morris C.A. and Rae A.L. (2012): Oral and intestinal digestion of oligosaccharides as potential sweeteners: A Systematic evaluation. *Food Chem.* 132, 1951-1958
- Hofer B. (2013): Konservieren mit Viren“. Zeitschriften-Ausgabe 03/2013 von Technology Review.
- Höhn A. (2014): Novozymes - Enzymprodukte für die Safterstellung aus Obst und Gemüse. Frühjahrstagung der Beuth-Hochschule Berlin am 16. Mai 2014. (http://prof.beuth-hochschule.de/fileadmin/user/kabbert/pdf_s/Praesentation_von_NZ_fuer_Beuth_Hochschule_16Mai2014-Hoehn-OK.pdf)
- Höhn A. (2014): Novozymes - Enzymprodukte für die Safterstellung aus Obst und Gemüse. Frühjahrstagung der Beuth-Hochschule Berlin am 16. Mai 2014
- Hong J.-L., Kwon K-Y and Kim K-O. (2012): Sensory characteristics and consumer acceptability of beef stock containing the glutathione-xylose maillard reaction product and/or monosodium glutamate. *J. Food Sci.* 77, 1-7
- Hungaro H.M., Mendonca R.C.S., Gouvea D.M., Vanetti M.D.D. and de Oliveira Pinto C.L. (2013): Use of bacteriophages to reduce *Salmonella* in chicken skin in comparison with chemical agents. *Food Res. Int.* 52, 75-81
- Hyldegaard M., Myind T and Meyer R.L. (2012): Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology* 3, 1-24
- Ingredion Incorporated, UK (2014): The „clean label“ Guide to Europe. (www.foodinnovation.com/foodinnovation/en-gb/Ingredients/CleanLabel/Pages/cleanlabelguideto-europe.aspx; Zugriff am 20.10.2014)
- Int. Codex FAO/WHO (1995): GENERAL STANDARD FOR FOOD ADDITIVES -CODEX STAN 192-1995 (http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/docs/CXS_192e.pdf)

- Izumori K. (2006): Establishment of production methods of rare sugars by izomoring. (http://www.kagawa-isf.jp/glycobio/english/pdf/production_01.pdf)
- Jagow C. and Teufer T. (2007): Das große Fressen- Bakteriophagen in der Lebensmittelherstellung: Eine rechtliche Einordnung. Abhandlung ZLR 1/2007
- Jakob F. und Vogel R.F. (2012): Hohes funktionelles Potential – Exopolysaccharide und deren Bedeutung in der Lebensmittelproduktion 7-8, 34-35
- Jany K.-D. (2014): Enzyme in der Lebensmittelverarbeitung. JEM – Journal für Ernährungsmedizin. (www.jem-online.at/expertenbericht/enzyme-in-der-lebensmittelverarbeitung-406.html; Zugriff 27.10.2014)
- Kampffmeyer Food Innovation (2012): How to make „clean label“. Ausgabe 02 (<http://kfi.kampffmeyer.com/cleanlabelreport/de/index.html>; Zugriff 3.11.2014)
- Kaur B. and Chakraborty D. (2013): Biotechnology and molecular approaches for vanillin production: A review. Appl. Biochem. Biotechn. 169, 1353-1372.
- Koch (2002): „...“ das Auge isst mit“. Ernährungsforum, Ausgabe 7, Herbst 2002.
- Konsument (2011/2012): Presseaussendungen. (<http://www.konsument.at/cs/Satellite?pagename=Konsument/MagazinArtikel/Detail&cid=318877368798>; <http://www.konsument.at/markt-dienstleistung/kik-spiderman-unterwaesche>; <http://www.konsument.at/markt-dienstleistung/takko-damenshorts>. Presseaussendung
- Kosieradzka I., Vasko V., Bartoszewski G., Szwacka M., Fiszdon K., and Matusiewicz M. (2014): Nutritive and dietetic value of genetically-modified tomatoes expressing thaumatin gene. Pol. J. Food Nutr. Sci. 64, 35-41
- Kretschmar U., Seidel K., Liebel B. und Hofmann S. (2012): Alternativen zum Einsatz von Zusatzstoffen in der Verarbeitung von biologischen Lebensmitteln sowie Vermeidung bzw. Verringerung des Einsatzes von Zusatzstoffen zur Sicherung und Verbesserung der Qualität ökologischer Lebensmittel. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frankfurt, Fachdossier Zusatzstoffe
- Krishnan K.R., Babuskin S., Babu P.A.S., Sasikala M., Sabina K., Archana G., Sivarajan M. and Sukumar M. (2014): Antimicrobial and antioxidant effects of spice extracts on the shelf life extension of raw chicken meat. Int. J. Food Microbiology 171, 32-40.
- Kumar H. et al. (2011): Effect of sucrose on steviol glycoside biosynthesis pathway in *Stevia rebaudiana*. Asian Journal of Plant Sciences, doi: 10.3923/ajps.2011
- Kumar H. et al. (2012): A comprehensive analysis of fifteen genes of steviol glycosides biosynthesis pathway in *Stevia rebaudiana* (Bertonii). Gene 492, 276-284
- Kumar H. et al. (2013): A study on consumer awareness, safety perceptions & practices about food preservatives and flavouring agents used in packed/canned foods from South India. Nat. J. Community Medicine 4, 402-406
- Lam R.S.H. and Nickerson M.T. (2013): Food proteins: A review on their emulsifying properties using a structure-function approach. Food Chem. 141, 975-984
- Lang C. und Dörnborg H. (2001): Herstellung von Polygalacturoniden und ihre Verwendung als Lebensmittelzusatzstoffe. Europäische Patenschrift, EP 1.191.936
- Leatherhead Food Research (2011): The global food additive market. 5th ed. Leatherhead (UK); zit aus Schiffmann (2012)
- Lebensmittelklarheit.de (2013): Presseaussendung (www.lebensmittelklarheit.de/eigene-studien/studie-zeigt-angabe-ohne-farbstoff-ist-truegerisch)
- Li X. et al. (2011): Xylan chitosan conjugate – a potential food preservative. Food Chem. 126, 520-525
- López M. C., deDicastillo C.L., Vilarino J. M. L. and Rodriguez M.V. (2013): Improving the capacity of polypropylene to be used in antioxidant active films: Incorporation of plasticizer and natural antioxidants. Agric. and Food Chem. 61, 8462-8470
- Margolskee R.F. and Smith D.V. (2001): Das Geheimnis des Geschmackssinns. Spektrum der Wissenschaft 7,

38-46

Masqood S., Benjakul S, Abushelaibi A. and Alam A. (2014): Phenolic compounds and plant phenolic extracts as natural antioxidants in prevention of lipid oxidation in seafood: A detailed review. *Comp. Rev. Food Sci. and Food Safety* 13, 1125-1140

Maswal M. and Dar A.A. (2014): Formulation challenges in encapsulation and delivery of citral for improved food quality. *Food Hydrocolloids* 37, 182-195.

MATSUTANI (2014): (www.matsutani.co.jp/english/products/raresugar.html; Zugriff 20.11.2014)

Mawhinney D.B. et al. (2011): Artificial sweetener sucralose in U.S. drinking water systems. *Environ. Sci. Technol.* 45, 8716-8722

Mayer F. (2012): Enzyme in der Backwarenherstellung. *Brot und Backwaren* 3, 19-23

McCullough M.L., Teras L. R., Shah R., Diver W.R., Gaudet M.M. and Capstur S.M. (2014): Artificially and sugar-sweetened carbonated beverage consumption is not associated with risk of lymphoid neoplasm in older men and woman. *J. Nutrition*, 23, jn.114.197475

Mühleisen, I.: „clean label“: Die Werbung mit dem Verzicht. *UGB-FORUM* 2/11 S. 100-101. (www.vz-nrw.de/mediabig/131071A.pdf; Zugriff 23.10.2014)

Nahal G. and Sahu R.K. (2011): Phytochemical evaluation and antioxidant activity of *Piper cubeba* and *Piper nigrum*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 1, 153-157.

Najafian L. and Babji A.S. (2015): Isolation, purification and identification of three novel antioxidative peptides from patin (*Pangasius sutchi*) myofibrillar protein hydrolysates. *LWT – Food Sci. Techn.* 60, 452-461

Nieburg, O. (2012): Enzyme can prolong bread shelf life up to two weeks, claims Muehlenchemie. www.bakeryandsnacks.com; aufgerufen am 05.06.2015)

Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2014) „clean label“ling: Information oder Täuschung? (www.laves.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=33629&article_id=110019&psmand=23; Zugriff 4.11.2014)

Nishinari K., Fang Y., Guo S. and Phillips G.O. (2014): Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification. *Food Hydrocolloids* 39, 301-318

Notice to Members (2013): Committee on Petitions, PE527.902v01-00, CM/1015893EN.doc

Novel Food Applications (2014): Applications under Regulation (EC) N° 258/97 of the European Parliament and of the Council (http://ec.europa.eu/food/food/biotechnology/novelfood/app_list_en.pdf; Zugriff 11.10.2014)

Novel Food Notifications (2014): Notificatio pursuant to article 5 of regulation (EC) N° 258/97 of the European Parliament and of the Council (http://ec.europa.eu/food/food/biotechnology/novelfood/notif_list_en.pdf; Zugriff 11.10.2014)

O`Charon S., Hayakawa S., Matsumoto Y. and Ogawa M. (2014): Effect of D-psicose uses as sucrose replacer on the characteristics of meringue. *J. Food Sci.* 77, E1-E5

Oelrichs C. und Schulz S.: Die Kennzeichnung natürlicher Aromen – Tanz der Moleküle?

ÖKOTEST (2013): Presseaussendung (www.cleankids.de/2013/04/26/oeko-test-zuckerkuloer-in-lebensmitteln-getraenke-mit-einem-schuss-krebsfarbstoff/36536)

Oliveira M., Vinas I., Colas P., Anguera M., Usall J. and Abadias M. (2014): Effectiveness of a bacteriophage in reducing *Listeria monocytogenes* on fresh-cut fruits and fruit juices. *Food Microbiology* 30, 137-142.

Oshu T., Amino Y., Nagasaki H., Yamanaka T., Takeshita S., Hatanaka T., Maruyama Y., Miyamura N. and Eto Y. (2010): Involment of the calcium-sensing receptor in human taste perception. *J. Biological Chem.* 285, 1016-1022

Ostermeier M. (2003): Synthetic gene libraries: In Search of the optimal diversity. *Trends in Biotechnology* 21, 245-247

Österr. Codexkapitel B 31 (2009): „Tee und teeähnliche Erzeugnisse“, IV. Auflage; Veröffentlicht mit Ge-

schäftszahl: BMGFJ-75210/0018-IV/B/7/2008 vom 19.1.2009

Oztetik E. and Cakir A. (2014): New food for an old mouth: New enzymes for an ancient archaea. *Enzyme and Microbial Technology* 55, 58-64

Panusa A., Zuorro A., Lavecchia R., Marrosu G. and Petrucci R. (2013): Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. *Agric. Food Chem.* 61, 4162-4168

Parker K., Salas M. and Nwosu V.C. (2010): High fructose corn syrup: Production, uses and public health concerns. *Biotechnology and Molecular Biology Review* 5, 71-79

Parvin K., Aziz, M.G.; Yusof, Y.A.; Sarker, M.S.H. and Sill, H.P. (2013): Degradation kinetics of water-soluble annatto extract and sensory evaluation of annatto colored yoghurt. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 9, 139-142.

Passarinho A.T.P., Dias N.F., Camilloto G.P., Cruz R.S., Otoni C.G. Morales A.R.F. and Soares N.D.F. (2014): Sliced bread preservation through oregano essential oil-containing sachet. *J. Food. Proc. Eng.* 37, 53-62

Pelofske, E. (2014): Cleaning up the level. *Prepared Foods* (2), 61-66

Petition (2013): Petition 0041/2013 by Jos Eisberg (German) on the approval of stevia

Pina-Perez M.C., Rodrigo, D. and Martinez-Lopez, A. (2013): Antimicrobial potential of flavouring ingredients against *Bacillus cereus* in a milk-based beverage. *Foodborne Pathogens and Diseases* 10, 969-976.

Powell, E. (2014): Recent trends in added sugar intake among U.S. children and adults from 1977 to 2010. Poster Abstract Presentation at the Obesity Society Annual Meeting, Nov. 2-7, 2014 Boston MA (www.onesityweek.com)

Prakash B. et al. (2015): Plant essential oils as food preservatives to control moulds, mycotoxin contamination and oxidative deterioration of agri-food commodities – potentials and challenges. *Food Control* 47, 381-391

Prepared Foods (2014): Clear Label Leads Top 10 Trends for 2015. 30. October, 2014. (www.preparedfoods.com/articles/114608-clear-label-leads-top-10-trends-for-2015; Zugriff 14.11.2014)

PROSPECTOR (2014): (www.ulprospector.com/en/eu/Food; Zugriff 23.11.2014)

Przygodzka, M.; Zielinska, D.; Ciesarova, Z.; Kukurova, K. and Zielinsky, H. (2014): Comparison of methods for evaluation of the antioxidant capacity and phenolic compounds in common spices. *LWT - Food Sci. Techn.* 58, 321-326.

Qin X.-D. and Liu J.-K. (2003): A new sweet dihydrochalcone-glucosid from leave of *Lithocarpus pachyphyllis*. *Z. Naturforschung* 58, 759-761

Rai N. (2013): Zero-calorie Sweetener Stevia Stealing Market from Sugar. *Wall Street Journal*, July 2013 (<http://online.wsj.com/articles/SB10001424127887323394504578606041227349584>)

Rantanasiriwat P., Woratattanamatekul W. and Klaypradit W. (2013): Properties of encapsulated wasabi flavor and its application in canned food. *Int. J. Food Sci. Techn.* 48, 749-757.

Rao J. and McClements D.J. (2012): Food-grade microemulsions and nanoemulsions: Role of oil phase composition on formation and stability. *Food Hydrocolloids* 29, 326-334.

Rao L. et al. (2011): A thermostable esterase from *Thermoanaerobacter tengcongensis* opening up a new family of bacterial lipolytic enzymes. *Biochimica et Biophysica Acta* 1814, 1695-1702

Rempe C. (2011): „clean label“ in der Kontroverse. *Backwaren Aktuell* 1, 9-13

Richtlinie 2009/163/EU der Kommission vom 22. Dezember 2009 zur Änderung der Richtlinie 94/35/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Süßungsmittel, die in Lebensmitteln verwendet werden dürfen, im Hinblick auf Neotam.

Richtlinie 2100/67/EU der Kommission vom 20. Oktober 2010 zur Änderung der Richtlinie 2008/84/EG zur Festlegung spezifischer Reinheitskriterien für andere Lebensmittelzusatzstoffe als Farbstoffe und Süßungsmittel.

Richtlinie 90/496/EWG: Vom 24. September 1990 über die Nährwertkennzeichnung von Lebensmitteln.

- Rodgers S. (2003): Potential applications of protective cultures in cook-chill catering. *Food Control* 14, 35-42.
- Rodgers S. (2008): Novel applications of live bacteria in food services: probiotics and protective cultures. *Trends in Food Science and Technology* 19, 188-197.
- Rodriguez A., Bernaldez V., Rodriguez M., Andrade M.J., Nunez F. and Cordoba J.J. (2014): Effect of selected protective cultures on ochratoxin A accumulation in dry-cured Iberian ham during its ripening process. *LWT - Food Science and Technology* 59 (2014) 1-6 (article in press).
- Roth K. (2014): *Chemische Leckerbissen*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim
- Rudenga K.J. and Small D.M. (2012): Amygdala response to sucrose consumption is inversely related to artificial sweetener use. *Appetite* 58, 504-507
- Salem R.H. (2013): Quality characteristics of beef sausages with tomato peel as a colour and functional additive during frozen storage. *World Applied Sciences Journal* 22, 1085-1093.
- Santos E.H., Kamimura J.A., Hill L.E. and Gomes C.L. (2015): Characterization of carvacrol beta-cyclodextrin inclusion complexes as delivery systems for antibacterial and antioxidant applications. *LWT – Food Sci. Techn.* 60, 583-592
- Saponjac V.T., Cetojevic-Simin D., Cetkovic G., Canadanovic-Brunet J., Djilas S., Mandic A. and Tepic A. (2014): Effect of extraction conditions of paprika oleoresins on their free radical scavenging and anticancer activity. *Central European Journal of Chemistry* 12, 377-385.
- Schiffmann S.S. (2012): Rationale for further medical and health research on high-potency sweeteners. *Chem Senses* 37, 671-679
- Schillinger U., Becker B., Vignolo G. and Holzapfel W.H. (2001): Efficacy of nisin in combination with protective cultures against *Listeria monocytogenes* Scott A in tofu. *Int. J. Food Microbiol.* 71, 159-168.
- Schulz, S. (2012): Der Zutatenbegriff nach der Lebensmittelinformationsverordnung“. *Abhandlung, ZLR/2012- p 675-690*.
- Schwieterman M.L. et al. (2014): Strawberry flavor: Diverse chemical compositions, a seasonal influence, and effects on sensory perception. *PLOS One* 9, doi: 10.1371/journal.pone.0088446
- Senomyx (2014): Senomyx granted U.S. patent covering the composition and use of novel bitter blockers in foods, beverages, pharmaceuticals and other products. (http://news-media.seconomyx.com/Patent-Update_051111.html)
- Seow Y.X., Yeo C.R. Chung H.L. and Yuk H-O. (2014): Plant essential oils as active antimicrobial agents. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 54, 625-644
- Servant G. et al. (2011): The sweet taste of true synergy: positive allosteric modulation of the human sweet taste receptor. *Trends in Pharmacological Sciences* 32, 631-636
- Settani L. and Corsetti A. (2008): Application of bacteriocins in vegetable food biopreservation. *International Journal of Food Microbiology* 121, 123-138.
- Shah M.A., DonBosco S.J. and Mir S.A. (2014): Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Sci.* 98, 21-33
- Shelke K (2014): „clean label“ Trend phases out synthetic flavors and additives. 23.9.2014. Prepared Foods. (<http://www.preparedfoods.com/articles/114478-clean-label-trend-phases-out-synthetic-flavors-and-additives>). Zugriff am 4.11. 2014
- Shewry P.R. & S. Gutteridge (1993): *Plant Protein Engineering*. Cambridge Press, 1992
- Shim S-M. et al. (2011): Consumer's knowledge and safety perceptions of food additives: Evaluation on the effectiveness of transmitting information on preservatives. *Food Control* 22, 1054-1060
- Silva-Weiss A., Ihl M., Sobral P.J.A., Gomez-Guillen M.C. and Bifani V. (2013): Natural additives in bioactive edible films and coating: Functionality and applications in foods. *Food Engineering Reviews* 5, 200-216.
- Sinja S., Tripathi P and Chand S. (2012): A new bifunctional chitosane enzyme from *Streptomyces* sp. and its application in production of antioxidant chitoooligosaccharides. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 167, 1029-1039

- Siva R., Palackan M.G., Maimoon L., Geetha T., Bhakta D. and Balamurugan P. (2011): Evaluation of antibacterial, antifungal, and antioxidant properties of some food dyes. *Food Science and Biotechnology* 20, 7-13.
- Skarra L (2013): Strategies and insights into „clean label“ Development. 2013 „clean label“ Conference Report. (<http://www.globalfoodforums.com/wp-content/uploads/2014/01/2013-Clean-Label-Conference-Report.pdf>, Zugriff 4.11.2014)
- SKLM (2010:.) Mikrobielle Kulturen für Lebensmittel DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) Mitteilung der Senatskommission zur gesundheitlichen Bewertung von Lebensmitteln 2010. Endfassung vom 29.03.2010. (www.dfg.de/sklm)
- Slack J.P. et al. (2010): Modulation of bitter taste perception by a small molecule hTAS2R antagonist. *Curr. Biol.* 20, 1104-1109
- Smolaskeite L, Venskutonis P.R. and Talou T. (2015): Comprehensive evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of different mushroom species. *LWT – Food Sci. Techn.* 60, 462-471
- Spiller A. und Zühlsdorf A. (2012): Trends in der Lebensmittelverarbeitung. Agrifood Consulting GmbH, Göttingen. (www.vzbv.de/cps/rde/xbcr/vzbv/Lebensmittelvermarktung_Marktstudie_2012.pdf; Zugriff 23.10.2014)
- Spök A. und Proksch M. (2007): *Lebensmittelenzyme in der EU - Herstellung, Anwendungen, Marktsituation und rechtliche Regelungen*. Herausgeber: Bundesministerium für Gesundheit, Sektion II, Wien. ISBN 978-3-902611-40-6. III. Auflage (2012)
- Spricigo D.A., Bartina C., Cortes P. and Llagostera M. (2013): Use of bacteriophage cocktail to control salmonella in food and the food industry. *International J. of Food Microbiology* 165, 169-174.
- Stanzer T. (2014): „Enzym-Google“ deckt verborgene Möglichkeiten der Natur auf. (<http://idw-online.de/pages/de/news?print=1&id=592890>; 23.06.2014)
- Steinkellner G. et al. (2014): Identification of promiscuous endo-reductase activity by mining structural databases using active site constellations. *Nature Communications* 5:4159, doi: 10.1038/ncomms5150
- SternEnzym (2014): Datenblatt – Mit unseren Multi-Enzymkomplexen lassen sich Lebensmitteltechnologien optimieren und Kosten senken. (www.sternenzym.de/deutsch/produkte; Zugriff 18.10.2014)
- Stromeck A., Hu Y., Chen L. and Gänzle M.G. (2011): Proteolysis and bioconversion of cereal proteins to glutamate and γ -aminobutyrate (GABA) in rye malt sourdoughs. *Agric. Food Chem.* 59, 1392-1399
- SÜSSSTOFFVERBAND (2014): (www.suessstoff-verband.de/fileadmin/user_upload/redaktion/Downloads/1207Sicherheit.pdf; Zugriff 03.11.2014)
- SUGAR ASSOCIATION (2014): (www.sugar.org/wp-content/uploads/2014/03/Sugar-Association-Comments-Sugars-Intake-Draft-Guidelines.pdf; Zugriff 04.11.2014)
- Sun J., Lim Y. and Liu S. (2013): Biosynthesis of flavor esters in coconut cream through coupling fermentation and lipase-catalyzed biocatalysis. *Eur. J. Sci. Technol.* 115, 1107-1114.
- Tajkarimi M.M., Ibrahim S.A. and Cliver D.O. (2010): Antimicrobial herb and spice compounds in Food. *Food Control* 21, 1199-1218
- Tang N. and Zhuang H. (2014): Evaluation of antioxidant activities of zein protein fractions. *J. Food Sci.* 79, 2174-2184
- Tayyab M. (2011): Isolation and identification of lipase producing thermophilic *Geobacillus* sp. SBS-4S: Cloning and characterization of the lipase. *J. Biosci. Bioeng.* 3, 272-278
- Toldrà F. and Barat J.M. (2012): Strategies for salt reduction in foods. *Recent patents on Food, Nutrition & Agriculture* 4, 19-25
- Tollefson K.E., Nizetto L. and Huggett D.B. (2012): Presence, fate and effects of the intense sweetener sucralose in the aquatic environment. *Science of the Total Environment* 438, 510-516
- Tongnuanchan P. and Benjakul S. (2014): Essential oils: Extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *J. Food Sci.* 79, R1231-R1244
- Tran T. and Rousseau D. (2013): Stabilization of acidic soy protein-based dispersions and emulsions by soy

soluble polysaccharides. Food Hydrocolloids 30, 382-392

Tuli H.S. and Sharma A.K. (2014): Microbial pigments as natural color sources: Current trends and future perspectives. Journal of Food Science and Technology. (in press)

Unland P. (2011): „clean label“ aus Sicht der Praxis. Backwaren 1, 2-7

Urban M. and Adamczak M. (2008): Exploration of metagenomes for new enzymes useful in food biotechnology – areview. Pol. J. Food. Nutr. Sci. 58, 11-22

Valli V., Gomez-Caravaca A.M., DiNunzio M, Danesi F., Caboni M.F. and Bordon A. (2012): Sugar cane and sugar beet molasses, antioxidant-rich alternatives to refined sugar. J. Agric. Food Chem. 60, 12508-12515

Varela P. and Fisman S.M. (2013): Exploring consumers' knowledge and perceptions of hydrocolloids used as food additives and ingredients. Food Hydrocolloids 30, 477-484

Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen (2010): „Ohne Zusatzstoffe“ - Clean Labeling: Werbeaussagen kritisch beleuchtet. Bundesweite Markterhebung.

Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V. (2010) Bundesweite Markterhebung: „Ohne Zusatzstoffe“ - „clean label“ing: Werbeaussagen kritisch beleuchtet. (<http://www.vzhh.de/ernaehrung/79067/Clean%20Label-Bericht%2027-9-2010.pdf>, Zugriff 4.11.2014

Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein (2012): Presseaussendung (www.vzsh.de/verbraucherzentrale-findet-kritische-azofarbstoffe-in-halloween-suessigkeiten)

Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein (2014): Presseaussendung (www.vzsh.de/marktcheck-der-verbraucherzentrale-deckt-auf-azofarbstoffe-in-biermischgetraenken)

VERORDNUNG (EG) Nr. 1331/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über ein einheitliches Zulassungsverfahren für Lebensmittelzusatzstoffe, -enzyme und -aromen

VERORDNUNG (EG) Nr. 1332/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über Lebensmittelenzyme und zur Änderung der Richtlinie 83/417/EWG des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1493/1999 des Rates, der Richtlinie 2000/13/EG, der Richtlinie 2001/112/EG des Rates sowie der Verordnung (EG) Nr. 258/97

VERORDNUNG (EG) Nr. 1333/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über Lebensmittelzusatzstoffe.

VERORDNUNG (EG) Nr. 1334/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zur Verwendung in und auf Lebensmitteln sowie zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 1601/91 des Rates, der Verordnungen (EG) Nr. 2232/96 und (EG) Nr. 110/2008 und der Richtlinie 2000/13/EG

VERORDNUNG (EG) Nr. 1924/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. Dezember 2006 über Nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben über Lebensmittel.

VERORDNUNG (EG) Nr. 258/97 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. Januar 1997 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten

VERORDNUNG (EU) Nr. 1017/2013 DER KOMMISSION vom 23. Oktober 2013 zur Nichtzulassung bestimmter anderer gesundheitsbezogener Angaben über Lebensmittel als Angaben über die Reduzierung eines Krankheitsrisikos sowie die Entwicklung und die Gesundheit von Kindern.

VERORDNUNG (EU) Nr. 1129/2011 DER KOMMISSION vom 11. November 2011 zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf eine Liste der Lebensmittelzusatzstoffe der Europäischen Union

VERORDNUNG (EU) Nr. 1131/2011 DER KOMMISSION vom 11. November 2011 zur Änderung von Anhang II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Steviolglycosiden.

Verordnung (EU) Nr. 1169/2011: VERORDNUNG (EU) Nr. 1169/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Oktober 2011 betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel

VERORDNUNG (EU) Nr. 231/2012 DER KOMMISSION vom 9. März 2012 mit Spezifikationen für die in den

Anhängen II und III der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates aufgeführten Lebensmittelzusatzstoffe

VERORDNUNG (EU) Nr. 497/2014 DER KOMMISSION vom 14. Mai 2014 zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 in Bezug auf Advantam zur Verwendung als Süßungsmittel.

VG München (2011): Urteil vom 26. September 2011, Az. M 18 K 11.445.

Viuda-Martos, M.; Ruiz-Navajas, Y.; Fernandez-Lopez, J. and Perez-Alvarez, J.A. (2010): Effect of added citrus fibre and spice essential oils on quality characteristics and shelf-life of mortadella. *Meat Science* 85, 568-576.

Vonasek E., Le, P. and Nitin, N. (2014): Encapsulation of bacteriophages in whey protein films for extended storage and release. *Food Hydrocolloids* 37, 7-13.

Weerakkody N.S., Caffin N., Dykes G.A. and Turner M.S. (2011): Effect of antimicrobial spice and herb extract combinations on *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* and spoilage microflora growth on cooked ready-to-eat vacuum-packaged shrimp. *J. Food Protection* 74, 1119-1125.

WHO (2014): World Health Organisation. Draft guideline: Sugar intake for adults and children. Released for public consultation, 5 March 2014. (www.who.int/nutrition/sugars_public_consultation/en/)

Yang W., Tang H., Ni J., Wu Q., Hua D., Tao F. and Xu P. (2013): Characterization of two *Streptomyces* enzymes that convert ferulic acid to vanillin. *PLoS ONE* 8(6): e67339. doi:10.1371/journal.pone.0067339

Yang X., Tian H., Ho C. and Huang Q. (2011): Inhibition of citral degradation by oil-in-water nanoemulsions combined with antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 59, 6113-6119.

Yin B., Deng W., Xu K., Huang L. and Yao P. (2012): Stable nano-sized emulsions produced from soy protein and soy polysaccharide complexes. *J. Colloid and Interface Sci.* 15, 51-59

Zabala, U.M. (2011): Optimierung von Wachstum und Ertrag (Süßstoffbildung) bei *Stevia rebaudiana* Bertoni unter mitteleuropäischen Standortbedingungen. Dissertation an der Universität Bonn (2013)

Zagorski N. (2010): A role for calcium in taste perception. (http://www.eurekalert.org/pup_releases/2010-01/asfb-arf010810.php; Zugriff 02.06.2012)

Zamzuri, N.A. and Abd-Aziz (2012): Biovanillin from agro wastes as an alternative food flavor. *J Sci Food Agric* 93, 429-438.

Zhao G.Q., Zhang Y., Hoon M.A., Chandreshekar J., Erlenbach I., Ryba N.J. and Zuker C.S. (2003): The receptors for mammalian sweet and umami taste. *Cell* 115, 255-256.

Zinno P., Devirgiliis C., Ercolini D., Ongeng D. and Mauriello G. (2014): Bacteriophage P22 to challenge *Salmonella* in foods. *Int. J. Food Microbiology* 191, 69-74.

ZUCKERVERBÄNDE (2014): (www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/eu-zuckerpolitik/eu-marktregelung.html; Zugriff 30.11.2014)

Teil 3

Neue und neu- artige Rohstof- fe und Lebens- mittel

1. Funktionelle Lebensmittel (*functional food*) bzw. Lebensmittel mit gesundheitsbe- zogenen Aussagen (*health claims*)

Die **primäre Funktion** (Nährwert) von Lebensmitteln ist es, uns mit Nahrungsenergie und den notwendigen Makro- und Mikronährstoffen zu versorgen. Lebensmittel müssen auch schmackhaft sein, sonst werden sie nicht verzehrt, mögen sie noch so hochwertig sein (⇒ **sekundäre Funktion** – sensorischer Wert). Die Erkenntnis, dass unsere Lebensmittel mehr können (müssen), als uns nur mit Energie und Makro- und Mikronährstoffen zu versorgen, ist der Menschheit seit Jahrtausenden bekannt. Sie tragen nämlich auch zu unserem Wohlbefinden bei und können den Gesundheitsstatus beeinflussen und Erkrankungen vorbeugen (⇒ **tertiäre Funktion** - Gesundheitswert).

Lebensmittel, welche diese Funktion in besonderem Ausmaß oder in spezieller Weise erfüllen, werden als "Funktionelle Lebensmittel" (*functional food*) bezeichnet. In den asiatischen Kulturkreisen war das Bewusstsein dieser dritten Funktion immer schon gut verankert, aber auch in unserem Kulturkreis nicht unbekannt, wie die Aussage des altgriechischen Arztes Hippokrates (um 460 bis 370 v. Chr.) beweist: „*Eure Nahrung soll eure Medizin sein und eure Medizin eure Nahrung.*“

In den 80er-Jahren des vorigen Jahrhunderts begannen dann Forscher in Japan sich mit dem Gesundheitsnutzen von Lebensmitteln wieder intensiv auseinanderzusetzen. Es wurde das sogenannte FOSHU-Konzept (FOSHU = *foods for specified health use*) etabliert, welches 1991 durch die japanische Gesetzgebung fixiert wurde. Lebensmittelhersteller, welche ihre Lebensmittel mit einem speziellen FOSHU-Siegel ausloben wollen, müssen sich einem entsprechenden Zulassungsverfahren unterziehen (Shimizu, 2003). Im Jahr 2002 waren in Japan bereits 293 Lebensmittel in diesem Bereich zugelassen (Shimizu, 2002).

Aufbauend auf die japanischen Erfolge begannen Forscher und Hersteller auch in anderen Ländern sich mit diesem Konzept zu beschäftigen. In einigen Ländern wurden gleichfalls mehr oder weniger spezifische Regelungen für diese neue Lebensmittelkategorie getroffen, wie z.B. in China, USA, Canada, Australien und Neuseeland (Shimizu, 2003; Tee, 2002; Corbo et al., 2014). In der EU wurde ursprünglich ebenfalls begonnen, sich mit dem japanischen Konzept von funktionellen Lebensmitteln zu befassen. Auf Initiative der EU-Kommission wurde die FUFOS-Arbeitsgruppe etabliert (FUFOS = *Functional Food Science in Europe*), die in einem *Consensus Document* folgende, vorläufige Definition von Funktionellen Lebensmitteln erstellte (Diplock et al, 1999):

Ein Lebensmittel kann als „funktionell“ angesehen werden, wenn es über adäquate ernährungsphysiologische Effekte hinaus einen nachweisbaren, positiven Effekt auf eine oder mehrere Zielfunktionen im Körper ausübt, so dass ein verbesserter Gesundheitsstatus oder ein gesteigertes Wohlbefinden und/oder eine Reduktion von Krankheitsrisiken erzielt wird.

In weiterer Folge hat aber die EU einen eigenen, völlig anderen Weg beschritten. Es wurde auf die Definition des Begriffes „Funktionelle Lebensmittel“ verzichtet und stattdessen im Dezember 2006 das Konzept der nährwert- und gesundheitsbezogenen Angaben über Lebensmittel eingeführt [VERORDNUNG (EG) Nr. 1924/2006].

Diese im allgemeinen Sprachgebrauch als "Health Claims"-Verordnung [*Regulation on nutrition and health claims made on foods*] bezeichnete Regelung legt zwei Kategorien von Lebensmitteln

mit gesundheitsbezogenen Angaben ($\Rightarrow$ *health claims*) fest:

Artikel 2:

5. „**gesundheitsbezogene Angabe**“ jede Angabe, mit der erklärt, suggeriert oder auch nur mittelbar zum Ausdruck gebracht wird, dass ein Zusammenhang zwischen einer Lebensmittelkategorie, einem Lebensmittel oder einem seiner Bestandteile einerseits und der Gesundheit andererseits besteht;

6. „**Angabe über die Reduzierung eines Krankheitsrisikos**“ jede Angabe, mit der erklärt, suggeriert oder auch nur mittelbar zum Ausdruck gebracht wird, dass der Verzehr einer Lebensmittelkategorie, eines Lebensmittels oder eines Lebensmittelbestandteils einen Risikofaktor für die Entwicklung einer Krankheit beim Menschen deutlich senkt.

Gesundheitsbezogene Angaben, die auf allgemein akzeptierten, wissenschaftlichen Beweisen fundieren, fallen unter den Artikel 13.1, während solche, die auf neuen wissenschaftlichen Nachweisen beruhen, und/oder für die der Antragsteller Schutzrechte beansprucht, unter Artikel 13.5 eingeordnet werden. Angaben, die eine Verringerung eines Krankheitsrisikos oder die Entwicklung und Gesundheit von Kindern betreffen, fallen unter Artikel 14.

Ansprüche nach Artikel 13.1 betreffen Beziehungen zwischen Ernährung und Gesundheit und sind ausführlich in der wissenschaftlichen Literatur dokumentiert und es herrscht ein allgemeiner Konsens darüber in der wissenschaftlichen Gemeinschaft. In der Zwischenzeit sind die Bewerbungs- und Genehmigungsverfahren nach Artikel 13.1 abgeschlossen. Zukünftige Claims müssen nach den Artikeln 13.5 und 14 beantragt werden.

Auf der Homepage der EU (EU Register of nutrition and health claims made on foods; <http://ec.europa.eu/nuhclaims/>) findet sich einerseits die geschlossene Liste mit den 31 allgemein erlaubten, nährwertbezogenen Angaben und andererseits auch eine Aufstellung über beantragte, zugelassene und abgelehnte gesundheitsbezogene Angaben. Die letztere Aufstellung umfasst derzeit 830 (!) Seiten. Bis Seite 96 werden die erlaubten Anträge angeführt. Auf 736 Seiten werden die abgelehnten Anträge beschrieben, welche also weit mehr ausmachen.

Um eine gesundheitsbezogene Angabe zuzulassen, bedarf es eines entsprechenden Antrages. Die Formalitäten dafür werden in einer eigenen Verordnung geregelt [VERORDNUNG (EG) Nr. 353/2008]. Jedenfalls muss der Antrag ein umfassendes Dossier zur wissenschaftlich fundierten Beweisführung, einen Vorschlag für den Wortlaut des Anspruches und die spezifischen Bedingungen für seine Verwendung enthalten. Nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben sind nur zulässig, wenn sie wissenschaftlich begründet sind und erwartet werden kann, dass der durchschnittliche Verbraucher die positive Wirkung des eingereichten Anspruches versteht. Der durchschnittliche Verbraucher wird definiert als einer, der einigermaßen gut informiert, aufmerksam und umsichtig ist, unter Berücksichtigung sozialer, kultureller und sprachlicher Faktoren (Richardson & Eggersdorfer, 2015)

Die Zulassung einer gesundheitsbezogenen Angabe ist für einen Einreicher ziemlich aufwändig und kostspielig. Laut Corbo et al. (2014) beträgt der Aufwand 4,51-7,65 Millionen, wobei hier die Kosten für klinische Tests und andere Kosten, um einen wissenschaftlich gesicherten Beweis liefern zu können, gar noch nicht eingerechnet sind. Das wird zukünftig dazu führen, dass sich nur potente Firmen oder Konzerne einen solchen Antrag leisten und durchfechten können.

Der Weltmarkt für Funktionelle Lebensmittel (Lebensmittel mit spezifischen Health Claims, Energy Drinks nicht inkludiert) betrug im Jahr 2013 beachtliche 43,27 Milliarden Dollar. Das war eine wertmäßige Steigerung um 26,7 % seit 2009. Seitdem ist der Zuwachs etwas langsamer, bedingt durch die Weltwirtschaftskrise und die strengere Regelung in der EU (Leatherhead Food Research, 2014). Aufgrund des hohen Marktpotentials ist es verständlich, dass auch kleine Hersteller

(KMU's) daran teilhaben wollen. Da es, wie oben schon erwähnt, für KMU's schwierig ist, eigene Claims zu erhalten, können sie nur allgemein erlaubte, nährwertbezogene Aussagen verwenden, die aber kein Alleinstellungsmerkmal und keine Abgrenzung zu den Mitbewerbern ergeben. Die Suche nach Alternativ- oder Ausweichmöglichkeiten wird aus diesen Gründen in Zukunft verstärkt auftreten.

Gruenwald (2015) berichtet, dass es aufgrund der seiner Meinung nach sehr strengen Regelung der „Health Claims“-VO für viele Hersteller attraktiv ist, auf „Lebensmittel für besondere medizinische Zwecke auszuweichen“. Diese Lebensmittelkategorie (*FSMP – foods for medical purposes*) ist eine Unterkategorie der „Lebensmittel, die für eine besondere Ernährung bestimmt sind.“ (*PARNUTS – foods intended for particular nutritional uses*). Sie wurden in der VERORDNUNG (EU) Nr. 609/2013 erst kürzlich neu geregelt. Sie ermöglicht die Auslobung starker Ansprüche, ohne die Beschränkungen der „Health Claims“-VO. Ein FSMP muss sich zwar signifikant von einem normalen Lebensmittel bezüglich des Herstellungsverfahrens oder der Zusammensetzung unterscheiden, es kann aber über den dafür vorgesehenen Konsumentenkreis auch anderen Konsumenten zum Kauf freistehen. Da die gegenwärtige Regelung nicht völlig klar ist, plant die EU-Kommission bis Juli 2015 eine Präzisierung (Gruenwald, 2015).

Schönheitsbezogene Aussagen (**beauty claims**) wurden von der EFSA und der EU-Kommission offiziell als *Health Claims* abgelehnt (Frohnwieser & Verbeek, 2013; Normand, 2014). Eine genaue Definition oder Regelung für diese Art von Aussagen ist noch offen.

Eine weitere Alternative für die Hersteller ist das Ausweichen auf sensorische Aussagen. Als nächster Boom könnten deshalb vermehrt sogenannte **sensorische Auslobungen (sensory claims)** bevor stehen (Dawson & Stones, 2014). Es liegt es in der Natur der Sache mit dem Geschmack eines Lebensmittel zu werben, das Problem wird sein, den Wahrheitsgehalt sensorischer Aussagen zu belegen bzw. zu beweisen (z.B. fruchtiger Geschmack; cremiger Genuss; schmeckt, wie frisch gekocht). Vor allem die beiden Wörter „frisch“ und „natürlich“ kommen immer häufiger in allen möglichen Variationen und Kombinationen auf Lebensmitteletiketten vor, obwohl der Conveniencegrad unserer Lebensmittel generell ansteigt, also immer weiter vom Ausgangszustand entfernt ist. Unter Umständen kommen auf den Gesetzgeber hier weitere schwierige Aufgaben zu.

1.1. Funktionelle Lebensmittel beziehungsweise funktionelle Ernährung durch Epigenetik

In der EU wird mit der *Health Claims*-Regelung versucht eine eher sehr restriktive Abgrenzung zwischen Lebensmitteln und Medikamenten vorzunehmen. Es ist klar, dass Medikamente Krankheiten heilen und Krankheiten vorbeugen können, Lebensmittel aber nur den Gesundheitsstatus aufrechterhalten und damit ebenfalls Krankheiten vorbeugen können. Sie können aber keine Krankheiten heilen. Trotz der derzeit sehr strengen EU-Regelung werden weltweit in Zukunft die Grenzen zwischen Lebensmitteln und Medikamenten, zwischen Supermarkt und Apotheke verschwimmen.

Große Konzerne forschen sehr intensiv auf diesem zukunftssträchtigen Gebiet, wie beispielsweise der weltweit größte Lebensmittelkonzern Nestlé. Im Jahr 2011 gründete Nestlé eine neue Tochter, die Nestlé Health Science AG, in der alle Aktivitäten auf diesem Gebiet gebündelt werden. In den kommenden zehn Jahren sollen hunderte Millionen Schweizer Franken in den Aufbau eines Forschungszentrums für Gesundheitsernährung gesteckt werden (Die Presse, 2010). Nestlé teilte auch mit, dass ab 2014 18,31 Millionen Euro in den nächsten sechs Jahren in eine internationale

Forschungsgesellschaft im Bereich der Epigenetik investiert werden (NESTLÉ, 2014 a).

Ausgelöst wurde dieser neue Boom durch die großen Fortschritte im Bereich der Biotechnologie und Genetik in den letzten Jahren. Es wurde erkannt, dass unsere Umwelt, zu der auch die Ernährung zählt, mit unserem Genom ($\Rightarrow$ Erbgut beziehungsweise genetische Grundausstattung) interagiert. Noch vor einigen Jahren glaubte man, dass diese beiden Dinge voneinander unabhängig sind. Heute ist bekannt, dass alles was unsere Eltern und Großeltern gegessen haben, wie physisch aktiv sie waren, welchen Chemikalien sie ausgesetzt waren, das Aussehen und die Funktion unseres Körpers beeinflusst haben. Alles was wir selbst essen, kann unseren Körper über das Genom weiter beeinflussen und beispielsweise determinieren, ob wir bestimmte Krankheiten (z.B. Krebs) bekommen oder nicht (Jiménez-Chillarón, 2012; NESTLÉ, 2014 b).

Die junge Wissenschaftsdisziplin **Nutrigenomik** (*nutrigenomics*) bzw. **Nutrigenetik** umfasst Transkriptomik, Proteomik und Metabolomics und untersucht, wie durch Ernährung die Genexpression moduliert wird, also wie unsere individuelle genetische Ausstattung auf Ernährungseinflüsse reagiert (Kussmann & Fay, 2008). Sie versucht heterogene Effekte von Nährstoffen auf Sequenzvariationen im Genom zurückzuführen, und durch Einsatz neuer Untersuchungstechniken die Wirkungen von Nahrungsinhaltsstoffen auf die Expression des gesamten Genoms zu ermitteln. Dadurch werden wichtige Erkenntnisse zur Funktion von Lebensmittelinhaltsstoffen, sowie zur funktionellen Konsequenz einer genetischen Varianz gewonnen. Diese Erkenntnisse werden im Rahmen einer personalisierten Ernährung in Zukunft eine verbesserte Prävention ernährungsbedingter Erkrankungen ergeben.

Solche personalisierten bzw. individualisierten Ernährungsempfehlungen werden auch als „**molekulare Ernährung**“ bezeichnet. Diese umfasst die Aufklärung der physiologischen Wirkungen von Lebensmittelinhaltsstoffen auf den menschlichen Organismus auf molekularer Ebene. Unter anderem betrifft das die molekularbiologischen Grundlagen des Nährstofftransports, Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen und Genen, molekulare Mechanismen der physiologischen Wirkung von Nährstoffen, sowie von ernährungsassoziierten Erkrankungen.

Jeder einzelne Mensch könnte durch Einhaltung individualisierter Ernährungsempfehlungen seinen Gesundheitsstatus besser und leichter aufrechterhalten und Krankheitsrisiken minimieren. Lebensmittelproduzenten würde eine solche Entwicklung ermöglichen, auf spezielle Risikogruppen oder sogar auf Individuen abgestimmte funktionelle Lebensmittel herzustellen.

EPIGENETIK

Im Jahr 2003 war das Genom des Menschen vollständig entschlüsselt. Ernüchternd und enttäuschend dabei war, dass der Mensch mit etwa 25.000 Genen nicht wesentlich mehr als andere Säugetiere und sogar 6.000 Gene weniger als der Wasserfloh hat (Trageser, 2013). Das weckte Zweifel, ob unsere einzigartigen Fähigkeiten allein auf das Genom zurückzuführen sind. Hier kam nun die Epigenetik ins Spiel. Darunter ist das Studium bzw. die Wissenschaft von biologischen Mechanismen, die Gene aus- und einschalten können, zu verstehen; also ob ein bestimmtes, vorhandenes Gen transkribiert und in sein korrespondierendes Protein umgesetzt (translatiert) wird oder nicht. Die Anheftung von Acetylgruppen an Proteine, welche die DNA verpacken (Histone), verstärken die Transkription, während die Anheftung von Methylgruppen an bestimmte regulatorische Bereiche der DNA diese verringern (Ebert, 2013). Solche epigenetischen Modifikationen können durch Umweltfaktoren also auch durch die Ernährung verursacht werden, dauern lebenslang an und werden an die Nachkommen weitergegeben. Epigenetik heißt also, dass die genetische Aktivität verändert wird, ohne den genetischen Code zu verändern (Dahlhoff et al., 2008). Damit befindet sich eine Stufe oberhalb des Erbguts eine zweite Informationsebene, die darüber entscheidet, wann welche Inhalte aus dem genetischen Handbuch eines Organismus genutzt werden.

Das Genom eines Menschen entspricht deshalb als Vergleich der Hardware eines Computers, während das epigenetische Programm – als Software – bestimmt, wann welche Gene zum Einsatz kommen (Trageser, 2013).

Zwei Beispiele sollen die epigenetischen Wirkungen verdeutlichen. Das erste Beispiel sind die vom Epigenom-Netzwerk (2015 a) angeführten „holländischen Mütter“ zur Zeit des 2. Weltkriegs. Eine Gruppe von schwangeren Frauen in den Niederlanden, die aufgrund eines harten Winters und eines Lebensmittelembargos nahe am Verhungern waren, brachte relativ kleine Kinder zur Welt. Diese Kinder wuchsen dann zwar im verhältnismäßigen Wohlstand auf, aber als sie selbst Kinder bekamen, waren diese ebenfalls unerwartet klein. Die Auswirkung der schlechten Ernährung setzte sich als bis zu den Enkeln fort. Heute ist bekannt, dass dieser beobachtete Effekt auf Veränderungen an den epigenetischen Markierungen an der DNA zurückzuführen war und durch einen Mangel an entscheidenden Molekülen in der Ernährung der Großmütter verursacht wurde (Epigenom-Exzellenznetzwerk, 2015). Das zweite Beispiel beruht auf Tierversuchen mit einem Mausstamm, der anfällig gegenüber Krebs und Diabetes ist. Trächtige Mäuseweibchen wurden mit einem Futter versehen, dem großzügig Nahrungsergänzungsmittel (Folsäure, Vitamin B₁₂, Cholin) zugesetzt wurde. Das wirkte sich auf die Nachkommen aus, die schlank und gesund blieben (Hahne, 2012).

Beim Menschen ist der Zusammenhang zwischen einer Überernährung der Mutter und einer Adipositas bei den Kindern gut untersucht. Die Neigung zum Übergewicht basiert auf einer epigenetischen Fehlprogrammierung (Hahne, 2012). Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass sowohl eine Unter- als auch eine Überernährung epigenetische Einflüsse auf die Nachkommen haben.

Das Verhältnis zwischen Epigenetik und Krebserkrankungen ist noch weitgehend unklar. Tumorzellen haben aber im Allgemeinen relativ geringe Werte an DNA-Methylierung. Wie oben angeführt, könnte eine Methylierung wichtige Gene abschalten und so zu Krebserkrankungen beitragen (Epigenom-Exzellenznetzwerk, 2015 b). Nach Schätzungen der WHO könnten 30 % aller Krebserkrankungen durch eine gesunde Ernährung vermieden werden, weil Ernährungsfaktoren fast jeden Schritt bei der Krebsauslösung durch epigenetische Modifikationen beeinflussen (Mahlknecht, 2013).

Dogra et al. (2015) fanden, dass der Erwerb des frühen Darm-Mikrobioms (Zusammensetzung der Bakterienarten im Darm) durch Umweltfaktoren sehr stark beeinflusst wird. Die Zusammensetzung hat aber einen langandauernden Effekt auf die Gesundheit der Kinder. Diese Erkenntnisse könnten in Zukunft bei der Entwicklung von spezifischen Lebensmitteln für Schwangere genutzt werden, berichtet Nestlé (NESTLÉ, 2015).

Mit dem Fortschritt der epigenetischen Forschung werden also in Zukunft funktionelle Lebensmittel entwickelt werden können, die für einen bestimmten Personenkreis optimiert sind. Denkbar ist auch, dass für jedes Individuum aufgrund seines ermittelten genetischen Codes spezifische Ernährungsempfehlungen abgegeben werden können, eine personalisierte Nahrungsauswahl aus dem Angebot im Supermarkt getroffen werden kann, und/oder spezifische Lebensmittel für eine bestimmte Genausstattung erzeugt werden.

Funktionelle Lebensmittel und funktionelle Ernährung werden zukünftig mit Sicherheit einen anderen Stellenwert bekommen, als er derzeit durch das enge Korsett der Health Claims-Regelung vorgegeben wird. Der Weg zur personalisierten Ernährung (⇒ **molekulare Ernährung**) ist zwar vorgezeichnet und es wird auch sicher bald einige Erfolge in diese Richtung geben, aber bis zu einem generellen Durchbruch wird noch einige Zeit vergehen. Die Frage wird auch sein, ob alle Menschen auf diesem Weg mitgenommen werden können, oder ob es einigen wenigen aus den verschiedensten Gründen vorbehalten sein wird.

2. Neue Rohstoffe und Zutaten

2.1. Einleitung

In letzten Jahren ist innerhalb des Lebensmittelsektors ein vermehrtes Interesse an neuen Rohstoffen oder Zutaten zu vermerken. Dabei handelt es sich in vielen Fällen um die „Wiederentdeckung“ von einheimischen Rohstoffen, die früher in unseren Breiten verwendet wurden (z.B. „alte“ Getreidesorten), oder um „neue“ Rohstoffe, die aus fernen Weltregionen stammen und dort noch regelmäßig genutzt werden oder ebenfalls fast in Vergessenheit geraten sind. Zumindest für Europa handelt es sich um neue Rohstoffe, weil sie bislang hier nicht genutzt wurden.

In diesem Kapitel werden einige wichtige dieser neuen Rohstoffe ausgewählt und näher vorgestellt. Es handelt sich hier aber um keine vollständige Behandlung ALLER neuen Rohstoffe. Eine Gliederung erfolgt in Getreide, Leguminosen und Ölsaaten sowie Früchte. Am detailliertesten wird die Gruppe der Getreidesorten behandelt, weil Getreide die Grundlage der Ernährung in allen Weltregionen darstellt und somit die Konsumentinnen und Konsumenten am meisten betrifft. Leguminosen und Ölsaaten werden gemeinsam behandelt, weil viele Leguminosen auch als Ölsaaten genutzt werden. Zuletzt werden noch einige „Superfrüchte“ ausgewählt und behandelt.

2.1.1. Mögliche Gründe für das Interesse an neuen Rohstoffen

Woher kommt überhaupt das Interesse an diesen neuen/alten Rohstoffen? Dafür sprechen mehrere Gründe.

Erweiterung der Rohstoffvielfalt

Die meisten Nahrungsmittel, die wir heute in den Ländern des Nordens (Europa, Nordamerika) im Handel angeboten bekommen, werden aus immer weniger Rohstoffen hergestellt (siehe Teil 1 – Kap. 1.1.2.2.). Obwohl es eine scheinbar unendliche Vielfalt an Lebensmittelprodukten im Handel gibt, bestehen diese doch fast immer aus den gleichen oder ähnlichen Rohstoffen. Den „gesunden“ Konsumentinnen und Konsumenten fällt diese Einschränkung der landwirtschaftlichen Biodiversität kaum auf; wer aber an einer Allergie oder Intoleranz gegen einen dieser sehr häufig verwendeten Rohstoffe leidet (z.B. Glutenunverträglichkeit und damit Verzicht auf Weizenkonsum; oder Milcheiweißallergie), für den schränkt sich die mögliche Auswahl an Lebensmitteln in einem Supermarkt oft drastisch ein.

Warum gibt es diese Einschränkung auf so wenige Rohstoffe?

Zu den wichtigsten Gründen, die hier zu nennen sind, und für die Länder Europas und Nordamerikas zutrifft, zählen sicher wirtschaftliche Gründe.

- **Wirtschaftliche Gründe – Lebensmittelpreise so niedrig wie möglich**

Die Hersteller sind bemüht, Lebensmittel so billig wie nur möglich zu erzeugen. Der Konsument ist nicht (mehr) bereit, viel Geld für Lebensmittel auszugeben. Obwohl absolut gesehen die Preise für Lebensmittel im Einzelnen oft sehr stark schwanken und insgesamt steigen, so sind sie über die letzten Jahrzehnte real, bezogen auf das Haushaltseinkommen, stetig gesunken, wie Abb. 3.2.1 für

die Preisentwicklung von Nahrungsmittel (bezogen auf die gesamten Konsumausgaben, Beispiel Deutschland) zeigt. Auch in Österreich bewegt sich der durchschnittliche Anteil an Ausgaben für Nahrungsmittel heute bei etwa 12-13 %. Damit spielen die Kosten für Nahrung im privaten Durchschnittshaushalt – anders als im Bewusstsein vieler Konsumenten – keine dominierende Rolle mehr. Doch der Konsument reagiert gerade im Nahrungsmittelsektor sehr empfindlich auf Preis-erhöhungen (Grassmann, 2015).

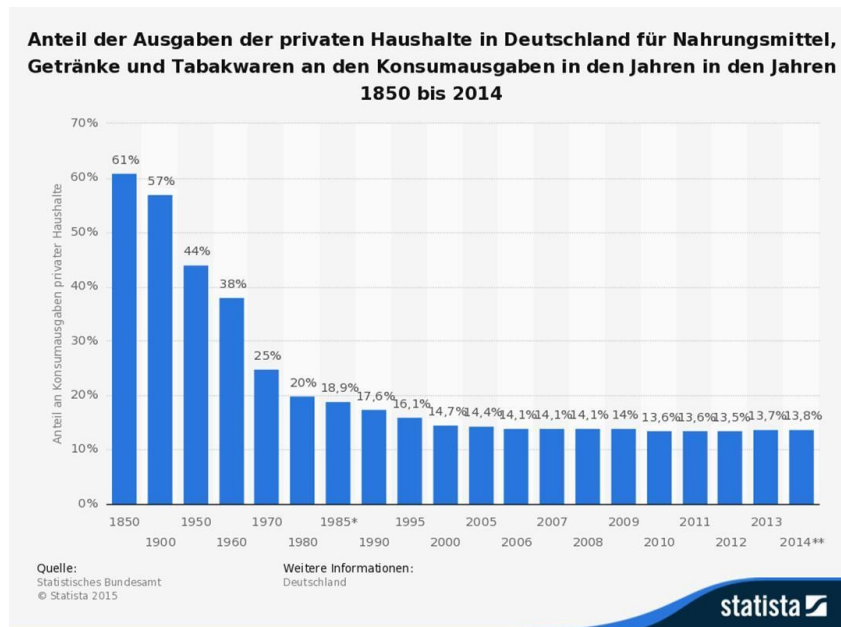


Abb. 3.2.1: Preisentwicklung für Nahrungsmittel bezogen auf die gesamten Konsumausgaben in den letzten 150 Jahren (Beispiel Deutschland) (Statista, 2015)

Die gesamte Lebensmittelkette, beginnend von der Landwirtschaft über die Verarbeitung bis zum Vertrieb, ist damit bestrebt, Lebensmittel so billig wie möglich zu produzieren und anzubieten. Umsatzmaximierung ist oberstes Gebot in der Lebensmittelindustrie. In der Landwirtschaft dominiert damit eine Ertragssteigerung, um so den Preis gering zu halten, in der Verarbeitung wird in großen Anlagen möglichst rationell produziert. Das hat auch zur Folge, dass sich Züchter und Saatgutfirmen nur auf wenige Sorten konzentrieren (können). In der Lebensmittelherstellung erlauben groß angelegte Produktionslinien nur eine geringe Flexibilität. Eine Semmelbackstraße, die beispielsweise 24.000 Semmeln pro Stunde produziert, kann nicht so einfach umgestellt werden, um zwischendurch eine (kleinere Charge an) Vollkornsemmeln aus Dinkel zu backen. Kleinere Firmen, die logistisch in der Lage sind solche Spezialprodukte herzustellen, können aber mit diesem Preisdruck kaum mithalten. Ihr Marktanteil bewegt sich daher in einem viel kleineren Bereich.

Warum ist aber gerade in den Ländern des Nordens der Preisdruck für Lebensmittel so enorm? Warum dürfen hier Lebensmittel aus der Sicht der Konsumentinnen und Konsumenten nichts kosten? In Asien beispielsweise sind die prozentualen Ausgaben für Lebensmittel viel höher als in Europa oder USA [z.B. Thailand 29,17 % der Gesamtausgaben im Jahre 2011, Österreich 10,40 % - 2010, USA 6,69 % -2011; Daten bezogen von UNdata (Statistisches Bundesamt, 2015)].

Dazu soll ein Blick in die Geschichte gewagt werden.

- **Kulturbedingte/historische Gründe – statt Vielfalt an Rohstoffen, Vielfalt der Verarbeitung?**

Historisch betrachtet, verfügten die Länder in **Europa** - ausgenommen im mediterranen Raum -

eher über eine **begrenzte Auswahl an Nahrungsrohstoffen**. Umweltbedingt gab es in diesen geografischen Breiten viel weniger Obst- und Gemüsesorten als in den Ländern des Südens. Auch im Bereich der Getreidesorten wurden vor allem widerstandsfähigere Sorten wie Gerste, Dinkel, Einkorn oder Emmer angebaut, im Norden vermehrt Roggen. Vor der Einfuhr der Kartoffel aus Südamerika waren stärkereiche Nahrungspflanzen in Europa oft Mangelware.

Zusätzlich verlang(t)en die Klimabedingungen im Norden eine Vorratshaltung über oft lange Winterperioden, in denen frische Nahrungsmittel nicht geerntet werden konnten. Damit war eine Haltbarmachung von Lebensmitteln notwendig. Im Gegensatz dazu können in den tropischen Ländern Nahrungsmittel rund um das Jahr vom Feld geerntet werden.

Resultierend aus diesen Umständen hat sich **in den Ländern des Nordens eine umfassende Verarbeitung von Rohstoffen zu Lebensmitteln** entwickelt. Einerseits um die Haltbarkeit zu verlängern, andererseits aber sicher auch um eine Vielfalt an Mahlzeiten zu gestalten. Aus wenige(re)n Rohstoffen wurden viele verschiedene Gerichte kreiert. Schaut man sich die umfassende Vielfalt an Produkten an, die heute allein aus Weizen erzeugt werden (Brot, Gebäck, Kuchen, Nudeln, Kekse, Mehlspeisen, Knödel, Cracker, Flocken, Bier, Paniermehl, usw.) wird deutlich, dass lebensmitteltechnologisch sehr komplexe (und oft zeitintensive) Verarbeitungsmethoden entwickelt wurden. Die Backtechnologie beinhaltet eine Reihe von komplexen Verarbeitungsschritten und erfordert sehr viel Erfahrung und Wissen.

Vergleicht man dazu die Länder des Südens und speziell der Tropen, bestand hier bzw. besteht die Abwechslung im Speiseplan durch die vielfältige Verfügbarkeit an Rohstoffen zu jeder Jahreszeit. Gerichte, die daraus kreiert werden, entsprechen sehr häufig „Eintopf- oder Einpfannengerichten“. Auch im Andenraum, der oft als das größte Pflanzenzuchtzentrum der Welt bezeichnet wird, haben Eintopfgerichte und Suppen noch heute eine große Bedeutung. Küchentechnisch sind vor allem Kochen, Dämpfen und Braten relevant; in asiatischen Haushalten gibt es üblicherweise keine Backöfen. Die **Kochkunst in Asien besteht in der Komposition der Zutaten** – wie werden die Rohstoffe geschnitten oder sonst zerkleinert (unterschiedliche Schneidetechniken haben eine unterschiedliche Freisetzung der Inhaltsstoffe und Aromen zur Folge); wann wird welcher Rohstoff in welchen Mengen zugeben – es erfordert viel Verständnis für die Zutaten um am Ende ein harmonisches Geschmackserlebnis aus dieser Vielfalt zu schaffen. Technologisch betrachtet kann vereinfacht gesagt werden – während die asiatische Küche „nur“ ein großes Sortiment an Messern benötigt, verlangt die westliche Lebensmittelverarbeitung verschiedene komplexe Küchengeräte oder Verarbeitungsmaschinen.

Aufgrund dieser kultur- und umweltbedingten Faktoren können folgende Hypothesen abgeleitet werden:

- Die Länder des Nordens sind an eine Ernährung aus wenigeren Rohstoffen und weniger Geschmacksvielfalten gewöhnt. **Essen und Mahlzeiten haben dadurch nicht diesen Stellenwert entwickelt** wie in Ländern mit einer hohen Rohstoffvielfalt. Um ein Beispiel innerhalb Europas zu nennen: Italien ist als Weltküche eindeutig bekannter als England. Historisch betrachtet denke man an die vielbeschriebenen Festgelage der Römer im Vergleich zur Schweinsstelze oder Wildschweinbraten der Gallier. Auch heute noch hat Essen und vor allem die Qualität der Rohstoffe in Italien einen sehr hohen Stellenwert. Vielleicht „darf“ (unser tägliches) Essen deswegen nur wenig kosten, es wird als Grundrecht betrachtet und nicht als etwas, das einen hohen Wert besitzt (und daher kostet).
- Neue Rohstoffe werden nach Möglichkeit in die bekannten (verarbeiteten) Lebensmittelprodukte integriert. Das erfordert viel Geschick und gelingt nicht immer – technologisch gesehen, aber auch sensorisch. Wir reagieren empfindlich auf Geschmacksveränderungen der hochverarbeiteten Produkte (aus demselben Rohstoff). Eine Semmel sollte beispielsweise immer gleich

schmecken. Neue Rohstoffe können sich daher besonders dann gut auf dem Markt etablieren, wenn ihre Integration in die bestehende Lebensmittelverarbeitung gut gelingt.

Den Rohstoffhandel hat es zwar historisch schon immer gegeben und Beispiele für erfolgreiche Einführungen von neuen Pflanzen gibt es viele. Im Mittelalter war der Gewürzhandel von Asien nach Europa ein wichtiger Faktor, und nach der Entdeckung Amerikas sind zahlreiche Pflanzen von dort nach Europa und in die ganze Welt verbreitet worden. Wer denkt heute noch daran, dass Paradeiser, Chili, Mais, Gartenbohne, Koriander, Yucca (Cassava) u.v.m. ursprünglich aus Lateinamerika stammen? Die Einfuhr der Kartoffel war für die Ernährungssituation in Europa ein wahrer Segen und wurde wahrscheinlich auch deswegen so erfolgreich aufgenommen. Der Unterschied zu früher ist aber, dass in der heutigen Zeit der Austausch von Lebensmitteln an Umfang und Geschwindigkeit zugenommen hat. Mittlerweile ist heute im Bereich der Nahrungsmittel fast alles überall und jederzeit zu erhalten, und das zu leistbaren Preisen. Die Bevölkerung ist zunehmend an neuen Geschmacks- und Sinneseindrücken interessiert, beziehungsweise aufgrund der steigenden Mobilität sind viele dieser Rohstoffe von Fernreisen bekannt. Da aber die Länder des Nordens sehr verarbeitungsorientiert sind, genügt es in vielen Fällen nicht, diese Rohstoffe in ihrer Grundbeschaffenheit zu konsumieren. Es wird versucht diese Rohstoffe in bestehende, verarbeitete Produkte zu integrieren oder oft auch ganz neue und innovative Produkte zu entwickeln. Eine Integration von neuen Rohstoffen – technologisch und sensorisch – ist aber nicht in dieser neuen globalen Geschwindigkeit möglich und verlangen einen hohen Einsatz aller Beteiligten.

Was auch immer letztendlich die tatsächlichen Gründe für die eingeschränkte Verwendung von Rohstoffen sein mag, sowohl aus Gründen der landwirtschaftlichen Biodiversität als auch aus ernährungsphysiologischen Gründen, ist diese einseitige Verwendung von Rohstoffen nicht wünschenswert. Für Allergie Betroffene schränkt sich die für ihn mögliche Auswahl unter Umständen auf wenige Produkte ein.

Lebensmittelversorgung einer wachsenden Weltbevölkerung

Ein weiterer Grund für das Interesse an neuen Rohstoffen liegt vielleicht in der Herausforderung die wachsende Weltbevölkerung ausreichend mit Lebensmitteln zu versorgen. Aufgrund des Bevölkerungsanstieges – im Jahre 2050 werden nach derzeitigen Prognosen etwa 9 Milliarden Menschen die Erde bewohnen – und dem damit einhergehenden wachsenden Nahrungsmittelbedarf werden die derzeitigen Systeme der Lebensmittelproduktion zunehmend hinterfragt. Der weltweite Ernährungstrend orientiert sich immer mehr an westlichen Bräuchen und Werten (Yen, 2009), dabei stößt dieses „westliche Modell“ teilweise schon jetzt an seine Grenzen und ist kaum nachhaltig (van Huis et al., 2013) (siehe Teil 1, Kap.1.1.).

Eine Suche nach alternativen Rohstoffen und die Erforschung deren Einsatzmöglichkeiten sind deshalb sinnvoll. Die Bemühungen beispielsweise Insekten oder Algen in die weltweite Ernährung zu etablieren ist auch in diesem Lichte zu sehen.

Reduktion der Lebensmittelverschwendung

In letzter Zeit wurde die Bevölkerung durch Filme und Medien für die Tatsache sensibilisiert, dass (zu) viele Lebensmittel in der derzeitigen Versorgungskette weggeschmissen werden.

Einerseits werden hier viele fertig produzierte Lebensmittel im genusstauglichen Zustand entsorgt, um z.B. im Handel den Konsumentinnen und Konsumenten nur absolut frische Lebensmittel anzubieten. Viele Produkte werden aber auch vom Endnutzer (Einzelkunde oder Gastronomie) weggeschmissen. Im Bereich Brot und Backwaren beispielsweise belaufen sich die nicht consu-

mierten Waren unterschiedlichen Angaben zufolge auf etwa ein Drittel bis zur Hälfte aller hergestellten Produkte.

Andererseits entstehen während der Lebensmittelverarbeitung viele Lebensmittel"abfälle", weil nicht alle Rohstoffbestandteile für die Produktion der Endprodukte verwendet werden. Im Sinne einer nachhaltigen und wirtschaftlichen Arbeitsweise wird heute nicht mehr von Lebensmittelabfällen, sondern von Neben- und Restprodukten der Lebensmittelverarbeitung gesprochen.

In vielen Fällen ist die Abtrennung von Lebensmittelbestandteilen nicht vermeidbar, wie z.B. das Entfernen von Obstschalen, -kernen oder -steinen. In anderen Fällen ist die nur teilweise Nutzung von Rohstoffen zu hinterfragen, wie z.B. bei der Herstellung von weißem Auszugsmehl. Obwohl die abgetrennten Kleiefractionen durchaus wertvoll sein können, wird nur ein Bruchteil dessen, was in der Mühlenindustrie anfällt, in Endprodukten eingesetzt. Auch der Einsatz als Tierfutter kann diese großen Kleiemengen nicht auffangen. So wird ein großer Anteil der Weltgetreideernte letztendlich verbrannt oder deponiert.

Die Nutzung von alternativen Rohstoffen geht oftmals mit einer ganzheitlichen Nutzung einher – so werden beispielsweise die Pseudogetreide fast ausnahmslos als Vollkorn eingesetzt –, dadurch fallen weniger nicht genutzte Fraktionen dieser neuen Rohstoffe an.

Die Untersuchung der Verwendungsmöglichkeiten von Lebensmittelbestandteilen, die aufgrund einer nur teilweisen Nutzung von Rohstoffen entstehen, ist in letzter Zeit vermehrt im Fokus der Forschung. Da diese Lebensmittelbestandteile neben wertvollen Nährstoffen aber oftmals auch antinutritive oder gar toxische Inhaltsstoffe enthalten, unterliegen solche neuartigen Rohstoffe sehr oft der Novel Food Verordnung [VERORDNUNG (EG) Nr. 258/1997].

Bevor sie zugelassen werden, sind umfassende toxikologische Untersuchungen notwendig. Es handelt sich damit um „neue Rohstoffe oder Zutaten“. Die Beschreibung einer Auswahl solcher neuer Lebensmittelzutaten erfolgt in Kapitel 3.

2.2. Wiedernutzung alter (einheimischer oder eingeführter) Rohstoffe

2.2.1. Getreidesektor

Getreide und Lebensmittel aus Getreide (z.B. Brot, Teigwaren und Backwaren) bilden immer noch die Basis der Ernährung weltweit. Ihre Hauptaufgabe besteht in der Bereitstellung von Nahrungsenergie, weil sie reich an Kohlenhydraten sind, vor allem an Stärke. Auch als Proteinquelle sind sie für viele Regionen der Welt relevant. Daneben enthalten Getreide aber eine Reihe wichtiger Inhaltsstoffe, die gesundheitsfördernde Wirkungen ausüben. Dazu zählen Vitamine, Mineralstoffe, Ballaststoffe und sekundäre Pflanzenstoffe.

Botanisch lassen sich die Getreidesorten wie in Abb. 3.2.2 zusammengefasst einteilen. Die echten Getreidearten sind einkeimblättrige Pflanzen und werden den *Monocotyledoneae* zugeordnet. Demgegenüber stehen die zweikeimblättrigen Pflanzen (*Dicotyledoneae*), denen die meisten der blühenden Pflanzen zugeordnet werden. Etwa 90 % aller Landpflanzen sind zweikeimblättrig. Es gibt eine große Vielfalt an Getreidearten und -sorten und weiteren stärkereichen Samen (botanisch keine Getreidearten, aber wie solche verwendet, z.B. Pseudogetreide), die für die Ernährung genutzt werden können. Leider schränkt sich aber in den letzten Jahren die Produktion und der Konsum weltweit auf nur drei Getreidearten ein: Weizen, Reis und Mais, die zusammen etwa

86 % der Weltproduktion ausmachen (Abb. 3.2.3). Insbesondere in Europa dominiert die Verwendung von Weizen sehr stark. Alle anderen Getreidearten werden nur in einem kleinen Ausmaß angebaut. Diese Tatsache kann nicht positiv bewertet werden, vor allem, weil es sehr viele Alternativen gibt. Innerhalb der Getreidesorten sind hier beispielsweise zu nennen: Gerste, Hafer, Dinkel, Einkorn, Emmer, Hirse und Sorghum. Auch innerhalb der häufig genutzten Getreidearten gibt es viele bislang noch wenig genutzte Sorten, wie z.B. gefärbte Weizen- und Gerstensorten (z.B. Purpurweizen). Daneben gibt es noch die sogenannten Pseudogetreidearten Amaranth, Quinoa und Buchweizen, die ebenso wie Getreide in der Ernährung verwendet werden können. Viele dieser Sorten werden hauptsächlich in den Ländern ihres Ursprungs angebaut (gefärbte Reisarten in Asien, gefärbte Maisarten in Südamerika, gefärbte Weizenarten vor allem in Äthiopien), sie rücken aber auch bei uns vermehrt ins Forschungsinteresse. Diese genannten alternativen Getreidevarietäten enthalten sehr viele gesundheitsfördernde Nährstoffe, die teilweise höher als im Weizen sind. Im Bereich der Weizensorten, werden diese Hochleistungssorten (Qualitäts- oder Brotweizen) vor allem auf ihren Ertrag und ihre Backeignung (hoher Klebergehalt und -qualität) gezüchtet. Ernährungsphysiologische Eigenschaften wie der Gehalt an Mikronährstoffen oder sekundären Pflanzenstoffen treten in den Hintergrund. Erstrangiges Ziel sind eine hohe Ertragsmenge und eine hohe Volumenausbeute im Brot- und Backwarenbereich. Die Semmel beispielsweise ist per Gewicht definiert. Der Konsument kauft allerdings „mit den Augen“. Ist die Semmel größer, glaubt er mehr zu bekommen, dabei enthält sie unabhängig von seiner Größe immer gleich viel Teig bzw. Mehl und damit gleich viel Nahrungsenergie.

In Österreich werden auf ca. einem Drittel des gesamten Ackerlandes Getreide angebaut (ca. 900.000 ha). Aufgrund der günstigen Wachstumsbedingungen ist Weizen (vor allem Weichweizen) die Hauptkulturart in Österreich, gefolgt von Mais. Weichweizen wird mit durchschnittlichen Erträgen von über 4,2 t/ha kultiviert, was eine jährliche Produktion von durchschnittlich 1,3 Mio. t ergibt. Mais stellt in Österreich nach Weizen die zweitwichtigste Kulturart dar. Jährlich werden derzeit auf rund 300.000 ha Mais angebaut, davon entfallen 220.000 ha auf Körnermais (Ernteprodukt ist das Korn). Die durchschnittlichen Hektarerträge belaufen sich bei Körnermais auf ca. 10 t/ha, was weltweit gesehen, beachtlich ist. Gerste (Sommer- und Wintergerste) wird in Österreich auf einer Fläche von rund 150.000 ha mit einem durchschnittlichen Hektarertrag von 3,4-5,3 t/ha angebaut. Wintergerste dient vor allem als Viehfutter, während Sommergerste vorrangig als Braugerste genutzt wird. Als weitere Getreidesorten werden noch Roggen, Triticale, Hartweizen, Hafer und Dinkel verwendet, allerdings alle in sehr kleinen Anbaumengen (unter 50.000 ha) (BMLFUW, 2015).

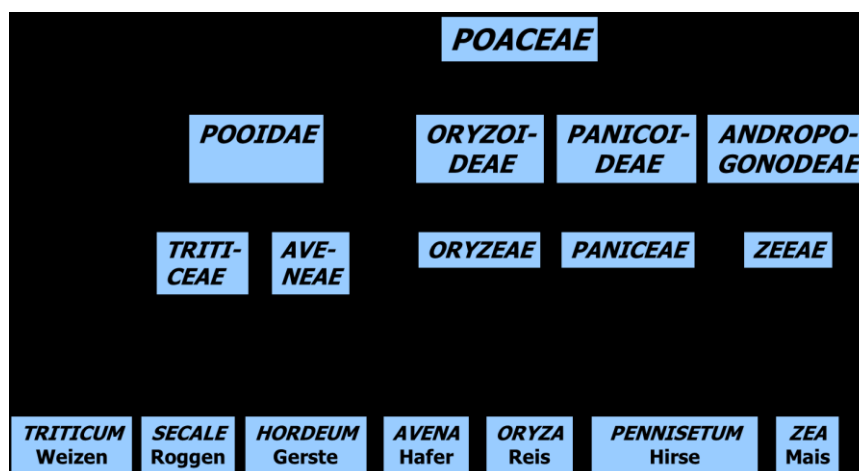


Abb. 3.2.2: Botanische Einteilung der echten Getreidearten

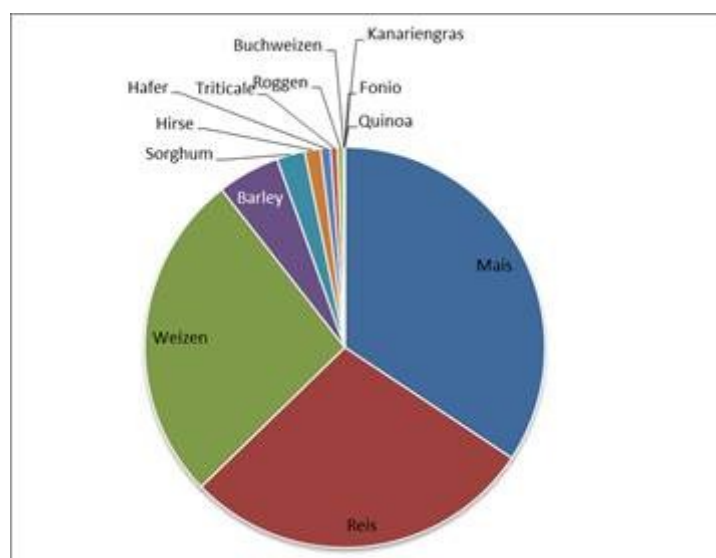


Abb. 3.2.3: Weltweite Produktion von Getreide (FAOStat, 2013)

In Österreich werden zwar laufend neue Sorten zugelassen (vor allem Biosorten), tatsächlich verwendet werden aber nur einige Wenige. Eine genaue Statistik über den mengenmäßigen Anbau der einzelnen Weizensorten ist zwar nicht verfügbar, aber die Landwirtschaftskammer Österreich nennt z.B. nur sieben Qualitätsweizensorten für 2014. Zu den wichtigsten Weizensorten Europas gehören Mulan, Akteur, Premio, Apache und Aubusson.

Die Öffentlichkeit ist sich zunehmend der einseitigen Nutzung von wenigen Getreidesorten bewusst, und es können in letzter Zeit vermehrt Bestrebungen wahrgenommen werden, alte, bekannte Sorten wieder für die Produktion von Backwaren zu verwenden, beziehungsweise rücken auch (neu) eingeführte Sorten in den Fokus. Vor allem bedingt durch die weltweite Zunahme der Glutenunverträglichkeit (Zöliakie und Glutensensitivität), wird in Zukunft eine gesteigerte Nachfrage nach glutenfreien Lebensmitteln entstehen, was alternative Getreidearten interessant macht. Das Potenzial dieser alternativen Getreidearten zur Entwicklung von neuen, gesunden und schmackhaften Lebensmitteln ist bei Weitem noch nicht ausgeschöpft.

Die letzten Ernährungsberichte (z.B. Österreichischer Ernährungsbericht 2012 und 2008) zeigen, dass der Konsum von Brot und anderen Getreideprodukten allgemein rückläufig ist. Innerhalb dieser Produktgruppe werden außerdem vermehrt (süße) Feinbackwaren konsumiert. Ein höherer Konsum von vollwertigen Brot und Backwaren wäre wünschenswert. Durch ein erweitertes Sortiment basierend auf einer ausgeweiteten Rohstoffvariation könnte dieses Ziel wahrscheinlich leichter erreicht werden.

2.2.1.1. Gefärbte Getreidearten

Es kann davon ausgegangen werden, dass ursprünglich alle unsere Getreidearten durch sekundäre Pflanzenstoffe stark pigmentiert, also gefärbt waren. Im Laufe der (Züchtungs)-Geschichte wurden diese sekundären Pflanzenstoffe mehr und mehr heraus gezüchtet, weil ein Übermaß sensorische und ernährungsphysiologische Nachteile haben kann. Diese Bemühungen waren so erfolgreich, dass heute fast nur helle, pigmentarme Sorten verwendet werden. Sekundäre Inhaltsstoffe haben aber, wie heute bekannt ist, auch viele positive Eigenschaften. So wie oft, hängt es von der aufgenommen Dosis ab. Eine Steigerung der sekundären Pflanzenstoffe in der derzeitigen Ernährung ist durchaus als vorteilhaft zu sehen.

Prinzipiell können Farbpigmente in fast allen Pflanzenteilen vorkommen. Üblicherweise sind aller-

dings hauptsächlich die Kleieanteile gefärbt. Die purpurnen oder blauen Färbungen der Getreidesorten werden durch phenolische Komponenten, vor allem durch sogenannte Anthocyane hervorgerufen. Der Gehalt an Anthocyanen in gefärbten Getreidearten übersteigt den Gehalt in gewöhnlichen Sorten um ein Vielfaches (Bellido und Beta, 2009). Diese Anthocyane sind vorrangig in der Kleiefraktion (Pericarp) oder der Aleuronschicht (ein Teil der inneren Samenschale) zu finden. Schwarze Weizensorten sind nicht eigentlich schwarz, sondern stark dunkelpurpur. Schwarze Gerstensorten dagegen enthalten Melanine, die die purpurne oder blaue Färbung der Körner überlappen können. In Weizensorten sind diese Melanine bislang noch nicht bekannt.

Anthocyane gehören zur Gruppe der Flavonoide und werden zu den sekundären Pflanzenstoffen gezählt. Chemisch gesehen bestehen sie aus einem Aglykon und einem glycosidisch gebundenen Zuckeranteil. Das Aglykon des Anthocyanins, auch Anthocyanidin genannt, ist der farbbestimmende Anteil. Anthocyane sind sehr gut wasserlöslich und sind dadurch eine natürliche Alternative für künstliche Farbstoffe.

Der Nutzen der gefärbten Getreidearten besteht vor allem aufgrund ihres hohen Gehaltes an sekundären Pflanzenstoffen, wie Anthocyanen und Carotinoiden. Die gesundheitsfördernden Effekte beruhen auf ihrer antioxidativen, immunsystemstärkenden und antikanzerogenen Wirkung.

Die Wirkung von Anthocyanen ist die eines Antioxidans, sie können die Wirkung von Vitamin C oder Vitamin E um ein Vielfaches übersteigen (in vitro). Damit können sie freie Radikale binden, worauf ihre antikanzerogene Wirkung begründet ist. Es ist noch nicht gesichert, ob Anthocyane diese antioxidative Wirkung in diesem Ausmaß auch in vivo entfalten können, weil ihre Bioverfügbarkeit oft sehr schlecht ist und sie nur in geringen Mengen während der Verdauung aufgenommen werden. Weitere gesundheitliche Effekte, die Anthocyanen nachgesagt werden, sind ihre entzündungshemmende und immunmodulierende Wirkung.

Neben den Anthocyanen enthalten die gefärbten Getreidearten (Weizen oder Gerste) auch nennenswerte Mengen an Carotinoiden, z.B. Lutein oder Zeaxanthin. Diese sind im Gegensatz zu den Anthocyanen zumeist im Innern des Korns, im Endosperm verteilt (Siebenhandl et al., 2007). Potentielle Gesundheitseffekte, die den Carotinoiden und auch den anderen polyphenolischen Substanzen zugeschrieben werden, sind eine antioxidative, immunsystemstärkende und antikanzerogene Wirkung (Mares-Perlman et al, 2002; Calvo, 2005). Getreide mit einem hohen Gehalt an Carotinoiden können vor oxidativem Stress schützen, da Carotinoide hervorragende Radikalfänger sind. Lutein und Zeaxanthin sind für die Färbung der *Macula lutea* („gelber Fleck“) der Augennetzhaut, der Teil der Netzhaut mit der maximalen Sehkraft, verantwortlich. Aus diesem Grund wird vermutet, dass Lutein und Zeaxanthin vor altersbedingter Makuladegeneration und Augenkatarakten („grauer Star“) schützen können (Seddon et al., 1994; Beatty et al., 2000).

Gefärbte Weizen- und Gerstensorten

Purpurweizen wurde erstmals von Ludwig Wittmack 1879 erwähnt. Die Getreidekörner wurden vom Botaniker Johann Maria Hildebrandt während einer Reise nach Ostafrika 1872/73 gesammelt und dem Landwirtschaftsmuseum in Berlin überbracht. Später wurde dieses Merkmal eines purpurfarbenen Perikarps (Teil der Weizenschale) von den ursprünglichen (tetraploiden) äthiopischen Weizensorten auf die heutigen (hexaploiden) Brotweizensorten übertragen (Zeven, 1991). Die blauen Weizensorten wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts durch spezielle Kreuzung von Weizen mit Weizenverwandten gezüchtet. Original wurden diese Kreuzungen durchgeführt, um Gene für eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten, Winterfestigkeiten oder Ernteeigenschaften zu transferieren. Die Herkunft der blauen Aleuronschichten in europäischen „Blaukornweizen“ erwies sich als Einkornweizen (*Triticum boeoticum* Boiss. oder *Triticum monococcum* L.), während verschiedene andere blaukörnige Weizentypen aus Kreuzungen von *Agropyron* (syn. *Thinopyrum*, eine Wildgrasart) und anderen wilden Weizensorten stammten (Zeven,

1991).

Die Gene für die purpurn gefärbten Kleiefractionen entstammen somit ursprünglichen, äthiopischen Sorten, während die blauen Aleuronschichten von Genen aus wilden Einkornweizen oder Wildgräsern hervorgerufen werden. Die schwarze Färbung der Weizensorten ist eigentlich „dunkelpurpur“ und kann durch eine Kombination von purpurn gefärbter Kleie und blau gefärbter Aleuronschicht hervorgerufen werden (Syed Jaafar et al., 2013).

Siebenhandl-Ehn et al. (2007) haben den Gehalt an phenolischen Substanzen und ihre antioxidativen Eigenschaften in verschiedenen gefärbten Getreidesorten (Weizen und Gerste) gemessen. Aufgrund der ungleichen Verteilung der physiologisch aktiven Stoffe innerhalb des Kornes, konnte durch Vermahlung in verschiedenen Kornfraktionen der Gehalt an Gesamtphenolen, Anthocyanen, Carotinoiden und die antioxidativen Eigenschaften signifikant beeinflusst werden. Die Kleiefractionen wiesen die höchsten antioxidativen Aktivitäten auf, welche 3 – 5-mal höher waren als in den Mehlfractionen. In den Weizensorten waren die Anthocyane vor allem in der Kleie verteilt, während sie in den Gerstenfraktionen vor allem in der Dunstfraktion zu finden waren. Die Carotinoide zeigten unterschiedliche Verteilungsmuster in den untersuchten Sorten. Während die gefärbten Weizensorten die Carotinoide durchwegs im Inneren des Kornes, also in der Mehlfraction, akkumulieren, so sind sie in den Gerstensorten eher in den äußeren Kornschichten verteilt. Auch Bellido & Beta (2009) fanden einen höheren Gehalt an Anthocyanen und antioxidativen Eigenschaften in den äußeren Schichten von schwarz und purpurn gefärbten Gerstensorten im Vergleich zu Vollkornmehl. Durch geeignete Mehlfractionierung können hier gezielt Mehle mit unterschiedlichen ernährungsphysiologischen Eigenschaften hergestellt werden.

Gefärbter Reis

Reis (*Oryza sativa*) wird üblicherweise als geschälter, polierter weißer Reis verzehrt und ist ein wichtiges Grundnahrungsmittel in allen asiatischen Ländern. Je nach Sorte unterscheidet man zwischen Langkorn-, Mittelkorn- und Rundkorntypen, die auch ihre Art der Zubereitung und Verwendung bestimmen. Rundkornreistypen, auch Klebreis, wird für Sushis und andere asiatische Gerichte eingesetzt, in der westlichen Kost z.B. als Milchreis zubereitet. Mittelkornreissorten werden vorwiegend als Hauptgericht beispielsweise in Form von Risottos verwendet, während Langkornreissorten hauptsächlich als Beilage, vor allem in der westlichen Küche, gereicht werden. Es gibt unzählige Reisesorten, die teilweise geographisch bedingt sind. So unterscheiden sich chinesische von indischen oder italienischen Sorten. Für unterschiedliche Gerichte werden unterschiedliche Reissorten verwendet.

Im Internationalen Reisforschungsinstitut (IRRI) in Los Banjas auf den Philippinen wird seit 1960 Reisforschung für die ganze Welt betrieben. Dort ist auch die weltgrößte Genbank für Reis. Länder aus der ganzen Welt schicken ihre Reisvarietäten ins IRRI, das die Aufgabe übernommen hat, die genetischen Reisressourcen zu lagern, konservieren und charakterisieren, um sie der ganzen Welt zur Verbesserung von Reissorten zur Verfügung zu stellen. Die Genbank beherbergt momentan allein rund 124.000 verschiedene Reissorten, kultivierte Sorten, traditionelle Landessorten, aber auch wilde Reisarten (International Rice Research Institute, 2015), die sonst durch den einseitigen Anbau von Hochleistungssorten verloren gehen würden.

Es gibt eine Vielzahl an speziellen Reisvarietäten, die gefärbte Reiskörner ausbilden, wie schwarzer, roter oder brauner Reis. Die Farbpigmente werden auch hier hauptsächlich von Anthocyanen verursacht, die entweder in der Samenschale oder der Aleuronschicht vorzufinden sind. Es gibt auch rote Reissorten, bei denen das gesamte Korn gefärbt ist, z.B. Philippinischer roter Bergreis. Nicht verwechselt werden dürfen diese roten Reissorten mit Angkak (eine traditionelle chinesische Zubereitung von Reis). Angkak wird durch Fermentation von herkömmlichem Reis mit dem Pilz *Monascus purpureus* gewonnen, wodurch die charakteristische, rote Farbe erzeugt wird. Aber

genauso wie die gefärbten Reisarten, hat Angkak sehr hohe antioxidative Eigenschaften.

Nach Chaudhary (2003) ist China der größte Produzent von schwarzen Reissorten, gefolgt von Sri Lanka, Indonesien, Indien, Philippinen und Bangladesh. In kleinem Ausmaß wird er auch in Thailand, Malaysia und Myanmar produziert.

Gefärbte Reissorten sind sehr potente Rohstoffquellen für Antioxidantien, die für Nahrungszwecke genutzt werden können. Sompong et al. (2011) haben eine umfassende Studie über die chemische und ernährungsphysiologische Zusammensetzung und das antioxidative Potential von verschiedenen roten und schwarzen Reissorten durchgeführt. Alle Sorten wiesen einen sehr hohen Gehalt an Gesamtphenolen und gute antioxidative Eigenschaften auf. Beide Werte zeigten zwar Schwankungen zwischen den Sorten, aber nicht zwischen den unterschiedlichen Färbungen der Sorten. Das heißt, rote und schwarze Reissorten enthielten vergleichbare Mengen an gesundheitsfördernden Substanzen. Daneben hat schwarzer Reis viele weitere ernährungsphysiologische Vorteile gegenüber herkömmlichem weißem Reis. Er hat sehr hohe Gehalte an Protein, Vitaminen und Mineralstoffen. Der Mineralstoffgehalt wird allerdings sehr stark von der Sorte und den Anbaubedingungen beeinflusst (Suzuki et al., 2004). Schwarzer Reis wurde auch als potentieller Lieferant für natürliche Farbstoffe gesehen (Chaudhary, 2003). Roter Reis hat in Japan eine gewisse Popularität als funktionelles Lebensmittel gewonnen.

Gefärbter Mais

Mais (*Zea mays*) ist bei uns zumeist nur in Form von gelben Maiskolben bekannt. Ursprünglich stammt Mais vom amerikanischen Kontinent, und war dort vor der spanischen Kolonisation das einzig genutzte (echte) Getreide.

Heute werden großindustriell fast ausschließlich Hybridmaissorten angebaut, die deutlich gesteigerte Erträge bringen. Dabei müssen die Bauern das Saatgut von den produzierenden Saatgutfirmen jährlich neu kaufen, weil ein Nachbau von Hybridsorten deutlich geringere Erträge liefert. Der Umgang mit Mais-Saatgut ist im Sortenschutzgesetz 2001 ([BGBl. I Nr. 109/2001](#)) und Saatgutverordnung (BGBl. II Nr. 299/1997) geregelt. Eine weitere Problematik, die von Konsumentinnen und Konsumenten (vor allem in Österreich) kontroversiell und zumeist negativ bewertet wird, ist die Tatsache, dass seit den 1990er Jahren auch gentechnisch modifizierte Maissorten angebaut werden. Diese gentechnische Modifikation wurde fast ausschließlich mit dem Ziel ausgeführt, die Sorten resistent gegenüber Schädlingen oder Herbiziden zu machen. Hauptanbaubgebiete von gentechnisch modifiziertem Mais sind die USA, Brasilien, Argentinien oder Kanada. In der EU muss gentechnisch veränderter Mais in Lebensmitteln gekennzeichnet werden.

In den Ursprungsregionen (Lateinamerika) waren immer und sind es teilweise auch noch heute sehr viele „traditionelle“ Maissorten in Verwendung. Unter diesen gibt es sehr viele gefärbte Sorten, wobei hier eine Vielzahl an Färbungen der Kolben auftritt, die von orange, über rot, braun bis zu schwarz reichen. Im Gegensatz zu Weizen, Gerste oder Reis tritt die Färbung nicht nur einheitlich auf, sondern kann auch gemischt sein. Neben rein roten, braunen, schwarzen, weißen und gelben Maiskolben gibt es auch gesprenkelte Kolben in allen Variationen. Wie schon bei den zuvor genannten Getreidearten wird die Färbung zumeist von Anthocyanen hervorgerufen. Rot gefärbte Sorten konzentrieren die Anthocyane durchwegs in der Samenschale und der Aleuronschicht, wohingegen blau oder violett gefärbte Arten die Pigmente vor allem in der Aleuronschicht einlagern. Laut einer Studie von Moreno et al. (2013) war der Anthocyangehalt in rot gefärbten Sorten etwa zehnmal höher als in den blau-violetten Sorten.

In Lateinamerika gibt es bis heute eine bestehende Nutzung dieser gefärbten Sorten in „traditionellen“ Gerichten, die in Mexiko und den Andenländern teilweise noch zubereitet werden. Vor allem in der ländlichen Bevölkerung dieser Regionen gibt es ein umfangreiches Wissen um die Ver-

wendung der verschiedenen Sorten. Nicht alle Sorten können für dasselbe Gericht herangezogen werden, manche Speisen werden nur aus bestimmten Sorten zubereitet. Durch die zunehmende Globalisierung der Ernährung, nimmt die „traditionelle“ Zubereitung dieser Speisen ab. Manche dieser Maissorten haben den Weg in die nördlichen Industrieländer gefunden, am ehesten bekannt sind der violett gefärbte Purpurmais oder blau gefärbte Maissorten. Blau oder violett gefärbte Maischips sind mittlerweile in vielen (größeren) Supermärkten zu finden.

Gefärbte Hirse und Sorghum

Die Hirsearten umfassen eine sehr heterogene Gruppe von Pflanzen aus den Arten *Sorghum*, *Panicum*, *Setaria*, *Pennisetum*, *Paspalum* oder *Euleusin*. Während Sorghumarten vor allem in Afrika ein Grundnahrungsmittel darstellen, ist Hirse (Rispenhirse auch als Goldhirse bezeichnet, *Panicum miliaceum* L, *subsp. miliacum*) mehr oder weniger die einzige Sorte, die auch in den Ländern des Nordens in größerem Maßstab in der Ernährung verwendet wird.

Hirsesorten, vor allem aber Sorghumsorten, gibt es gleichfalls in einer großen Farbvielfalt von hellbeige über orange bis rot und braun, welche unterschiedliche Gehalte an Phenolen aufweisen. Gefärbte Hirse- und Sorghumsorten werden fast ausschließlich in vielen afrikanischen Ländern konsumiert. In Europa gibt es bislang kaum bis gar keine Nutzung. Hirse und Sorghum ist die Grundlage einiger traditioneller Biere in Afrika (zum Beispiel *Dolo* in Westafrika oder *Merisa* im Sudan).

Eine besondere Hirseart, **Teff** (Zwerghirse, *Eragrostis tef*), ursprünglich aus Äthiopien stammend und dort nach wie vor Grundnahrungsmittel, ist seit einigen Jahren auch in den Ländern des Nordens vor allem für die Produktion von glutenfreien Nahrungsmitteln zu finden. In Äthiopien ist Teffmehl Grundlage für das äthiopische Nationalgericht *Injera*, eine Art Fladenbrot, das zu Gemüse- und Fleischgerichten verzehrt wird. Eine niederländische Firma hat sich vor einigen Jahren die Rechte an der genetischen Vielfalt von Teff gesichert. Das hat zur Folge, dass Äthiopien alle Rechte verloren hat, Teff als Ganzkorn nach Europa zu exportieren. Im Handel sind daher in Europa einzig Teffmehl oder fertige Produkte aus Teff erhältlich.

Hirse und Sorghum bieten eine Reihe von ernährungsphysiologischen Vorzügen. Sie enthalten nennenswerte, oft sehr hohe Mengen an phenolischen Substanzen. Der Gehalt an Gesamtphenolen reicht einer Studie von Bagdi et al. (2011) zufolge von 37,76 bis 50,54 mg/100 g (Ferulasäureäquivalente bezogen auf Trockenmasse). Damit sind die Werte viel höher als beispielsweise in Weizen. Die gesundheitsfördernden Wirkungen dieser Phenole in Hirse und Sorghum wurden von verschiedenen Forschern bestätigt (z.B. Taylor et al., 2006). So kann der Verzehr von Hirse und Sorghum den Blutcholesterinspiegel senken und den glykämischen Index der Endprodukte (z.B. Brot) verringern. Es wird auch berichtet, dass Personen, die regelmäßig diese beiden Getreidearten konsumieren, geringere Inzidenzen für Speiseröhrenkrebs aufweisen, als jene, die vor allem Weizen oder Mais verzehren (Van Rensburg, 1981; Chen et al., 1993).

Viele Sorghumsorten enthalten im Vergleich zu den Hirsearten oftmals schon wieder so hohe Mengen an Phenolen, dass sie für die menschliche Ernährung eher nachteilig sind. Phenole sind in der Lage, Proteine, Kohlenhydrate und Mineralstoffe aus der Nahrung zu binden und dadurch ihre Bioverfügbarkeit zu vermindern. Die Lebensmittelverarbeitung kann diese negativen Effekte reduzieren. Hirsesorten dagegen enthalten eine relativ ausgewogene Menge an Phenolen, ausreichend, aber nicht zu hoch. Es muss hier allerdings angemerkt werden, dass es für Phenole bislang keine Zufuhrempfehlung gibt, daher ist die Abschätzung zu wenig – adäquat – zu hoch nicht gesichert zu treffen.

2.2.1.2. Weitere Getreideraritäten

Nacktgerste

Gerste (*Hordum vulgare*) ist weltweit das viertmeist genutzte Getreide. Obwohl sie wertvolle Inhaltsstoffe enthält, beschränkt sich heute ihre Nutzung weitgehend auf den Bereich der Bierbrauerei. Fast alle Züchtungsbestrebungen, die in den letzten Jahrzehnten mit Gerstensorten neben einer Ertragssteigerung unternommen worden sind, haben die Optimierung ihrer Braueigenschaften zum Ziel gehabt. Dazu zählte vor allem die Reduzierung des Gehaltes an β -Glucanen, einer Ballaststofffraktion (mehr dazu im nachfolgenden Text), da diese den Filtriervorgang des Bieres stören.

Gerste wird anhand der unterschiedlichen Ähren in zwei- und mehrzeilige Formen eingeteilt. Zweizeilige Gerstensorten finden vorwiegend bei der Bierherstellung als Braumalz Verwendung. Vier- und sechszeilige Gerstensorten sind überwiegend Wintergerstensorten, die im Herbst gesät werden. Sie werden hauptsächlich als Futtergerste genutzt.

Üblicherweise ist Gerste ein sogenanntes Spelzgetreide, das heißt die Körner sind fest mit dem Korn verwachsen und müssen maschinell in einem extra Vorgang vor dem Vermahlen aufwendig entfernt werden. Geschälte Gerste wird als Rollgerste oder Gerstenflocken in den Handel gebracht, ihre Menge ist allerdings im Vergleich zu anderen Getreiden sehr gering. Im Gegensatz zu den Spelzgetreidearten (Gerste, Hafer, Dinkel, Emmer und Einkorn), werden bei freidreschenden Arten die Getreidekörner als ganzes Korn ohne Spelzen gewonnen. Weizen und Roggen sind Beispiele für solche freidreschenden Arten. Für Gerste und Hafer existieren ebenfalls sogenannte Nacktformen, bei denen die Spelzen nicht fest mit dem Korn verwachsen sind. Sie sind somit ebenfalls freidreschend und haben Vorteile für die Einbindung in die tägliche Nahrung. Es gibt zwei- und sechszeilige Nacktgerstesorten.

Die Verwendung von Nacktgerste für andere Produkte außer Bier hat besondere Vorteile in ernährungsphysiologischer Hinsicht. Der wertgebende Inhaltsstoff in Nacktgerste ist der hohe Gehalt an Ballaststoffen, vor allem an löslichen Ballaststoffen (Bhatty, 1999; Izydorczyk et al., 2000). Ballaststoffe werden in lösliche und unlösliche eingeteilt. Die unlöslichen Ballaststoffe können im Darm Wasser adsorbieren und sind vor allem für die Erhöhung der Stuhlmenge verantwortlich. Sie können damit Obstipation (ist in den Industrieländern weit verbreitet) entgegenwirken. Die gesundheitsfördernden Wirkungen gehen dagegen vor allem von den löslichen Ballaststoffen aus. So ist nachgewiesen, dass lösliche Ballaststoffe beispielsweise den Blutcholesterin- und Blutzuckerspiegel senken können und damit langfristig Herz-Kreislauferkrankungen positiv beeinflussen können. Daneben haben sie antikanzerogene Wirkungen und können das Auftreten von Darmkrebs verringern.

Die lösliche Ballaststofffraktion in Gerste, vor allem in Nacktgerste, machen vorwiegend die sogenannten β -Glucane (eine Mischung aus β -1,3 und β -1,4 glycosidisch verknüpfte D-Glucanen) aus (Grausgruber et al., 2004). Beta-Glucane haben wissenschaftlich nachgewiesene positive gesundheitsfördernde Wirkungen: sie können den Blutcholesterin- und Blutglucosespiegel senken und haben einen erhöhten Sättigungseffekt. Die EFSA hat daher Health Claims für β -Glucan zugelassen. Wird eine Verzehrsmenge von 3g/d oder 1g/Portion im Produkt bereitgestellt, darf das Produkt entsprechend ausgelobt werden (z.B.: „*Regular consumption of β -glucans contributes to maintenance of normal blood cholesterol concentrations*“ [dt. Übersetzung: *Regelmäßiger Verzehr von β -Glucanen trägt zur Erhaltung eines normalen Blutcholesterolkonzentration bei*]) (EFSA, 2011).

Außer in Gerste kommen β -Glucane in ähnlichem Ausmaß nur in Hafer vor. Während aber im Haferkorn β -Glucane hauptsächlich in der Aleuronschicht beziehungsweise in der Subaleuronschicht,

d.h. in den äußeren Teilen des Korn konzentriert sind, befinden sich die β -Glucane im Gerstenkorn vor allem im Endosperm (Mehlkörper), d.h. in den inneren Kornfraktionen.

Die Verwendung von Gerste in Backwaren ist aufgrund dieser nachgewiesenen ernährungsphysiologischen Effekte sehr zu empfehlen. Da aber, wie eingangs erwähnt, Gerste vor allem im Hinblick auf die Brauereieigenschaften gezüchtet worden ist, bietet sich die Verwendung von Nacktgerste an. Sie hat nicht nur den ursprünglich höheren Gehalt an β -Glucanen, sondern lässt sich aufgrund der nicht verwachsenen Spelzen leichter im Mühlenbereich verarbeiten. Ein weiterer wesentlicher Vorteil für die Verwendung von Nacktgerste für Backwaren ist, dass auch bei Verwendung von Mehlfractionen (innerer Kornanteil), Produkte mit einem ausreichend hohen Anteil an löslichen Ballaststoffen erzeugt werden können, wie in einer umfassenden Studie von Kinner et al. (2011) bestätigt wurde. Es besteht daher bei Nutzung von Nacktgerste keine Notwendigkeit ausschließlich Vollkornmehl (wie bei Hafer oder anderen Getreidearten) zu verwenden. Das kommt der noch immer vorherrschenden Präferenz der Konsumenten für Weißbrot zugute.

Bis vor kurzem gab es nur sehr wenige Produkte, vor allem Backwaren aus oder mit Gerste, wahrscheinlich aufgrund der Tatsache, dass Gerste prinzipiell keine so guten Backeigenschaften (im Vergleich zu Weizen) besitzt. Für die Herstellung von Backwaren aus Gerste sind entsprechende Rezeptur- und Prozessanpassungen notwendig (Kinner et al., 2011). Seit die EFSA allerdings Health Claims zugelassen hat, sind zumindest einige Bemühungen unternommen worden, Produkte (Backwaren, Kekse, und andere) aus oder mit (Nackt)gerste auf den Markt zu bringen.

“Alte” Getreidesorten: Emmer und Einkorn

Einkorn (*Triticum monococcum* L.) ist eine bespelzte diploide Weizenart und war eines der ersten Getreide, das vor etwa 10.000 – 12.000 Jahren domestiziert wurde. Es wurde für Tausende von Jahren umfassend im Mittleren Osten und Europa angebaut, bevor es durch den tetraploiden Durum (*T. durum* Desf.) und hexaploiden Weizen (*T. aestivum* L.) ersetzt wurde. Durum und Weizen liefern höhere Erträge und beide sind freidreschend (Spelze nicht fest mit dem Korn verwachsen). Einkorn ist relativ anspruchslos in Bezug auf die Qualität des Bodens. Außerdem ist es resistent gegen viele Schädlinge wie Wurzelfäule, Spelzenbräune oder den Mutterkorn-Pilz und kann sich besser gegen die Konkurrenz von Ackerunkräutern durchsetzen als moderne Hybridweizen-Sorten. Einkorn ist eine Weichweizenart mit einem besonders hohen Gehalt an Protein, Mineralstoffen und Gelbpigmenten (Carotinoide), aber es hat nur einen schwachen Glutengehalt und die rheologischen Eigenschaften sind jenen von Weichweizen unterlegen (D’Egidio et al., 1993; Borghi et al., 1996). Durch geeignete Teigrezeptur und Teigführung können aber aus Einkorn dennoch Brot und Backwaren hergestellt werden. Grausgruber et al. (2008) konnten durch den Einsatz von Enzymen und Emulgatoren, die Qualität von Einkornbrot steigern.

Emmer (*Triticum dicoccum* L.) ist ebenfalls eine der ältesten kultivierten Getreidearten und wird heute in Europa kaum noch angebaut. Nur in Italien gibt es einen nennenswerten Anbau der dort „farro“ genannt wird. Emmer gehört zur sogenannten „Emmer-Reihe“, zu der auch der Durum und Kamut (Beschreibung siehe im nachfolgenden Text) gehören (siehe Tab. 3.2.1). Die Wildformen lassen sich mit Durum kreuzen. Ursprünglich stammt Emmer so wie Einkorn aus dem Nahen Osten, wo er seit mindestens 10.000 Jahren angebaut wird. Von dort gelangte er über Ägypten und Nordafrika nach Europa. In der Römerzeit wurde sehr viel Emmer in Europa angebaut. Sein Vorteil ist, dass er auch auf schwachen, nährstoffarmen Böden stabile Erträge liefert. Von Emmer gibt es ebenfalls gefärbte Sorten: schwarzer Emmer, weißer Emmer und roter Emmer. Die schwarze Färbung wird von β -Carotin verur­sacht. Aufgrund seiner Eigenschaften zur Herstellung von Teigwaren, eignet er sich für Kleingebäck und Süßspeisen. Wie Durum zeichnet sich Emmer durch eine harte Korntextur aus, was eine Herstellung von geeigneten Grießfraktionen ermöglicht (Lembacher und Schally, 2009).

Der Vollständigkeit wegen, soll hier noch kurz **Kamut** erwähnt werden. Die Bezeichnung „Kamut“ ist ein eingetragener Markenname für die Vermarktung von Khorasanweizen. Kamut wird heute oft als altägyptische Weizensorte vermarktet, die den Pharaonen als Grabbeigabe mitgegeben wurde. Dabei ist Kamut, eigentlich Khorasanweizen, nach neuester Erkenntnis eine Kreuzung von *T. durum* und *T. polonicum*. Sie ist auf jeden Fall keine alte, ursprüngliche Sorte, im Vergleich zu Einkorn oder Emmer, sondern mit großer Sicherheit eine natürlich entstandene Kreuzung (Khlestkina et al., 2006). Khorasanweizen eignet sich wie Hartweizen besonders zur Herstellung von Teigwaren.

Gegenwärtig werden diese alten Weizensorten nur noch auf sehr kleinen Flächen angebaut, zumeist im ökologischen Landbau. Durch die wachsende Nachfrage nach mehr natürlichen, ursprünglichen, regionalen und „gesünderen“ Rohstoffen, ist das Interesse an Emmer und Einkorn wieder gestiegen.

Tab. 3.2.1: Botanische Unterscheidung der Wildweizenformen (Lembacher und Schally, 2009)

	Wildformen	Kulturformen	Kulturform (freidreschend)
Einkorn-Reihe Diploid, Genome AA	Wildeinkorn (<i>Tr. boeoticum</i>)	Einkorn (<i>Tr. monococcum</i>)	Sinskaje-Einkorn (<i>Tr. Sinskaje</i>)
Emmer-Reihe Tetraploid, Ge- nome AABB	Wildemmer (<i>Tr. dicoccoides</i>)	Emmer (<i>Tr. dicoccum</i>)	Hartweizen (<i>Tr. durum</i>) Rauhweizen (<i>Tr. turgidum</i>) Polnischer Weizen (<i>Tr. polonicum</i>) „Kamut“ (nicht eindeutig)
Dinkel-Reihe He- xaploid, Genome AABBDD		Dinkel (<i>Tr. spelta</i>)	(Weich-)Weizen (<i>Tr. aestivum</i>)

2.2.1.3. Pseudogetreide – Amaranth, Quinoa und Buchweizen

Unter der Gruppe Pseudogetreide werden jene stärkereichen Körnerarten zusammengefasst, welchen zwar botanisch keine echten Getreidearten sind, aber so wie diese für die Ernährung verwendet werden. Die drei wichtigsten Pseudogetreide, die heute verwendet werden, sind Amaranth, Quinoa und Buchweizen. Ihre botanische Klassifikation ist in Tab. 3.2.2 gezeigt. Amaranth zählt zur Familie der Fuchsschwanzgewächse, Quinoa zur Familie der Gänsefußgewächse. Beide gehören zu den *Caryophyllales*, während Buchweizen den *Polygonales* zugeordnet wird.

Amaranth Samen sind linsenförmig mit einem Durchmesser von ca. 1,0 mm. Tausend Körner wiegen 0,5 bis 1,0 Gramm. Der verhältnismäßig große Keimling umgibt ringförmig das stärkehaltige Nährgewebe und liegt gekrümmt an der Innenseite der Samenschalen an. Die Samenfarbe variiert von milchig-weiß über gelb, golden, rot, braun bis hin zu schwarz (Saunders und Becker, 1984). Quinoasamen haben die Form abgerundeter Scheibchen von 1,7 bis 2 mm Durchmesser und sind zumeist milchig-weiß bis beige gefärbt. Es gibt auch gelbe, rote, braune und schwarze Quinoasorten, die bis vor kurzem nur selten angebaut wurden. In den letzten Jahren ist aber das Interesse an diesen Sorten wieder gestiegen, vor allem seit dem Jahr 2013, das von der FAO als Jahr der Quinoa ausgerufen wurde. Im Gegensatz zu Amaranth enthält die Samenschale von Quinoa höhere Mengen des Bitterstoffes Saponin, das vor dem Verzehr ausgewaschen oder abgerieben wer-

den muss. Saponine dienen der Pflanze als Fraßschutz gegen Schädlinge und Vögel (Voß, 1990). Buchweizensamen sind dreieckig geformt, ungefähr 6 – 9 mm lang. Die Samen von *F. tataricum* sind etwas kleiner (4 – 5 mm) und runder. Das Tausendkorngewicht (10 – 20 g) hängt vor allem von der Dicke der Samenschale ab. Strukturell und chemisch entspricht das Endosperm jenem von Getreide und enthält ebenso wie diese große Zellen gepackt mit Stärkekörnern. Daneben gibt es bei Buchweizen auch eine Aleuronschicht.

Amaranth und Quinoa gehören zu den ältesten Pflanzen, die von den Menschen zur Ernährung genutzt und zu diesen Zwecken schon seit frühester Zeit angebaut wurden. Zu Zeiten der Inkaherrschaft kultivierte die indianische Bevölkerung an die 70 Pflanzenarten, Knollengewächse, Getreidearten, Leguminosen und Früchte. Neben Mais und Kartoffeln zählten auch Amaranth und Quinoa zu den Kulturpflanzen mit besonderer Wichtigkeit für die Menschen der damaligen Zeit (Flemming & Galwey, 1995, zitiert nach Dabringer, 1996). Eine sehr wichtige Bedeutung besaß Amaranth zweifelsohne auch in Mittelamerika. Für die Azteken in Mexiko war Amaranth – neben Mais und Bohnen – ein Grundnahrungsmittel. Jährlich wurden aus 17 Provinzen des damaligen Reiches ca. 10.000 Tonnen als Tribut an den Aztekenherrscher Montezuma nach Tenochtitlan geliefert. Die mit Amaranth bestellten Flächen im Hochland Mexikos müssen demnach riesig gewesen sein. Seit den 1970er Jahren verzeichnen diese beiden Pflanzen eine neue Renaissance. Viel zitiert wurden die Berichte der NASA, die Amaranth als Astronautennahrung mit in den Weltraum nahmen (Vietmeyer, 1981). Zentren der Produktion und Forschung sind heute in Lateinamerika vor allem die Andenländer (Kolumbien, Ecuador, Peru, Bolivien). Außerhalb Lateinamerikas beschäftigen sich vor allem die USA und Europa mit diesen Körnerfrüchten, aber auch einige Länder in Afrika und Asien (z.B. Äthiopien, Kenia, China, Indien, Nepal). Buchweizen stammt aus Kleinasien und wurde von nomadischen Völkern im 13. Jahrhundert nach Österreich transferiert. Obwohl sein Anbau im letzten Jahrhundert stetig abgenommen hat, ist heute aufgrund seiner Glutenfreiheit eine gesteigerte Nachfrage zu verzeichnen. Hauptproduzenten sind heute Russland, Ukraine und China. In Europa wird es vor allem in Polen und Frankreich angebaut, wenig auch in Ungarn, Slowenien, den Baltischen Ländern und Österreich. Japan ist nach wie vor der wichtigste Importeur.

Für die „Wiederentdeckung“ dieser Körnerfrüchte beziehungsweise für das intensive Interesse, das ihnen entgegen gebracht wird, sprechen mehrere Gründe, von denen hauptsächlich zwei genannt werden sollen. Zum einen weisen alle drei Pseudogetreide, vor allem Amaranth und Quinoa, eine besonders wertvolle ernährungsphysiologische Zusammensetzung auf und zum zweiten sind alle drei glutenfrei und somit für die Diät von Menschen mit Getreideunverträglichkeit (Zöliakie oder Glutensensitivität) geeignet. (Das Thema glutenfrei wird später genauer beschrieben).

Vergleicht man den Nährstoffgehalt verschiedener Getreidearten mit jenen von Pseudogetreide, so sind doch erhebliche Unterschiede festzustellen (Tab. 3.2.3 und Abb. 3.2.4). Die Pseudogetreide enthalten etwa ähnliche Menge an Protein, einen etwas niedrigeren Gehalt an Stärke, aber signifikant höhere Mengen an Fett und Mineralstoffen. Der Ballaststoffgehalt, vor allem an löslichen Ballaststoffen, ist in manchen Getreidearten (z.B. Gerste) höher als in Pseudogetreide.

Entscheidend ist aber vor allem deren qualitativ bessere Zusammensetzung des Proteins. Besonders Lysin, die limitierende Aminosäure in den Getreidearten, ist in den Pseudogetreidearten in großer Menge vorhanden. Der hohe Gehalt an Arginin und Histidin, die für Säuglinge und Kleinkinder essentiellen Aminosäuren, macht die Pseudogetreide auch für die Kinderernährung interessant. In Südamerika gehören Produkte aus Amaranth und Quinoa seit Jahren schon zum Sortiment der Kindernahrungsmittel. Der Fettgehalt in Amaranth und Quinoa (nicht in Buchweizen) ist ebenfalls höher als in den gängigen Getreidearten. Auch hier ist wieder die Qualität des Fettes durch einen sehr hohen Grad an Ungesättigtheit (sehr hoher Gehalt an Linolensäure) zu bemerken. Die Stärke in Amaranth und Quinoa ist durch einen sehr niedrigen Amylosegehalt (ca. 10 %)

gekennzeichnet, außerdem besitzen sowohl Amaranth als auch Quinoa sehr kleine Stärkekörner von 1 – 3 µm Durchmesser (Atwell et al., 1983; Perez et al., 1993). Diese kleine Partikelgröße und der niedrige Amylosegehalt der Amaranth- und Quinoastärke bestimmen im Wesentlichen die physikalischen und funktionellen (verarbeitungstechnologischen) Eigenschaften, die sich auf die Herstellung der Produkte auswirken.

Besonders hoch sind die Gehalte einzelner Mineralstoffe und Vitamine. So enthalten Amaranth und Quinoa viel Calcium, Magnesium, Eisen, Kalium und Zink. Extra hervorzuheben ist der Gehalt an Folsäure. Dieses Vitamin ist eines der Vitamine, das momentan besonders in Diskussion steht, da eine latente Unterversorgung der Bevölkerung in allen letzten Erhebungen (z.B.: Österreichischer Ernährungsbericht 2004, 2008, 2012) festgestellt wurde. Manche Länder sind daher zu einer Folsäureanreicherung von Mehlen übergegangen. In Abb. 3.2.5 sind die Folsäuregehalte von Amaranth und Quinoa im Vergleich zu Weizen dargestellt. Demnach enthält Amaranth etwa dreimal und Quinoa etwa fünfmal so viel Folsäure als Weizen, weshalb sie als eine wesentliche Folsäurequelle bezeichnet werden können. Der Tagesbedarf beläuft sich auf 300 µg (DACH-Referenzwerte, 2008).

Aufgrund dieser ausgewiesenen guten ernährungsphysiologischen Zusammensetzung ist es verständlich, warum diese Körnerarten vermehrt in unsere Ernährung integriert werden und werden sollen. Durch den steigenden Bedarf an glutenfreien Nahrungsmitteln, sind diese Pseudogetreide von besonderem Interesse. Es besteht allerdings noch erheblicher Forschungsbedarf, um Produkte zu entwickeln, die den europäischen Konsumenten schmecken. Da die Pseudogetreide nicht bei uns beheimatet waren, ist die Bevölkerung des Nordens mit dem unterschiedlichen Geschmack dieser beiden Körner nicht aufgewachsen. Besonders Quinoa empfinden viele Personen als sehr gewöhnungsbedürftig, vor allem wenn es um süße Backwaren geht. Hier versprechen aber gerade die „wiederentdeckten“ schwarzen Varietäten eine gute Alternative zu sein. Nicht nur ihr Aussehen ähnelt den Mohnsamen, auch ihr Geschmack ist viel nussiger und „mohnähnlich“ im Vergleich zu den üblichen weiß-beigen Sorten.

Tab. 3.2.2: Botanische Klassifizierung von Pseudogetreide

Klasse	<i>Dicotyledoneae</i>		
Unterklasse	<i>Caryophyllidae</i>		
Ordnung	<i>Caryophyllales</i>		<i>Polygonales</i>
Familie	<i>Amaranthaceae</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	<i>Polygonaceae</i>
Gattung	<i>Amaranthus</i>	<i>Chenopodium</i>	<i>Fagopyrum</i>
Art	Mind. 60 Arten, z.B. <i>A. caudatus</i> <i>A. cruentus</i> <i>A. hypochondriacus</i>	Mehr als 250 Arten, z.B.: <i>Ch. quinoa</i> WILLD. (quinoa) <i>Ch. pallidicaule</i> AELLEN (kanigua, canihua) <i>Ch. nuttalia</i> SAFFORD	<i>F. tartaricum</i> (bitterer Buchweizen) <i>F. esculentum</i> MOENCH (süßer Buchweizen)

Tab. 3.2.3: Chemische Zusammensetzung ausgewählter Getreidearten (Souci et al., 2013)

Werte in g/100g TS	Weizen	Dinkel	Roggen	Triticale	Gerste	Reis (nicht poliert)	Hafer (geschält)
Protein (N=5.8)	12.20	17.64	10.22	14.12	11.84	8.31	11.52
Fett	2.11	1.89	1.97	2.85	2.39	2.53	9.18
Kohlenhydrate^a	68.49	67.31	70.32	73.14	72.05	85.24	64.74
Ballaststoffe	15.31	11.12	15.29	7.74	11.16	2.54	11.24
Asche	1.90	2.04	2.20	2.15	2.56	1.38	3.31
	Mais	Hirse	Sorghum	Amaranth	Quinoa	Buchweizen	
Protein (N=5.8)	9.51	11.19	11.62	17.49	15.74	11.04	
Fett	4.35	4.43	3.61	10.56	6.16	1.97	
Kohlenhydrate^a	73.53	78.24	78.62	68.06	66.73	80.82	
Ballaststoffe	11.12	4.32	4.17	11.14	12.88	8.62	
Asche	1.49	1.82	1.97	3.89	3.80	1.96	

^a Geschätzt nach Differenz: 100 - (Wasser + Protein (N x 5.8) + Fett + Asche + Ballaststoffe)

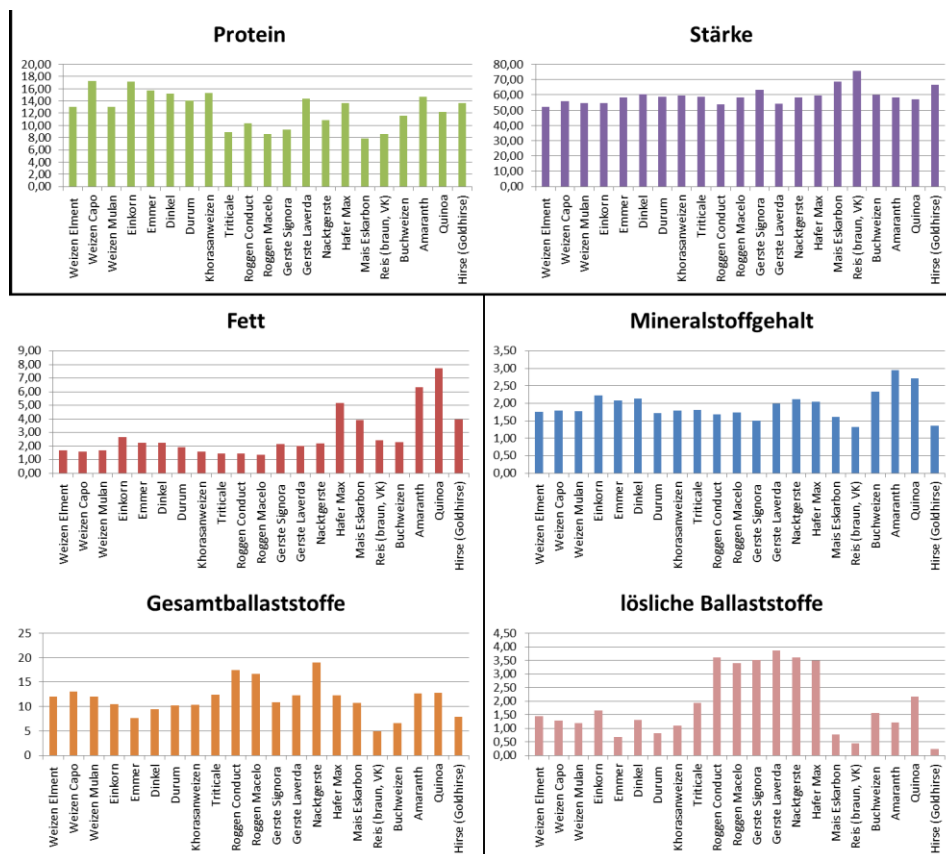


Abb. 3.2.4: Vergleich der ernährungsphysiologischen Zusammensetzung von verschiedenen Getreidearten und Pseudogetreide (Schoenlechner, 2015 - eigene Messdaten, noch unveröffentlicht)

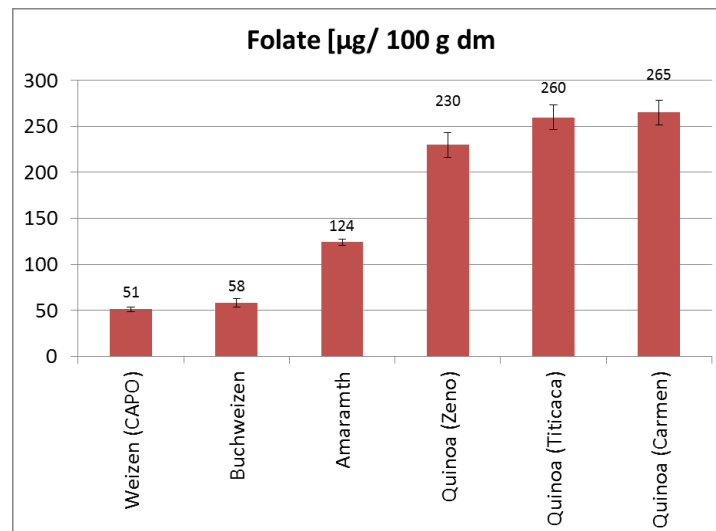


Abb. 3.2.5: Folsäuregehalt in Pseudogetreide im Vergleich zu Weizen (Schoenlechner, 2015, - eigene Messdaten, noch unveröffentlicht)

2.2.1.4. Verwendung von Getreideraritäten in den Ländern des Nordens für die Ernährung

Allgemeine Aspekte für die Lebensmittelverarbeitung von Spezialitätengetreide

Die Herstellung von Lebensmittelprodukten aus speziellen Getreidesorten stellt in vielerlei Hinsicht eine Herausforderung dar:

- Die wenig bekannten Sorten weisen häufig einen neuartigen und ungewohnten Geschmack auf, der sehr oft als „fremd“ und „unangenehm“ wahrgenommen wird, und daher abgelehnt wird. Dies muss bei einer Produktentwicklung berücksichtigt werden.
- Wenig Forschungsergebnisse: Es gibt oft noch immer zu wenig Wissen über die grundlegende Struktur, über die funktionellen Eigenschaften der einzelnen Inhaltsstoffe, über die Veränderungen bei der Verarbeitung (z.B. Abbau des Gehaltes oder Änderung der Bioverfügbarkeit) und über die physiologischen Effekte im Menschen. Letzteres ist aber gerade im Hinblick auf eine etwaige Auslobung und dementsprechende Vermarktung wichtig. Die gesundheitsfördernden Wirkungen auf die menschliche Gesundheit zu erforschen, verlangt einen multidisziplinären Ansatz und oft auch Langzeitstudien, die sehr teuer sind.
- Die meisten speziellen Getreidesorten enthalten kein Gluten. Da aber die meisten Getreideprodukte wie Brot und Nudeln für Weizen entwickelt worden sind, erschwert dieses Fehlen von Gluten die Entwicklung dieser Produkte.
- Niedrige Erträge und die spärliche Verfügbarkeit erhöhen den Preis dieser Rohstoffe. Dies wiederum behindert eine kommerzielle Lebensmittelproduktion, insbesondere für Supermärkte. Die meisten dieser speziellen Getreidesorten fristen daher ein Nischendasein.
- Pseudogetreide im Speziellen weisen eine andere botanische Struktur auf, das zu anderen funktionellen Eigenschaften führt. Die Lebensmittelverarbeitung muss daran angepasst werden. Dazu bedarf es noch besonders viel Grundlagenforschung.

Es gibt viele Möglichkeiten diese Spezialitätengetreideformen zu verarbeiten um den Konsumenten-

tinnen und Konsumenten diese Produkte zur Verfügung zu stellen, wozu viele wissenschaftliche Studien mit diesen Rohstoffen durchgeführt wurden. Grundsätzlich können diese Spezialitätengetreide alleine (100 % des Mehles) verwendet werden, um ganz neue und innovative Produkte zu entwickeln. Für manche Spezialitätengetreide sind die grundlegenden Verarbeitungsschritte mit den kommerziell verwendeten Weizenmehlen vergleichbar (z.B. gefärbte Sorten). Andere Arten bedürfen mehr Anpassungsschritte, wie z.B. Gerste und Nacktgerste. Im Falle der glutenfreien Getreidearten können sie als glutenfrei vermarktet werden. Als zweite Variante können die Spezialitätengetreide aber auch bestehenden Produkten in bestimmten Prozentsätzen beigemischt werden, um so die ernährungsphysiologischen Eigenschaften des Endproduktes zu steigern. Eine Beimischung von bis zu 20 % in Broten oder Nudeln beispielsweise ist zumeist ohne größere Probleme durchführbar, bei größeren Prozentsätzen stellt das Fehlen von Gluten sicherlich die größte Hürde dar. Hier sind Rezeptur- und Prozessadaptierungen zu entwickeln.

Verarbeitet man neuartige Rohstoffe ist es oftmals ratsam sich die traditionellen Verarbeitungsweisen anzuschauen. Im Falle von Amaranth stellt Poppen (kurzeitige Einwirkung von intensiver, trockener Hitze auf die Samen) eine der ältesten Verarbeitungsform dar und wurde von den Lateinamerikanern schon vor der Ankunft der Spanier praktiziert. Gepoppter Amaranth weist ein angenehm nussiges Aroma auf und kann entweder direkt verzehrt werden oder aber auch als Rohstoff für weitere Produkte eingesetzt werden. Möglicherweise kommt gepoppter Amaranth den europäischen Geschmackspräferenzen mehr entgegen. Auch für Hirse und Sorghum existieren zahlreiche althergebrachte Verarbeitungsweisen und Gerichte in verschiedenen afrikanischen Ländern (Taylor et al., 2006). Grundlegende Prozessschritte (z.B. Fermentation) könnten vielleicht auch für westliche Produkte interessant sein.

Marktsituation

Derzeit sind Lebensmittel aus Spezialitäten- und Pseudogetreidearten nur in geringem Ausmaß am Markt zu finden. Aufgrund des erhöhten Gesundheitsbewusstseins der Konsumentinnen und Konsumenten, und der wachsenden Nachfrage nach mehr natürlichen, ursprünglichen und regionalen Rohstoffen, ist das Interesse an diesen Getreidearten aber wieder gestiegen.

Von New Nutrition Business (2015) wird die Nachfrage nach „natürlichen“ Produkten als wichtigster Trend gesehen. Als fünfter Trend werden schon die „guten Körner“ („*good grains*“) genannt. Im Jahre 2012 wurden diese noch als zehnter Trend geführt („*Good grains – set for growth; ancient grains lend a health halo...*“). Durchforstet man das Internet, sind Produkte aus diesen Spezialitätengetreidearten heute auf einschlägigen Seiten (*food blogs* usw.) vermehrt zu finden. Auf der Website „Gesundheit.de“ wurde 2013 z.B. schwarzer Reis als Trend drei, glutenfreie Produkte als Trend vier und Quinoa als Trend sieben (von sieben) gesehen (Mehner K, 2013). Auf zahlreichen weiteren *food blogs* werden vor allem schwarz gefärbte Getreidesorten (oder schwarze Lebensmittel allgemein), als *trendy* gesehen (z.B.: Food in Canada, 2015). Seriöse, wissenschaftliche Argumente stehen meistens aber nicht dahinter.

Interessant ist, dass die Vermarktung und Bewerbung dieser Spezialitätengetreide generell sehr oft über verschiedene Mythen geschieht. Schwarzer Reis war dem Kaiser von China vorbehalten und für das normale Volk verboten; Kamut wurde den ägyptischen Pharaonen als Grabbeigabe mitgegeben; Amaranth wurde von den Azteken und Maya in Opferritualen verwendet, usw. Geschichten, die geheimnisvoll klingen, wo Verbotenes angeboten und eine lange historische Tradition versprochen wird, wecken Sehnsüchte und sind gute Marketinginstrumente. Viele Konsumentinnen und Konsumenten empfinden Speisen, die „für den Kaiser gut waren“, automatisch als „gesund“ und sind außerdem der Meinung, was früher für den Kaiser gut war, steht uns heute allen zu. In den meisten Fällen entbehren diese Geschichten seriöse Beweise, was aber von vielen Menschen nicht hinterfragt wird. Nur auf (wissenschaftlich) einschlägigen Seiten werden wirklich die ernährungsphysiologischen Fakten wiedergegeben.

Wie auch immer man zu diesen „Geschichten“ stehen mag, Fakt ist, dass diese Spezialitätengetreide im Fokus sind und das Angebot an Produkten aus Spezialitäten- und Pseudogetreide auf dem Markt steigt. Einkornbrot oder -weckerl, Einkorn„reis“ zum Kochen oder Nacktgerste sind heute am Markt zu finden, Emmer wird in Italien als regionale Spezialität (farro) gehandelt und bunte Reiscracker gibt es in Asishops. Blaue Tortillachips sind schon vor einigen Jahren in den USA auf den Markt gebracht worden und mittlerweile auch in Europa erhältlich. Abb. 3.1.2.6 zeigt beispielsweise die neuen Produktzulassungen für Produkte mit Amaranth, Quinoa oder Buchweizen in den letzten 20 Jahren (Datamonitor, 2015). Der Zuwachs an Neuzulassungen ist vor allem ab dem Jahr 2000 deutlich zu sehen und seither ist ein stetiger Anstieg zu verzeichnen. Einzig für Buchweizen scheint evtl. ein Plateau erreicht worden zu sein.

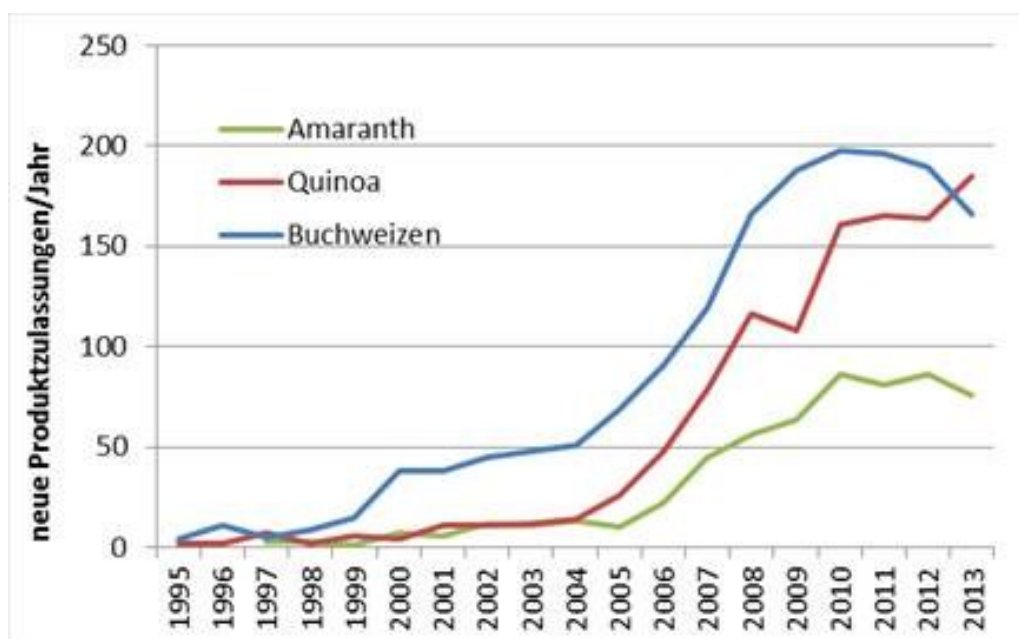


Abb. 3.2.6: Neue Produktzulassungen für Lebensmittel mit Amaranth, Quinoa oder Buchweizen (Datamonitor, 2015)

In Abb. 3.2.7 sind die Produktzulassungen nach Ländern aufgelistet. Die meisten neuen Produkte mit diesen drei Pseudogetreiden werden in den USA auf den Markt gebracht. Buchweizenprodukte werden daneben noch im asiatischen Raum, Amaranth- und Quinoaprodukte in Europa und Lateinamerika in ähnlichem Ausmaß entwickelt. Trotz dieses gestiegenen Angebots an solchen Produkten kann die Tatsache nicht geleugnet werden, dass ihr Gesamtmarktanteil noch immer sehr gering ist.

Spezialfall: Glutenfreie Lebensmittel

Die Nachfrage nach glutenfreien Produkten steigt weltweit aufgrund der Zunahme der Prävalenz von Zöliakie (derzeit ca. 1 – 2 % der Gesamtbevölkerung), der Glutensensitivität (NCGS) (Prävalenz ca. 5 – 8 %) und der Personen, welche (aus diversen Gründen) Gluten aus ihrer Ernährung ausschließen wollen. In Abb. 3.2.8 ist die Marktentwicklung von glutenfreien Produkten graphisch dargestellt. Es ist ein immenser Anstieg ab dem Jahr 2000 ersichtlich, der sich langsam auf einem hohen Niveau einzupendeln scheint.

Zöliakie ist eine chronische, gluteninduzierte Enteropathie (Glutenunverträglichkeit), die ein brei-

tes Spektrum an Symptomen und Intensität aufweisen kann. Ein typisches aber nicht immer vorhandenes Symptom ist die Darmzottenatrophie, deren Schweregrad in MARSH-Kriterien eingeteilt wird. Daneben gibt es aber noch eine Reihe von weiteren Komplikationen, sodass Zöliakie auch als eine Multiorgan-Autoimmunerkrankung gesehen werden muss. Das Auftreten dauert ein Leben lang und es gibt keine Heilung. Die einzige Behandlung besteht in einer lebenslangen glutenfreien Diät. Das Positive daran ist, dass Zöliakie eine der wenigen Krankheiten ist, die ohne Medikamente, rein über die Ernährung behandelt werden kann.

Von Zöliakie abgrenzbare Getreideintoleranzen sind die Glutensensitivität (*'non-coeliac' gluten sensitivity*, NCGS) und die Weizenallergie. Personen mit Glutensensitivität weisen eine negative Zöliakiediagnose auf (tTG und EmA negativ); Darmschädigungen können aber dennoch vorhanden sein (in der Duodenalbiopsie sind Anomalitäten erkennbar). Bei der IgE-vermittelten Weizenallergie werden hohe Gesamt-IgE Spiegel im Blut gemessen, daneben können messbare IgE gegen Weizenallergene auftreten. Glutensensitive Personen müssen ebenfalls auf eine glutenfreie Diät umsteigen, während Personen mit Weizenallergie einzig auf Weizen verzichten müssen.

Eine glutenfreie Diät muss auf alle glutenthaltigen Rohstoffe verzichten. Das sind alle Weizen-, Gerste- und Roggenarten (auch alle verwandten Arten wie Emmer, Einkorn, Durum, Dinkel oder Triticale) und eventuell Hafer. Der Status von Hafer als glutenfrei ist noch nicht ganz gesichert. Im Codex Standard for Foods for Special Dietary Use for Persons Intolerant to Gluten (2008) ist glutenfrei mit einem Grenzwert von 20 ppm geregelt. Wichtig ist, dass Gluten kontaminierte Lebensmittel vermieden werden sollen, und Nährstoffmängel ausgeglichen werden, besonders dann, wenn die Darmabsorption noch immer beeinträchtigt ist (durch Darmzottenatrophie). Trotz glutenfreier Diät muss eine ausgewogene Ernährung mit ausreichender Nährstoffzufuhr bei gleichzeitigem Ausschluss von Gluten sichergestellt werden.

Glutenfreie Produkte können prinzipiell aus den Getreidearten Reis, Mais, Hirse, Sorghum, (Hafer), aus den Pseudogetreiden Amaranth, Quinoa und Buchweizen und anderen stärkereichen Rohstoffen wie Leguminosen (Bohnen, Erbsen, Lupinen, etc.), Wurzel- und Knollenfrüchten (Kartoffelstärke), Bananen und Kochbananen oder Kastanien hergestellt werden. Obwohl damit ein großes Spektrum an Rohstoffen zur Verfügung steht werden etwa drei Viertel aller glutenfreien Produkte aus (weißem) Reis oder Mais(stärke) produziert. Das hat Folgen für die ernährungsphysiologische Qualität der Produkte: die Energiedichte ist hoch, aber die Nährstoffdichte gering (geringer Gehalt an Vitaminen, Mineralstoffen, Spurenelementen, Nahrungsfasern, sekundären Pflanzenstoffen). Auch die sensorische Qualität von solchen glutenfreien Produkten lässt in vielen Fällen zu wünschen übrig, besonders im Brotbereich. Es soll allerdings angemerkt werden, dass in den letzten Jahren die Qualität der glutenfreien Produkte stetig zunimmt. Die Verwendung von Spezialitäten- und Pseudogetreidearten hat besonders im glutenfreien Bereich eine besondere Bedeutung, da aus ihnen Produkte von hoher Qualität im Hinblick auf eine ausgewogene Ernährung hergestellt werden können.

Insgesamt war und ist die gesteigerte Nachfrage nach glutenfreien Produkten allgemein und an ernährungsphysiologisch wertvollen glutenfreien Produkten im Speziellen ein sehr starker Promotor für die erhöhte Verwendung dieser Getreidearten. Geht man von den Prävalenzzahlen für betroffene Personen aus, die eine glutenfreie Ernährung benötigen, kann das Marktpotential mit etwa 8 – 10 % der Gesamtbevölkerung eingeschätzt werden, wobei dieser Anteil mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter steigen wird.

Glutenfreie Produkte werden nicht nur von Personen konsumiert, die eine glutenfreie Diät benötigen, sondern auch von Personen, die glutenfreie Produkte als die gesündere Alternative betrachten, was aber grundsätzlich nicht stimmt. Besonders in den USA ist diesbezüglich ein Hype zu verzeichnen. Dort hat im Jahre 2012 der Verkauf von glutenfreien Produkten 19 % der Bevölkerung erreicht (Watson, 2012). Wenn die glutenfreien Produkte aber vermehrt aus hochwertigen

Rohstoffen wie beispielsweise gefärbten (Vollkorn)hirsearten oder Pseudogetreidearten hergestellt werden, dann sind sie unter Umständen sehr wohl eine mögliche Alternative für den (zu) häufigen (Weiß-)Brotkonsum oder anderer Produkte aus Auszugsmehlen der Bevölkerung.

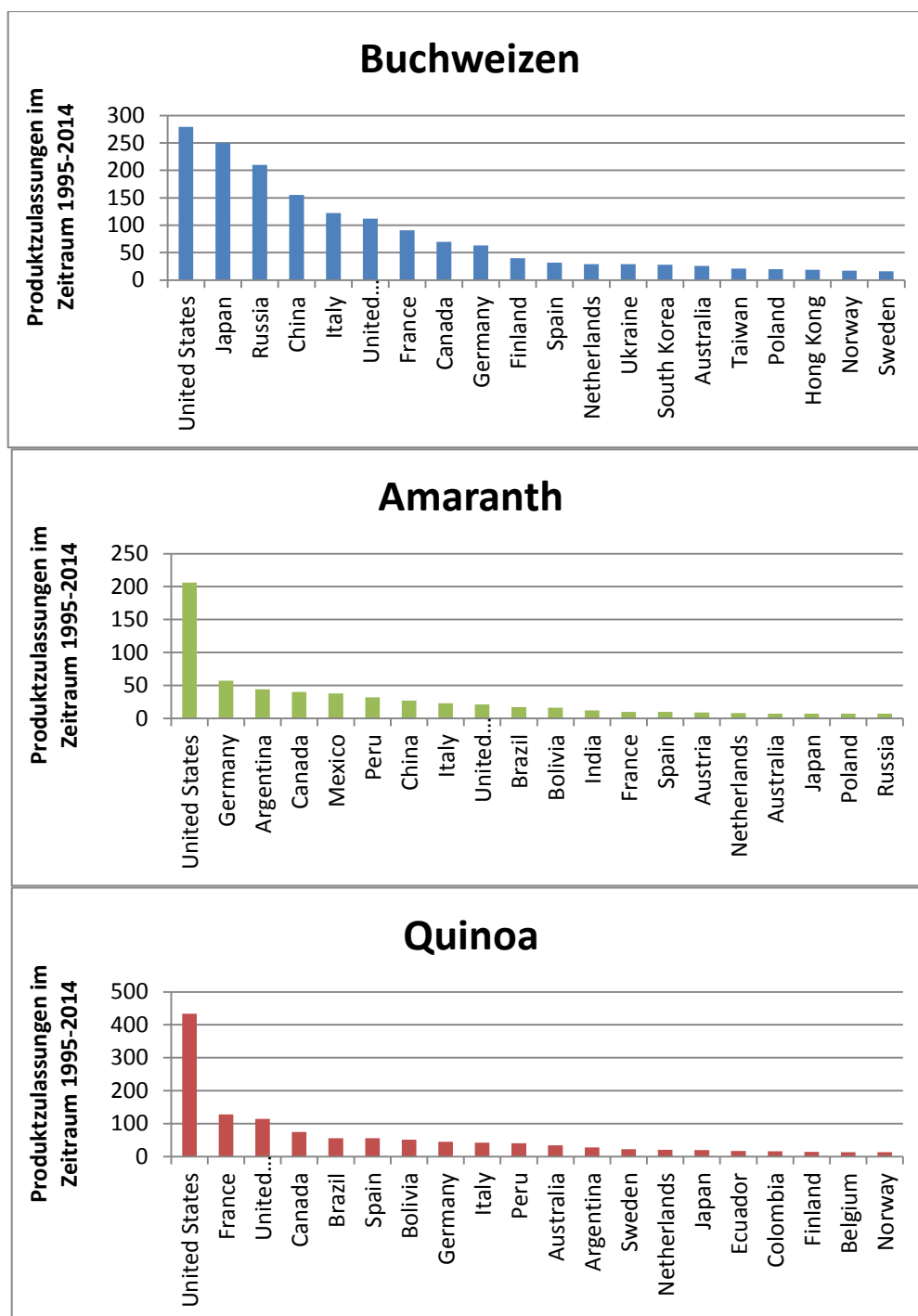


Abb. 3.2.7.: Produktzulassungen mit Amaranth, Quinoa oder Buchweizen im Zeitraum 1995 – 2014 aufgegliedert nach Ländern (Datamonitor, 2015)

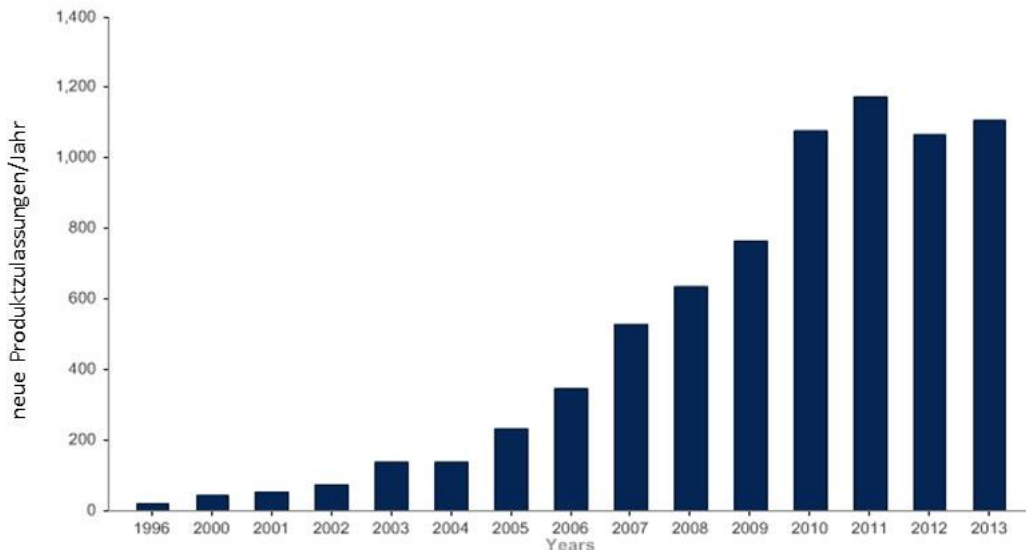


Abb. 3.2.8: Marktentwicklung von glutenfreien Produkten (Datamonitor, 2015)

2.2.1.5. Schlussfolgerungen

Getreide ist prinzipiell als Grundnahrungsmittel ein Hauptlieferant für Stärke und Ballaststoffe und macht auch heute noch immer weltweit den Hauptanteil der menschlichen Ernährung aus. Eine erhöhte Verwendung von einer größeren Rohstoffvielfalt im Getreidebereich wäre daher absolut wünschenswert und hätte darüber hinaus folgende Vorteile.

- **Ernährungsphysiologische Vorteile:** Spezielle Getreidearten zeigen Unterschiede in der ernährungsphysiologischen Zusammensetzung allgemein und konkret in der Zusammensetzung der Ballaststoffkomponenten, der phenolischen Substanzen, der Mineralstoffe und Vitamine und haben sehr oft ein anderes Protein- und Aminosäuremuster. Oftmals haben sie einen höheren Gehalt an diesen Nährstoffen. Durch Kombination von verschiedenen Getreide- und Pseudogetreidesorten kann zusätzlich der ernährungsphysiologische Wert gesteigert werden.
- **Innovative Lebensmittelprodukte:** Spezielle Getreidearten und Pseudogetreide haben einzigartige Eigenschaften für neue (funktionelle) Getreideprodukte und ermöglichen neue Geschmacks- und Texturerlebnisse.
- **Diätlebensmittel (z.B. glutenfreie Lebensmittel):** Viele dieser Getreiderohstoffe sind für bestimmte Bevölkerungsgruppen mit besonderen Ernährungsbedürfnissen (z.B. Allergiker, Zöliakiebetreffende) geeignet.
- **Erhöhung der Biodiversität in der Landwirtschaft:** „Alte“ Getreidearten, wie Emmer und Einkorn, haben oft niedrigere Ansprüche an den Boden oder sind resistenter gegenüber Krankheiten. Dadurch hat eine Erhöhung der Sortenvielfalt auch für die Landwirtschaft Vorteile.

2.2.2. Ölsaaten und Leguminosen

Leguminosen (Hülsenfrüchte) und Ölsaaten werden hier gemeinsam behandelt, weil aus botanischer Sicht viele Ölsaaten Leguminosen sind. Ihre hauptsächliche Verwendung beziehungsweise ihre Zusammensetzung definiert ihre Zuordnung als Ölsaat oder Leguminose (direkter Verzehr als

Gemüse oder Proteinquelle). Die FAO ordnet zum Beispiel die Sojabohne unter die Ölsaaten, obwohl Sojabohnen neben der Ölgewinnung auch sehr vielfältige Anwendungen im Lebensmittelbereich haben – als ganze Sojabohnen (Gemüse und Sprossen), Sojamehl, Sojaprotein(isolat), Fleischersatz, usw..

Die zu den Ölsaaten zählenden Leguminosen speichern als Reservestoffe in den Samen Öl und Protein. Bei Speiseleguminosen hingegen sind die Reservestoffe Protein und Stärke.

Leguminosen gehören zu den botanischen Familien *Fabaceae* oder *Leguminosae*, auch bekannt als Hülsenfrüchte. Sie sind eine sehr große und wirtschaftlich wichtige Familie. Die Gruppe ist die drittgrößte Landpflanzenfamilie, mit über 730 Gattungen und über 19.400 Sorten. Die wichtigsten Sorten sind Bohnen (*Phaesusolus sp.*, *Vica sp.*), Erbsen (*Pisum sp.*), Kichererbsen (*Cicer arietinum* L.), Augenbohnen (*Vigna unguiculata*), Linsen (*Lens sp.*) und Lupinen (*Lupinus sp.*).

Ähnlich wie bei den Getreidesorten erfolgt auch innerhalb der für direkte Speisezwecke verwendeten Leguminosen eine immer stärkere Konzentration auf einige wenige Sorten (Abb. 3.2.9). Bohnen sind die am meisten produzierten Speiseleguminosen weltweit, gefolgt von Kichererbsen und Erbsen (FAOStat, 2014). Bohnen sind eine wichtige Feldfrucht in Lateinamerika, wo ihr Konsum eine sehr lange Tradition hat. Die Kombination von Mais und Bohnen war die Basis der Ernährung seit vielen Jahrhunderten und in manchen Ländern wird diese noch immer praktiziert (z.B. Mexiko). Kichererbsen werden in vielen Teilen Asiens und in der Mittelmeerregion Europas und Afrikas und für verschiedene Snacks verwendet (Annapure et al., 1998).

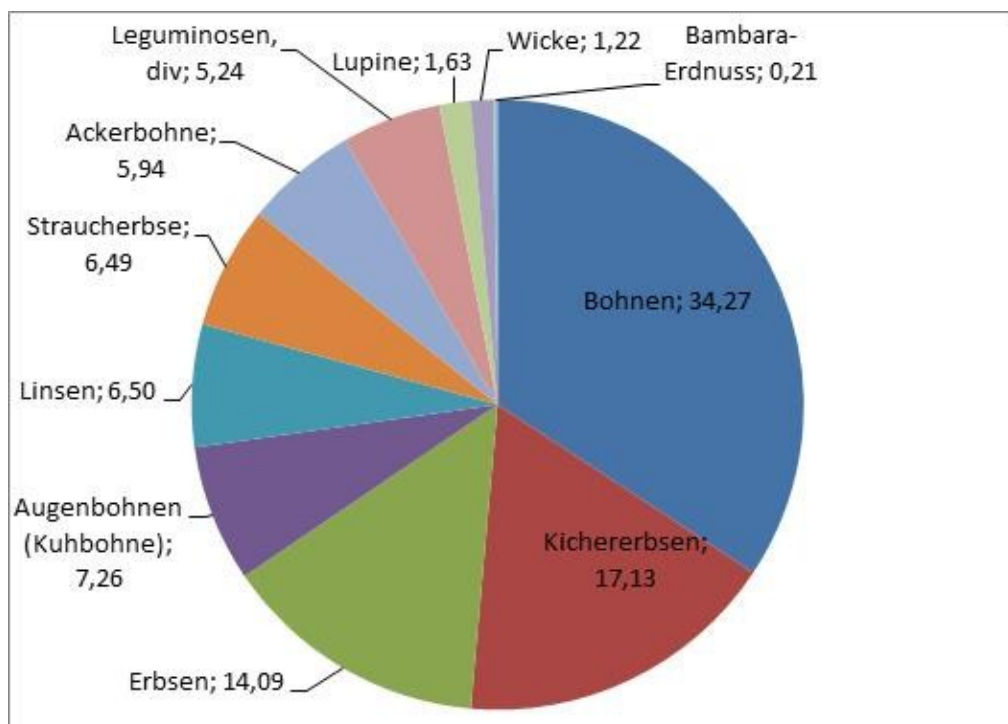


Abb. 3.2.9: Produktion von Leguminosen im Jahr 2011 weltweit (FAOStat, 2014) (Angabe für getrocknete Leguminosen)

Alle Leguminosen enthalten etwa 20 – 30 % Proteine. Ihre Aminosäurezusammensetzung ergänzt sich sehr gut mit jener von Getreide. Die Proteine der Leguminosen sind reich an Lysin aber limi-

tierend in schwefelhaltigen Aminosäuren, während die Getreideproteine limitierend in Lysin sind, aber ausreichende Mengen an schwefelhaltigen Aminosäuren aufweisen (Eggum & Beame, 1983). Die Kombination von Getreide- und Leguminosenprotein ergibt daher eine ausgewogene Aminosäurebalance. Ein weiterer Vorteil von Leguminosen ist, dass viele Sorten oft einen niedrigen Gehalt an Fett haben (0,6 – 5,5 % in Erbsen, ca. 1 % in Bohnen), aber einen hohen Gehalt an Mineralstoffen, Spurenelementen und Vitaminen, speziell jene der Vitamin B-Gruppe. Ihr niedriger glykämischer Index und ihr oft hoher Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen sind weitere Vorteile von Leguminosen allgemein. Die anwesenden Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose werden mit erhöhter Flatulenz in Zusammenhang gebracht. Durch Fermentation, Keimen oder zu einem geringeren Ausmaß auch durch Einweichen kann der Gehalt an Oligosacchariden gesenkt werden. Ihre vollständige Entfernung ist nicht sinnvoll, weil diese Oligosaccharide eine prebiotische Wirkung haben.

Ein höherer Verzehr von Leguminosen wäre aufgrund der ernährungsphysiologischen Zusammensetzung wünschenswert (Tab. 3.2.4). Die Daten der letzten Ernährungsberichte (z.B.: Österreichischer Ernährungsbericht 2012, 2008) zeigen aber einen drastischen, kontinuierlichen Rückgang des Leguminosen-Verzehrs in den letzten Jahrzehnten.

Für die Öl- und Fettproduktion werden weltweit und ganz speziell in Europa gleichfalls immer weniger Arten verwendet (Abb. 3.2.10 und Abb. 3.2.11). Weltweit dominieren die Verwendung von Sojabohne und Ölpalme, die etwa die Hälfte der gesamten Weltproduktion ausmachen. In den USA hat vor allem Baumwollsaat einen höheren Anteil, in Europa dominieren vor allem Sonnenblume, Raps und Oliven (FAOStat, 2015). Insgesamt nimmt weltweit die Gesamtproduktion an Ölen und Fetten stetig zu, was den steigenden Fettkonsum in unserer Ernährung reflektiert. Interessante Alternativen und neuartige Rohstoffe gäbe es aber auch hier. Davon werden jene, die in letzter Zeit vermehrt in den Fokus gerückt sind, im Folgenden näher beschrieben.

Tab. 3.2.4: Chemische Zusammensetzung von ausgewählten Leguminosen (Souci et al., 2013)

Werte in g/100g TS	Bohnen ^a	Kichererbsen	Erbsen	Augenbohnen	Linsen
Protein (N=5.8)	24,82	21,32	27,00	28,36	27,49
Fett	1,90	6,78	1,70	1,71	1,88
Kohlenhydrate ^b	41,21	50,77	48,57	40,46	47,70
Ballaststoffe ^c	27,55	17,76	19,57	25,18	19,97
Asche	4,51	3,37	3,16	4,28	2,95

^a *Phaseolus vulgaris*

^b Geschätzt nach Differenz: 100 - (Wasser + Protein (N x 5.8) + Fett + Asche + Ballaststoffe)

^c Modifizierte AOAC Methode (keine weiteren Angaben verfügbar, wahrscheinlich Methode AOAC 985.29)

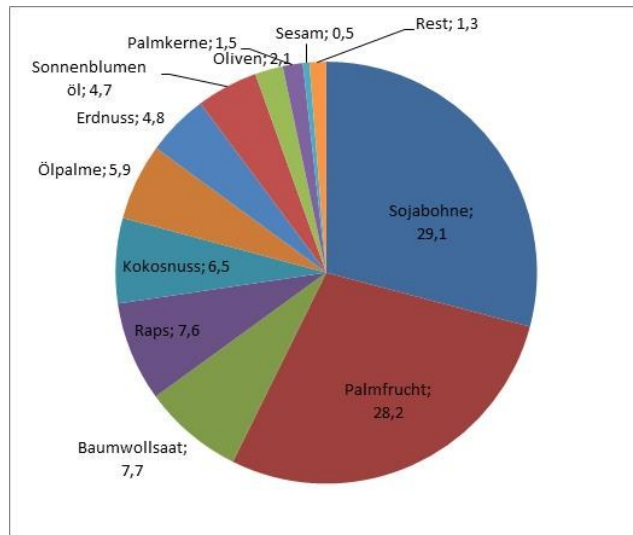


Abb. 3.2.10: Produktion von Ölsaaten im Jahre 2013 weltweit (FAOstat, 2015)

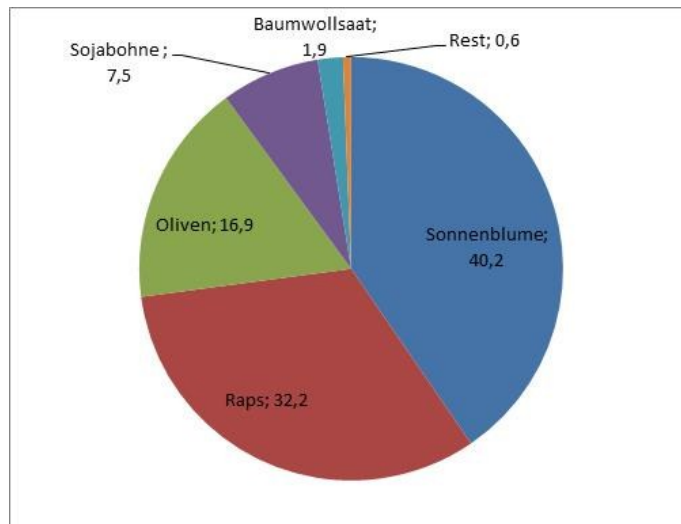


Abb. 3.2.11: Produktion von Ölsaaten im Jahre 2013 in Europa (FAOstat, 2015)

2.2.2.1. Chia

Chia (*Salvia hispanica* L.) ist derzeit in aller Munde und ihre Samen gelten als das *Superfood* schlechthin. Alle möglichen Heilwirkungen werden diesen Samen nachgesagt. Dabei sind Chiasamen eigentlich kaum mehr als neu zu bezeichnen. Von der EU-Kommission wurde sie im Oktober 2009 als neuartiges Lebensmittel zugelassen (EU-Kommission, 2009). Davor wurden sie in Europa nur als Tierfutter eingesetzt.

Chia gehört zur Familie der Lippenblütler und wurde ursprünglich von den Mayas und Azteken in Mexiko vor allem zu Heilzwecken verwendet. Heute wird Chia neben Südamerika (vor allem Argentinien) auch in Asien und Australien angebaut. Die Chiapflanze produziert kleine Samen (1 – 2 mm), die schwarz, grau, gesprenkelt aber auch weiß sein können. Die Tatsache, dass Chia auch in sehr trockenen Gegenden gedeiht, macht sie als Alternativpflanze für die Landwirtschaft interessant.

Chiasamen besitzen eine außergewöhnlich gute ernährungsphysiologische Zusammensetzung. Sie enthalten 15 – 25 % Protein, 26 – 41 % Kohlenhydrate, 18 – 30 % Ballaststoffe, 4 – 5 % Asche (Gesamtmineralstoffgehalt) und zwischen 25 und 40 % Fett, das sehr hohe Mengen an Omega-6- und Omega-3-Fettsäuren (bis zu 60 % des Gesamtöles!) – hauptsächlich α -Linolensäure – enthält. Zusätzlich sind Chiasamen glutenfrei (Norlaily Mohd et al., 2012). Damit enthält Chia weit mehr Protein als Getreide (vgl. Weizen oder Amaranth ca. 12 – 14 %), deutlich mehr Ballaststoffe als andere vergleichbare Samen (z.B. viermal so viel wie in Leinsamen) und viele Omega-3-Fettsäuren. Daneben zeichnet sich Chia aber noch durch einen hohen Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen mit antioxidativer Wirkung aus. Insgesamt enthalten sie sehr viele ernährungsphysiologisch wirksame Stoffe, die je nach Vermarktungsschiene unterschiedlich hervorgehoben werden. Während die einen vor allem den Omega-3-Fettsäuregehalt betonen, verweisen andere auf den hohen Gehalt an Antioxidantien.

Aufgrund dieser chemischen Zusammensetzung wurden und werden Chiasamen sehr oft im medizinischen Bereich verwendet, finden aber nun über den Einsatz als Nahrungsergänzungsmittel auch den Weg zur Verwendung als Lebensmittel. Bislang wird in der Werbung und Vermarktung noch immer sehr auf die vielen (vermeintlichen) Heilwirkungen von Chia gegen so gut wie fast jede Zivilisationskrankheit (z.B.: info360 Media, 2015) hingewiesen. Eine detaillierte Bewertung der verfügbaren (klinischen) Studien zu Wirkungen von Chia gegen Allergien, Angina, athletischer Performance, Krebs, Herz-Kreislaufkrankungen, Herzinfarkt, hormonelle/endokrinische Störungen, Hyperlipidämie, Bluthochdruck oder Schlaganfall wurde von Ulbricht et al. (2009) veröffentlicht. Obwohl insgesamt doch einige Studien durchgeführt worden sind, gibt es bislang zu wenige gesicherte Beweise für die Wirkung von Chia gegen eine der genannten Indikationen. Nur zwei klinische Studien haben den Effekt von Chia auf Risikofaktoren für Herz-Kreislaufkrankungen untersucht und nur eine davon konnte gewisse Effekte nachweisen, während die zweite keine Effekte ergab. Keine der beiden konnte einen Effekt von Chia auf die Reduktion des Körpergewichtes zeigen. Dennoch schließen die Autoren, dass aufgrund der historisch langen Verwendung, Chia für die menschliche Ernährung als sicher gelten kann. Für eine Auslobung über besondere gesundheitsfördernde oder krankheitsverhindernde Wirkungen von Chia müssen allerdings noch gezielt Forschungsdaten erhoben werden.

Heute sind Chiasamen als ganze Körner im Handel erhältlich und werden für viele Lebensmittelanwendungen und -produkte vorgeschlagen, beispielsweise für Brot und Backwaren, Suppen, Salate (Chiasprossen), Getränke, Frühstückszerealien, Saucen, etc. Im Jahre 2000 haben die *US Dietary Guidelines* Chia als Grundnahrungsmittel empfohlen, allerdings soll die tägliche Aufnahme von Chia 48g/Tag nicht überschreiten. In der EU ist Verwendung von Chiasamen zugelassen in Backwaren, Frühstückszerealien, Mischungen aus Früchten, Nüssen und Samen (jeweils max. 10%); als vorverpackter Chiasamen als solches (max. 15g/d). Weiter ist die Verwendung von Chiaöl in Fetten und Ölen (max. 10%) zugelassen, in Nahrungsergänzungsmitteln mit max. 2g/d.

2.2.2.2. Lupinen und Tarwi

Lupinen (*Lupinus* L.) sind eine Pflanzengattung der Hülsenfrüchte. In der (heimischen) Landwirtschaft sind sie ein wertvoller Bestandteil der Gründüngung, da sie den Boden mit bis zu 100 kg Stickstoff pro Hektar anreichern können (über Knöllchenbakterien). Die Lupinen sind schon vor Jahrtausenden im Mittelmeerraum und Ägypten angebaut worden, allerdings enthielten diese früheren Sorten sehr viele Alkaloide, die nicht nur bitter, sondern in höheren Mengen auch toxisch sind. Vor dem Verzehr mussten Lupinen ausreichend entbittert werden (historisch durch Auswaschen). Heute werden in Mitteleuropa vorwiegend Süßlupinensorten (geringer Gehalt an Bitterstoffen), die im letzten Jahrhundert gezüchtet wurden, angebaut, z.B. die Weiße Lupine (*Lu-*

pinus albus), die Blaue Lupine (*Lupinus angustifolius*) oder die Gelbe Lupine (*Lupinus luteus*). In den Anden Südamerikas wird **Tarwi** (*Lupinus mutabilis* L.) (im Deutschen auch Anden-Lupine genannt, in Südamerika auch *chocho*) angebaut. Tarwi wird dort seit Jahrtausenden für die Ernährung genutzt, seit einigen Jahren ist auch das Interesse des Nordens an Tarwi erwacht. Tarwi ist wie die früheren Lupinensorten sehr bitter (hoher Alkaloidgehalt) und muss daher vor der Verarbeitung entbittert werden. In Südamerika geschieht dies traditionell meist durch tagelanges Wässern.

Lupinen sind wie alle Hülsenfrüchte proteinreich (ca. 40 %), besitzen aber im Gegensatz zu ihnen einen höheren Fettgehalt zwischen 5 und 14 %, und nur etwa 0,4 % Stärke (Todorov et al., 1996). Der Proteingehalt von Lupinen ist ähnlich dem der Sojabohnen aber höher als jener der meisten anderen Leguminosenarten. Tarwi enthält etwa 42 % Protein und einen für Leguminosen relativen hohen Fettgehalt von durchschnittlich 18 %.

Das Interesse an Lupinen in Europa ist einerseits darauf begründet, einen **heimischen Ersatz für (Import-)Soja** zu finden, andererseits haben die **Lupinenproteine vielversprechende Verarbeitungseigenschaften**. Isoliertes Lupinenprotein wird in letzter Zeit vermehrt erforscht, entweder als Ersatz für Sojaprotein in herkömmlichen Produkten, andererseits für glutenfreie Produkte oder für vegane Fleischersatzprodukte. Aus Lupinenmehl hergestellter „Tofu“, in diesem Fall „Lupino“ genannt, ist schon seit einiger Zeit im Handel erhältlich. Ein Zusatz von Lupinenmehl verbessert die Konsistenz und die Haltbarkeit von Backwaren (Ersatz von Sojamehl oder -protein). Mit Lupinenschrot gebackene, eiweißreiche Brote enthalten weniger Kohlenhydrate als normales Brot und werden oft im Rahmen der Low-Carb-Diäten vermarktet (Verband für Unabhängige Gesundheitsberatung e. V. - Deutschland, 2015).

Das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) in Freising, Deutschland, hat sich intensiv mit der Verwendung und Verarbeitung von Lupinen innerhalb des Projektes „Lebensmittelzutaten aus Lupinen – Beitrag zu ausgewogener Ernährung und verbesserter Proteinversorgung“ auseinandergesetzt, das mit dem Deutschen Zukunftspreis 2014, dem Preis des Dt. Bundespräsidenten für Technik und Innovation, ausgezeichnet wurde. „Die ausgezeichneten Forscherinnen und Forscher (Dr. Stephanie Mittermaier, Dr. Peter Eisner und Dipl.-Ing. Katrin Petersen) haben ein Verfahren geschaffen, mit dem sich aus den Samen von Lupinen Zutaten für vegetarische und vegane Lebensmittel gewinnen lassen, die tierischen Proteinen ähneln. Damit können geschmacklich überzeugende Fleisch- und Milchersatzprodukte hergestellt werden – eine Chance, um den Verzehr pflanzlicher Lebensmittel zu steigern und so eine bessere Ernährung der Weltbevölkerung zu sichern“ (Geschäftsstelle Deutscher Zukunftspreis - Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V., 2015).

Lupinen müssen so wie Sojabohnen aber auch als Allergen laut EU-Lebensmittelinformationsverordnung Nr. 1169/2011 gekennzeichnet werden.

2.2.2.3. Sacha Inchi

Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) ist eine ölreiche Pflanze aus der Familie *Euphorbiaceae* (Wolfmilchgewächse) (Abb. 3.2.12), die aus Südamerika (Amazonasgebiet) stammt und in Europa bislang noch wenig bekannt ist. Bei der einheimischen Bevölkerung ist diese Frucht schon seit Jahrtausenden in Verwendung (Cai, 2011; Gutiérrez et al., 2011). Die sternförmigen Sacha Inchi-Früchte, auch bekannt als Inka-Erdnuss oder wilde Erdnuss, sind Kapseln mit vier bis sieben Samen, die etwa 15 – 20 mm lang und 7 – 8 mm dick sind. Ihr Anbau erfolgt heute wieder vermehrt in Peru und Kolumbien.

Das Interessante an Sacha Inchi ist der hohe Gehalt an Öl (35 – 60 %), welches einen sehr hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren aufweist (Guillén et al., 2003). Es ist vergleichbar mit Leinsa-

men-, Raps- oder Distelöl; sehr intensiv gelb und weist einen charakteristischen Geruch und Geschmack auf, der oft als bohlig, aber auch als nussig bezeichnet wird. Das Öl ist besonders reich an α -Linolensäure (ω -3) und Linolsäure (ω -6), welche 50 % beziehungsweise 34 % ausmachen. Dafür sind die Gehalte an Ölsäure (9,1 %), Palmitinsäure (4,4 %) und Stearinsäure (2,4 %) niedrig. Damit weist das Öl insgesamt etwa 84 % mehrfach ungesättigte Fettsäuren, 9 % einfach ungesättigte Fettsäuren und nur 7 % gesättigte Fettsäuren auf (Gutiérrez et al., 2011). Trotz seines hohen Anteils an mehrfach ungesättigten Fettsäuren ist Sacha Inchi-Öl verhältnismäßig oxidationsstabil. Der Grund liegt in einem ebenso außergewöhnlich hohen Tocopherolgehalt von ca. 176 – 226 mg/100 g Öl. Primär besteht es aus δ - und γ -Tocopherolen, die dem Öl gut verschlossen, kühl und dunkel gelagert, immerhin eine Haltbarkeit von ca. 9 Monaten gewähren. Das ist für ein Öl mit einer Jodzahl von ca. 192 ein sehr guter Wert und im Vergleich mit Leinöl ein nicht zu unterschätzender Vorteil. Neben Vitamin A und E weist Sacha Inchi-Öl ca. 250 mg/100 g Phytosterole auf, darunter vorwiegend Stigmasterol, Campesterol und Δ 5-Avenasterol (Olionatura, 2015).

Neben einem hohen Fettgehalt enthält Sacha Inchi ein hochwertiges Protein (etwa 27 %; Sathe et al., 2002) mit hohen Mengen der essentiellen Aminosäuren Cystein, Tyrosin, Threonin und Tryptophan. Der Stärkegehalt ist dagegen mit ca. 30 % eher niedrig (Maurer et al., 2012). Der Gesamtmineralstoffgehalt liegt bei etwa 4 % mit hohen Mengen an Magnesium, Calcium, Eisen und Zink. Aufgrund der Neuheit dieser Pflanze gibt es bislang nur wenig detaillierte Daten zur chemischen Zusammensetzung der Samen oder des Öls und noch weniger über seine physiologische Wirkung. Der hohe Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren legt eine blutcholesterinsenkende Wirkung nahe; dem Öl wird eine positive Wirkung gegen Herz-Kreislaufkrankungen, Bluthochdruck, Rheuma, Krebs u.a. nachgesagt, aber konkrete (klinische) Studien dazu fehlen noch weitgehend.



Abb. 3.2.12: Sacha Inchi Pflanze (links) und Früchte (rechts), Chang Rai University, Thailand (©D'Amico, 2015)

In den letzten Jahren ist das Interesse an Sacha Inchi aufgrund seines charakteristischen Geschmacks und seiner herausragenden chemischen Zusammensetzung in den Ländern des Nordens erwacht. In Asien, besonders in Thailand wird dieses Öl derzeit intensiv beforscht – Anbauversuche werden beispielsweise im Norden des Landes (Region um Chang Rai) unternommen (Rawdkuen, 2014). Erst seit 2013 ist Sacha Inchi Öl in der EU als Lebensmittel zugelassen in Speiseölen als Lebensmittelzutat und Nahrungsergänzungsmittel erhältlich – davor wurde es nur im Kosmetikbereich vertrieben. Sacha Inchi als Gesamtfrucht ist allerdings noch immer als Novel Food eingestuft und bislang noch nicht zugelassen. Damit können derzeit weder die ganzen Samen noch das Protein für innovative Lebensmittel in der EU genutzt werden (European Commission, 2015). Exportiert wird Sacha Inchi Öl vor allem von Peru. Hauptimportländer sind Frankreich, Italien und Spanien (CBI Factsheet, 2014). In Europa wurden im Jahre 2014 insgesamt etwa 50 Tonnen an Sacha Inchi Öl importiert. Damit bewegt sich dieses Öl in einer sehr kleinen Nische. **Da es aber ein noch sehr „junges“ Produkt in Europa ist, aber vielversprechende Eigenschaften besitzt, ist anzunehmen, dass das Marktvolumen in den nächsten Jahren steigen wird.**

2.2.2.4. Schlussfolgerungen

Im Bereich der Leguminosen und Ölsaaten gibt es sehr viele interessante Alternativen, die vor allem in ernährungsphysiologischer Hinsicht eine gute Erweiterung des verwendeten Spektrums darstellen. Aufgrund der nachweislich sehr guten ernährungsphysiologischen Zusammensetzung wird sich der mengenmäßige Umsatz der vorgestellten neuen Rohstoffe Chia und Sacha Inchi eher steigern und sie werden sich in einem bestimmten Segment halten können. Auch Lupinen als Fleisch- und Sojaersatz werden eine gewisse Bedeutung erlangen. Dennoch werden sie zumindest in nächster Zukunft Nischenprodukte bleiben. Meist sind die neuen Rohstoffe sehr teuer im Vergleich zu den kommerziell im großen Stil angebauten Sorten, was ihre Verbreitung limitiert. Viele der interessanten Öle werden daher oft im Kosmetikbereich verwendet, einerseits weil sie als Lebensmittel in der EU noch keine Zulassung haben, zum anderen, weil hier eine ganz andere Wertschöpfungskette vorliegt, und teurere Rohstoffe durchaus eingesetzt werden können.

2.2.3. "Superfrüchte"

Im Bereich der Früchte und Beeren ist ein wahrer Boom bezüglich sogenannter „Superfrüchte“ (*super fruits*) ausgebrochen. Das sind Früchte aus fernen Ländern, die mit vielversprechenden Eigenschaften angepriesen werden. Die Heilsversprechen umfassen dabei fast alle Bereiche; von verlangsamter Alterung über strahlende Schönheit bis zur Heilung unzähliger Krankheiten ist hier alles vertreten. Freilich, mit klinischen Studien sind diese Versprechen selten gestützt. Neben den gesundheitsbezogenen Wirkungen werden manche dieser Früchte als Ersatz für diverse Zusatzstoffe verwendet (z.B. Pulver aus Acerolakirschen statt isoliertem Vitamin C). Der zumeist hohe Preis dieser Früchte ist hier aber sicherlich ein großes Hindernis. Vier der derzeit besonders häufig vermarkteten Früchte werden hier kurz näher vorgestellt.

2.2.3.1. Acerolakirschen

Acerolakirschen sind Steinfrüchte mit einem Durchmesser von 10 – 15 mm und stammen vor allem aus dem mittelamerikanischen Raum (Texas/USA, Mexiko, Guatemala) und Brasilien. Botanisch sind sie nicht mit unseren Kirschen verwandt.

Die Acerolakirsche (*Malpighia glabra*, Syn.: *Malpighia punicifolia*) wird vor allem wegen des hohen Gehalts an Vitamin C (1400 – 4500 mg/100g Frischsaft; Assis et al., 2008) sehr geschätzt. Keine andere bekannte Frucht hat einen höheren Vitamin C-Gehalt. Acerolakirschen werden als Nahrungsergänzungsmittel vermarktet, aber auch als Lebensmittel (Saft) direkt verzehrt. Da sie frisch kaum haltbar sind, werden sie in der Lebensmittelindustrie in Form von Saft, Fruchtfleisch, Konzentrat und Pulver (sprüh- oder gefriergetrocknet) für verschiedenste Anwendungen eingesetzt – entweder zur Vitaminanreicherung oder zur Nutzung der antioxidativen Wirkung des Vitamin C anstelle von synthetischem Vitamin C.

2.2.3.2. Goji-Beeren

Goji-Beeren (dt. auch Wolfsbeeren) sind die orange-roten Früchte des Gemeinen Bocksdorns (*Lycium barbarum*, synonym: *L. halimifolium*) und werden vor allem in der chinesischen Küche und der traditionellen chinesischen Medizin (TCM) schon seit Tausenden von Jahren verwendet. Laut TCM wirken Goji-Beeren gegen hohen Blutdruck und hohen Blutzucker, bei Augenproblemen und werden zur Unterstützung des Immunsystems und zur Vorbeugung und Behandlung von Krebs eingesetzt. Als Lebensmittel werden die Früchte gekocht oder auch roh gegessen; einige Varian-

ten sind allerdings sehr sauer. In Asien werden auch Blätter von Jungpflanzen als Blattgemüse verwendet, in der EU sind allerdings nur die Beeren erlaubt. In Tibet nennt man Goji-Beeren auch „Glücksbeeren“. In Europa sind sie seit etwa 5 – 10 Jahren erhältlich, anfangs vor allem in getrockneter Form, neuerdings auch in frischer Form. In Europa wird der Fruchtsaft von einigen Herstellern angeboten.

Die besonderen Heilsversprechen, die dieser Pflanze nachgesagt werden, sind besonders ein Anti-Aging-Effekt, und noch viele weitere, die zumeist unbestätigt sind. Fakt ist, dass Goji-Beeren einen hohen Gehalt an Antioxidantien (Zeaxanthin und Lutein) haben, die zum Teil für diese Wirkungen verantwortlich sein könnten. Einer Studie (in vivo) von Chan et al. (2007) zufolge konnten Extrakte aus Goji-Beeren den Verlust von retinalen Ganglienzellen bei Glaukompatienten verhindern.

Einen offiziellen EU-Health Claim für Goji-Beeren gibt es bislang nicht.

2.2.3.3. Açai-Beeren

Açaí-Beeren (sprich: *Assai*) sind die Früchte der Açaipalme (*Euterpe oleracea*) und sehen äußerlich den Heidelbeeren ähnlich. Sie sind ebenso dunkelblau-purpur und haben eine vergleichbare Größe. Die oft auch Kohlpalme genannte Pflanze wächst im Amazonasgebiet und Trinidad, wo die Beeren schon seit Jahrhunderten genutzt werden.

Ihren Ruhm verdanken die Açai Beeren dem Gehalt an Antioxidantien (Polyphenole wie z.B. Procyanidinoligomere, Protocatechuinsäure, Ferulasäure) (Pacheco-Palencia et al., 2008), denen grundsätzlich eine antioxidative Wirkung nachgesagt wird. Im Vergleich zu anderen Früchten oder Beeren (z.B. Acerolakirsche, Trauben) enthält sie aber laut einer Studie von Kuskoski et al. (2006) nur mittlere Mengen an Polyphenolen. Klinische Studien über die genaue Wirkung in der menschlichen Ernährung haben keine eindeutige Wirkung nachgewiesen (NutraIngredients, 2011).

In einschlägigen Websites werden Açai-Beeren als besondere „Wunderbeeren“ angepriesen, so sollen sie den Hunger mindern, zusätzlich die Fettverbrennung anregen und hochgradig entzündungshemmend, herzstärkend, immunsystemstärkend usw. sein. Der Hype um Açai-Beeren ist ein besonders gutes Beispiel von Marketing via Sozialmedien oder Internet und basiert nicht auf einer wissenschaftlichen Basis bezüglich ihrer gesundheitlichen Wirkung. Nachdem in einer Talkshow von Oprah Winfrey (USA) ein Gast Açai-Beeren als Schlankmacher angepriesen hat, ist ein wahrer Boom um diese Beere ausgebrochen und zahlreiche Firmen werben mit unbestätigten Aussagen. Mittlerweile wurden viele dieser Firmen in den USA deswegen verklagt. Wissenschaftliche Studien zur gesundheitlichen Wirkung wurden nur begrenzt durchgeführt und erlauben keine eindeutige Aussage, bzw. widerlegen in anderen Fällen die Heilsversprechen (Heinrich et al., 2011). Freilich kommen diese Informationen auf den einschlägigen Medien zumeist nicht an.

2.2.3.4. Noni

Noni ist die Frucht des Nonibaumes (*Morinda citrifolia* L.), bekannt auch als Indische Maulbeere. Die Frucht ist ein Fruchtverband aus Steinfrüchten und etwa hühnereigroß. Der Geschmack und Geruch der reifen Früchte ist ähnlich dem von Käse und wird daher manchmal als unangenehm empfunden. Die ursprüngliche Heimat sind die Urwälder in Norden Australiens, des westpazifischen Raumes und die polynesischen Inseln. In der traditionellen Volksmedizin Polynesiens wird Noni als Heilmittel eingesetzt. Seit einigen Jahren wird sie wegen dieser Heilsversprechen weltweit vermarktet. Aber auch für Noni fehlen eindeutige Studienbelege von gesundheitlichen Wirkungen, die über die Wirkung von anderen Fruchtsäften hinausgeht. In einschlägigen Seiten richten sich die Heilsversprechen von Noni auf eine positive Wirkung bei Diabetes und Arthritis, sie soll gegen Depressionen, Übergewicht, Stress und ähnliche Beschwerden helfen, aber alle diese

Wirkungen konnten bislang nicht bestätigt werden.

In der EU wurde Noni im Jahre 2003 als Novel Food zugelassen. Auflagen für den Vertrieb waren unter anderem die Pasteurisierung des Getränks und der Verzicht auf Werbeaussagen, die dem Produkt eine gesundheitsfördernde Wirkung unterstellen. Seit 2008 sind auch Noni-Blätter als Novel Food zugelassen und seit 2010 Noni-Püree und Noni-Konzentrat.

Nachdem in Österreich Bedenken bezüglich der Lebertoxizität von Noni-Saft aufgetreten sind, wurde von der AGES eine Sicherheitsstudie durchgeführt. Sie kam zum Schluss: „Eine lebertoxische Wirkung durch das oben beschriebene Produkt ist aufgrund der derzeit vorliegenden Erkenntnisse nicht nachvollziehbar“. Auch die EFSA, die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, hat auf Anfrage der EU das Thema wissenschaftlich bearbeitet und ist mit 6. September 2006 zum selben Ergebnis gekommen.“ (AGES, 2015).

2.2.3.5. Schlussfolgerungen

Im Bereich der Früchte ist besonders auffallend, dass hier mit sehr vielen gesundheitlichen Aussagen geworben wird. Der Reiz des Exotischen befördert den Ruf dieser „Superbeeren“. Diese Früchte werden in verschiedenen Formen (Pulver, Saft, getrocknet, usw.) vorwiegend als Nahrungsergänzungsmittel zu sehr teuren Preisen verkauft.

Durch eine medienbedingte Aufmerksamkeit treten diese Früchte in einem anfangs oft höheren Umfang auf dem Markt auf und lösen einen gewissen Hype aus. Können sie aber die vielen Versprechen nicht halten beziehungsweise kommt ein neues „Supernahrungsmittel“, welches mehr verspricht, dann klingt der Hype rasch wieder ab. Zu beobachten ist dies beispielsweise für die Anzahl der neuen Produktzulassungen von Açaí-Beeren im Vergleich zu Goji-Beeren oder Acerolakirschen (Abb. 3.2.13). Açaí-Beeren waren vor fünf Jahren offensichtlich besonders „in“, ihr Marktvolumen ist aber inzwischen wieder stark gesunken.

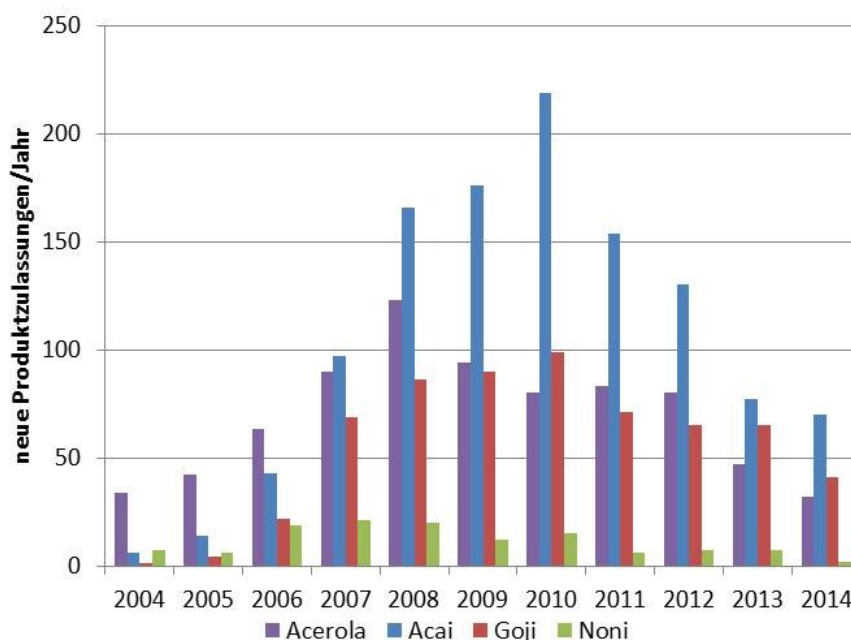


Abb. 3.2.13: Marktentwicklung der „Superfrüchte“ in den letzten 10 Jahren (Datamonitor, 2015)

Objektiv betrachtet kann zusammengefasst werden, dass trotz überzogener Werbung und Vermarktung diese Früchte oft tatsächlich einen hohen Gehalt an verschiedenen wertbestimmenden

Inhaltsstoffen haben und daher eine interessante Alternative zu den häufig konsumierten Früchten darstellen und für Abwechslung auf dem Speiseplan sorgen können. Damit haben sie eine berechnete Stellung in der Nahrungsvariation. Als „Medizin“ oder „unverzichtbar“ sollten sie aber keinesfalls angesehen werden, denn auch die bei uns üblichen und bekannten Früchte und Beeren weisen eine sehr gute Nährstoffdichte auf.

2.3. Neue, nichttraditionelle Rohstoffe (Novel Food)

2.3.1. Insekten

Insekten werden vielerorts als Lebensmittel der Zukunft angepriesen, unter anderen auch von den Vereinten Nationen (UN) (Kaffsack, 2013). Aufgrund des hohen Proteingehalts und der vorteilhaften Aminosäurezusammensetzung stellen sie eine alternative Proteinquelle zu Fleisch und Fisch dar. Erwähnenswert sind weiter die teilweise sehr hohen Eisen- und Zinkgehalte. Einige Insekten sind auch sehr vitaminreich. Aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung können Insekten eine weitere Proteinquelle darstellen, um alle Menschen möglichst flächendeckend mit vergleichbarer Qualität und Quantität an Nährstoffen zu versorgen. Von der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) wird in enger Zusammenarbeit mit Forschungsinstitutionen wie der niederländischen Universität Wageningen ebenfalls der Konsum von Insekten propagiert. In einem knapp 200 Seiten langen Bericht werden in diesem Zusammenhang die bisherigen Publikationen und Erkenntnisgewinne zu diesem Thema zusammengefasst (van Huis et al., 2013).

Insekten sind in vielen Ländern der Welt ein natürlicher Teil des Speiseplanes, in Europa und anderen westlichen Ländern sind Insekten dagegen tabuisiert, bzw. haben eine Ekel-Schranke. Der Verzehr von Insekten wird als **Entomophagie bezeichnet.**

Insekten sind in vielerlei Hinsicht nützlich für den Menschen. Als Bestäuber, zur Verbesserung der Bodenqualität, beim Abbau organischen Abfalls oder auch in medizinischen Anwendungen. Bekanntlich werden mancherorts lebende Maden zur Reinigung und Desinfektion von Wunden verwendet (Vantomme, 2010). Über 3.000 ethnische Gruppen in 113 Ländern ernähren sich zumindest teilweise von Insekten (MacEvily, 2000). Dabei werden Insekten entweder als billige Nahrungsquelle in ärmeren, ländlichen Regionen genutzt, während in anderen Regionen Insekten als wahre Delikatessen auf den Märkten verschiedener, vor allem asiatischer Länder gehandelt werden. Vereinzelt bieten auch Restaurants in Nordamerika oder Europa Insekten an (Ayieko et al., 2010). Der Verzehr von Insekten (Entomophagie) ist in den Tropen weiter verbreitet als in anderen Ländern. Einerseits ist das auf die ganzjährige Verfügbarkeit von mehreren größeren Insektenarten, andererseits auf das in früheren Zeiten knappe Vorhandensein von größeren Säugetieren wie Schweinen oder Rindern begründet.

Vielfalt an Insektenarten – Vielfalt an (traditionellen) Gerichten

Laut van Huis et al. (2013) werden weltweit über 1.900 verschiedene Insektenarten als Nahrungsmittel verzehrt. Die beliebtesten sind Käfer (*Coleoptera*), Raupen (*Lepidoptera*), Bienen, Wespen und Ameisen (*Hymenoptera*), die alle zusammen bereits über 50 % aller verspeisten Insekten ausmachen. In geringerem Maße werden auch Grillen und Heuschrecken (*Orthoptera*), Zikaden oder Schildläuse (*Hemiptera*), Termiten (*Isoptera*), Libellen (*Odonata*), sowie Fliegen (*Diptera*) verzehrt. Angesichts der unglaublich großen Anzahl an Insektenarten weltweit (beinahe

eine Million Arten sind bis heute beschrieben) ist es nicht verwunderlich, dass die ernährungsphysiologische Zusammensetzung nicht nur zwischen den Arten, sondern auch innerhalb einer Art, erheblich variiert. Hinzu kommen Faktoren wie Entwicklungsstadium und Zusammensetzung des Futters, die merkbare Auswirkungen auf die chemische Zusammensetzung haben. Fütterungsversuche mit Futter, welches einen hohen Gehalt an essentiellen Fettsäuren aufwies, hatten Auswirkungen auf die Fettsäurezusammensetzung der Insekten, führten aber auch zu einem höheren Proteingehalt (van Huis et al., 2013).

Die Zubereitung der Insekten kann auf vielerlei Arten erfolgen, wie z.B. kochen, dämpfen, dünsten, braten und rösten (Chen et al., 2009). Oft werden sie danach einfach nur noch gesalzen. So vielfältig die Insektenarten, so vielfältig sind die Gerichte, die daraus zubereitet werden können. Für die westlichen Essgewohnheiten ist der Verzehr der meisten Insektenspeisen allerdings (noch?) schwer vorstellbar. Chakravorty et al. (2011) beschreiben z.B. eine Methode, bei der Insekten in Bambusrohre gestopft werden, darin für knapp eine Woche geräuchert werden und entweder im Ganzen mit Chili und Salz gewürzt zu Reisgerichten gereicht oder zerstoßen und mit anderen Gewürzen und Zutaten zu Chutneys weiterverarbeitet werden. Für die Bevölkerung im Westen scheint das kaum appetitanregend.

2.3.1.1. Chemische Zusammensetzung von Insekten

Generell scheinen Insekten ein ausgewogenes Nährwertprofil aufzuweisen. Betrachtet man den Energiegehalt, so erreichen sie Werte zwischen 89 kcal/100 g bei rohen Heuschrecken und 1.272 kcal/100 g bei rohen Weberameisen. Insekten wären somit für die verschiedensten Anwendungszwecke geeignet. In Entwicklungsländern oder generell für die Ärmere der Bevölkerung könnten energiereiche Arten für Ernährungszwecke gezüchtet werden; für die reicheren Bevölkerungsschichten, die ohnehin meist zu viel Energie aufnehmen, wären eher energieärmere Arten zu forcieren.

Wie eingangs schon erwähnt, enthalten Insekten Proteine von sehr hoher ernährungsphysiologischer Qualität. Eine Erhebung der Aminosäureprofile von über 100 Insektenarten zeigte, dass die Profile dem Referenzprotein der FAO sehr nahe waren (Chen et al., 2009). Der Rohproteingehalt schwankt zwischen 20 – 70 %.

Die Ergebnisse der Fettbestimmungen von Insekten zeigten einen Gehalt zwischen 10 – 50 %. Larven und Puppen scheinen generell einen höheren Fettgehalt zu haben als ausgewachsene Exemplare. Genauso gibt es auch Arten mit geringeren Fettgehalten, wie beispielsweise die ausgewachsene Form von *Oxya chinensis* (eine Heuschreckenart), die nur 2,2 % Fett enthält. Generell zeigte sich, dass die Fettsäureprofile von Insekten denen von Geflügel oder Fisch sehr ähneln, jedoch in vielen Fällen mehr essentielle Fettsäuren enthalten als herkömmliches tierisches Fett. EPA oder DHA wurden in Insekten nur in Spuren gefunden, der Anteil könnte jedoch durch Fütterung mit Fischabfällen gesteigert werden (Rumpold & Schlüter, 2013).

Relativ niedrige Werte wurden für den Gehalt an Kohlenhydraten gemessen, welcher bei 1 – 10 % lag. Laut Sun et al. (2007) könnten einige in Insekten enthaltenen Polysaccharide das menschliche Immunsystem stärken. Wichtig ist bei Insekten der Chitingehalt, der über 90 % der Haut ausmacht. Der Gesamtanteil wird mit 5 – 15 % angegeben (Chen et al., 2009). Chitin, dem weltweit zweitmeistverbreiteten Polysaccharid nach Cellulose (van Huis et al., 2013), werden ernährungsphysiologisch und gesundheitlich wertvolle Eigenschaften nachgesagt. Nach Kadam & Prabhasankar (2010) soll Chitin stärkend auf das Immunsystem wirken und auch als Ballaststoff fungieren.

Den Mineralstoffgehalt betreffend, enthalten Insekten laut Rumpold und Schlüter (2013) einen hohen Anteil an Kalium, Kupfer, Eisen, Zink, Mangan, Selen und Phosphor. Der Gehalt an Calcium

soll laut dieser Studie sehr gering sein, ebenso der Natriumgehalt. Aufgrund des weitverbreiteten Eisenmangels (weltweit sind zwei Milliarden Menschen davon betroffen; WHO, 2013) sehen manche Autoren ein großes Potential in Insekten, allen voran in Grillen der Art *Onchophanes*, sowie Termiten der Art *Oryza* und *Agoro*, um Eisen- oder Zinkmangel zu bekämpfen (Christensen et al., 2006). Bukkens (1997) berichtet von Eisengehalten in Insekten, die jene von Rindfleisch übertreffen. Erwähnenswert sind auch die Gehalte an Kupfer und – wie bereits erwähnt – Zink. Als Beispiel sei die Larve eines Rüsselkäfers, *Rhynchophorus ferrugineus*, genannt, die mit einem Gehalt an Zink von 26,5 mg/100g den Zinkgehalt in Rindfleisch mit 12,5 mg/100 g übertrifft (van Huis et al., 2013).

Auch die Vitamingehalte der Insekten sind nicht unbedeutend. Die Werte variieren jedoch je nach Insektenart, Entwicklungsstadium und den umgebenden Faktoren wie Fütterung. Es gilt die geeignetsten Arten für den jeweiligen Anwendungszweck zu finden und ihre Eigenschaften durch Fütterung zu optimieren. Laut Rumpold & Schlüter (2013) sind Insekten generell eine gute Quelle für Riboflavin, Pantothenensäure und Biotin. Manche Käfer und Heuschrecken liefern auch viel Folsäure (manche Arten bis zu 0,9 mg/100g); ein Vitamin, dessen Versorgungslage in der Bevölkerung oft und vor allem in den westlichen Ländern mangelhaft ist. Bukkens (1997) berichtet von Insekten, bei denen äußerst hohe Werte an Thiamin (4 mg), Riboflavin (8,9 mg) und Cobalamin (8,7 µg pro 100 g) gefunden wurden (zitiert nach van Huis et al., 2013).

2.3.1.2. Pharmakologische Wirkungen von Insekten

Neben der guten ernährungsphysiologischen Zusammensetzung werden den Insekten bestimmte pharmakologische Wirkungen nachgesagt und sie finden auch in der traditionellen chinesischen Medizin Anwendung. Ob das die Anwendung von Insekten als Lebensmittelzutat für Health Foods gerechtfertigt, muss allerdings noch von Fall zu Fall genau untersucht werden. Als Beispiele nennen Chen et al. (2009) Proteine und Peptide mit antibakterieller Wirkung, sowie Hormone und Enzyme. In der chinesischen Medizin gilt die männliche Motte der Art *Antheraea pernyi* als ein wirksames Potenzsteigerungsmittel. Sogenannter Ameisenalkohol, erhalten durch *Polyrhachis dives* (eine Ameisenart), welche in Alkohol getunkt werden, soll das Immunsystem stärken. Vor allem in Form von flüssigen Extrakten oder zermahlen als Insektenmehl räumen Chen et al. (2009) Insekten ein hohes Potential zu einer gesunden Nahrungsergänzung ein. Mustafa et al. (2008) testeten das antibakterielle Potential des Öls des Melonenkäfers (*Coridius vidutus*) und konnten eine gute Wirkung gegen Gram-positive Bakterien nachweisen (zitiert nach Van Huis et al., 2013). Sie schlagen einen möglichen Einsatz als Konservierungsmittel in Fleischprodukten vor.

2.3.1.3. Umweltauswirkungen von Entomophagie (Insektenverzehr)

Der Verzehr von Insekten wird nicht nur aufgrund ihrer wertvollen ernährungsphysiologischen Zusammensetzung vorgeschlagen, sondern auch aus Gründen der Nachhaltigkeit. Im Vergleich zur herkömmlichen Fleischproduktion ist die Zucht von Insekten um sehr vieles effizienter und damit ressourcenschonender. In Abb. 3.2.14 findet sich eine Gegenüberstellung der Futterkonversionseffizienz von Grillen im Vergleich zu jener der drei Hauptmasttiere Geflügel, Schwein und Rind. Mitberücksichtigt ist die Tatsache, dass nur ein bestimmter Anteil des Tieres verzehrbar ist. Bei Grillen beispielsweise sind die Beine und die Flügel zu entfernen. Vor allem, wenn man die Bilanzen zwischen Futter-Input und tatsächlichem, verzehrbarem Fleisch als endgültiges Output vergleicht, schneiden Grillen um ein Vielfaches besser ab als die Säugetiere. Das heißt, es wird viel weniger Futtereinsatz für die gleiche Menge Produkt benötigt. Die Gründe hierfür liegen darin, dass Insekten Kaltblüter sind und keine Energie für ihre Temperaturerhaltung aufbringen müssen (van Huis et al., 2013). Neben der guten Futterkonversionsrate sind ihre rasche Reproduktionsrate und der geringe Flächenbedarf bei der Züchtung weitere Vorteile (Rumpold & Schlüter, 2013).

Bezüglich Klimawandel und dem damit verbundenem Thema der Treibhausgasemissionen erzeugen Insekten etwa um den Faktor 100 weniger Treibhausgase als Schwein und Rind. Methan wird laut Hackstein und Stumm (1994) nur von Kakerlaken, Termiten und Blatthornkäfern produziert (zitiert nach van Huis et al., 2013). In einer Weltallstudie wurde von Tong et al. (2011) die Larve des Seidenspinners (*Bombyx mori*) auf ihre Produktionstauglichkeit durch Respirationsversuche untersucht, in denen sie Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe maßen, bei paralleler Ermittlung der Nährstoffzusammensetzung. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Seidenspinnerlarven im getesteten Szenario als beste tierische Proteinquelle im Vergleich zu Schnecken, Fisch, Huhn oder Schwein eigneten. Die Larven ließen sich unkompliziert auf geringer Fläche und unter geringer Abfallproduktion züchten. Sie wandelten für Menschen nicht verzehrbare Materialien in essbare, ernährungsphysiologisch hochwertige Biomasse um.

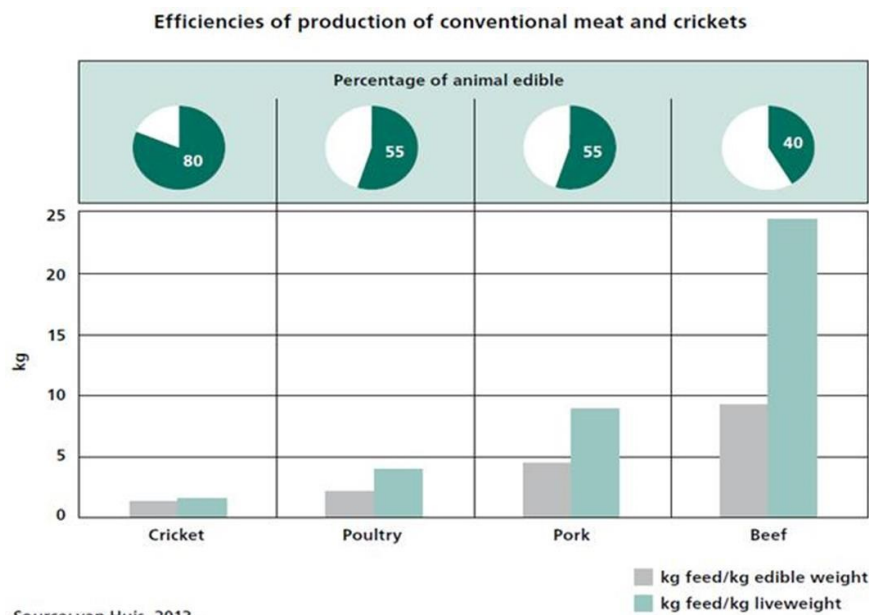


Abb. 3.2.14: Vergleich der Effizienz der Futterkonversion (van Huis et al., 2013).

Damit ergibt sich ein Modell für effiziente und schonende Nutzung der Ressourcen, nämlich die Züchtung von Insekten auf organischem Abfall. Aus Abfall könnte erneut verwertbares Protein zur Tierfütterung oder für den menschlichen Verzehr entstehen. Yen (2009) beschreiben die Möglichkeit Aquakultur oder Geflügelproduktion mit Insektenzucht zu koppeln. Ein in sich geschlossener Kreislauf, der den vom Huhn erzeugten Abfall den Insekten zur Verwertung zukommen lässt und diese Insekten wiederum dem Huhn als Futter nutzen lässt, wäre ideal. Im Allgemeinen könnten Insekten als Allesfresser bei der Reststoffverwertung von Nutzen sein. Grundsätzlich können sie sich sogar von Abfällen und Kot ernähren. Die Firma AgriProtein mit Sitz in Südafrika züchtet bereits Fliegen und Maden auf diese Weise für die Futtermittelindustrie (van Huis et al., 2013). Wie aber bereits erwähnt, wirkt sich die chemische Zusammensetzung des Futters auch auf die chemische Zusammensetzung und das Wachstum des Insekts aus. Für Insekten für den menschlichen Verzehr wäre auf Ausgewogenheit bezüglich der Nährstoffe zu achten. Hinzu kommt der Hygiene-Aspekt. Ungewiss ist, ob etwaige Keime übertragen werden könnten.

2.3.1.4. Zukünftige Herausforderung für den Verzehr und die Verarbeitung von Insekten

Eine der größten Herausforderungen für den breiten Verzehr stellt sicher die Ablehnung seitens der westlichen Bevölkerung dar. Bislang ist Insektenverzehr noch immer stark tabuisiert und die meisten Menschen graust schon allein beim Gedanken daran, Würmer, Maden, Bienen, Heuschrecken usw. auf dem Speiseteller vorzufinden. Historisch gesehen, bestand in den westlichen Kulturen aufgrund der ausreichenden Verfügbarkeit von größeren Säugetieren wie Schwein oder Rind keine Notwendigkeit Insekten in den Speiseplan zu integrieren. Das Sammeln und Verarbeiten dieser meist winzigen Tieren bedeutete einen immensen Mehraufwand, um an eine ausreichende Menge an Protein und anderen Nährstoffen zu kommen. Nur in sehr geringem Ausmaß kann Entomophagie im europäischen Kulturkreis historisch nachgewiesen werden. Laut van Huis et al. (2013) soll Aristoteles (384-322 v.Chr.) beispielsweise die Verwendung von Insekten als Nahrungsmittel erwähnt haben und bereits in der Bibel wird im Buch Leviticus der Konsum von Heuschrecken oder Käfer gebilligt. Mit der Sesshaftigkeit und dem Aufkommen von Ackerbau und Viehzucht scheinen Insekten aber nicht mehr für die Ernährung nötig gewesen zu sein. Sie wurden in diesem Zusammenhang eher als Schädlinge gesehen und wurden oft auch mit Verderb in Zusammenhang gebracht. Dadurch erklären sich auch die entstandene Tabuisierung und die Ekel-Schranke gegenüber Insekten im Lauf der Geschichte.

Schaut man sich allerdings den westlichen Speiseplan genauer an, enthält die westliche Kost sehr wohl Nahrungsmittel, die den Insekten nicht ganz fern sind. Zu nennen wären hier alle Meeresfrüchte wie Shrimps, Garnelen, Seeigel, Tintenfische oder Weichtiere wie Schnecken. All diese tierischen Nahrungsmittel besitzen sogar durchwegs den Stellenwert von Delikatessen. Sowohl vom optischen Eindruck als auch zoologisch betrachtet sind diese Tiere von den Insekten nicht weit entfernt. Shrimps und Insekten sind beispielsweise beide Angehörige der Gruppe der Arthropoden (van Huis et al., 2013). Damit scheint eine Integration von Insekten in unsere tägliche Nahrung nicht ganz abwegig zu sein.

Die Frage erhebt sich, welchen Stellenwert Insekten als Nahrungsmittel einnehmen werden – Gaumenkitzel und Delikatesse für besondere Anlässe oder breite Anwendung in der täglichen Nahrung (z.B. Insektenburger)?

Die westliche Einstellung gegenüber Insekten kennt zumeist zwei Grundzustände: Ekel oder Neugierde, bzw. Neophobie und Neophilie. Daraus lässt sich folgern, dass auch die Bewerbung und Vermarktung auf zwei Arten erfolgen kann. Während Yen (2009) beispielsweise auf die Bekämpfung des Ekels durch Aufklärung setzen und Entomophagie als Beitrag zur Ernährungssicherung für die gesamte Weltbevölkerung sehen wollen (rationale Schiene), ergibt eine Fallstudie von Pascucci und De-Magistris (2013), dass in Europa Insekten wohl eher als ein extravagantes, ausgefallenes Essen angesehen wird. In Wien konnten Insekten bei einem 5 Gang Insekten-Menü, gekocht von Haubenkoch Harald Irka bei einem „Insekten essen auf Sternen-Küchen Niveau“ im futurefoodstudio verkostet werden (Futurefoodstudio, 2015). Welcher dieser beiden Strategien letztendlich erfolgsversprechend sein wird, wird erst die Zukunft zeigen.

Um den Ekelfaktor gegenüber Insekten herabzusetzen, bieten sich einige Möglichkeiten:

- **Verarbeitung von Insekten zu Lebensmitteln, deren Äußeres optisch nicht mehr auf das Ausgangsmaterial rückschließen lässt:** Ayieko et al. (2010) testeten Produkte wie Würste und Fleischlaibchen, sowie Kracker und Muffins auf Basis von Termiten und Fliegen in Regionen um den Victoriasee. Ihre Ergebnisse zeigten, dass die Verarbeitung dieser Insekten durchwegs positive Auswirkungen auf die sensorischen Eigenschaften des Produkts hatten und solche Pro-

dukte bei den meisten Testpersonen besseren Anklang fanden, als unverarbeitete Insekten. Da die eigentliche Hauptzutat nicht mehr sichtbar vorlag, reagierten auch Tester, die Entomophagie eher mit Angst begegneten, positiver.

- **Verarbeitung von Insekten zu Mehl, Granulat oder Pasten und deren Verwendung als Zutaten.**
- **Extraktion einzelner Inhaltsstoffe** wie Proteine, Chitin, Fette oder Spurenelemente und Vitamine.

Die beiden zuletzt genannten Möglichkeiten sind derzeit in der EU noch nicht umsetzbar. Laut derzeitiger Rechtslage ist es zwar erlaubt, Insekten als Lebensmittel zu verkaufen, allerdings unterliegen daraus isolierte Lebensmittelzutaten gemäß Artikel 1 der Novel-Food Verordnung einer Zulassung.

Vor einer breiten Anwendung in der europäischen Ernährung sind auch noch die folgenden, anwendungstechnischen Fragen und Probleme zu klären:

- Erstellung von Listen über essbare Insekten allgemein
- Charakterisierung der einzelnen Insekten: Chemische Zusammensetzung, ernährungsphysiologische Eigenschaften
- Charakterisierung eventuell vorkommender antinutritiver Eigenschaften bzw. gesundheitlicher Risiken (z.B. Allergene, mikrobielle Kontamination)
- Eignung und Möglichkeiten zur Züchtung
- Hygienische Bedingungen bei der Züchtung – Ausschaltung von Krankheitsrisiken durch Übertragung von Parasiten
- Festlegung des geeigneten Futters für die einzelnen Arten (Vermeidung der Aufnahme bzw. Anreicherung unerwünschter Stoffe)
- Entwicklung und Optimierung von Verfahren, um eine Züchtung und Produktion im großtechnischen Maßstab zu ermöglichen.
- Entwicklung und Optimierung von Aufbereitungsverfahren (z.B. Entfernung von Flügeln oder Beinen) und Verarbeitungsprozessen zur Herstellung von Lebensmitteln (z.B. Pulver, Pasten etc.)
- Haltbarkeitsstudien der verarbeiteten Produkte (Insekten sind wie alle tierischen Produkte sehr anfällig für Verderb).

Für eine kommerzielle Produktion von Insekten scheinen künstliche Zuchtanlagen unabdingbar zu sein. Der natürliche Bestand unterliegt zu sehr den Schwankungen der Jahreszeiten und Witterungen. Bedenken werden hier allerdings gegenüber der Möglichkeit geäußert, dass gezüchtete Tiere ihren Weg in die freie Wildbahn finden könnten und eventuell Schäden unbekannten Ausmaßes anrichten.

Zu den bisher unerforschten Risikofaktoren von auf Insekten basierenden Produkten gehören mögliche Ausbrüche von Zoonosen, die von Insekten auf Menschen übertragen werden können. Die Wahrscheinlichkeit dafür wird laut van Huis et al. (2013) zwar weitgehend als sehr gering eingestuft, da taxonomisch Insekten sehr weit vom Menschen entfernt sind, allerdings muss dieses Risiko in detaillierten Studien dennoch genau untersucht werden.

Nicht zu bestreiten ist jedenfalls die Tatsache, dass nicht alle Insektenarten zum Verzehr geeignet sind. Es existiert eine Reihe von Arten, die toxisch sein können. Oft kann dem durch Kochen, Ent-

nahme der Eingeweide, oder wiederholtem Waschen mit warmem Wasser zur Entgiftung entgegengewirkt werden (Yen, 2009). Nishimune et al. (2000) berichteten über eine in gewissen Seidenraupen vorkommende Thiaminase, die für viele Fälle von Ataxie in Nigeria verantwortlich war. Durch ausreichendes Erhitzen kann dieses Enzym jedoch zerstört und so die Seidenraupen bedenkenlos verzehrt werden. Manche Insekten produzieren Toxine zum Selbstschutz (z.B. Pederin, ein toxisches Amid); oder nehmen sie über das Futter auf (z.B. cyanogene Glykoside, aus denen Blausäure abgespalten werden kann) (Rumpold und Schlüter, 2013). Möglich sind auch allergische Reaktion gegenüber Insekten (Yen, 2009). Dies betrifft vor allem Menschen, die auch gegen Krustentiere allergisch sind, weil, wie oben erwähnt, zwischen diesen Tierarten eine engere Verwandtschaft besteht. Sowohl antinutritive Inhaltsstoffe als auch allergene Komponenten betreffend sind umfassende Studien notwendig. Der derzeitige Kenntnisstand ist diesbezüglich noch nicht ausreichend.

Ein weiteres Risiko besteht bezüglich mikrobieller Kontamination. Auf der Oberfläche der Insekten anhaftend oder in den Gedärmen können beispielsweise Pathogene Mikroorganismen vorkommen (Banjo et al., 2006). Hygiene im Umgang mit Insekten in allen Verarbeitungsschritten ist daher besonders wichtig, um eine Kontamination mit Bakterien oder Pilzen zu vermeiden. Gerade aufgrund ihrer guten Nährstoffzusammensetzung können Insekten ein idealer Nährboden für unerwünschte Bakterien sein (van der Spiegel et al., 2013). Eine ausreichende Hitzebehandlung und Gewissenhaftigkeit bei der Einhaltung von optimalen Lagerbedingungen sind grundlegend durchzuführen.

Genau kontrolliert werden muss die Verarbeitung der Insekten zu Lebensmitteln, um die Bildung von unerwünschten oder toxischen Stoffen zu verhindern. Im Fall der proteinreichen Insekten ist beispielsweise die Bildung von Acrylamid oder heterocyclischen aromatischen Aminen zu bedenken (van der Spiegel, 2013).

Hauptaufgabe für die Zukunft wird es sein, die Befangenheit der Konsumenten gegenüber Lebensmitteln aus Insekten zu überwinden.

Wenn all diese Fragestellungen und Risiken genau untersucht und charakterisiert werden, bleibt aber dennoch die große Aufgabe, den Konsumenten Nahrungsmittel aus Insekten schmackhaft zu machen. Die Überwindung der negativen Befangenheit wird sicherlich noch einige Jahre oder gar Jahrzehnte dauern. Die negativen Assoziationen zum Thema Insekten in Lebensmitteln sind sehr tief in unserer Gesellschaft verwurzelt. Maden werden meist mit Verdorbenem und mit Zersetzung in Verbindung gebracht. Pascucci und De-Magistris (2013) haben diesbezüglich eine Studie durchgeführt, bei der niederländische Konsumenten gebeten wurden, Produkte zu bewerten, die entweder ganze, sichtbare Insekten enthielten, oder verarbeitete, nicht mehr sichtbare. Zusätzlich wurden den Testpersonen unterschiedliche Zusatzinformationen über Insekten bereitgestellt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Konsumenten die Produkte, in denen das Insekt gut sichtbar war, eher negativ beurteilten. Auch zusätzliche Informationen über mögliche gesundheitliche Vorteile konnten die negativ gestimmten Meinungen nicht mildern.

2.3.1.5. Schlussfolgerungen

Aufgrund ihrer hervorragenden ernährungsphysiologischen Zusammensetzung sind Insekten eine interessante Alternative, den Speiseplan zu erweitern und dadurch unter Umständen andere tierische Produkte zu reduzieren. Bis dieses Ziel erreicht werden kann, sind aber noch viele Forschungsfragen abzuklären, um eine risikofreie und kommerziell rentable Produktion von Insekten zu ermöglichen. Die Sammlung von wildlebenden Arten ist aus Kostengründen keine Alternative. Abgesehen davon gilt es hier zu beachten, dass es zu keiner Übernutzung wilder Insektenpopulationen kommt und dass die für Insekten als Lebensraum nutzbaren Flächen erhalten bleiben.

Nachhaltigkeit muss sowohl bei einer Nutzung von wildlebenden Arten, als auch bei Produktion in Zuchtungsanlagen oberstes Gebot sein.

Selbst wenn alle Produktionsbedingungen und Risiken geklärt sind, so wird es die wichtigste Aufgabe sein, der Bevölkerung Nahrungsmittel aus Insekten anzubieten, die diese bereit ist zu essen. Auch wenn in anderen Regionen der Welt Insekten regelmäßig verzehrt werden, graust den europäischen Konsumentinnen und Konsumenten allein beim Gedanken an "Spinneneintopf" oder "Knusperameisen" (beides traditionelle Gerichte bei den Ureinwohnern Brasiliens). Eine Verarbeitung der Insekten zu einer Darbietungsform, in der die Insekten als solche nicht mehr wahrnehmbar sind, scheint eine Möglichkeit zu sein. Die Gewinnung von bestimmten Inhaltsstoffen aus Insekten und deren Einsatz in anderen Lebensmitteln wäre eine weitere. Allerdings müssen diesbezüglich noch viele Forschungsfragen geklärt und ihre Unbedenklichkeit nachgewiesen werden. Nach derzeitiger Rechtslage ist es zwar erlaubt, Insekten als Lebensmittel zu verkaufen, allerdings unterliegen daraus isolierte Lebensmittelzutaten der Novel-Food Verordnung und benötigen eine Zulassung.

Zusammengefasst betrachtet, scheint eine breitere Nutzung von Insekten in der westlichen, menschlichen Ernährung noch in weiter Ferne zu liegen.

2.3.2. Algen als Nahrungsmittel

In den letzten Jahren sind Algen vermehrt in Lebensmittelprodukten zu finden. Die Verwendung von Algen beruht vor allem auf ihren wertvollen ernährungsphysiologischen Inhaltsstoffen, allen voran der hohe Gehalt an Omega-3 Fettsäuren, aber auch essentiellen Aminosäuren. Einige Algen enthalten darüber hinaus einen nennenswerten Gehalt an Mineralstoffen oder Vitaminen.

Algen sind ein Nahrungsmittel das aus den Weltmeeren gewonnen wird. Dabei werden einzellige Algen (sogenannte Mikroalgen oder auch Phytoplankton genannt, mit einem Durchmesser von meist nur 1 – 50 µm) von sogenannten Makroalgen (multizelluläre Organismen) unterschieden. Algen wandeln Kohlendioxid in Biomasse um und erzeugen dabei Sauerstoff, genauer gesagt mehr als 75 % des Sauerstoffs, der von Mensch und Tier gebraucht wird. Laut Wolkers et al. (2011) existieren 200.000 – 800.000 verschiedene Algenarten, die bei weitem nicht alle taxonomisch zugeordnet sind.

Für Ernährungszwecke sind folgende Algengruppen am bedeutendsten: Grünalgen, Rotalgen, Kieselalgen, Braunalgen, Goldalgen, Gelbgrüne Algen und Blaualgen (eigentlich Cyanobakterien).

Von **Grünalgen** (*Chlorophyta*) gibt es ca. 7.000 Arten, sie wachsen entweder im Meer (2/5 aller Arten) oder Süßwasser (3/5 aller Arten), daneben gibt es auch landlebende Vertreter. Eine häufig genutzte Mikroalgenart aus der Gruppe der Grünalgen sind die **Chlorellaarten**.

Rotalgen (*Rhodophyta*) sind vorwiegend im Meer zu finden, manchmal auch in kalten sauberen Bächen. Aus Rotalgen werden Agar-Agar und Carrageen, die als Hydrokolloide in der Lebensmittelindustrie Anwendung finden, gewonnen. Manche Rotalgen werden auch direkt verzehrt, z.B. als Nori (geröstete, dunkelgrüne, quadratische, papierartige Blätter aus Meeresalgen) für Sushi.

Kieselalgen (*Bacillariophyta* oder Diatomeen) sind vorwiegend im Meer lebend. Sie sind Hauptbestandteil des Meeresphytoplanktons und sind die wichtigsten Primärproduzenten organischer Stoffe, also einen wesentlichen Teil der Basis der Nahrungspyramide. Marine Diatomeen können zu Vergiftungen bei Mensch und Tier führen, weil einige Arten das Toxin Domoinsäure produzie-

ren. Manche Meerestiere, wie z. B. Muscheln oder auch Fische können diese Diatomeen akkumulieren. Kommt es zum Verzehr solcher mit Domoinsäure angereicherten Organismen durch den Menschen, treten Vergiftungserscheinungen auf.

Von **Braunalgen** (*Phaeophyta*) existieren ca. 1.500 Arten, die fast ausschließlich im Meer vorkommen. Es gibt sehr kleine, zart gebaute, fädige, bis sehr große, außerordentlich widerstandsfähige, derbe Organismen. Aus Braunalgen werden Alginat gewonnen, die als Verdickungsmittel eingesetzt werden. Einige Braunalgenarten werden auch direkt gegessen, z.B. Kombu (*Saccharina japonica* und andere *Saccharina*-Arten), Wakame (*Undaria pinnatifida*) und Cochayuyo (*Durvillaea antarctica*).

Goldalgen (*Chrysophyta*) sind selten marin, sondern kommen meist im Süßwasser vor, ebenso wie die gelbgrünen Algen (*Xanthophyceae*). Die Einteilung dieser beiden Gruppen ist taxonomisch nicht eindeutig geklärt. In der klassischen Einteilung der Algen werden die *Chloromonadophyta*, gelbgrünen Algen, Goldalgen, Kieselalgen und die Braunalgen als Klassen zu der Gruppe *Heterokontophyta* gestellt.

Blualgen werden heute nicht mehr den Algen zugeordnet, weil es sich nach derzeitigem Kenntnisstand um Cyanobakterien handelt. Sie zeichnen sich vor allen anderen Bakterien durch ihre Fähigkeit zur Photosynthese aus. Da sie auch heute oft noch als Algenlebensmittel vermarktet werden, finden sie in diesem Kapitel Berücksichtigung. **Spirulina** ist eine Gattung der Cyanobakterien („Blualgen“) und wird im Handel als wichtigster Vertreter der Mikroalgen angeboten.

Nicht selten findet man Algen in extremen Habitaten. So ungewöhnlich ihre Lebensräume sind, so ungewöhnlich sind auch so manche Sekundärmetabolite, die sie erzeugen. Dabei handelt es sich um biologisch aktive Substanzen, die für Menschen nützlich sein könnten. Durch maßgefertigte, kontrollierte Produktionsbedingungen lassen sich Algen dahingehend züchten, dass sie die größtmögliche Menge an bestimmten bioaktiven Substanzen produzieren (Plaza et al., 2008). Der Gehalt an Mikronährstoffen hängt von der Qualität des Wassers ab, in dem die Algen wachsen. Das gilt sowohl für wildwachsende Algen als auch für Algen aus Zuchtanlagen.

2.3.2.1. Chemische Zusammensetzung von Makroalgen

Algen bilden die Futtergrundlage für die meisten Meeres- beziehungsweise Wasserbewohner. Sie sind eine gute Quelle für verschiedene Farbstoffe, Antioxidantien, Proteine und Stärke. In den letzten Jahren wurden rund 15.000 neue chemische Stoffe in Algen entdeckt (Wolkers et al., 2011). Das Nährwertprofil von Algen ist damit durchwegs positiv. Durch gezielte Manipulation der Umgebungsbedingungen können Algen dazu veranlasst werden, bestimmte Stoffe vermehrt zu produzieren. Bei Mikroalgen wird unter limitiertem Stickstoffangebot beispielsweise vermehrt Öl in die Zellen eingelagert, durch hohe Lichteinstrahlung wird die Produktion von Carotinogen angekurbelt (Wolkers et al., 2011). Die Voraussetzungen für eine breite Anwendung von Algen auch im Lebensmittelbereich sind denkbar gut.

Eine Studie durchgeführt von Dawczynski et al. (2007) ermittelte die chemische Zusammensetzung von 34 essbaren Makroalgen. Die getesteten Sorten hatten alle relativ niedrige Fettgehalte mit durchschnittlichen Werten von 2,3 g bezogen auf 100 g Produkt (halbtrocken). Hohe Gehalte an Omega-3-Fettsäuren, vor allem an Eicosapentaensäure (EPA) mit etwa 50 % Anteil am Gesamtfettsäuregehalt wurden gefunden. Das Verhältnis von Omega-6- zu Omega-3-Fettsäuren stellte sich als ideal heraus. Üblicherweise werden (Meeres)Fische als Quelle für Omega-3-Fettsäuren herangezogen. Fische bilden aber diese Fettsäuren nicht selbst, sondern reichern diese in ihrem Gewebe aufgrund des Algenverzehr an. Das führte zur Überlegung Omega-reiche Öle nicht aus Fischen sondern aus Algen zu gewinnen, beziehungsweise die Algen für diese Zwecke zu kultivieren. Tab. 3.2.5 zeigt, dass einige solcher Öle aus *Schizochytrium*- und aus *Ulkenia*-Algen bereits als

Novel Food in der EU zugelassen und auf dem Markt sind. Ihr Zusatz muss in der Zutatenliste erkenntlich sein.

Der Proteingehalt unterliegt großen Schwankungen, weil er sehr von der Art der Algen abzuhängen scheint. Rotalgenarten haben rund 26,6 g, Braunalgenarten nur rund 12,9 g pro 100 g Masse. Die Umweltbedingungen scheinen den Proteingehalt zu beeinflussen. Die Zusammensetzung der essentiellen Aminosäuren der Algenspezies *Porphyra sp.* (eine Rotalge) ist durchaus vergleichbar mit der von Sojaprotein (Fleurence, 1999).

Beachtlich ist der durchwegs hohe Gehalt an Ballaststoffen, welcher im Durchschnitt bei 46,2 g pro 100 g Produkt angesiedelt ist und damit teilweise über dem der meisten Obst- und Gemüseorten liegt. Der gesundheitliche Nutzen von Algen-Faserstoffen ist wissenschaftlich mehrfach belegt und beruht vor allem auf ihrer positiven Wirkung auf die Verdauung, den Darm und die Darmflora (Dawczynski et al., 2007; Jiménez-Escrig & Sánchez-Muniz, 2000; Guidel-Urbano & Goni, 2002).

Bekannt und schon lange genutzt sind Algen im Bereich der Zusatzstoffe, denn Algen enthalten lösliche Polysaccharide, wie z. B. Agar-Agar oder Carrageen in Rotalgen und Alginat in Braunalgen. Als Hydrokolloide werden diese aus den Algen isolierten Substanzen in der Lebensmittelindustrie schon seit vielen Jahren eingesetzt. Andere vorkommende Kohlenhydrate sind Cellulose, Xylan, Mannan, Mannitol oder verschieden gebundene Glucane. Die Art und Menge dieser Kohlenhydrate ist sehr artenspezifisch (Dawczynski et al., 2007).

Viele Algen weisen einen hohen Mineralstoffgehalt auf, der den Landpflanzen oder tierischen Produkten überlegen ist. Laut Rupérez (2002) kann nur Spinat solche hohen Werte erzielen. Die Mineralstoffe (Metallionen) sind dabei oft an die anionische Phosphat-, Sulfat- und Carboxylgruppen der Polysaccharide und Proteine in und an den Zellwänden der Makroalgen gebunden. Rupérez (2002) gibt die durchschnittlichen Aschegehalte mit Werten zwischen 21,1 – 39,3 % an. Der Nachteil eines so hohen Mineralstoffgehaltes ist allerdings, dass neben den für den Menschen essentiellen Mineralien auch unerwünschte Metalle in den Algen angereichert werden. So sind unter anderem Metalle wie Arsen, Cadmium, Blei oder Antimon in Algen zu finden. Der tatsächliche Mineralstoffgehalt und dessen Zusammensetzung ist einerseits von den Umweltbedingungen abhängig, aber auch von der Zusammensetzung und dem Aufbau der Algenzellen selbst (Ródenas de la Rocha, 2009). In optimaler Umgebung ohne nennenswerte Schwermetallbelastung haben Algen ein großes Potential, um als wichtige Mineralstoffquelle in der menschlichen Ernährung zu dienen.

Tab. 3.2.5: Anträge auf Zulassung neuartiger Lebensmittel gemäß Artikel 4 der Verordnung (EG) Nr. 258/97, Stand 17.04.2014 (BfR, 2014)

Produkt/Verwendungszweck	Antragsteller	Beantragt in	Status
Algenöl - DHA-reiches Öl mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren	OmegaTech	UK 02/2001	Zulassung erteilt am 05.06.2003 (2003/427/EG)
DHA-reiches Öl aus <i>Schizochytrium</i> sp. – Ausweitung der Anwendung - Lebensmittelzutat	Martek Biosciences	UK 01/2008	Zulassung erteilt am 22.10.2009 (2009/778/EG)
Algenöl - DHA-reiches Öl aus der Mikroalge <i>Ulkenia</i> sp. als Zutat für Backwaren, Speisefette- und öle, Riegelerzeugnisse, Getränke	Nutrinova	DE 11/2004	Zulassung erteilt am 21.10.2009 (2009/777/EG)
DHA und EPA von <i>Schizochytrium</i> sp - Lebensmittelzutat	Martek Biosciences	UK 01/2011	Schreiben der englischen Erstprüfbehörde (keine Einwände)
DHA-reiches Algenöl (Ausweitung der Anwendung)	DSM Nutritional Products	UK 11/2013	

2.3.2.2. Chemische Zusammensetzung der Mikroalgen

Die wichtigsten Vertreter der Mikroalgen, die für die menschliche Ernährung verwendet werden sind *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina*, *Isochrysis galbana* und *Diacronema vlkianum*. Daneben werden auch die Spirulinaarten, eigentlich Cyanobakterien oft als Algen gehandelt. Sie werden vor allem aufgrund ihres hohen Gehaltes an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, Protein, Aminosäuren, Antioxidantien, Vitaminen und Mineralien als Nahrungsergänzungsmittel angepriesen.

Christaki et al. (2011) untersuchten die Nährstoffzusammensetzung von Mikroalgen. Der Gehalt an Lipiden wies große Unterschiede zwischen den getesteten Arten auf, er reichte von 3 – 22 % in der Trockenmasse. Auch die Mikroalgen enthielten hohe Mengen an Docosahexaensäure (DHA) und Eicosapentaensäure (EPA).

Der Rohproteingehalt befand sich zwischen Werten von 39 – 71 %, in manchen Algenarten ist die Aminosäurezusammensetzung mit jener des Eies oder der Sojabohne vergleichbar (Becker, 2007).

De Jesus Raposo et al. (2013) fanden bei diversen Mikroalgen Kohlenhydratgehalte von etwa 10 – 15 %, höhere Werte werden von Christaki et al. (2011) angegeben, die Werte zwischen 8 – 32 % fanden. De Jesus Raposo et al. (2013) fanden weiter einige bioaktive Exopolysaccharide, die entzündungshemmend, antiviral oder antioxidativ wirken können.

Auch als Vitamin- und Mineralstofflieferanten sind Mikroalgen durchaus geeignet. Nennenswerte Mengen an Tocopherolen, Ascorbinsäure, den Vitaminen B₁, B₂, B₆, Niacin, Biotin und B₁₂ wurden gemessen, sowie die Mineralstoffe Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium, Eisen, Zink, Mangan und Kupfer (Christaki et al., 2011; Becker 1994). Besonders der Gehalt an Vitamin B₁₂ ist hier hervorzuheben, denn Pflanzen verfügen allgemein über sehr geringe Gehalte an diesem Vitamin. Christaki et al. (2011) konnten eine Menge von 0,5 – 2 mg/g in Spirulina nachweisen. Das macht Algen für Vegetarier oder Veganer interessant, weil sie aufgrund des Verzichts auf tierische Lebensmittel oft Probleme mit der Deckung des Bedarfs an diesen Vitaminen haben.

Neben diesen Makro- und Mikronährstoffen sind auch sekundäre Metabolite vorhanden, z.B. die Antioxidantien β -Carotin oder Astaxanthin (Christaki et al., 2011).

2.3.2.3. Verwendung von Algen in der menschlichen Ernährung

Genau genommen haben Algen schon lange weltweit Einzug in die Ernährung gefunden. Im asiatischen Raum ist der Verzehr von Algen kulturell tief verankert. In Europa dienen sie bisher hauptsächlich als Quelle für Hydrokolloide wie Agar-Agar, Carrageen und Alginate; alles Polysaccharide, die zur Gelbildung, Verdickung, Wasserbindung und Ähnlichem zugesetzt werden. Die mittlerweile weltweit häufig konsumierten asiatischen Gerichte wie Sushi und Maki enthalten Algen als eine wesentliche Zutat.

Dawczynski et al. (2007) berichten, dass etwa 15 – 20 Algenstämme in Europa zum Verzehr verkauft werden. Viele Algenarten, darunter *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina* oder *Spirulina maxima*, werden derzeit vor allem als Nahrungsergänzungsmittel in getrockneter, pulverisierter Form angeboten (Wolkers et al., 2011).

Die Hauptgründe für die Verwendung von Algen in der Ernährung sind weniger auf technologische Gründe als vielmehr auf ernährungsphysiologische Aspekte zurückzuführen. Algen sind eine hervorragende Quelle für viele essentielle Nährstoffe, aber auch sekundäre Pflanzenstoffe wie Antioxidantien oder Farbstoffe. Die Verwendung von Algen kann als geeigneter Rohstoff angesehen

werden, um Lebensmittel auf natürliche Weise mit einem Zusatznutzen zu versehen.

Einige Forscher versuchen ein breiteres kulinarisches Anwendungsspektrum zu eröffnen. Unzählige Möglichkeiten wurden in diesem Zusammenhang untersucht. Cofrades et al. (2008) versuchten den hohen Salz- und Fettgehalt (vor allem an gesättigten Fettsäuren) in Fleisch- und Wurstwaren durch einen Zusatz von Algen auszugleichen. Damit ließ sich die Textur von salz- und fettreduzierten Fleisch- und Wurstwaren modifizieren. Christaki et al. (2011) schlagen die Verwendung von Algen in Nudeln, Keksen, Brot, Süßigkeiten, Joghurt oder Softdrinks vor. Auch Prabhasankar et al. (2009) führten Versuche mit Algenzusatz in Pastaprodukten durch und konnten so das Glutennetzwerk in den Endprodukten verstärken (zitiert nach Kadam & Prabhasankar, 2010).

Eine weitere Möglichkeit Algen in Lebensmittel einzubringen ist die Isolierung von bestimmten Inhaltsstoffen, wie das oben am Beispiel von Algenöl bereits angeführt wurde. Isolierte Algenproteine oder Vitamine können Backwaren zugesetzt werden, um die Qualität der Endprodukte zu steigern (Woltersdorf et al., 2002).

2.3.2.4. Risiken für die Nutzung von Algen als Nahrungsmittel

Gedanken an abgestandene Gewässer voller Algen wecken nicht gerade den Appetit und die oftmals schleimig-glitschige Textur von Algen ist auch nicht besonders ansprechend. Darüber hinaus existieren bezüglich Algen noch weitere Bedenken. Wie schon bei Insekten sind auch manche Algenarten im wahrsten Sinn des Wortes mit Vorsicht zu genießen. Einige Algen können Neuro- oder Hepatoxine produzieren, die sich in weiterer Folge in anderen Meerestieren wie Fischen oder Muscheln anreichern und somit ihren Weg in die menschliche Nahrung finden können (van der Spiegel et al., 2013). Solche Muschelvergiftungen [amnestische oder zentralnervöse Form (*amnesic shellfish poisoning*, ASP)] werden durch Toxine, wie die schon erwähnte Domainsäure hervorgerufen. Kochen der kontaminierten Nahrungsmittel führt nicht automatisch zur Inaktivierung von Toxinen.

Gleichfalls berücksichtigt werden muss das Vorkommen von möglichen Pathogenen, Pestizid- oder Schwermetallrückständen oder das Vorhandensein von Allergenen. De Oliveira et al. (2009) fanden in einigen Algen antinutritive Stoffe wie Lektine, Phytinsäure, Tannine oder Trypsininhibitoren, sowie teilweise problematische Schwermetallgehalte. Die Anreicherung radioaktiver Isotope ist gleichfalls möglich. Umweltbedingt können auch Ammoniak oder Dioxine vorhanden sein.

Ein weiteres Risiko besteht im hohen Jodgehalt, der in manchen Algen bedenklich hohe Werte erreichen kann (van der Spiegel et al., 2013). Der durchschnittliche Jodgehalt von Algen wird mit 50 µg/100 g frischer Algen angegeben. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt eine maximale tägliche Aufnahme von 200 µg.

Für eine breite Kultivierung von Algen sind noch ausführliche Risikoanalysen durchzuführen, um die genannten Risiken mit allen verfügbaren Mitteln zu minimieren. In Prozessen, bei denen Abwässer oder Abfälle von Algen recycelt werden, muss noch genau erforscht werden, ob und wie die Nutzung solcher Abfälle eventuell neue Risiken generiert, z.B. Akkumulation schädlicher Substanzen, unvorhersehbare Modifizierungen oder Kontaminierungen (van der Spiegel et al., 2013).

Auch hier gilt, die Verwendung neuer Algenarten für die Lebensmittelindustrie muss laut Novel Food Verordnung erst bewilligt werden, um Konsumenten vor Risiken zu schützen.

2.3.2.5. Ökologische Aspekte der Algenproduktion

Eine der Gründe Algen für die Ernährung zu nutzen besteht in ihrer positiven Ökobilanz während

der Produktion. Algen betreiben Photosynthese und können überschüssiges Kohlendioxid in Biomasse konvertieren. Sie sind relativ einfach in großem Maßstab zu kultivieren und viele Arten wachsen sehr schnell (Plaza et al., 2008). Ein großer Vorteil laut Gouveia & Oliveira (2009) und Wolkers et al. (2011) ist außerdem, dass sie an Orten kultivierbar sind, an denen kaum andere Pflanzen angebaut werden können, wie etwa in Wüsten oder Küstenregionen.

Mit Algen lässt sich nicht nur umweltschonend eine breite Palette an Produkten erzeugen, sondern sie sind in der Lage Abfälle anderer Prozesse zu minimieren, indem sie diese erneut in wertvolle und verwertbare Biomasse umwandeln. Sie recyceln Nährstoffe und benötigen dabei vergleichsweise wenig Wasser. Algen sind auch sehr flexibel einsetzbar. Neben der Verwendung für Ernährungszwecke können Algen auch zur Energiegewinnung („Algendiesel“) genutzt werden. Wolkers et al. (2011) rechnen vor, dass eine Algenproduktion auf einer Fläche der Größe Portugals den jährlichen Treibstoffverbrauch für den europäischen Verkehr decken könnte. Als Nebenprodukt würden dabei noch zusätzlich 0,3 Milliarden Tonnen Protein für die Lebensmittelindustrie oder Futtermittelindustrie anfallen, die 40-fache Menge an jährlich importiertem Sojaprotein. Die Kohlendioxid-Bilanz würde gleichfalls davon profitieren. Auch Bioplastik kann aus Algen gewonnen werden (Lenihan-Geels et al., 2013; Wolkers et al., 2011). Verpackungen aus Algen für Produkte aus Algen wären somit denkbar.

2.3.2.6. Schlussfolgerungen

Aufgrund der Tatsache, dass Algen relativ umweltfreundlich erzeugt werden können, werden sie zunehmend auch für weitere Lebensmittelanwendungen vorgeschlagen. Wie Insekten können Algen aufgrund ihrer geringen Größe auch an ungünstigen Standorten – zumindest in geschlossenen Systemen – gezüchtet werden. Diese Produktionsweise erlaubt eine umweltfreundliche Herstellung von Nahrungsmitteln mit einem ausgewogenen Nährwertprofil oder eine potentielle Reststoffverwertung.

Für die Nutzung von Algen in breiterem Umfang besteht aber noch erheblicher Forschungsbedarf, um in Zusammenarbeit mit der Gesetzgebung die Risiken und Nutzen von Algen in der Ernährung abzuschätzen und Richtwerte festzulegen. Vor allem der hohe Jodgehalt in vielen Algenarten wird von vielen Seiten als bedenklich erachtet.

Spannend bleiben aber, ähnlich wie bei den Insekten, jedenfalls die Reaktionen der Konsumentinnen und Konsumenten. Die Akzeptanz gegenüber Algen und Insekten als künftigen Nahrungsquellen muss sich erst noch entwickeln.

2.4. Gesamtresümee und Ausblick

Anhand der beschriebenen neuen Rohstoffe und ihrem Marktpotential lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Je leichter sich neue **Rohstoffe in die bestehende Lebensmittelverarbeitung bzw. in bestehende Produkte integrieren** lassen (technologisch und sensorisch), desto mehr sind oder werden sie am Markt vertreten (sein). Die sensorische Qualität spielt dabei für die langfristige Akzeptanz eine entscheidende Rolle. Wie hoch sich der Marktanteil dieser „neuen“ Produkte entwickelt, ist aber in erster Linie vom Preis für diese Produkte abhängig. Es wird immer teure Spezialitätenprodukte in Nischen geben, aber Massenprodukte werden sie erst, wenn sie einen gewissen Preis nicht überschreiten.

- Die **steigenden Zahlen an Nahrungsmittelunverträglichkeiten** sind ein nicht weg zu diskutierender Faktor für den steigenden Marktanteil an alternativen Rohstoffen und Produkten. Der Bedarf an glutenfreien Lebensmitteln beispielsweise kann mit etwa 10 % der Bevölkerung eingeschätzt werden und war sicher einer der Hauptgründe, weshalb gerade das Angebot an Pseudogetreidearten und Produkten daraus in den letzten Jahren so stark zugenommen hat.
- Immer dann, wenn neue Rohstoffe durch **sachliche Argumente und fundierte Fakten überzeugen, können sie sich am ehesten längerfristig am Markt etablieren**, allerdings wieder preisabhängig in einem kleineren oder größeren Segment. Als deutlichstes Beispiel sollen hier wieder die glutenfreien Getreide- und Pseudogetreidearten genannten werden. Auch wenn diese begleitet von unsachlichen Argumenten kurzfristig einen Hype (vor allem in der USA) erzielen, so scheinen sich glutenfreie Rohstoffe doch auf einem höheren Niveau am Markt zu etablieren (siehe dazu Kapitel 1.2.2.1). Goji-Beeren, ein zweites Beispiel aus dem Bereich der Superfrüchte, deren ernährungsphysiologisch positive Eigenschaften zumindest teilweise nachgewiesen wurden, scheinen sich eher durchzusetzen als Açaí-Beeren, die mit besonders auffälligen „Heilsversprechen“ völlig überzogen angepriesen wurden.
- Lebensmittel, die mit rein emotionalen, sachlich meist unbewiesenen oder gar unrichtigen Argumenten beworben und vermarktet werden, erreichen erfahrungsgemäß einen kurzfristigen **Hype, der nach einigen Jahren wieder abflacht**. Eine Zeitlang sind diese in Mode und wer „in“ ist kann nicht darauf verzichten, aber sobald was Neues am Markt erscheint, werden diese abgelöst. Nur ein begrenzter Personenkreis lässt sich von solchen Argumenten ansprechen.
- Über all diesen Argumenten wird aber immer der **Preis** stehen: Solange der Preis eines Lebensmittels einen entscheidenden Faktor für eine Kaufentscheidung der Konsumenten darstellt, solange werden Produkte aus den meisten dieser neuen Rohstoffe immer nur ein Nischensegment einnehmen.

Als Beispiel für obige Argumente dient die Produktpalette, die auf der Biofach-Messe in Nürnberg 2015 (NürnbergMesse, 2015) – eine der bedeutendsten Messen im deutschsprachigen Raum zu Biolebensmittel (und Lifestyle/Wellness) – ausgestellt wurden. Viele der in diesem Kapitel beschriebenen, neuartigen Lebensmittel waren dort sehr prominent vertreten. Allein 79 Produkte gab es im Zusammenhang mit Chiasamen, entweder pur oder Produkte daraus. 78 Produkte betrafen Quinoa in all ihrer Sortenvielfalt, also von weißen über roten bis hin zu schwarzen Sorten. Rote und schwarze Quinoasorten waren bis vor etwa zwei Jahren in Europa nur ganz wenigen Menschen bekannt. Im Bereich der Früchte fanden sich Lebensmittel aus Goji-Beeren (42), Açaí-Beeren (19), Noni (13) und Acerolakirschen (17). Algenprodukte gab es 64, während interessanterweise keine Produkte aus oder mit Insekten ausgestellt wurden. Das mag natürlich auch daran liegen, dass es bislang keine „biozertifizierten“ Insekten gibt.

In Zukunft wird es wichtig sein, die neuen Rohstoffe einer genauen Prüfung zu unterziehen. Dazu müssen die oft noch fehlenden Kenntnisse über die chemische Zusammensetzung und die ernährungsphysiologische Wirkung von beworbenen Inhaltsstoffen ermittelt werden, um diese neuen Rohstoffe mit fundierten Fakten und auf „ehrliche“ Weise zu nutzen und zu vermarkten. Die Schaffung neuer, innovativer Produkte aus alternativen Rohstoffen und damit die Erweiterung der Nahrungsvielfalt verlangt nach gemeinsamen Aktionen von Verarbeitern, Züchtern und Forschern.

3. Gesamtverwertung und Fraktionierung von Rohstoffen

Wie im Kapitel 1.2 über neue Rohstoffe schon beschrieben, enthalten viele Lebensmittel im Supermarkt immer die gleichen Rohstoffe. Weizen beispielsweise kommt in etwa 30 % der Lebensmittel vor.

Wie ist es möglich, dass aus einem Rohstoff so viele unterschiedliche Produkte hergestellt werden können? Wie kann Weizen beispielsweise in so vielen verschiedenen Produkten eingesetzt werden und trotzdem gibt es eine so große Vielfalt an Lebensmitteln? Die Antwort liegt darin, dass Weizen nicht (nur) als Ganzkorn verwendet wird, sondern in eine Vielzahl von Zwischen- und Endprodukten verarbeitet wird, die dann für die verschiedenen Lebensmittel genützt werden können.

Diese Fraktionierung von Rohstoffen wird für viele Rohstoffe durchgeführt, aber vor allem für jene, die in großem Umfang in der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden. Im Bereich Getreide ist das neben Weizen vor allem Mais, im Bereich der Ölsaaten die Sojabohnen, und bei tierischen Lebensmitteln die Milch und in weiterer Folge die Molke. Abb. 3.3.1 zeigt schematisch, wie diese Fraktionierung zu unzähligen Lebensmittelkomponenten und Zutaten aus einem Rohstoff gelingt, und damit aus immer weniger Rohstoffen eine immer größere Zahl an fertigen Lebensmitteln produziert werden kann. Die moderne Lebensmitteltechnik konzentriert sich immer mehr darauf zuerst zu trennen und dann wieder zu mischen.

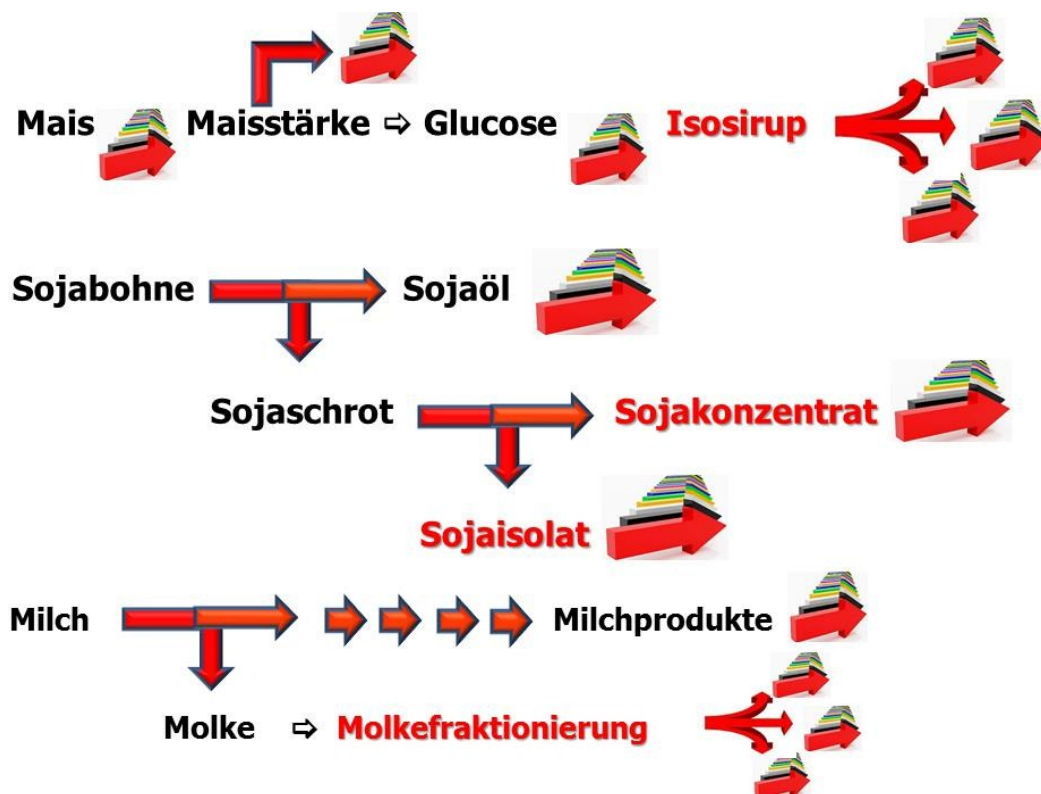


Abb.. 3.3.1: Schematische Darstellung der Fraktionierungsmöglichkeiten von Hauptrohstoffen

3.1. Prinzipielle Trenn- und Fraktionierungsmethoden

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten der Fraktionierung: die **Trockenfraktionierung** (Vermahlung, z.B. bei Getreide) und die **Nasstrennung** (z.B. Molkeproteinfraktionierung).

Die Trockenfraktionierung (Vermahlung) erfolgt mithilfe von verschiedenen Mühlen und Sichern oder Sieben. Das Prinzip besteht darin den Rohstoff (z.B. das Weizenkorn) zu zerkleinern und die erhaltenen Partikel anhand ihrer Größe und/oder Dichte aufzutrennen. Es haben sich die verschiedensten Mahl- und Trenntechniken im Laufe von Jahrtausenden entwickelt.

Die Nassvermahlung wird üblicherweise für Rohstoffe mit einem hohen Wassergehalt (z.B. Obst, Gemüse) angewandt. Grundsätzlich können auch feste Stoffe durch Wasserzusatz nass vermahlen werden. Die Auftrennung in verschiedene Fraktionen erfolgt mit Hilfe von Nassmühlen (z.B. Zahnkolloid- und Korundscheibenmühlen), und die weitere Fraktionierung mittels Sedimentation (z.B. Separatoren, Vollmantelzentrifugen) und Filtration.

Eine Sonderform der Filtration sind die Membrantrennfahren, die sich nicht nur für die Auftrennung von grobdispersen Systemen eignen, sondern auch kolloidale und molekulare Systeme (Lösungen) trennen können. Mit den Membrantrennverfahren wurde es ermöglicht, ein Stoffgemisch in seine Einzelkomponenten – also bis in den Nanobereich – zu zerlegen. Beispielsweise kann Molke in eine Salzfraktion, Laktosefraktion und Proteinfraktion getrennt werden. Die Proteinfraktion lässt sich weiter in einzelne Proteine trennen. Es ist daher nicht überraschend, dass Membrantrennverfahren in der heutigen Lebensmitteltechnik einen sehr hohen Stellenwert bekommen haben, der weiter im Steigen begriffen ist.

Die Fraktionierungstechnologien haben sich heute so weit entwickelt, dass Stoffe theoretisch sogar bis in den Nanobereich aufgetrennt werden können.

Möglich ist die Fraktionierung von Rohstoffen auch mittels Extraktion, diese wird aber im Teil 4 behandelt.

3.2. Gründe für die Fraktionierung von Rohstoffen

Die Tendenz zur Fraktionierung von (Haupt-)Rohstoffen hat sich in den letzten Jahren, wenn man sich die Forschungsdaten dazu anschaut, stark intensiviert. Sie wird aus unterschiedlichen Gründen angewendet, die im Folgenden etwas näher betrachtet werden sollen.

3.2.1. Produktion einer breiten Palette von maßgeschneiderten, techno-funktionellen Zutaten und Ingredienzen

Zum besseren Verständnis werden drei Beispiele für die Fraktionierung detailliert angeführt, nämlich Weizen, Soja und Milch. Die hergestellten Fraktionen können dann für „maßgeschneiderte“ bzw. „designte“ Lebensmittel eingesetzt werden.

3.2.1.1. Beispiel 1 - Weizen:

Weizen Ganzkorn – gekochte Weizenkörner (Brei/Suppe)

- ⇒ **Weizenmehl** – Brot und Backwaren, Bindemittel für Suppen, Saucen, Nudeln, Knödel, usw.
- ⇒ **Isoliertes Weizenprotein** (z.B. Gluten) – Einsatz für alle Produkte, die besonders hohe Stabilität verlangen (z.B. Spezialbrote, Cracker, gefrorene Teiglinge) oder zur Proteinanreicherung

3.2.1.2. Beispiel 2 - Soja

Sojabohne ganz – gekochte Sojabohnen

- ⇒ **Sojaöl** – als Bratöl, Margarineherstellung – Anwendung in zahlreichen Produkten
- ⇒ **Sojalecithin** – einer der am meisten verwendeten Emulgatoren für fast alle Lebensmittelbereiche
- ⇒ **Vollfetter Sojaschrot** (z.B. Backwarenbereich)
- ⇒ **Entfetteter Sojaschrot** – in Suppen, Breien, Teigen

3.2.1.3. Beispiel 3 - Milch

Milch – direkter Verzehr, weiße und gelbe Milchpalette, Zugabe zu Lebensmitteln usw.

- ⇒ **Molke** – direkter Verzehr (wenig), Tierfutter
- ⇒ **Molkeproteinisolat (mind. 95 % Protein)** - in Backwaren, in Fleischprodukten, als Fleischersatz, zur Proteinanreicherung, etc.
- ⇒ **Funktionelle Molkenproteine** (als Stabilisatoren, Emulgatoren und Verdickungsmittel)

3.2.2. Ernährungsphysiologischer (Zusatz-)Nutzen

Nährstoffe sind in den meisten Fällen nicht über das gesamte Rohmaterial gleichmäßig verteilt. Apfelschalen beispielsweise, oder die Schicht knapp darunter enthalten mehr Vitamine als das innere Nährgewebe. Dasselbe gilt für die Getreide: im Getreidekorn sind Ballaststoffe, Mineralstoffe, Vitamine und andere Nährstoffe ebenfalls in den äußeren Kornschichten angereichert und nehmen graduell bis ins Korninnere ab. Die Forschung hat in den letzten Jahrzehnten für viele Rohstoffe sehr viele Kenntnisse diesbezüglich geschaffen. Separiert man diese nährstoffreicheren Gewebe von den nährstoffärmeren, können Produkte bezüglich ihres Nährstoffgehaltes maßgeschneidert werden.

3.2.2.1. Ernährungsphysiologische Zusatznutzen am Beispiel von Weizen

Weizenkörner sind sehr genau untersucht und man weiß heute, dass die Aleuronschicht (Einzellschicht an der Innenseite der Weizenkleie) die meisten (Mikro)Nährstoffe des Weizens enthält (Brouns et al., 2012). In einer umfassenden von der EU finanzierten Studie wurde diese Fragestellung genau erforscht (Healthgrain, 2015), die Ergebnisse sind in zahlreichen Publikationen nachzu-

lesen. Soll also ein Lebensmittel auf Weizenbasis mit einem erhöhten Gehalt an Nährstoffen entwickelt werden, wäre die Zugabe einer aus Weizenkleie isolierter Aleuronschicht eine Möglichkeit dafür. Durch intensive Forschungsarbeit ist genau das gelungen. Mit einem neuartigen Trockenmahlverfahren kann diese Aleuronschicht mit ihren Inhaltsstoffen isoliert gewonnen werden. Durch die Zugabe dieser Fraktion lassen sich Produkte erzeugen, welche die natürlichen Nährstoffe des Vollkornweizens enthalten, ohne einiger der unerwünschten Begleiterscheinungen, wie Farb- oder Texturveränderungen, die die Akzeptanz von Vollkornprodukten oft einschränken.

3.2.3. Reststoffverwertung

Im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft und einer möglichst ökonomischen Herstellung wird heute davon ausgegangen, dass es keine Abfallprodukte bei der Herstellung von Lebensmitteln gibt, sondern nur Nebenprodukte und Reststoffe. Deren möglichst vollständige und sinnvolle Nutzung, auch für die Lebensmittelherstellung, ist das Ziel.

Je nach Verarbeitungsgrad und Rohstoffbereich fallen unterschiedliche Mengen an Reststoffen an. Einerseits sind diese Reststoffe nicht (immer) vermeidbar, wie beispielsweise das Entfernen von Pflanzenstielen oder Obsteinen, andererseits fallen diese Reststoffe gerade durch die hier beschriebene Rohstofffraktionierung an. Im Getreidebereich werden bei der Herstellung von Auszugsmehl große Mengen an Kleie produziert, die nicht einmal vom Tierfutterbereich aufgefangen werden können. In letzter Zeit sind daher vermehrt Bemühungen im Gang, Kleie durch Fraktionierung zumindest teilweise wieder in der Lebensmittelproduktion einzusetzen.

Ein weiteres Beispiel sind die Schalen und Trester, welche bei der Obst- und Gemüseverarbeitung anfallen. Es gibt kaum einen Rohstoffbereich, wo aus diesen Reststoffen nicht schon Ballaststoffpräparate zur Ballaststoffanreicherung von Lebensmitteln gewonnen werden (siehe dazu Teil 2 – Kap. 1.11.1.)

3.3. Beispiele für häufig verwendete Rohstofffraktionen

In Tab. 3.3.1 sind einige in der Lebensmittelindustrie häufig verwendete Rohstofffraktionen (bezogen auf den Ursprungsrohstoff) aus der Prospector© Datenbank (PROSPECTOR, 2015) zusammengefasst. (Diese Liste erhebt keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit). Wie die Tabelle zeigt, gibt es eine Unzahl an Kleie- bzw. Faserfraktionen aus den verschiedensten Rohstoffen. Aufgrund der Abtrennung der äußeren Schichten der Getreide- und Hülsenfrüchtesamen sowie von Früchten und Nutzung vor allem der inneren Fraktionen für (Fein-)Backwaren oder Verarbeitung zu Fruchtsäften fallen große Mengen an diesen Reststoffen an. Aus ernährungsphysiologischen Gründen (zu geringer Verzehr von Ballaststoffen, niedrigere Nährstoffdichte der Endprodukte) wäre der Verzehr der gesamten Rohstoffe (Vollkorn oder ganzes Obst) natürlich erstrebenswert und würde auch diese Reststoffmengen reduzieren. Die Ernährungsberichte in den letzten Jahren (z.B. Österreichischer Ernährungsbericht 2012, 2008, 2004) zeigen aber nur geringe Veränderungen im Verzehrverhalten der Bevölkerung. Der Einsatz von definierten Kleie- und Faserfraktionen oder isolierten Ballaststoffkomponenten (z.B. β -Glucan) dient dem Bemühen den zu niedrigen Ballaststoffverzehr zu kompensieren.

Weiterer Anwendungsgrund für die Verwendung solcher Fasern ist oft auch ein Ersatz für Zusatz-

stoffe, die zu deklarieren sind (in diesem Falle z.B.: Verdickungsmittel).

Der Einsatz von Proteinisolaten oder -konzentraten kann ebenfalls aus ernährungsphysiologischen Gründen erfolgen (z.B. Proteinanreicherung der Endprodukte). Viel wichtiger sind aber die technologischen Einsatzgründe. Mit der Zugabe von maßgeschneiderten Proteinen lassen sich die Eigenschaften von Lebensmitteln gezielt einstellen, beispielsweise die Textur von Endprodukten verbessern oder erhalten, sowie das Volumen von Backwaren steigern.

Die große Anzahl an Rohstofffraktionen erlaubt eine Produktion einer Vielfalt an Lebensmitteln aus ein und demselben Rohstoff. Statt der Herstellung von Weizenvollkornbrot werden Backwaren heute vorwiegend aus einer Mischung von Auszugsmehl, Kleiefraktionen, Proteinisolat, Emulgator, usw. komponiert. Durch unterschiedliche Mischung der einzelnen Komponenten wird so ein breites Spektrum an Backwaren erzeugt.

Tab. 3.3.1: Häufige Rohstofffraktionen, angeführt nach Rohstoffbasis (UL, 2015)

Rohstoff	Häufig daraus hergestellte und verwendete Rohstofffraktionen
Weizen	Definierte Mehle und Mehlfractionen Weizenmalz Vorverkleisterte Mehle Isolierte Stärken (unbehandelt oder modifiziert) Dextrine Isolierte Zuckerfraktionen (z.B. Maltitol) Proteinisolate, -konzentrate (z.B. isoliertes Gluten) Proteinhydrolysate Weizen(keim)öl Kleie und Fasern Einzelne unlösliche und lösliche Ballaststofffraktionen (z.B. Cellulose) Enzyme (z.B. isolierte Amylasen, Proteasen)
Soja	Proteinisolate, -konzentrate (sehr viele verschiedene) Isolierte Aminosäuren, Proteinhydrolysate Sojaöl Isoliertes Beta-Carotin Emulgatoren (vor allem Lecithin; Mono- und Diglyceride) Schalen, Fasern Isoflavone (hauptsächlich als Nahrungsergänzungsmittel)
Milch und Molke	Definierte Milchpulver Zahlreiche Proteinisolate/-konzentrate aus Milch und Molke (z.B. Caseinate) Proteinhydrolysate
Erbsen	Proteinisolate, -konzentrate, Kleie, Fasern Stärke
Mais	Maisstärke (unbehandelt oder modifiziert, Wachsmaisstärke) Glucosesirup, Fructosesirup Dextrine Proteinisolate, -konzentrate (z.B.: Zein) Maiskeimöl Kleie und Fasern
Kartoffel	Stärke (unbehandelt oder modifiziert) Dextrine Proteinisolate, -konzentrate Fasern
Reis	Stärke (unbehandelt oder modifiziert) Dextrine Kleie und Fasern
Gerste und Hafer	Kleie und Fasern β -Glucan (löslicher Ballaststoff) Gerstenmalz
Bambus	Fasern
Fisch und Fleisch	Proteinkonzentrate (weniger Isolate) (z.B. Kollagen) Gelatine Fischöl und Fischölfraktionen (z.B.: omega-3-Fettsäuren)
Apfel und Zitrusfrüchte	Fasern
Artischocke, Chicorée	Inulin Oligofruktose

3.4. Konsequenzen der zunehmenden Fraktionierung von Rohstoffen

Die zunehmende Tendenz, statt eine Gesamtverwertung der Rohstoffe diese in immer kleinere Fraktionen zu zerkleinern oder zu isolieren, hat natürlich Folgen für die Lebensmittelindustrie bzw. letztendlich für die Ernährung der Menschen. Es gilt verschiedene Aspekte zu bedenken.

3.4.1. Problematik: Technologische Wirkung? – Ernährungs-physiologische Wirkung?

Viele dieser isolierten Rohstofffraktionen sind hinsichtlich ihrer technologischen aber besonders bezüglich ihrer ernährungsphysiologischen Wirkung noch zu wenig erforscht. Das trifft vor allem dann zu, wenn eine neue Rohstofffraktion/-komponente/-zutat noch nicht lange verfügbar ist. Die Verwendung von löslichen Ballaststofffraktionen wird zum Beispiel sehr oft aufgrund ihrer gesundheitsfördernden Wirkung vorgeschlagen, aber nicht in allen Fällen sind diese Wirkungen nachgewiesen. Hier ist aber zumindest die Gesetzeslage klar: Laut EU-Verordnungen dürfen gesundheitsbezogene Angaben nur für positiv bewiesene Komponenten/Zutaten erfolgen. So ist beispielsweise für β -Glucan die Wirkung auf den Blutcholesterinspiegel erwiesen und ein Health Claim diesbezüglich erlaubt.

Ein weiterer Aspekt, der berücksichtigt werden muss, ist die Auswahl der Rohstoffe für die Gewinnung von bestimmten Komponenten oder Substanzen. Eine physiologische Untersuchung und Bewertung von Fasern sollte daher besonders sorgfältig durchgeführt werden.

Es stellt sich auch die Frage, welche langfristigen physiologischen Auswirkungen eine isolierte oder einseitige Verwendung von Rohstofffraktionen hat:

- Einerseits kann durch die Komposition von Lebensmitteln aus Einzelkomponenten die Menge an bestimmten Stoffen in einem Endprodukt höher dosiert werden, als diese natürlicherweise im Rohstoff vorhanden wären. Wie wirkt sich langfristig eine erhöhte Aufnahme eines isolierten Stoffes bei häufigem Verzehr eines solchen Endproduktes aus? Durch Untersuchung der physiologischen Wirkung der Substanzen und Abschätzung von üblichen Verzehrsmengen, wäre es zielführend Höchstmengen zu definieren. Für einige Stoffe ist das schon erfolgt, aber bei weitem nicht für alle.
- Eine zweite Möglichkeit einer höheren Aufnahme von bestimmten Rohstofffraktionen gegenüber einer Gesamtrohstoffverwertung besteht dann, wenn eine bestimmte Rohstofffraktion in vielen verschiedenen Produkten eingesetzt wird. So wird beispielsweise derzeit diskutiert, ob der vielfältige Einsatz von Isosirup (Fruktosehaltiger Sirup) in der Lebensmittelindustrie Ursache für die eventuell vermehrt auftretende Fruktoseintoleranz sein könnte.

Zu guter Letzt soll noch darauf hingewiesen werden, dass für Personen mit Nahrungsmittelintoleranzen oder -allergien, die Lebensmittelauswahl durch die breite Verwendung von Rohstofffraktionen immer mehr erschwert und eingeschränkt wird. Die Lebensmitteletiketten müssen von jenen Personen genau studiert werden, denn oft finden sich Rohstoffkomponenten in Lebensmitteln, wo diese nicht erwartet werden.

3.4.2. Rechtliche Einordnung von Reststofffraktionen

Die Rohstofffraktionierung wirft hinsichtlich ihrer rechtlichen Stellung besonders schwierige Fragen auf. Wie sind diese Rohstofffraktionen einzuordnen? Wann sind sie (noch) ein Lebensmittel, bzw. eine Lebensmittelzutat? Ab wann gelten sie als Zusatzstoff, oder vielleicht als Nahrungsergänzungsmittel? Aufgrund dieser Einteilung sind unterschiedliche Prüfungen über die physiologischen, toxikologischen oder technologischen Eigenschaften notwendig. Diese Prüfungen sind für Zusatzstoffe genau vorgeschrieben, für Lebensmittel sind dagegen keine dieser Prüfungen vorgeschrieben, außer sie sind ein „neuartiges Lebensmittel“. Dann sind durch die Novel Food Verordnung der EU genaue Vorgaben für eine Beurteilung vorhanden.

Es gibt hier keine genauen Definitionen, wie so eine Einordnung in der Praxis vorzunehmen ist bzw. ist es auch sehr schwierig dafür genaue Kriterien zu definieren. Mögliche Kriterien die hier herangezogen werden könn(t)en und teilweise auch werden, sind beispielsweise der Grad der Zerkleinerung/Isolierung oder die Konzentration bzw. Reinheit an physiologisch aktiven Inhaltsstoffen. Aber auch damit ist eine Einordnung nicht immer sicher möglich.

3.4.3. Problem: Reststoffe aus der Reststoffverwertung

Ergänzend dazu soll noch erwähnt werden, dass durch die Verwertung und Aufarbeitung von Reststoffen wiederum (andere) Reststoffe anfallen, für die oft keine weitere Nutzung mehr möglich ist. Nach der Isolierung von löslichen Ballaststoffen aus Kleie bleiben beispielsweise nur noch unverdauliche Reststoffe über, die auch als Tierfutter nicht mehr genutzt werden können.

3.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die intensive Rohstoffzerkleinerung und -zerlegung ist ein wesentliches Charakteristikum der heutigen Form der Lebensmittelverarbeitung. Die Auftrennung von Rohstoffen in einzelne Komponenten ist technologisch gesehen bis in den Nanobereich möglich. Damit einhergehend hat auch die Verwendung von Rohstofffraktionen massiv zugenommen. Statt einer gesamtheitlichen Verwendung von Rohstoffen werden Lebensmittel zunehmend aus Einzelkomponenten nach dem „Baukastenprinzip“ zusammengestellt.

Objektiv betrachtet, hat das Vor- und Nachteile für die Ernährung der Menschen. Während eine Rohstofffraktionierung auf der einen Seite oft wertgebende Inhaltsstoffe entfernt (z.B. Kleieentfernung bei der Herstellung von Auszugsmehl), kann durch den Einsatz von maßgeschneiderten Fraktionen (z.B. Einsatz von isoliertem Aleuron) dieser Nährstoffmangel wieder kompensiert werden. Auf der anderen Seite hat die Entfernung von ernährungsphysiologisch unerwünschten Stoffen (z.B. Mycotoxine auf den äußersten Getreideschalen) wiederum Vorteile.

Durch die Verwendung von Rohstofffraktionen können Lebensmittel mit einer großen Vielfalt an Eigenschaften produziert werden. So können die unterschiedlichsten Texturen und Konsistenzen in Lebensmitteln erzeugt und die Qualität von Endprodukten optimiert werden (z.B. Erhöhung des Brotvolumens)

Rein ernährungsphysiologisch betrachtet, wäre eine ganzheitliche Verwendung von Rohstoffen

(z.B. Vollkorngetreide, ganzes Obst) natürlich wünschenswert. Theoretisch werden damit alle Nährstoffe ausreichend bereitgestellt. Eine solche Ernährungsweise entspricht aber heute nicht mehr den typischen Verzehrgeohnheiten. Statt der aufwändigen Zubereitung von Speisen aus unverarbeiteten Rohstoffen (z.B. Getreide vermahlen, Gemüse schälen, usw.), wird vermehrt auf ganz oder teilweise zubereitete Rohstoffe (z.B. Mehl) oder Endprodukte ($\Rightarrow$ Convenienceprodukte) zurückgegriffen.

In Zukunft sollten aber vermehrt folgende zwei Aspekte für die Verwendung von Rohstofffraktionen berücksichtigt werden:

-
- **Genaue Prüfung der Rohstofffraktionen hinsichtlich ihrer toxikologischen und ernährungsphysiologischen Wirkung**
 - **Eine ubiquitäre Verwendung von einzelnen Rohstofffraktionen in sehr vielen Lebensmitteln ist zu hinterfragen.**
-

Diese beiden Aspekte sind in der Praxis nicht leicht zu bewältigen. Handelt es sich bei einer Rohstofffraktion um einen Zusatzstoff, ist eine toxikologische Prüfung gesetzlich vorgeschrieben und Höchstmengen zur Verwendung in Lebensmitteln werden gegebenenfalls definiert.

Handelt es sich aber um ein Lebensmittel, was meistens der Fall ist, so dürfen diese grundsätzlich überall eingesetzt werden. Eine Beschränkung auf bestimmte Lebensmittel(gruppen) oder eine Limitierung der Einsatzmenge ist hier nicht oder kaum möglich. Ein schwieriger Aspekt ist vor allem der Einsatz von Fraktionen in Lebensmitteln, wo diese eigentlich nicht erwartet werden. Meist kann erst dann reagiert werden, wenn sich langfristig durch eine einseitige Verwendung Probleme für bestimmte Personen ergeben, oder wenn sich beispielsweise eine bestimmte Rohstofffraktion als häufig allergieauslösend herausstellt. So wird beispielsweise ein Überzug von Obst oder Gemüse mit isoliertem (Weizen-)Gluten heute nicht mehr angewandt.

4. Gentechnisch veränderte Rohstoffe und Lebensmittel

4.1. Stand der Technik

4.1.1. Agrarbereich

Bereits im Jahr 2011 wurden 11 gentechnisch veränderte bzw. modifizierte Nutzpflanzen (GVP) agroindustriell in 29 Ländern von 16,7 Millionen Farmern angebaut. 19 GVP waren in der Pipeline (Oh et al., 2015).

Im Jahr 2014 betrug die weltweite Anbaufläche an GVP 181,5 Millionen Hektar (Clive, 2014). Das sind etwa **13 % der gesamten, weltweiten Ackerbaufläche**. Die Steigerungsraten Jahren waren seit Beginn vor etwa 20 Jahren oft doppelstellig, wie Abb. 3.4.1 zeigt.

In der EU ist allerdings der Anbau an GVP ziemlich restriktiv und betrug im Jahr 2014 nur ca. 0,1 Millionen Hektar (Pollock & Hails, 2014). Das bedeutet aber nicht, dass keine Nutzung von GVP in der EU erfolgt. Ganz im Gegenteil, es werden große Mengen importiert. Die EU produziert also keine GVP, sondern sie lässt produzieren. In Tab. 3.4.1. sind die vier wichtigsten GVP und ihr jeweiliger Anteil in Prozent an der Gesamtmenge angeführt. Sojabohnen stellen mit Anstand die bedeutendste GVP dar. Nur mehr zehn Prozent beträgt der Anteil der konventionellen Sojabohnen. Während nur 0,4 % der Sojaanbauflächen in den EU-27 Ländern liegt, beträgt deren Sojaschrotbedarf ca. 20 % der Weltproduktion (FINADVISE, 2011). Konkret sind das etwa 30 Millionen Tonnen, überwiegend aus GV-Soja und vor allem eingesetzt zur Tierfütterung.

Einer der Gründe für die großen Vorbehalte seitens der Konsumentinnen und Konsumenten vor allem in Europa gegenüber gentechnisch veränderten Organismen (GMO) ist mit Sicherheit auf die Tatsache zurückzuführen, dass diese bis jetzt keine direkt Vorteile erkennen können. In der Datenbank der ISAAA (*Int. Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications*, ISAAA, 2015) werden folgende Ziele bzw. die Eigenschaften von GVP angeführt:

<i>Abiotic Stress Tolerance</i>	<i>(7 zugelassene GVP)</i>
<i>Altered Growth/Yield</i>	<i>(1 zugelassene GVP)</i>
<i>Disease Resistance</i>	<i>(24 zugelassene GVP)</i>
<i>Herbicide Tolerance</i>	<i>(195 zugelassene GVP)</i>
<i>Insect Resistance</i>	<i>(193 zugelassene GVP)</i>
<i>Modified Product Quality</i>	<i>(86 zugelassene GVP)</i>
<i>Pollination control system</i>	<i>(101 zugelassene GVP)</i>

Wie aus dieser Aufstellung hervorgeht, betrifft der überwiegende Anteil der genetischen Modifikationen die Veränderung landwirtschaftlicher Merkmale der Pflanzen (biotische und abiotische Faktoren) (Kanchsiwami et al., 2014). Nur in der Kategorie „*modified product quality*“ finden sich auch Merkmale, die direkt für die Konsumenten interessant sein könnten. Zwei Pflanzen werden in dieser Hinsicht immer genannt und als Beispiel angeführt.

Goldener Reis

Bereits Ende der 1990er Jahre wurde von der Arbeitsgruppe um Ingo Potrykus, an der ETH Zürich, durch Genmodifikation ein β -carotinhaltiger Reis entwickelt. Damit β -Carotin im Reiskorn gebildet werden kann, mussten zuerst jeweils ein Gen aus der Narzisse und aus einem Bakterium übertragen werden, um den entsprechenden Biosyntheseweg aufzubauen. Später wurde das Narzissen-Gen durch ein Mais-Gen ersetzt. Das β -Carotin führt zu einer gelben Färbung des Reises, weswegen er als Golden Rice bezeichnet wird. Das Ziel von Golden Rice soll sein, das Problem der Vitamin A-Unterversorgung der Bevölkerung in vielen Ländern zu überwinden.

Aufgrund der weltweit sehr intensiven und harten Diskussionen zwischen Befürwortern und Gegnern (vor allem NGOs) eines breiten Anbau von Golden Rice hat er bis 2014 in keinem Land eine Anbauzulassung erhalten (Müller-Jung, 2014).

Anti-Matsch-Tomate

In diesem Fall wurde kein Gen aus einem anderen Organismus in das Genom der Tomate eingeführt, sondern ein bereits vorhandenes Gen durch die **Antisense-technik** blockiert. Bei dieser Vorgehensweise wird eine zu einem Gen komplementäre RNA eingeführt, die sich mit der DNA zu einem Doppelstrang verbindet und die Expression des dazugehörigen Gens verhindert. Bei der sogenannten *Flavr-Savr*-Tomate wurde auf diese Weise das Gen blockiert, welches die Expression des Enzyms Polygalacturonase bewirkt. Bei der Lagerung von Tomaten spaltet dieses Enzym sukzessive das Pektin in den Zellwänden, wodurch die Tomaten weich, also matschig werden. Ohne dieses Enzym bleiben die Tomaten scheinbar länger haltbar. Scheinbar deswegen, weil zwar keine Gewebeerweichung eintritt, andere Reifungs- und Abbauvorgänge aber weiter laufen.

Die FlavrSavr-Tomate wurde 1998 zugelassen und bis 2002 in den USA angebaut. Da die Erwartungen der Erzeuger nicht erfüllt wurden, wird sie nicht mehr verwendet (TRANSGEN, 2015 b).

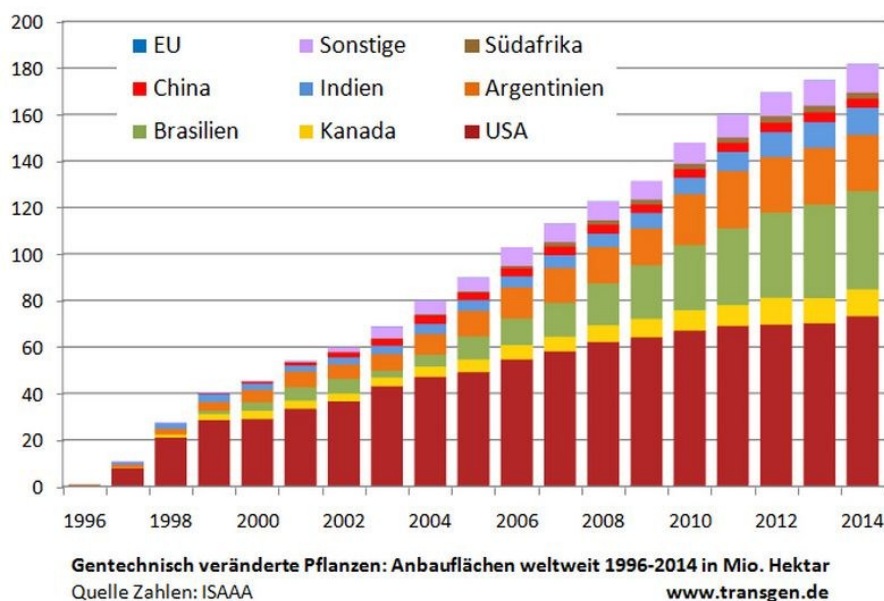


Abb. 3.4.1: Weltweite Anbauflächen gentechnisch veränderter Pflanzen 1996-2012 in Millionen Hektar (TRANSGEN, 2015 a).

Tab. 3.4.1: Anbauflächen der wichtigsten, gentechnisch veränderten Pflanzen 2013/14
(TRANSGEN, 2015 a)

Pflanze	Fläche GVP (Mio. ha)		Anteil GVP (in %)	
	2013	2014	2013	2014
Soja	84,5	90,5	79	82
Baumwolle	23,9	25,3	70	68
Mais	57,4	54,3	32	25
Raps	8,2	9,1	24	25
Daten: ISAAA-Reports 2014 und 2013 (http://www.isaaa.org/default.asp)				

4.1.2. Mikroorganismen

Ein Großteil der im Lebensmittelbereich verwendeten Enzyme wird mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen erzeugt. Dieser Bereich wird in Teil 2, Kap. 3 genauer abgehandelt. Bei folgenden Enzymen ist eine gentechnische Herstellung möglich und wahrscheinlich (TRANSGEN, 2005 a):

Acetolactate-Decarboxylase	Aminopeptidase	Amylase
Asparaginase	Cellulase	CGTase
Chymosin	Dextranase	Galactosidase
Glucanase	Glukose-Isomerase	Glukoseoxydase
Hemicellulase	Hexoseoxydase	Katalase
Laccase	Lactase	Lipase
Lipoxygenase	Mannanase	Pektinase
Pektinesterase	Phytase	Protease
Pullulanase	Sulfhydryl-Oxidase	Transglutaminase
Xylanase		

So wie Enzyme lassen sich auch andere Proteine als Primärprodukte sehr leicht mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen gewinnen. Dazu gibt es auch schon ein praktisches Beispiel. Auf Antrag der Firma Unilever wurde von der EU-KOMMISSION (2009 b) ein Eis-strukturierendes Protein (ESP) als Novel Food zugelassen. Diese Proteinzubereitung wird durch Submersfermentation eines genetisch veränderten Stamms der Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) hergestellt, in deren Genom ein synthetisches Gen für das Eis-strukturierende Protein eingefügt wurde. Das Protein wird exprimiert, in die Nährlösung abgesondert, und daraus durch Mikrofiltrierung von den Hefezellen getrennt und durch Ultrafiltrierung konzentriert. ESP bindet an die Eiskristalle bei der Speiseeiserzeugung und hält diese klein. Dadurch ergibt sich ein Speiseeis, welches auch bei extrem tiefen Temperaturen seinen cremigen Charakter beibehält und viel langsamer als herkömmliches Eis schmilzt. Es wird in einigen europäischen Ländern bereits bei der gewerblichen und industriellen Speiseeiserzeugung eingesetzt, nicht aber in Deutschland und Österreich.

4.2. Mögliche, zukünftige Entwicklungen im Bereich der Gentechnik

4.2.1. Modifikation der Produktqualität

Wie oben ausgeführt, war der Einsatz von gentechnisch modifizierten Nahrungsmittelpflanzen mit geänderten Rohstoffeigenschaften bisher nicht sehr erfolgreich. Viele Befürworter der Gentechnik erwarten sich aber eine höhere Akzeptanz von GVP in der Bevölkerung, wenn diese direkte Vorteile erkennen kann. Daher werden derzeit neue Anläufe in diesem Bereich unternommen, wie die folgenden zwei Beispiele zeigen.

Superbanane

Australische Forscher (Waltz, 2014) haben durch Gentechnik eine Kochbanane kreiert, die - so wie Goldener Reis - ebenfalls einen erhöhten β -Carotingehalt aufweist. Dieses Provitamin wird im Körper in Vitamin A umgewandelt. Weltweit fallen 650.000 bis 700.000 Kinder in den Ländern des Südens einem Vitamin-A-Mangel zum Opfer, 300.000 dieser Kinder erblinden.

Ende 2014 wurden in den USA klinische Tests durchgeführt, ob diese Superbananen geeignet sind den Vitamin-A-Mangel zu bekämpfen. Diese Tests wurden von der *Bill and Melinda Gates*-Stiftung finanziert. Bei erfolgreichem Verlauf sollen die Superbananen ab 2020 in Uganda, einem Vitamin-A-Mangelgebiet, angebaut werden (Dönges, 2014).

Nichtbräunende Äpfel

Ähnlich wie bei der Antimatsch-Tomate wurde hier kein neues Gen eingeführt, sondern die Gene zur Produktion der Enzymfamilie der Polyphenoloxidasen stillgelegt ($\Rightarrow$ *Gen Silencing*) (OKANAGAN SPECIALITY FRUITS, 2015).

Solche Äpfel bräunen nicht mehr an den Schnittflächen und sind daher laut der Herstellerfirma Okanagan, Canada besonders gut zur Herstellung von vorgeschnitten Äpfeln geeignet (*fresh-cut*, siehe Teil 4, Kap. 2.1.), weil längere Haltbarkeitsfristen erreicht werden können.

Auch in diesem Fall ist zu hinterfragen, ob die Äpfel nicht scheinbar frisch bleiben, weil außer den Bräunungsvorgängen die anderen Inhaltsstoffveränderungen weiter ablaufen. Vorteile haben also nur die Hersteller und Supermärkte aber nicht die Konsumentinnen und Konsumenten.

Die Zulassungsverfahren für diese unter dem Markennamen *Arctic[®] Apples* (Basis Golden Delicious und Granny Smith) geführten Produkte laufen in Amerika. Die Firma arbeitet derzeit in gleicher Weise an Birnen, Pfirsichen und Kirschen.

4.2.2. Neue Züchtungsmethoden

Die klassischen Züchtungsmethoden vereinigen oder kreuzen sich immer mehr mit den neuen biotechnologischen bzw. gentechnischen Methoden. Derzeit sind neue Züchtungstechniken bekannt, die schon Verwendung finden, allerdings in noch überschaubaren Rahmen (BfG, 2012; Potthof, 2012; BDP, 2013).

Cisgene Pflanzen - Gentechnik ohne Fremd-DNA-Einführung

Bei der Herstellung von cisgenen Pflanzen werden nur Gene aus dem Genpool der eigenen Art oder konventionell kreuzbarer, naher Verwandter übertragen. Die entstehenden Pflanzen werden als cisgen [*cis* = diesseits (der Artgrenze)] bezeichnet. Im Gegensatz dazu stehen die transgenen [*trans* = jenseits (der Artgrenze)] Pflanzen, bei denen ein Gen aus artfremden Pflanzen oder Mikroorganismen übertragen wird (Anonym, 2015 c).

Die Erbinformationen, die cisgenen Pflanzen übertragen wird, könnten auch auf konventionellem Weg eingekreuzt werden. Bei einer konventionellen Kreuzung werden aber eventuell auch unerwünschte Erbinformationen mitübertragen (z.B. schlechtere Anbaueigenschaften), die durch Rückkreuzung wieder aufwändig entfernt werden müssen. Cisgene Transferierung von Erbinformationen ermöglicht hingegen eine exakte Übertragung nur der erwünschten Merkmale und einen rascheren Züchtungserfolg.

Intragenesis –Gentechnik ohne Fremd-DNA-Einführung

So wie bei cisgenetischen Pflanzen wird nur mit Erbmaterial der eigenen Art gearbeitet. Die in der Intragenesis gewünschten Eigenschaften werden jedoch durch eine Rekombination genetischen Elemente, wie Promotoren, Terminatoren und Kodierungssequenzen verschiedener Gene im Genpool erzeugt. Die durch die Kombination von verschiedenen Elementen erzeugten Gen werden als intragen bezeichnet. Intragenesis bietet damit deutlich mehr Optionen für die Änderung der Genexpression und für die Entwicklung von Pflanzeigenschaften (EFSA, 2012 a).

Genome editing

Bei den in diese Kategorie fallenden Verfahren werden einzelne Bausteine der DNA verändert (BDP, 2013):

Oligonukleotid gerichtete Mutagenese (ODM): Die Veränderung der DNA-Bausteine ist analog einer natürlichen Mutation. Im Gegensatz zur willkürlichen, natürlichen Mutation oder den in der konventionellen Züchtung eingesetzten Mutageneseverfahren durch Strahlung oder Chemikalien kann mittels ODM eine gezielte Mutation an bestimmten Stellen der DNA ausgelöst werden.

Zink-Finger 1/2 (ZFN/1/2): Mit Hilfe sogenannter Zink-Finger-Enzyme werden einzelne Bausteine der DNA wie bei einer natürlichen Mutation, aber gezielt verändert.

RNA induzierte Methylierung oder RNA induzierte epigenetische Veränderung RdDM): Es werden Methylgruppen in die DNA eingebaut und epigenetische Vorgänge imitiert (siehe Kap. 1.1.1).

Zink Finger 3 Methode (ZNF3)

Mit Hilfe dieser Methode können gezielt Gene ausgetauscht werden. Diese Gene können von der gleichen Art stammen, dann entstehen cisgene Pflanzen, oder von einer anderen Art, dann handelt es sich um transgene Pflanzen (BDP, 2013).

4.2.3. Gensynthese

Wenn das Genom und die einzelnen Gene eines Organismus bekannt sind, ist es heute möglich, nicht von Genen aus diesen Organismus auszugehen, sondern diese Gene synthetisch herzustellen. Zahlreiche Firmen bieten schon solche Gensynthesen kommerziell an. Der Vorteil liegt darin, dass eine Genoptimierung stattfinden kann, wodurch die Expression der Primärproteine verbessert werden kann.

4.3. Rechtliche Aspekte

Die Zulassung und Verwendung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) ist in der EU in mehreren Verordnungen und Richtlinien umfangreich und detailliert geregelt (siehe dazu: UMWELTBUNDESAMT, 2015) und muss hier nicht extra angeführt werden.

Neue rechtliche Fragen sind allerdings im Zusammenhang mit den neuen Züchtungstechniken aufgetaucht (siehe Kap. 4.2.2.), welche derzeit weltweit noch unterschiedlich betrachtet werden (Kanchiswamy et al., 2014). Die EFSA hat aber bereits 2012 (EFSA, 2012 b) eine Stellungnahme abgegeben, wonach cisgene und intragene Pflanzen gleich wie transgene Pflanzen zu behandeln und zu regeln sind.

Auch bei der rechtlichen Bewertung der sogenannten „**stacked events**“ (konventionelle Kreuzung zweier gentechnisch veränderter Sorten) ist global noch keine einheitliche Vorgangsweise in Sicht. Die rechtliche Frage ist hier, wie solche neuen Sorten zu betrachten ist. Handelt es sich um eine neue GVP, die eine neue Risikobewertung und Zulassung bedarf, oder reichen die Zulassungsverfahren der beiden Ausgangssorten? In der EU, aber nicht weltweit, herrscht gegenwärtig die Ansicht, dass ein neues Zulassungsverfahren notwendig ist (Kok et al., 2014).

4.4. Nutzen und Risiken

Die Debatte um für und wider die Gentechnik wird seit vielen Jahren intensiv und heftig, weltweit aber vor allem in Europa geführt. Es ist hier nicht der Platz und der richtige Ort detailliert darauf einzugehen. Stellvertretend für die Flut an Veröffentlichungen auf diesem Gebiet sollen zwei Publikationen zitiert werden, in dem die pro und contra Argumente gut zusammengefasst sind.

Die Befürworter führen aus, dass es mehr als 2.000 wissenschaftliche Publikationen gibt, die keine Unterschiede hinsichtlich des Risikos zwischen konventionellen und GVP finden. Gentechnik kann Pflanzen ernährungsphysiologisch hochwertiger und widerstandsfähiger gegenüber Umwelteinflüssen machen (Olivo, 2014).

Then (2013) fasst die Argumente der Gegner aus europäischer Sicht zusammen. Sie decken sich weitgehend mit denen bei Olivo (2014) angeführten Aspekten. Die Argumente der Gegner der Gentechnik im Bereich der Landwirtschaft betreffen eigentlich zum Großteil nicht direkt die Risiken der Gentechnik selbst, sondern die Begleitumstände ihres Einsatzes und ihre indirekten Auswirkungen (z.B. gesteigerter Herbizideinsatz, patentrechtliche Probleme, Coexistenz zwischen

konventionellen und GVP nicht möglich, Abhängigkeit der Farmer von Großkonzernen).

Je nach Standpunkt des Betrachters werden pro oder contra Argumente überwiegen. Klar ist jedenfalls, dass jede Technologie, egal auf welchem Gebiet, immer Vorteile bringen kann, aber auch unweigerlich Risiken birgt.

4.5. Informationsstand, Wahrnehmung und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher

Bis dato wurde bei keiner Technik so umfangreich und intensiv die Akzeptanz der Bevölkerung erhoben als bei der Gentechnik. Allerdings erst als sie bereits eingeführt und auf weitverbreitete Skepsis oder Ablehnung gestoßen ist.

Sehr kritisch gegenüber der Gentechnik eingestellt sind die Verbraucherkreise in der EU, obwohl oder gerade deswegen weil nur zwei gentechnisch veränderte Pflanzen in der EU zugelassen sind (MON810 Mais der Fa. Monsanto und Amflora Kartoffeln der Fa. BASF). 25 % der EU-Bürger, die überhaupt eine Meinung zur Gentechnik haben, sind positiv eingestellt, aber 58 % sind dagegen. Innerhalb der EU gibt es ein Nord-Südgefälle. In den südlichen Ländern ist die Akzeptanz etwas höher. Österreich ist das Land mit dem höchsten Anteil an Gegnern (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2010; Lyndhurst, 2009; Rollin et al., 2011).

US-Verbraucher zeigen prinzipiell eine vertrauensvollere Haltung gegenüber neuen Lebensmittel-techniken, insbesondere gegenüber der Gentechnik, als die Europäer (Rollin, 2011). Allerdings regt sich auch in den USA zunehmend Widerstand, dass keine Kennzeichnung von genmodifizierten Lebensmitteln vorgesehen ist. Das kleine Vermont hat als erster Bundestaat eine verbindliche Kennzeichnung für Lebensmittel aus gentechnisch veränderten Organismen eingeführt, ähnlich den Regelungen in der EU, die ab 1. Juli 2016 in Kraft treten soll. In Kalifornien (2012) und Washington (2013) sind Volksabstimmungen für eine solche Kennzeichnung knapp gescheitert. Das Gesetz in Vermont wird von der Industrie und den Handelsketten sehr stark bekämpft, wobei die Handelsketten sogar einen Lieferboykott für die 625.000 Einwohner Vermonts in den Raum stellen (Anonym, 2014).

In 64 von 194 Ländern der Erde gibt es Kennzeichnungsvorschriften für genetisch modifizierte Lebensmittel. Darunter sind alle entwickelten Länder, ausgenommen eben die USA, Canada und Argentinien, und die meisten afrikanischen Länder (Anonym, 2015).

In Entwicklungs- und Schwellenländern ist die Einstellung gegenüber gentechnisch modifizierten Lebensmitteln eher positiv. In China sind die Konsumenten angeblich sogar bereit dafür mehr zu bezahlen (Rollin et al., 2011).

Grundsätzlich haben die Konsumentinnen und Konsumenten das Gefühl bei der Gentechnik, dass wir uns „weg von der Natur“ bewegen. Natur und Natürlichkeit haben aber unbewusst einen sehr hohen Stellenwert in unserer Ernährung. Der zweite wesentliche Knackpunkt für die mangelnde Akzeptanz ist der, dass die Verbraucherinnen und Verbraucher keine direkten Vorteile in gentechnisch veränderten Lebensmitteln erkennen können. Wie die obigen Ausführungen beweisen, sind die bisherigen Erfolge in dieser Hinsicht auch nicht wirklich überzeugend. Ein dritter Grund ist die Komplexität der Materie und der Erhalt objektiver Informationen und der geringe Informationsstand generell (Lyndhurst, 2009).

Das zukünftige Verhalten gegenüber der Gentechnik wird in großem Ausmaß davon abhängen, ob es gelingt den Konsumentinnen und Konsumenten einen echten Mehrwert von gentechnisch modifizierten Lebensmitteln zu vermitteln (z.B. billiger, gesünder). Die Zulassung und Einführung solcher Lebensmittel wird aber durch die schon existierenden, generellen Vorbehalte und die daraus resultierende Gesetzgebung erschwert. In absehbarer Zeit wird sich daher zumindest in Europa an der negativen Einstellung nichts ändern. Die in Kap. 4.2.2. behandelten, neuen Züchtungsmethoden werden dazu ebenfalls kaum beitragen können.

5. Biofortifikation (biofortification)

Unter dem Begriff Biofortifikation ist die Anreicherung von Mikronährstoffen (z.B. Mineralstoffe, Vitamine, sekundäre Pflanzenstoffe) oder die Verbesserung des ernährungsphysiologischen Profils von Makronährstoffen (Fettsäure- oder Aminosäurespektrum, β -Glucangehalt, resistente Stärke etc.) von pflanzlichen Nahrungspflanzen zu verstehen.

Der Gedanke dahinter ist, einerseits den Mangel an Mikronährstoffen in vielen Ländern des Südens durch Grundnahrungsmittel zu beseitigen. Andererseits soll dadurch in den Ländern des Nordens das ernährungsphysiologische Profil von häufig verzehrten, fett- und stärkereichen Lebensmitteln verbessert werden.

Eine Biofortifikation kann durch konventionelle Züchtung erreicht werden, eventuell unter Zuhilfenahme von neuen biotechnologischen bzw. gentechnischen Methoden (cisgene Pflanzen); oder durch genetisch modifizierte transgene Pflanzen.

5.1. Biofortifikation durch klassische Züchtungsmethoden

Nutzpflanzenarten und -sorten weisen eine große Variabilität hinsichtlich der diversen Makro- und Mikronährstoffe auf. Reis-Genotypen zeigen beispielsweise einen 4-fachen Differenzfaktor im Eisen- und Zinkgehalt, Leguminosen sogar bis zum 6,6-fachen (Hirschi, 2009). So konnten Bohnsensorten mit einem 50 – 70 % höheren Eisengehalt gezüchtet werden (Nestel et al., 2006). Abb. 3.5.1 zeigt die Variation verschiedener Getreidearten hinsichtlich des Anthocyan- und des β -Glucangehaltes. β -Glucan kommt in den Zellwänden vor und hat als eine der wenigen Substanzen einen Health Claim in der EU verliehen bekommen. Die Differenzfaktoren erreichen bei diesen beiden Inhaltsstoffen sogar Werte von 14,9 bzw. 17,3. Die Liste an solchen Beispielen lässt sich unbeschränkt fortsetzen.

Es liegt also auf der Hand, dass durch Nutzung der richtigen Arten und Sorten auch auf konventionellem Weg eine Biofortifikation möglich ist. Von den Pflanzenzüchtern wird das Hauptaugenmerk vor allem auf die Verbesserung landwirtschaftlicher Merkmale (Ertrag, Resistenz etc.) und technologischer Verarbeitungseigenschaften gelegt. Sensorische und ernährungsphysiologische Eigenschaften werden kaum berücksichtigt. Daher ist in dieser Hinsicht noch großes, natürliches Potential vorhanden.

5.2. Biofortifikation durch transgene Pflanzen

Wenn innerhalb einer Pflanzenart keine Art oder Sorte existiert, die einen hohen Gehalt an einem spezifischen Inhaltsstoffe aufweist, kann mit konventionellen Züchtungsmethoden keine Biofortifikation erreicht werden. Dann bleibt nur eine Kombination von verschiedenen Pflanzenarten in der Ernährung oder eine Biofortifikation durch gentechnische Methoden. Das heißt, es werden Gene aus einer Art genommen, die diesen Inhaltsstoff produzieren, und in eine andere Pflanzenart transferiert.

Goldener Reis und die Superbanane sind hier die am weitesten entwickelten Beispiele. Reis kann kein β -Carotin produzieren. Daher wurde ein Maisgen in Reis transferiert und so der Goldene Reis mit einem β -Carotingehalt von 31 $\mu\text{g/g}$ geschaffen (Nestel et al., 2006). Die Anreicherung kann wahrscheinlich immer nur bis zu einem Level erfolgen, der in der Ursprungspflanze vorliegt und nicht darüber hinausgehen. Nur zum Vergleich, es gibt neben Mais auch andere Getreidearten, die von Natur aus einen vergleichbar hohen Gehalt an β -Carotin wie Goldener Reis aufweisen. Und es gibt andere Pflanzenarten, mit einem weitaus höheren Gehalt, wie beispielsweise orange-fleischige Süßkartoffel mit 200 $\mu\text{g/g}$ (Nestel et al., 2006).

In letzter Zeit werden vermehrt gentechnisch veränderte Pflanzen durch klassische Züchtung miteinander gekreuzt, um verschiedene, gentechnisch erzeugte Merkmale in einer Pflanze zu kombinieren. Die konventionelle Kreuzung zweier gentechnisch veränderter Sorten wird als „**stacked events**“ bezeichnet. Das ist in Zukunft wahrscheinlich eine Möglichkeit um ernährungsphysiologische Vorteile (z.B. hoher β -Carotingehalt) mit Resistenz (z.B. Herbizidresistenz) zu verbinden.

β -Glucan [% TS] (GD _{5%} = 0.14)			Gesamtanthocyane [mg C-3-gluc. Äquivalente/100g TS] (GD _{5%} = 0.10)		
Sw Spelzgerste	4.62	A	Purpurweizen	7.45	A
Nackthafer	4.51	A	Blaukorn	6.01	B
Nacktgerste	3.51	B	Winterroggen	2.22	C
Spelzgerste	3.47	B	Sw Spelzgerste	2.13	C
Spelzhafer	2.76	C	Waldstaudenro.	1.76	D
Winterroggen	2.21	D	Spelzgerste	1.45	E
Waldstaudenro.	1.87	E	Dinkel*	1.23	F
Weichweizen	0.91	F	Spelzhafer	1.17	F
Blaukorn	0.88	GF	Weichweizen	0.91	G
Dinkel*	0.73	GH	Emmer*	0.78	H
Purpurweizen	0.67	IH	Einkorn*	0.75	H
Durum	0.53	I	Durum	0.68	H
Khorassanw.	0.53	I	Khorassanw.	0.50	I
Einkorn*	0.32	J	Nacktgerste	0.49	I
Emmer*	0.31	J	Nackthafer	0,43	I

* entspelzt

GD = Grenzdifferenz

Abb. 3.5.1: Variation des Anthocyan- und β -Glucangehaltes in Getreidearten (Berghofer et al., 2006; Siebenhandl et al. 2007).

6. Nutzung von pflanzlichen und tierischen Zellkulturen

6.1. Pflanzliche Zellkulturen

Als Zellkultur wird die Kultivierung tierischer oder pflanzlicher Zellen in einem Nährmedium außerhalb des jeweiligen Organismus bezeichnet. Es könnten damit unabhängig von landwirtschaftlichen Faktoren (Umwelt, Klima etc.) Pflanzeninhaltsstoffe hergestellt werden. Abb. 3.6.1 zeigt die prinzipielle Vorgangsweise bei der Nutzung von pflanzlichen Zellkulturen. In Tab. 3.6.1 sind einige Stoffe aufgelistet, deren Herstellung mit Zellkulturen bereits erforscht wurde.

Obwohl diese Technik seit vielen Jahrzehnten bekannt und im kleinen Maßstab verwendet wird, ist bei der Anwendung im Lebensmittelbereich bis jetzt noch kein Durchbruch gelungen (Zhang et al., 2002; Davies & Deroles, 2014). Die Gründe dafür liegen in der Schwierigkeit der Übertragung vom Labor- und Pilot- in den technischen Maßstab. Die Technik ist noch sehr teuer und die Produkte sind preislich derzeit nicht konkurrenzfähig. In der Zwischenzeit lassen sich außerdem viele pflanzliche Metabolite weit günstiger mittels gentechnisch modifizierter Mikroorganismen erzeugen. Durch gentechnische Veränderung der Pflanzenzellen hofft man, in Zukunft auf höhere Ausbeuten und billigere Produkte.

Nachdem es diese Technik im praktischen Einsatz kaum gibt, ist auch der Informationsstand der Konsumentinnen und Konsumenten sehr gering. Wie die zukünftige Akzeptanz sein wird, ist derzeit ebenfalls unbekannt. Zellkulturtechnik hat zwar im Prinzip nichts mit Gentechnik zu tun, es können aber gentechnisch veränderte Pflanzenzellen dafür genutzt werden. Diese mögliche Überschneidung mit der Gentechnik könnte für eine Akzeptanz nicht unbedingt hilfreich sein.

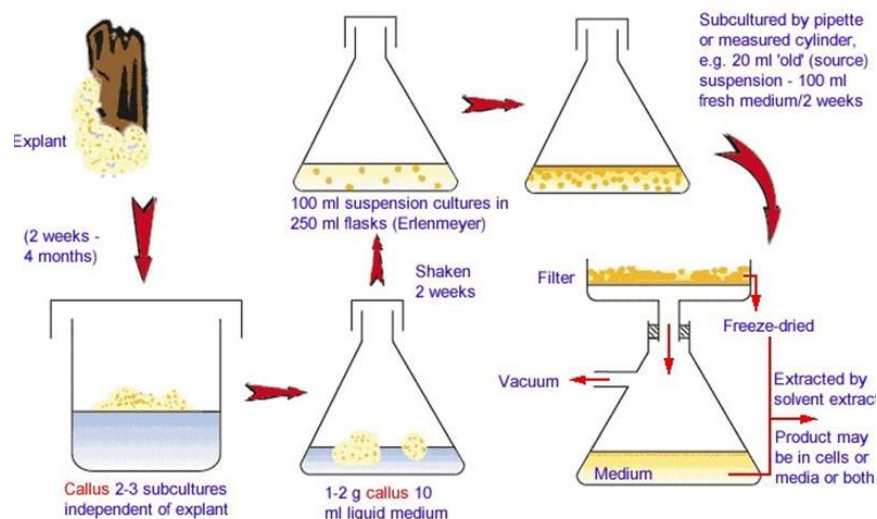


Abb. 3.6.1.: Prinzipielle Vorgangsweise bei der Herstellung und Nutzung pflanzlicher Zellkulturen (HONG KONG INSTITUTE OF EDUCATION, 2015)

Tab. 3.6.1: Mögliche pflanzliche Metaboliten, die durch Zellkulturtechnik erzeugt werden können (aus Rao et al., 2002 und Davis & Deroles, 2014).

Stoffbezeichnung	Stoffklasse	Ausgangspflanzen	Verwendung
Anthocyane	Flavonoide	Trauben, diverse Früchte, Süßkartoffel	Lebensmittelfarbstoff
Betacyanin	Betalaine	Rote Rüben, Amaranth	Lebensmittelfarbstoff
Crocin	Apocarotinoide	Safran	Lebensmittelfarbstoff & Aromastoff
Capsaicin	Capsaicinoide	Paprika	Geschmackstoff
Vanillin	Phenylpropanoid	Gewürzvanille	Geschmackstoff
Glycyrrhizin		Süßholzwurzel	Intensivsüßungsmittel
Stevioside	Stevioside	Steviapflanze	Intensivsüßungsmittel
Thaumatococcus	Protein	Katembefrucht	Intensivsüßungsmittel
β -Sitosterol	Phytosterine	Leguminosen	Functional Food
Resveratrol	Stilbene	Traubentrester, Leguminosen	Functional Food

6.2. Tierische Zellkulturen – *in vitro*-Fleisch

Die Technik der tierischen Zellkulturen hat in der medizinischen Forschung und in der pharmazeutischen Industrie große praktische Bedeutung. Dabei werden tierische und auch menschliche Zellen, Gewebe- und Organteile, Organanlagen und Organe außerhalb ihres Organismus in einem künstlich geschaffenen Milieu unter sterilen Bedingungen gehalten oder zur Vermehrung gebracht.

Denkbar ist, dass auch tierische Zellkulturen zur Herstellung tierischer Lebensmittel genutzt werden. Diese Idee ist an und für sich schon 70 Jahre alt und geht auf Winston Churchill zurück (Bhat & Fayaz, 2011). Dieser äußerte die Ansicht, dass es absurd ist, ein Huhn zu züchten und nur die Brust und die Keulen zu essen. Viel besser wäre es, diese Teile separat zu züchten. Diese Idee war damals nicht sehr realistisch. Mit dem Fortschritt der neuen Biotechnologie auf dem Gebiet der Zellkulturtechnik erscheint sie aber zumindest theoretisch umsetzbar.

Im Sommer 2013 wurde weltweit in allen Medien eine Geschichte verbreitet, die auf den Forschungen einer Arbeitsgruppe der Universität Maastricht, Holland unter der Leitung von Prof. Mark Prost beruht (MAASTRICHT UNIVERSITY, 2015). Das Projekt der Universität Maastricht, an dem mehrere Universitäten beteiligt waren, begann im Jahr 2009 und baute auf Vorgänger-Forschungsprojekten aus dem Jahr 2004 auf. Die Schlagzeilen in den Medien reichten von Laborburger über Kunstfleischburger bis Frankenburger. Dahinter steckt ein Forschungsprojekt dieser Universität, welches sich mit der Herstellung von „*in vitro meat*“ beziehungsweise „*cultured meat*“ (auf Deutsch *in vitro*-Fleisch bzw. kultiviertes oder gezüchtetes Fleisch) beschäftigt. *In vitro*-Fleisch ist auch die wissenschaftliche Bezeichnung für diese Thematik, mit der sich weltweit mehrere Forschergruppen beschäftigen.

Die Herstellung von *in vitro*-Fleisch läuft prinzipiell nach folgendem Schema ab (Bhat & Fayaz, 2011; Edelman et al., 2005; MAASTRICHT UNIVERSITY, 2015; Welin, 2013):

1. Stammzellen aus Embryos oder Muskelstammzellen aus dem Gewebe eines lebenden Tieres werden entnommen und in einer Nährlösung vermehrt (Zellvermehrung $\Rightarrow$ Proliferation). Als Nährlösung dient Kälberserum. Da dieses sehr teuer ist und der Idee „Fleisch herzustellen, ohne Tiere zu schlachten“ widerspricht, wird nach alternativen Nährlösungen (z.B. Algenextrakte) gesucht.

2. Die Stammzellen müssen sich nun in Muskelzellen entwickeln. Wenn Muskelstammzellen verwendet werden, verläuft dies weitgehend automatisch, weil sie schon vordeterminiert sind.
3. Der schwierige Schritt ist nun, die Muskelzellen zu Muskelfasern und damit zu einer Fleischstruktur wachsen zu lassen. Das geschieht indem die vorgezüchteten Zellen in einem Bioreaktor auf Trägerschichten verankert und weiter gezüchtet werden. Diese Träger sind beispielsweise Polymerstrukturen aus Kollagen oder Polysacchariden. Sie sollten möglichst porös sein, um eine Diffusion der in der umgebenden Nährlösung vorhandenen Inhaltsstoffe zu den Muskelzellen zu ermöglichen. Je mehr Zellschichten sich aber bilden, umso schwieriger wird diese Nachdiffusion. In der Natur wird dieses Problem durch die Bildung von Blutgefäßen im Fleisch gelöst. Um wirklich dickere Muskelstrukturen zu erhalten, müssten gleichzeitig mit dem Muskelwachstum auch Blutgefäße gebildet werden und mitwachsen. Derzeit ist das noch illusorisch. Mit der weiteren Entwicklung der Nanobiotechnologie wäre es aber denkbar, selbstanordnende, schlauchähnliche Nanostrukturen mitwachsen zu lassen.
 Natürliches Fleisch besteht aber nicht nur aus Muskelfasern und Blutgefäßen, sondern auch aus Bindegewebe (Kollagen) und Fettgewebe. Gerade der Fettanteil ist ein wesentlicher Geschmacksträger bei Fleisch. Bevor diese Probleme nicht gelöst werden, können bestenfalls fleischähnliche Strukturen, aber nie echtes Fleisch erzeugt werden. Ein saftiges Steak aus *in vitro*-Fleisch wird noch lange eine Utopie bleiben.

Was derzeit schon möglich ist, zeigen die Ergebnisse der Gruppe in Maastricht. In diesem Fall wurde eine Gewebeprobe aus einer Kuh verwendet. Das Gewebestück wurde in einzelne Muskelzellen getrennt und weiter gezüchtet. Die Zellen lagerten sich zu sogenannten Myotubes mit einer Länge von 0,3 mm aneinander. Diese Myotubes wiederum wurden um einen Gel-Zylinder herum zu Fäden bzw. Fasern angeordnet. Viele dieser Fasern ergaben im Endeffekt eine fleischähnliche Struktur. Am 5. August 2013 wurde in einer Live-Show in London der erste auf diese Weise hergestellte Burger vor laufender Fernsehkamera zubereitet und verzehrt. Er bestand aus 20.000 solcher kleinen Fasern, die mit einem Bindemittel auf Stärkebasis zu einem Burger verklebt wurden. Das Gewicht betrug 140 g und seine Herstellung kostete 250.000 Euro.

Im Zuge der Diskussion, den Fleischverzehr aus ethischen und klimapolitischen Gründen zu verringern, wäre *in vitro*-Fleisch vielleicht eine Alternative. Ob es wirklich eine solche ist, bleibt noch abzuwarten. Zu viele Fragen und Probleme sind für eine endgültige Beurteilung noch offen. Die wichtigsten davon sind Folgende:

- Können alle technischen Probleme gelöst werden?
- Ist eine wirtschaftliche Produktionsweise überhaupt denkbar?
- Wie ist ein solches Konstrukt rechtlich zu bewerten? Reicht es eine Zulassung nach der Novel Food-Verordnung zu bekommen, oder stehen auch ethische Fragen zur Diskussion?
- Wie ist die Akzeptanz in der Bevölkerung? Die Zellkulturtechnik hat zwar prinzipiell nichts mit Gentechnik zu tun, sondern ist eine andere biotechnologische Methode. Sie ist allerdings auch weit weg von der Natur. Die teilweise verwendete Bezeichnung „Frankenburger“ für das oben vorgestellte Produkt, lässt in dieser Hinsicht die Vermutung aufkommen, dass eher ein sehr negatives Image entstehen wird. Konsumentinnen und Konsumenten meiden auch Produkte, die als Ersatz oder als Imitat für irgendein natürliches Lebensmittel propagiert werden. Bestes Beispiel ist der Ersatz von Fleischprodukten durch texturiertes Sojaprotein. Aus letzterem lassen sich sehr leicht fleischähnliche Produkte erzeugen, deren Markterfolg aber bis jetzt ausgeblieben ist, obwohl sie schon seit den 50er-Jahren des vorigen Jahrhunderts auf dem Markt sind. Interessanterweise erfolgt derzeit eine Renaissance dieser Verfahren auf der Basis anderer Leguminosen, um den Trend nach vegetarischen Produkten entgegen zu kommen. Wenn

solche Produkte nicht als Lebensmittel *sui generis*, sondern als Fleischimitate vermarktet werden, wird der Erfolg wieder sehr bescheiden sein.

- Welche ethischen Fragen ergeben sich? So wie jede Technik könnte auch die Methode der *in vitro*-Fleisch-Züchtung missbraucht werden, indem als Ausgangszellen menschliche Stammzellen eingesetzt werden und Menschenfleisch gezüchtet wird (Kannibalismus!?). Obwohl der technische Durchbruch noch in weiter Ferne liegt, sofern er überhaupt gelingt, werden ethische Fragen derzeit schon intensiv diskutiert und die mögliche Akzeptanz der Konsumentinnen und Konsumenten erforscht, um Entscheidungsgrundlagen zu erhalten, ob in diese Technik weiterhin Geld investiert werden soll (Bhat & Fayaz, 2011; Goodwin & Sholders, 2013; Wellin, 2013; Allenby & Mattick, 2014).

7. Indoor-Pflanzenanbau mit LED-Beleuchtung

Der Anbau von Pflanzen in Gewächshäusern bzw. Treibhäusern wurde schon vor Jahrhunderten durchgeführt, setzte sich aber erst mit Beginn der Industrialisierung in breiterem Ausmaß durch. In den Gewächshäusern wird ein künstliches Klima geschaffen, welches eine Pflanzenproduktion unabhängig von Umweltfaktoren macht.

Zu den künstlichen Umweltbedingungen zählt auch die Beleuchtung. Auf diesem Gebiet ist in den letzten Jahren nun ein ganz bedeutender Durchbruch gelungen, der in Zukunft die Gewächshaus-technik und vielleicht auch unsere Ernährung entscheidend revolutionieren kann. Es handelt sich um den Einsatz der LED-Beleuchtung. LED steht für „*light emitting diode* (lichtemittierende Diode)“. Eine Diode ist ein Halbleiterelement, welches in Durchlassrichtung Strahlung abgibt. Die Wellenlänge der emittierten Strahlung, und damit die Farbe kann über die verwendeten Halbleitermaterialien gesteuert werden.

Eine LED-Gewächshaus-Beleuchtung bietet zahlreiche, gravierende Vorteile gegenüber den konventionellen Beleuchtungen:

- **Energieeinsparung:** Europas Gewächshäuser verbrauchen jährlich etwa 150 Terawattstunden Strom. Das entspricht dem gesamten Energiebedarf Schwedens (DEUTSCHLANDFUNK, 2013). Durch LED-Beleuchtung lassen sich bis zu 40 % Energie einsparen (SIEMENS, 2015).
- **Bauart:** LED-Lichtelemente sind klein, wodurch ein Mehretagenanbau in den Gewächshäusern (⇒ vertikale Gewächshäuser) möglich ist. Auf der gleichen Grundfläche kann ein vielfacher Ertrag erzielt werden.
- **Wärmeabstrahlung geringer:** LED-Dioden sind kühl und geben weniger Wärmeenergie ab. Sie können deshalb näher an die Pflanzen platziert werden, was nochmals Raum einspart. Geringere Wärmeabstrahlung bedeutet auch geringerer Energieverbrauch bei der Klimatisierung (THE ECONOMIST, 2014).
- **Lebensdauer:** LED-Dioden haben eine ungleich längere Lebensdauer als konventionelle Beleuchtungskörper. Sie müssen weit weniger oft getauscht werden, was wiederum eine geringeren Wartungsbedarf und kompaktere Bauweisen der Lichtelemente bedeutet.
- **Steuerung des abgegebenen Farbspektrums:** Der wichtigste Vorteil der LED-Beleuchtung ist aber, dass gezielt einzelne Bereiche des Farbspektrums abgegeben werden können. Durch Kombination mehrerer Leuchtdioden in einem Beleuchtungskörper lassen sich die Farbtöne beliebig verändern. Gerade diese Tatsache ist von ganz entscheidender Bedeutung. Die in den meisten europäischen Gewächshäusern verwendeten Natriumdampf-Hochdrucklampen strahlen gelblich, wie Straßenlaternen, und liefern zwar eine hohe Lichtausbeute; ihr abgegebenes Lichtspektrum ist aber keineswegs für das Pflanzenwachstum ideal. Pflanzen verwerten für ihr Wachstum nämlich nur einen Teil des sichtbaren Lichtspektrums. Chlorophyll kann besonders gut rotes und blaues Licht absorbieren und in chemische Energie umsetzen. Mit der Variierung der LED-Beleuchtung kann darüber hinaus die Wachstumsphase der Pflanzen beeinflusst werden. Rotlicht ist wichtig für die Entwicklung des photosynthetischen Apparats, es verstärkt das (Längen-)Wachstum durch eine gesteigerte Photosyntheserate. Die Pflanzen wachsen viel schneller, wodurch Vielfachernten im Jahr möglich sind. Blaue Strahlung steuert die Chloroplastenentwicklung und das Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen und fördert die Bildung von Knospen. Wird gezielt der Anteil von blauem Licht variiert, lassen sich Dünger

und andere Chemikalien einsparen (Ma et al., 2012; SIEMENS, 2015). Über die Messung des von der Pflanze zurück gestreuten Lichtes kann der aktuelle Lichtbedarf der Pflanzen gemessen und sofort angepasst werden.

- Die faszinierendste Möglichkeit ist aber, dass die Bildung von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen (⇒ bioaktive Inhaltsstoffe) über eine gezielte Variation des Lichtspektrums ebenfalls angeregt bzw. gesteuert werden kann, wie z.B. von Carotinoiden (Brazaityte et al., 2015; Samuoliené et al., 2013). Auf diese Weise kann sogar eine sogenannte Biofortifikation (siehe Kap. 5) erreicht werden.

Der japanische Pflanzenphysiologe Shigeharu Shimamura hat nun neben der Einführung der LED-Beleuchtung ein weiteres Element zur Revolutionierung der Gewächshaustechnik hinzugefügt, nämlich die Reinraumtechnik (siehe Teil 4, Kap. 2.5). Indem das Gewächshaus unter Reinraumbedingungen betrieben wird, wachsen die Pflanzen unter mehr oder weniger sterilen Bedingungen auf. Der Einsatz von Pestiziden und Herbiziden erübrigt sich dadurch komplett und ermöglicht sozusagen die Produktion von „Bio“-Produkten. Eine Nacherntebehandlung, wie zum Beispiel Waschen, ist ebenfalls unnötig.

Im Jahr 2013 wurde ein solches Gewächshaus (*in door farm*) in der Miyagi Prefektur in Japan in Betrieb genommen (Abb. 3.7.1). Dazu wurde das Gebäude einer früheren Sony-Halbleiterfirma genutzt. Auf einer Fläche von etwa 2.300 m² werden auf 18 Stellagen mit jeweils 15 Etagen pro Tag 100.000 Häuptel Kopfsalat geerntet. Als Beleuchtung dienen 17.500 LED-Leuchten der Fa. General Electric (THE INDEPENDENT, 2014; DAILYMAIL, 2015; GE REPORTS, 2015 a + b). Die Wachstumsraten sind 2,5 mal höher und die Flächenproduktivität ist 100 mal besser. Der Wasserbedarf beträgt nur 1 % gegenüber der Feldproduktion.

Alle großen Technikkonzerne der Welt springen bereits auf diese neue Technik auf, weil hier ein sehr großes Marktpotential gesehen wird. Außerdem haben die meisten dieser Konzerne Erfahrung im Lampenbau, bei elektronischen Steuer- und Regelgeräten und in der Klimatechnik. Beispielsweise betreibt die Firma *Green Sense Farms* schon so ein LED-Gewächshaus in Indiana, USA. Sie nutzt LED-Beleuchtungen der Firma Philips. Neben Kopfsalat wird hier auch Kohl, Basilikum und Lauch kultiviert (THE ECONOMIST, 2014).

In Zukunft ist es vorstellbar kleine, vollklimatisierte und automatisch gesteuerte LED-Gewächshaus-Container für eine *Indoor*-Kultivierung zur Nutzung im Handel, Restaurants oder sogar im Haushalt anzubieten. Optimierte Lichtprogramme für jede Pflanzenart laufen automatisch in diesen Zellen ab. Tatsächlich gibt es schon erste Ansätze in diese Richtung (Kubotu, 2015).

Der einzige Nachteil der LED-Beleuchtung ist derzeit noch der relativ hohe Preis der Beleuchtungskörper. Die Japaner sind bekannt für ihre Bereitschaft, für exquisite, besondere Lebensmittel einen hohen Preis zu bezahlen. Das gilt nicht unbedingt für andere Länder. Es wird daher für einen allgemeinen Durchbruch der LED-Glashaustechnik davon abhängen, wie die Produkte preislich mit konventionell erzeugten abschneiden. Bei einer breiteren Anwendung wird sich der Preis aber verringern.

Die LED-Gewächshaus-Beleuchtung wird sich mit Sicherheit durchsetzen. Die Produktion von Grundnahrungsmitteln, wie Getreide, Ölsaaten, Wurzeln und Knollen wird auch weiterhin auf dem Acker stattfinden; für die Kultivierung von grünem Gemüse eröffnen sich aber ungeahnte Möglichkeiten.

Nachdem die Verbraucherinnen und Verbraucher derzeit Glashausprodukte akzeptieren, sollte eine Akzeptanz bei diesen neuen Produkten kein Problem darstellen.



Abb. 3.7.1: Bilder von Gewächshäusern mit LED-Beleuchtung (Rechtes Bild: Gewächshaus betrieben unter Reinraumbedingungen) (GE REPORTS, 2015 a + b)

8. Klonen

Prinzipiell wird zwischen therapeutischen und reproduktivem Klonen unterschieden. Therapeutisches Klonen dient zur Gewebebezücht oder Züchtung einzelner Organe eines Organismus.

Das reproduktive Klonen trat erstmals im Juli 1996 mit der Geburt des Klonschafs Dolly im Roslin Institute, Schottland in den Focus der Öffentlichkeit. Es war weltweit das erste Säugetier, welches durch Klonen eines erwachsenen Tieres entstanden war. Beim reproduktiven Klonen, wird der Zellkern aus einer ausdifferenzierten Körperzelle eines Tieres entnommen, dessen Eigenschaften vermehrt werden sollen. Dieser Kern wird in eine unbefruchtete Eizelle eines anderen Tieres eingepflanzt, deren Zellkern vor dieser Manipulation entfernt wurde. Nach kurzzeitiger Bebrütung in einer Nährlösung wird der Embryo wie bei einer normalen Schwangerschaft im Uterus einer hormonell "synchronisierten" Leihmutter ausgetragen (Groth, 2013). In Abb. 3.8.1 ist die Klonierung schematisch dargestellt. Durch reproduktives Klonen können also genetisch gleiche Nachkommen von Pflanzen, Tieren und prinzipiell auch von Menschen erzeugt werden. In der Natur finden sich auch Zellklone. Eineiige Zwillinge sind beispielsweise Abkömmlinge einer befruchteten Eizelle. Auch einzellige Organismen (Bakterien) sind Klone.

Die EU (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2013) hat in ihrem Richtlinienentwurf für die Regelung des reproduktiven Klonens eine entsprechende Definition erstellt, die folgendermaßen lautet (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2013 a & 2013 b):

Im Sinne dieser Richtlinie bezeichnet der Ausdruck „Klonen“ die ungeschlechtliche Reproduktion von Tieren mit einer Technik, bei der der Kern einer Zelle eines einzelnen Tieres in eine Eizelle transferiert wird, aus der der Zellkern entfernt wurde, um genetisch identische einzelne Embryonen zu schaffen („Klonembryonen“), die dann Ersatzmuttertieren eingepflanzt werden, um so Populationen genetisch identischer Tiere („Klontiere“) zu erzeugen.

8.1. Nutzen

Welche Vorteile lassen sich aus der Klonierung von Nutztieren ziehen? Mit der Klontechnik wird die Leistung eines Tieres nicht verbessert. Es werden nur die genetischen Eigenschaften weiter gegeben. Klonierung ist an und für sich eine aufwändige und teure Technik. Es ist daher unwahrscheinlich, dass Klontiere in großem Ausmaß direkt für die Gewinnung von Lebensmitteln eingesetzt werden. Züchter könnten aber aus besonders wertvollen Tieren (z.B. Zuchtbullen) größere Mengen an Reproduktionsmaterial (Sperma, Embryonen) erhalten. Schon jetzt wird durch die konventionelle Tierzucht bestimmte Eigenschaften von Tieren (z.B. Milchleistung von Kühen) verstärkt. Durch das Klonen werden ausgewählte Tiere vermehrt, ohne Gefahr zu laufen, dass sich gewünschte, selektierte Merkmale wieder auskreuzen.

Die Verbindung von Klonen und Gentechnik ergibt sich dadurch, dass transgene Tiere (z.B. Fähigkeit ein Wachstumshormon zu bilden) geklont werden. Die Massentierzucht erfolgt dann nicht mit den kostbaren Klontieren, sondern mit deren konventionell gezüchteten Nachkommen, welche zur Herstellung von Lebensmitteln verwendet werden. Diese Lebensmittel können billiger erzeugt werden; ob sie auch eine höhere, bessere Qualität haben bzw. haben können, ist derzeit nicht ersichtlich.

Für die Endverbraucher ist gegenwärtig kein direkter Zusatznutzen von geklonten Nutztieren erkennbar und damit am Markt auch nicht vermittelbar (Then & Tippe, 2010; Lyndhurst, 2009). Im Endeffekt ergibt sich die gleiche Situation, wie bei der Nutzung der Gentechnik im Agrarbereich. Warum sollen die Konsumentinnen und Konsumenten eventuell vorhandene Risiken in Kauf nehmen, ohne offensichtlich Nutzen daraus zu ziehen?

Ob und in welchem Umfang tatsächlich schon Lebensmittel aus Klontieren auf dem europäischen Markt sind, ist unklar (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2013).

8.2. Zukünftige rechtliche Regelungen

Die Europäische Kommission wollte das Klonen in einer Novellierung der Novel Food Verordnung genauer regeln. Dieser Vorschlag fand aber keine Zustimmung im Europäischen Parlament. Deswegen wurde das Klonen aus diesem Vorschlag heraus genommen. An Stelle dessen hat die Europäische Kommission Vorschläge für zwei neue Richtlinien gemacht, in denen Klonen explizit geregelt werden soll (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2013 a & 2013 b).

Die erste geplante Richtlinie verbietet den Einsatz der Klontechnik bei landwirtschaftlichen Nutztieren sowie die Einfuhr und das Inverkehrbringen von Klontieren und Klonembryonen. Für andere Zwecke bleibt das Klonen erlaubt. Nicht erfasst sollen nämlich jene Tiere werden, die ausschließlich für andere Zwecke, z.B. Forschung, Herstellung von Arzneimitteln und Medizinprodukten, Erhaltung seltener Rassen und gefährdeter Arten oder für Sport- und Kulturereignisse gehalten und reproduziert werden (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2013 a).

Der zweite Richtlinienentwurf verbietet, dass Lebensmittel von Klontieren in den Verkehr gebracht werden. Die übrigen EU-Organe (Europäisches Parlament und der Rat) werden nun über diese Vorschläge der Kommission beraten und anschließend ihre Standpunkte vorlegen.

Es wird erwartet, dass diese beiden Rechtsakte frühestens im Jahr 2016 in Kraft treten werden (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2013 c). Fraglich ist, ob in der vorliegenden Fassung oder nicht. In der Zwischenzeit wurde von vielen Seiten heftige Kritik geübt, dass zwar die Herstellung und das Inverkehrbringen von Lebensmitteln aus Klontieren verboten werden sollen, aber auf die Nachkommen von Klontieren kein Bezug genommen wird (z.B. SPIEGEL, 2013; DIE WELT, 2013; EU-Ausschuss des Bundesrates, 2014). Die Kritik ist insofern nachvollziehbar, weil es nicht sehr wahrscheinlich ist, dass in Zukunft Lebensmittel aus Klontieren direkt in größerem Ausmaß auf den Markt kommen werden, sondern aus deren Nachkommen. Ein weiterer strittiger Punkt ist die nicht vorgesehene Kennzeichnung von Lebensmitteln (z.B. Fleisch und Fleischwaren, Milch und Milchprodukte, Eier) aus Klontieren.

8.3. Risiken

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) hat bereits 2008 ein Gutachten zum Klonen abgegeben. Dieses Gutachten wurde 2009, 2010 und 2012 durch Ergänzungen aktualisiert (EFSA, 2008).

Die EFSA hält fest, dass es keinen Unterschied bei Lebensmitteln zwischen gesunden Klontieren und gesunden, konventionell gezüchteten Tieren gibt. Das Klonen hat also keine Auswirkungen auf die Sicherheit der Lebensmittel. Sie konstatiert aber Probleme im Zusammenhang mit der Gesundheit der Ersatzmuttertiere (die die Klone austragen) und der Klone selbst. Ersatzmuttertiere leiden insbesondere unter Funktionsstörungen der Plazenta, was zu einer erhöhten Zahl an Fehlgeburten beiträgt. Dies ist einer der Gründe für die geringe Effizienz der Technik (6 – 15 % bei Rindern und 6 % bei Schweinen) und dafür, dass mehreren Muttertieren Klonembryonen eingepflanzt werden müssen, um einen einzigen Klon zu erhalten. Außerdem führen Anomalien der Klone und außergewöhnlich große Nachkommen der ersten Filialgeneration zu schwierigen Geburten und neonatalen Todesfällen. Eine hohe Sterblichkeitsrate ist typisch für die Klontechnik.

Kritik an den Ausführungen der EFSA gibt es insofern, dass die häufigeren, gesundheitlichen Probleme bei Nachkommen von Klontieren auf die Lebensmittelsicherheit nicht entsprechend gewürdigt wird (z.B. Then & Tippe, 2010).

8.4. Informationsstand und Akzeptanz der Konsumentinnen und Konsumenten

Seit dem Klonschaf Dolly ist diese Technik im Bewusstsein der Bevölkerung an und für sich gut verankert. Das Klonen von Nutztieren zur Lebensmittelerzeugung wird aber eher sehr kritisch gesehen. 58 % der EU-Bürger sagen, die Nutzung dieser Technik für Nutztiere wird niemals gerechtfertigt sein (Harrington, 2010; Lyndhurst 2009). Es ergibt sich eine ähnlich breite Ablehnung wie bei der Gentechnik (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2010). Falls in Zukunft keine Kennzeichnung von Lebensmitteln aus Nachkommen von Klontieren vorgesehen wird, erübrigt sich eine Diskussion bezüglich der Akzeptanz, weil die Konsumentinnen und Konsumenten solche Lebensmittel gar nicht erkennen können. Ähnlich wie bei Lebensmitteln aus gentechnisch veränderten Organismen wird es wahrscheinlich zu einer Negativkennzeichnung kommen („klonfrei“, „nicht aus geklonten Tieren erzeugt“ usw.).

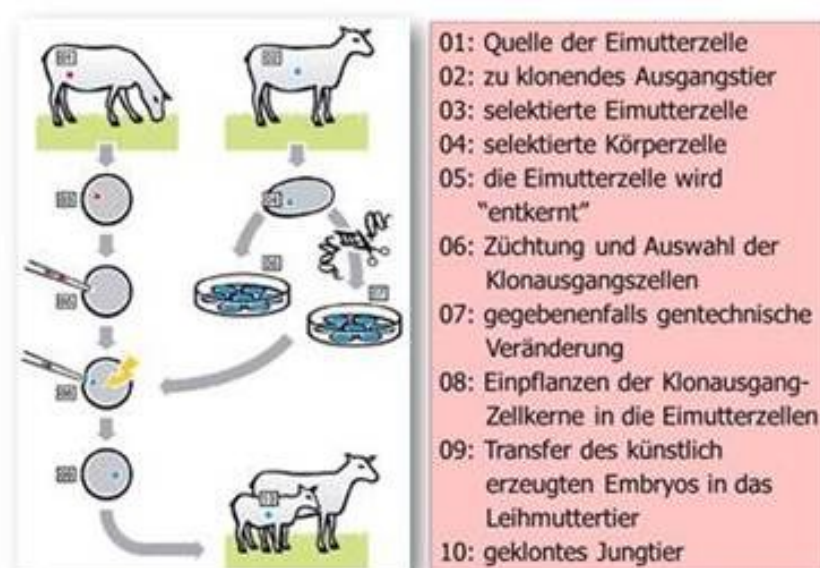


Abb. 3.8.1: Der Prozess des Klonens mittels Zellkultivierung und Transgenese (mod. nach Then & Tippe, 2010)

9. Literatur zu Teil 3

- AGES (2015): AGES nimmt Stellung zu Noni-Saft. (www.ages.at/themen/lebensmittel/neuartige-lebensmittel/noni-saft/; Zugriff 8.3.2015)
- Allenby B. and Mattick C. (2014): The future of meat (<http://issues.org/30-1/carolyn/>; Zugriff 06.03.2015)
- Annapure U.S., Singhal R.S. and Kulkarni P.R. (1998): Studies on deep-fat fried snacks from some cereals and legume. *Journal of Science of Food and Agriculture* 76, 377–382
- Anonym (2014): Vermont führt als erster US-Bundesstaat Gentechnik-Kennzeichnung ein - Umsetzung fraglich. *transparenzGentechnik* (www.transgen.de/aktuell/1782.doku.html)
- Anonym (2015): Labeling around the world. (<http://justlabelit.org/right-to-know/labeling-around-the-world/>; Zugriff 02.11.2014)
- Assis S.A.D, Fernandes F.P., Martins A.B.G. and Oliveira O.M.M.D.F. (2008): Acerola: Importance, culture conditions, production and biochemical aspects (Review). *Fruits*, 63 93-101
- Atwell W.A., Patrick B.M., Johnson L.A. and Glass R.W. (1983): Characterization of Quinoa Starch. *Cereal Chemistry* 60, 9-11
- Ayieko M., Oriaro V. and Nyambuga I. (2010): Processed products of termites and lake flies: Improving entomophagy for food security within the Lake Victoria region. *African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Development*, 10(2), ISSN 1684 5374
- Bagdi A., Balázs G., Schmidt J., Szatmári M., Schoenlechner R. and Berghofer E. (2011): Protein characterization and nutrient composition of Hungarian proso millet varieties and the effect of decortication. *Acta Alimentaria* 40, 128-141
- Banjo A.D., Lawal O.A. and Adeyemi A.I. (2006): The microbial fauna associated with the larvae of *Oryctes monocerus*. *J. Appl. Sci. Res.* 2, 837–43
- BDP (2013): Wir wie von der Natur lernen: Neue Werkzeuge in der Pflanzenzüchtung sichern Vielfalt und Fortschritt. Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter, Positionspapier, 2.7.2014
- Beatty S.; Koh H.; Phil M., Henson D. and Boulton M. (2000): The role of oxidative stress in the pathogenesis of age-related macular degeneration. *Surv. Ophthalmol.* 45, 115–134
- Becker E.W. (2007): Micro-algae as a source of protein (Review). *Biotechnology Advances* 25, 207-210
- Bellido G.G. and Beta T. (2009): Anthocyanin Composition and Oxygen Radical Scavenging Capacity (ORAC) of Milled and Pearled Purple, Black, and Common Barley. *J. Agric. Food Chem.* 57, 1022–1028
- Berghofer E., Schönlechner R., Siebenhandl S. und Zeytlick G. (2006): Rohstoffe mit Potenzial - Funktionelle Lebensmittel aus Getreide, Pseudogetreide und Leguminosen. *Lebensmitteltechnik* 4, 68-69
- BfG (2012): Cisgenesis-Bundesministerium für Gesundheit. Report Oktober 2012, ISBN 978-3-902611-60-04
- BfR (2014): Anträge auf Zulassung neuartiger Lebensmittel gemäß Artikel 4 der Verordnung (EG) Nr. 258/97 (Stand: 17.04.2014). Bundesanstalt für Risikoforschung. (www.bfr.bund.de/cm/343/140417-antraege-auf-zulassung-neuartiger-lebensmittel-gemaess-artikel-4-der-verordnung-eg-nr-258-97.pdf, Zugriff 20.03.2015)
- Bhat Z.F. and Fayaz H. (2011): Prospectus of cultured meat – advancing meat alternatives. *J. Food. Sci. Technol.* 48, 125-140
- Bhatta R.S. (1999): The potential of hull-less barley. *Cereal Chemistry* 76, 589-599
- Black food: (<http://www.kochmix.de/kochmagazin-black-food--der-neue-trend-schwarze-nahrungsmittel-teil-1-642.html>)
- BMLFUW, 2013: Getreideanbau und Getreidearten in Österreich. (www.bmlfuw.gv.at/land/produktion-maerkte/pflanzliche-produktion/getreide/Getreide.html; Zugriff 12.2.2015)
- Borghi B., Castagna R., Corbellini M., Heun M. and Salamini F. (1996): Breadmaking quality of einkorn wheat (*Triticum monococcum ssp. monococcum*). *Cereal Chem.* 73, 208–214

- Brazaitytė A, Sakalauskienė S, Samuolienė G, Jankauskienė J, Viršilė A, Novičkovas A, Sirtautas R, Miliauskienė J, Vaštakaitė V, Dabašinskas L, Duchovskis P. (2015): The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. *Food Chem.* 173, 600-606
- Brouns F., Hemery Y., Price R. and Anson N.M. (2012): Wheat Aleurone: Separation, Composition, Health Aspects, and Potential Food Use (Review). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 52, 553-568
- Bukkens S.G.F. (1997): The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food Nutrition* 36, 287-319
- Cai Z. Q. (2011): Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants. *Crop Prod.* 1235-1237
- Calvo M. M. (2005): Lutein: A valuable ingredient of fruit and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 45, 671-696
- CBI Product Factsheet (2015): Sacha Inchi oil in the EU and EFTA. Practical market insights into your product. (www.cbi.eu/sites/default/files/study/product-factsheet-sacha-inchi-oil-europe-vegetable-oils-oilseeds-2014.pdf; Zugriff 12.3.2015)
- Chakravorty J., Ghosh S. and Meyer-Rochow B. (2011): Practices of entomophagy and entomotherapy by members of the Nyishi and Galo tribes, two ethnic groups of the state of Arunachal Pradesh (North-East India). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 7, 5-10
- Chan H.C., Chang R.C., Koon-Ching I.A., Chiu K., Yuen W.H., Zee S.Y. and So K.F. (2007): Neuroprotective effects of *Lycium barbarum* Lynn on protecting retinal ganglion cells in an ocular hypertension model of glaucoma. *Exp Neurol.* 203, 269-73
- Chaudhary R. C. (2003): Speciality rices of the world: Effect of WTO and IPR on its production trend and marketing. *Journal of Food Agriculture and Environment* 1, 34-41
- Chen F., Cole P., Mi Z., and Xing L.-Y. (1993): Corn and wheat flour consumption and mortality from esophageal cancer in Shanxi, China. *Int. J. of Cancer* 53, 902-906
- Chen X., Feng Y. and Chen Z. (2009): Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research* 39, 299-303
- Christaki E., Florou-Paneri P. and Bonos E. (2011): Microalgae: a novel ingredient in nutrition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8), 794-799
- Christensen D., Orech F., Mungai M., Larsen T., Friis H. and Aargaard-Hansen J. (2006): Entomophagy among the Luo of Kenya: a potential mineral source? *Int. J. of Food Sciences and Nutrition* 57, 198-203
- Clive J. (2014): Global status of commercialized biotech/GM Crops: 2014. ISAAA Brief No. 49
- Cofrades S., López-López I., Solas M., Bravo L. and Jiménez-Colmenero F. (2008): Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems. *Meat Science* 79, 767-776
- Corbo M.R., Bevilacqua A., Petruzzini L., Casanova F.P. and Sinigaglia M. (2014): Functional beverages: The emerging side of functional foods. Commercial trends, research, and health implications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13, 1192-1206
- D'Egidio M.G., Nardi S. and Vallega V. (1993): Grain, flour, and dough characteristics of selected strains of diploid wheat, *Triticum monococcum* L. *Cereal Chem.* 70, 298-303
- Dabringer M. (1996): Eine ethnobotanische Betrachtung des Gänsefußgewächses *Chenopodium quinoa* Wild. unter besonderer Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Bedingungen agrarischer Produktion in der ecuadorianischen Sierra. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien
- Dahlhoff C., Fürst R.W., Ruhlig K., Sedlmeier E.M. und Bader B.L. (2008): Epigenetik und Ernährung. *Ernährung* 2, 116-124
- DAILYMAIL, (2014): Now THAT'S a power plant! Indoor farm grows 10,000 heads of lettuce a DAY using lights that mimic day and night. (<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2687674/Now-THATS-power-plant-Indoor-farm-grows-10-000-heads-lettuce-DAY-using-lights-mimic-day-night.html>)
- Datamonitor (2015): Product launch analytics. (www.datamonitor.com; Zugriff 8.3.2015)

- Davies K. and Deroles S.C. (2014): Prospects for the use of plant cell cultures in food biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology* 26, 133-140
- Dawczynski C., Schubert R. and Jahreis G. (2007): Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chemistry* 103, 891-899
- Dawson F. and M. Stones: Food firms look to sensory claims. (www.foodmanufacture.co.uk/content/view/print/581136; Zugriff 10.10.2014)
- De Jesus Raposo M.F., De Morais R.M.S.C. and De Morais A.M.M.B. (2013): Health applications of bioactive compounds from marine microalgae (Review). *Life Sciences* 93, 479-486
- De Oliveira M., Ponte Freitas A., Urano Carvalho A., Tavares Sampaio T., Farias D., Teixeira A., Gouveia S.T., Pereira J., and De Castro Catanho de Sena M.M.. (2009): Nutritive and non-nutritive attributes of washed-up seaweeds from the coast of Ceará, Brazil. *Food Chemistry* 115, 254-259
- DeStatis.de (2015): (www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Internationales/Thema/Tabellen/Basistabelle_KonsumN.html)
- DIE PRESSE (2010): Nestlé: Lebensmittel als Medizin. (<http://diepresse.com/home/wirtschaft/international/597664/print.do>, 27.08.2009)
- DIE WELT (2013): EU-Bürgern wird unbemerkt Klon-Fleisch verkauft. (<http://www.welt.de/wirtschaft/article122963615/EU-Buergern-wird-unbemerkt-Klon-Fleisch-verkauft.html>; Zugriff 07.03.2015)
- Diplock A.T., Aggett P.J., Ashwell M., Bornet F., Fern E.B. and Roberfroid M.B. (1999): Scientific concepts of functional foods in Europe: Consensus Document". *British J. of Nutrition* 81, 1-27
- Dogra S., Sakwinska O., Soh S-E., Ngom-Bru C., Brück WM., Berger B., Brüssow H., Lee Y-S, Yap F., Chong Y-S, Godfrey KM and Holbrook JD (2015): Dynamics of infant gut microbiota are influenced by delivery mode and gestational duration and are associated with subsequent adiposity. *mBio* 6(1):e02419-14., doi:10.1128/mBio.02419-14
- Dönges J. (2014): Genetisch veränderte „Superbanane“ soll Mangelerscheinungen bekämpfen. (www.spektrum.de/news/genetisch-veraenderte-superbanane-soll-mangelerscheinungen-bekaempfen/1295892; Zugriff 3.3.2015)
- Ebert V. (2013): Wie Lebensmittel den Organismus mitformen – Auswirkungen der Ernährung auf das Epigenom. (www.scienceinschool.org/print/4324)
- Edelmann P.D., McFarland D.C., Mironov V.A.Matheny J.G. (2005): *In vitro*-cultured meat production. *Tissue Engineering* 11, 659-662
- EFSA (2011): Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans from oats and barley and maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentrations (ID 1236, 1299), increase in satiety leading to a reduction in energy intake (ID 851, 852), reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 821, 824), and “digestive function” (ID 850) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal* 2011, 21 pp
- EFSA (2012 a): Lebensmittelsicherheit, Tiergesundheit und Tierwohl sowie ökologische Auswirkungen von durch Kerntransfer somatischer Zellen gewonnenen Klonen, ihrer ersten Filialgeneration und der von diesen Tieren gewonnenen Erzeugnisse (Gutachten und Erklärungen) (www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/767.pdf)
- EFSA (2012 b): Scientific opinion addressing the safety assessment of plants developed through cisgenesis and intragenesis. *EFSA Journal* 10, 2651
- Eggum B.O. and Beame R.M. (1983): The nutritive value of seed proteins. In: Gottschalk W., Müller P.H. (Eds) *Seed Protein Biochemistry, Genetics and Nutritive Value*, 499–531
- Epigenom-Netzwerk (2015 a): Wir sind was wir essen. (<http://epigenome.eu/de/2,48,1015>; Zugriff 26.02.2015)
- Epigenom-Netzwerk (2015 b): Essen für das Epigenom. (<http://epigenome.eu/de/2,48,1018>; Zugriff 26.02.2015)

EU-Ausschuss des Bundesrates (2014): EU: Klonen von Tieren für die Lebensmittelerzeugung. Aussendung des Pressedienst des Parlaments, 13. Februar 2014

EU-Kommission (2009 a): Entscheidung der Kommission vom 13. Oktober 2009 über die Zulassung des Inverkehrbringens von Chiasamen (*Salvia hispanica*) als neuartige Lebensmittelzutat gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union. Nr. L 294 vom 11. November 2009, 14

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2009 b): Entscheidung der Kommission vom 22. April 2009 zur Genehmigung des Inverkehrbringens des Eis-strukturierenden Proteins Typ III HPLC 12 als neuartige Lebensmittelzutat gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union, 25.4.2009, L 105/15

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2010): European and biotechnology in 2010.
(<http://ec.europa.eu/research/resarch-eu>)

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013 a): Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über das Klonen von Rindern, Schweinen, Schafen, Ziegen und Equiden, die für landwirtschaftliche Zwecke gehalten und reproduziert werden. Brüssel, den 18.12.2013, COM(2013) 892 final, 2013/0433 (COD)

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013 b): Vorschlag für eine Richtlinie des Rates über das Inverkehrbringen von Lebensmitteln von Klontieren. Brüssel, den 18.12.2013, COM(2013) 893 final, 2013/0434 (APP)

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013 c): Lebensmittel: Kommission legt Vorschläge über das Klonen von Tieren und zu neuartigen Lebensmitteln vor. Pressemitteilung, 18. 12. 2013, IP/13/1269)

EUROPEAN COMMISSION (2015): Notifications of novel foods.
(http://ec.europa.eu/food/food/biotechnology/novelfood/notif_list_en.pdf; Zugriff 08.03.2015)

FAOSTAT (2015): ©FAO Statistics Division 2015, <http://faostat.fao.org> , Zugriff März und April 2015

FINADVICE (2011): Der weltweite Sojamarke und die europäische Eiweißlücke. Vortrag beim 3. Österr. Soja-Symposium. LBWFS Ritzlhof, 7. Juni 2011

Fleurence J. (1999): Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. Trends in Food Science and Technology, 10, 25-28

Food in Canada (2015): Black is the new black. Antioxidant-rich black rice is an exotic staple quickly gaining popularity in North America. (www.foodincanada.com/features/black-new-black/; Zugriff 14.02.2015)

Frohnwieser K. und Verbeek U. (2013): Health-Claims-Sammelverfahren – Fokus: „On hold“-Claims. Deutsche Lebensmittelrundschau 109, 388-389

Futurefoodstudio (2015): Willkommen beim Ento-Trend. (www.futurestudio.at; Zugriff 8.3.2015)

GE REPORTS (2015 a): The future of Agriculture. (www.gereports.com/post/105532612260/the-future-of-agriculture-indoor-farms-powered-by; Zugriff 15.02.2015)

GE REPORTS (2015 b): Lettuce see the future: Japanese farmer builds high-tech indoor veggie factory. (www.gereports.com/post/91250246340/lettuce-see-the-future-japanese-farmer-builds; Zugriff 15.02.2015)

Geschäftsstelle Deutscher Zukunftspreis - Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. (2015): Bundespräsident Joachim Gauck verleiht Deutschen Zukunftspreis 2014. (www.deutscher-zukunftspreis.de/de/news/bundespraesident-joachim-gauck-verleiht-deutschen-zukunftspreis-2014; Zugriff 8.3.2015)

Goodwyn J.N. and Shoulders C.W. (2013): The future of meat: A qualitative analysis of cultures meat media coverage. Meat Science 95, 445-450

Gouveia L. and Oliveira A. (2009): Microalgae as a raw material for biofuels production. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology 36, 269-274

Grassmann, M. (2015): Die ganze Wahrheit über die Lebensmittelpreise. Artikel aus Zeitung Die Welt 13. Mrz. 2015 (www.welt.de/133552242, Zugriff am 12.3.2015)

- Grausgruber H., Miesenberger S., Schoenlechner R. and Vollmann J. (2008): Influence of dough improvers on whole-grain bread quality of Einkorn wheat. *Acta Alimentaria* 37, 379–390
- Grausgruber H., Schoenlechner R., Zahlner V., Berghofer E. and Ruckebauer P. (2004): Beta-glucan content of old and modern spring barleys. [9th International Barley Genetics Symposium, Brno, Czech Republic, 20-26 June 2004] In: J. Spunar, J. Janikova: 9th International Barley Genetics Symposium, 20-26 June 2004, Brno, Czech Republic; Proceedings - Part II (Poster Presentations), 442-448; Agricultural Research Institute Kromeriz, Ltd., Kromeriz, Czech Republic; ISBN 80-902545-9-4
- Groth J. (2013): Therapeutisches und reproduktives Klonen. (www.meine-molekuele.de/therapeutisches-und-reproduktives-klonen/; Zugriff 08.03.2015)
- Gruenwald J. (2015): Foods for special medical purposes: An end to the confusion? (www.nutraceuticalsworld.com/issues/2015-01/view_columns/foods-for-special-medical-purposes-an-end-to-the-confusion/; Zugriff 27.02.2015)
- Guidel-Urbano M. and Goni, I. (2002): Effect of edible seaweeds (*Undaria pinnatifida* and *Porphyra tenera*) on the metabolic activities of intestinal microflora in rats. *Nutrition Research* 22, 323-331
- Guillén M.D., Ruiz A., Cabo N., Chirinos R. and Pascual G. (2003): Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil. *J Am Oil Chem Soc.* 80, 755-762
- Gutiérrez L., Rosada L. and Jiménez Á. (2011): Chemical composition of Sacha Inchi seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas Y Aceites* 62, 76-83
- Hackstein J.H. P. and Stumm C.K. (1994): Methane production in terrestrial arthropods. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91, 5441-5445
- Hahne D. (2012): Epigenetik und Ernährung: Folgenreiche Fehlprogrammierung. *Deutsches Ärzteblatt* 109(40), A-1986-A-1987
- Harrington R. (2010): Consumers suspicious of nanotech, irradiation and cloning. *FOOD production.daily* (www.foodproductiondaily.com/content/view/print/280683)
- Healthgrain (2015): Healthgrain Forum (www.healthgrain.org/; Zugriff 25.3.2015)
- Heinrich M., Dhanjia T. and Casselman I. (2011): "Açai (Euterpe oleracea Mart.) - A phytochemical and pharmacological assessment of the species' health claims". *Phytochemistry Letters* 4, 10-21
- Hirschi, K.D. (2009): Nutrient biofortification of food crops. *Annu. Rev. Nutrition* 29, 401-421
- HONG KONG INSTITUTE OF EDUCATION (2015): Plant cellcultures (www.ied.edu.hk/biotech/eng/classrm/class_agr6.html; Zugriff. 03.03.2015)
- info360 Media (2015): Chiasamen-Info. (www.chia-samen.info/; Zugriff 12.3.2015)
- International Rice Research Institute (IRRI) (2015): (www.irri.org; Zugriff 14.2.2015)
- Izydorczyk M.S., Storsley J., Labossiere D., MacGregor A.W. and Rossnagel B.G. (2000): Variation in total and soluble β-glucan content in hullless barley: effects of thermal, physical, and enzymic treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 982-989
- Jiménez-Chillarón J.P., Díaz R., Martínez D., Pentinat T., Ramón-Krauel M., Ribó S. and Plösch T. (2012): The role of nutrition on epigenetic modifications and their implications on health. *Biochimie* 94, 2242-2263
- Jiménez-Escrig A. and Sánchez-Muniz F. (2000): Dietary fibre from edible seaweeds: chemical structure physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition Research* 20, 585-598
- Kadam S and Prabhasankar P. (2010): Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. *Food Research International* 43, 1975-1980
- Kaffsack H.-J. (2013): UN werben für mehr Insekten auf dem Speiseplan. *Die Welt*, 13.05.2013 (www.welt.de/116143425)
- Kanchiswamy C.N., Sargent D.J., Velasco R., Maffei M.E. and Malnoy M. (2014): Looking forward to genetically edited fruit crops. *Trends in Biotechnology* 32, 1-3

- Khlestkina E., Röder M.S., Grausgruber H. and Börner A. (2006): A DNA fingerprinting-based taxonomic allocation of Kamut wheat. *Plant Genetic Resources*, 4, 172–180
- Kinner M., Nitschko S., Sommeregger J., Petrasch A., Linsberger-Martin G., Grausgruber H., Berghofer E. and Siebenhandl-Ehn S. (2011): Naked barley - Optimized recipe for pure barley bread with sufficient beta-glucan according to the EFSA health claims. *Journal of Cereal Science* 53, 225-230
- Kok E.J., Pedersen J., Onori R., Sowa S., Schauzu M., DeSchrijver A. and Teeri T.H. (2014): Plants with stacked genetically modified events: To assess or not to assess? *Trends in Biotechnology* 32, 70-73
- Kubotu C. (2015): Indoor cultivation for the future. Mirai, Co., Ltd.
(www.fieldrobotics.org/~ssingh/VF/Challenges_in_Vertical_Farming/Schedule_files/SHIMAMURA.pdf)
- Kuskoski E.M., Asuero A.G., Morales M.T. and Fett R. (2006): Wild fruits and pulps of frozen fruits: antioxidant activity, polyphenols and anthocyanins. *Cienc. Rural* 36, 1283-1287
- Kussmann M. and Fay L.B. (2008): Nutrigenomics and personalized nutrition: Science and Concepz. *Personalized Medicine* 5, 447-455
- Leatherhead Food Research (2014): Functional foods market increases in size. Press release, 24 November 2014 (www.leatherheadfood.com/functional-foods-market-increases-in-size)
- Lembacher F. and Schally H. (2014): Emmer und Einkorn. NÖ. Landes-Landwirtschaftskammer
(www.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2009.11.23%2F1258966918.pdf&rn=Emmer-einkorn.pdf; Zugriff 12.2.2015)
- Lenihan-Geels G., Bishop K. and Ferguson L. (2013): Alternative sources of omega-3 fats: can we find a sustainable substitute for fish? *Nutrients* 5, 1301-1315
- Lyndhurst B. (2009): An evidence review of public attitudes to emerging food technologies. Social Science Research Unit Food Standards Agency (UK), March 2009
- Ma G., Zhang L., Kato M, Yamawaki K., Kiriwa Y., Yahata M., Ikoma Y. and Matsumoto H. (2011): Effect of blue and red LED light irradiation on β -cryptoxanthin accumulation in the flavedo of citrus fruits. *J. Agric Food Chem.* 60, 197-201
- MAASTRICHT UNIVERSITY (2015): First-ever public tasting of lab-grown cultured beef burger.
(<http://www.maastrichtuniversity.nl/web/Main/Research/ResearchUM/FirsteverPublicTastingOfLabgrownCulturedBeefBurger.htm>; Zugriff 05.03.2015)
- MacEvilly C. (2000): Bugs in the system. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin* 25, 267-268
- Mahlknecht U. (2013): Der Krebs im Visier: Epigenetische Einflüsse der Nahrung auf die Karzinogenese und Aspekte der Prävention. *Aktuelle Ernährungsmedizin* 38, S37-S41
- Mares-Perlman J. A., Millen A. E., Ficek T. L. and Hankinson S. E. (2002): The body of evidence to support a protective role for lutein and zeaxanthin in delaying chronic disease. Overview. *J. Nutr.* 132, 518–524
- Martha G.C., Armando R.T., Carlos A.A., Medina-Vera I., Gil-Zenteno L., Hernández-Viveros I., López-Romero P., Ordaz-Nava G., Canizales-Quinteros S., Guillen Pineda L.E. and Torres N. (2012): A dietary pattern including Nopal, Chia seed, soy protein, and oat reduces serum triglycerides and glucose intolerance in patients with metabolic syndrome. *Journal of Nutrition* 142, 64–69
- Maurer N. E., Hatta-Sakoda B., Pascual-Chagman G. and Rodriguez-Saona L. E. (2012): Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Food Chem* 134, 1173-1180
- Mehner K. (2013): Ernährungstrends-2012. (www.gesundheit.de/ernaehrung/gesund-essen/ernaehrung-und-lebensstil/ernaehrungstrends-2012; Zugriff 12.02.2015)
- Moreno Y.S., Salinas C.G., Estrada B.C. and Vidal Martínez V.A. (2013): Variability in content and type of anthocyanins in blue/purple colored grains of Mexican maize populations (Review) [Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz]. *Revista Fito-tecnia Mexicana*, 285-294
- Müller-Jung J. (2014): Machtkampf um den Goldenen Reis. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 15.01.2014
(www.faz.net/aktuell/wissen/medizin/kampagne-gegen-greenpeace-machtkampf-um-den-goldenen-reis-

12750595.html)

Nestel P., Bouis H.E., Meenakshi J.V. and Pfeiffer W. (2006): Biofortification of staple food crops. *Journal of Nutrition* 136, 1064-1067

NESTLÉ (2014 a): Nestlé boosts research into cutting-edge maternal nutrition and epigenetics. (www.nestle.com/media/newsandfeatures/nestle-research-epigenetics, Dec. 2014)

NESTLÉ (2014 b): Could what your grandma ate matter for your health today? (www.nestle.com/media/newsandfeatures/epigenetics-infographic, Dec. 2014)

NESTLÉ (2015): Joint Nestlé study highlights factors that impact key infant gut bacteria. (www.nestle.com/Media/news/Nestle-study-highlights-factors-that-impact-infant-gut-bacteria, 3. Feber 2014)

New Nutrition Business (2015): New 10 Key Trends in Food, Nutrition & Health 2015. (www.new-nutrition.com/report/showReport/1235; Zugriff 12.02.2015)

Nishimune T., Watanabe Y. and Okazaki H., Akai H. (2000): Thiamin is decomposed due to Anopheles spp. Entomophagy in seasonal Ataxia patients in Nigeria. *The Journal of Nutrition*, 1625-1628

Norlaily Mohd A., Swee Keong Y., Wan Yong H., Boon Kee B., Sheau W. and Soon Guan T. (2012): The Promising Future of Chia, *Salvia hispanica* L. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, Article ID 171956

Normand L. (2014): Beauty claims fallen nicht unter die Health Claims-Verordnung. Vortrag 1. Fresenius Konferenz zum Schwerpunktthema „Food Supplements“ (Akademie Fresenius), Dortmund, Mainz, 7. Juli 2014

Nürnbergmesse GmbH (2015): Biofach 2015. (www.biofach.de/; Zugriff 08.03.2015)

NutraIngredients (2011) 'Insufficient and unconvincing' scientific evidence to promote Açai, says review". *NutraIngredients-USA.com*, 16 Mar 2011; Zugriff 03.03.2015

Oh S., Park S.-Y., Yeo Y., Park S.K. and Kim H.-Y. (2015): Comparative analysis of genetically modified brown rice with conventional rice varieties for the safety assessment. *Int. J. Food Sci. Techn.*, doi:10.1111/ijfs.12742

OKANAGAN SPECIALITY FRUITS (2015): Beauty of Arctic apples ist more than skin deep & The advantages of a nonbrowning apple are clear. (www.okspecialityfruits.com/arctic-apples/; Zugriff 28.02.2015)

Olionatura (2015): Sacha Inchi Öl. (www.olionatura.de/oele/index.php?id=30; Zugriff 12.03.2015)

Olivo L. (2014): The great GMO debate. Varying views on biotech crops took the stage at supply side west. (www.nutraceuticalsworld.com/contents/view_online-exclusives/2014-11-04/the-grat-GMO-debate)

Pacheco-Palencia L.A., Mertens-Talcott S. and Talcott S.T. (2008): Chemical composition, antioxidant properties, and thermal stability of a phytochemical enriched oil from Açai (*Euterpe oleracea* Mart.). *Journal of Agricultural Food Chemistry* 56 (12), 4631-4636

Pascucci S. and De-Magistris T. (2013): Information bias condemning radical food innovators? The case of insect-based products in the Netherlands. *International Food and Agribusiness Management Review* 16, 1-16

Perez E., Bahanassey Y.A. and Breene W.M. (1993): Some chemical, physical, and functional properties of native and modified starches of *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus cruentus*. *Starch/Stärke* 45, 215-220

Plaza M., Cifuentes A. and Ibáñez E. (2008): In the search of new functional food ingredients from algae. *Trends in Food Science and Technology* 19, 31-39

Pollock C.J. and Hails R.S. (2014): The case of reforming the EU regulatory system for GMOs. *Trends Biotechnol.* 32, 63-64

Pothof C. (2012): Neue Technologie. (www.gen-ethisches-netzwerk.de/gid/212/pothof/neue-technologien; Zugriff 04.03.2015)

Rao S.R. and Ravishankar G.A. (2002): Plant cell cultures: Chemical factories of secondary metabolites. *Bio-technology Advances* 20, 101-153

- Rawdkuen S., D'Amico S. and Schoenlechner R. (2014): A Comparative Study of Functional Properties and In Vitro Digestibility of Protein Isolates from Thailand and Peru Sacha inchi Oil-pressed Cakes In: Mae Fah Luang University, Chang Rai, Thailand, Proceedings "The 2nd International Conference on Agriculture and Agro-Industry 2014 (ICAAI2014)" November 20-21, 2014, Chang Rai, Thailand (no page number, published on CD)
- Richardson D.P. and Eggersdorfer M. (2015): Opportunities for product innovation using authorised European Union health claims. *Int. J. Food Science and Technology* 50, 3-12
- Ródenas de la Rocha S., Sánchez-Muniz F., Gómez-Juaristi M. and Larrea Marín M. (2009): Trace elements determination in edible seaweeds by an optimized and validated ICP-MS method. *Journal of Food Composition and Analysis* 22, 330-336
- Rollin F., Kennedy J. and Wills J. (2011): Consumers and new food technology. *Trends in Food Science and Technology* 22, 99-111
- Rumpold B. and Schlüter O. (2013): Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research* 57, 802-823
- Rupérez P. (2002): Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chemistry* 79, 23-26
- Rützler H. (2014): FOODREPORT 2015. In Herausgeber: Zukunftsinstitut GmbH in Kooperation mit der Lebensmittel Zeitung. ISBN 978-3-938284-88-5, Frankfurt 2014
- Samuolienė G., Brazaitytė A., Sirtautas R., Viršilė A., Sakalauskaitė J., Sakalauskienė S. and Duchovskis P. (2013): LED illumination affects bioactive compounds in romaine baby leaf lettuce. *J. Scie. Food Agric.* 93, 3286-3291
- Sathe S. K., Hamaker B. R., Sze-Tao K. W. C. and Venkatachalam M. (2002): Isolation, purification, and biochemical characterization of a novel water soluble protein from Inca Peanut (*Plukenetia volubilis* L.). *J Agric Food Chem*, 50, 4906-4908
- Saunders R. M., Becker R. (1984): Amaranthus: A potential food and feed resource. *Advances in Cereal Science and Technology* 6, 357-396
- Seddon J. M., Ajani U. A., Sperduto R. D., Hiller R., Blair N., Burton T. C., Farber M. D., Gragoudas E. S., Haller J., Miller D. T., Yannuzzi L. A. and Willett W. (1994): Dietary carotenoids, vitamins A, C and E, and advanced age-related macular degeneration. Eye Disease Case-Control Study Group. *J. Am. Med. Assoc.* 272, 1413–1420
- Shimizu T. (2002): Newly established regulation in Japan: Foods with health claims. *Aisa Pacific J. Clin. Nutrition* 11, 94-96
- Shimizu T. (2003): Health claims on functional foods: The Japanese regulations and an international comparison. *Nutrition Research Reviews* 16, 241-252
- Siebenhandl S., Grausgruber H., Pellegrini N., Del Rio D., Fogliano V., Pernice R. and Berghofer E. (2007): Phytochemical profile of main antioxidants in different fractions of purple and blue wheat, and black barley. *J. Agric. Food Chem.* 55, 8541-8547
- Siebenhandl S., Grausgruber H., Pellegrini N., Del Rio D., Fogliano V., Pernice R. and Berghofer E. (2007): Phytochemical profile of main antioxidants in different fractions of purple and blue wheat, and black barley. *J. Agric. Food Chem.* 55, 8541–8547
- Sompong R., Siebenhandl-Ehn S., Linsberger-Martin G. and Berghofer E. (2011): Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry* 124, 132–140
- Souci S.W., Fachmann W. und Kraut (2013): Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwert-Tabellen. Medpharm (Online Datenbank, <http://www.sfk-online.net>)
- SPIEGEL (2013): Klonverbot der EU: Klontier-Nachfahren werden nicht erfasst. (www.spiegel.de/forum/wissenschaft/klonverbot-der-eu-klontier-nachfahren-werden-nicht-erfasst-thread-108621-1.html; Zugriff 07.03.2015)
- STATISTA (2015): Anteil der Ausgaben der privaten Haushalte in Deutschland für Nahrungsmittel, Getränke

- und Tabakwaren an den Konsumausgaben in den Jahren 1850 bis 2014. (<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/75719/umfrage/ausgaben-fuer-nahrungsmittel-in-deutschland-seit-1900/>; Zugriff 8.3.2015)
- Statistisches Bundesamt (2015): Konsumausgaben privater Haushalte: Nahrungsmittel. (<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Internationales/Thema/Erlaeuterungen/KonsumN.html> ; Zugriff 8.3.2015)
- Suzuki M., Kimura T., Yamagishi K., Shinmoto H., and Yamaki K. (2004): Comparison of mineral contents in 8 cultivars of pigmented brown rice. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 51, 424–427
- Syed Jaafar S.N., Baron J., Siebenhandl-Ehn S., Rosenau T, Böhmendorfer S. and Grausgruber H. (2013): Increased anthocyanin content in purple pericarp × blue aleurone wheat crosses. *Plant Breeding* 132, 546-552
- Taylor J. R. N., Schober T. J., and Bean S. R. (2006): Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science* 44, 252-271
- Tee E.-S. (2002): Nutrition labeling and claims: Concerns and challenges from the Asia pacific region. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 11, 215-232
- THE ECONOMIST (2014): The light fanatic. Indoor farming may be taking root. (www.economist.com/node/21602194/print; Zugriff 05.03.2015)
- THE INDEPENDENT (2014): Japanese plant experts produce 10,000 lettuce heads a day in LED-lit indoor farm. (www.independent.co.uk/news/science/japanese-plant-experts-produce-10000-lettuces-a-day-in-ledlit-indoor-farm-9601844.html; Zugriff 05.03.2015)
- Then C. (2013): 30 years of genetically engineered plants – 20 years of commercial cultivation in the United States: A critical assessment. *Testbiotech* (www.greens-efa.eu/fileadmin/dam/Documents/Studies/GMO/TESTBIOTECH%20Cultivation_GE_%20plants_US.pdf)
- Then C. and Tippe R. (2010): Risiken und Folgen der Einführung geklonter Nutztiere für Agrarwirtschaft und Lebensmittelerzeugung. (www.provieh.de/downloads_provieh/klonstudie_de_lang_layout_final.pdf; Zugriff 10.02.2015)
- Todorov N.A., Pavlov D.C. and Kostov K.D. (1996): Lupin (*Lupinus* spp.). In: *Food and Feed from Legumes and Oilseeds*, ed. by Nwoko E., Smartt J., Chapman & Hall, London, UK
- Tong L., Yu X. and Liu H. (2011): Insect food for astronauts: gas exchange in silkworms fed on mulberry and lettuce and the nutritional value of these insects for human consumption during deep space flights. *Bulletin of Entomological Research*, 1-10
- Trageser G. (2013): Das enttrocknete Genom. *Spektrum der Wissenschaft – Spezial Biologie – Medizin – Hirnforschung* 2(2013:) Gene und Umwelt, 1-16
- TRANSGEN (2015 a): Gentechnisch veränderte Pflanzen (www.transgen.de/anbau/flaechen_international/531.doku.html; Zugriff 02.03.2015)
- TRANSGEN (2015 b): Die neue Anti-Matsch-Tomate (www.transgen.de/datenbank/pflanzen/70.tomate.html; Zugriff 02.03.2015)
- TRANSGEN (2015 c): Cisgene pflanzen: gentechnische Methoden aber nur mit Genen innerhalb der Artgrenzen. (www.transgen.de/pflanzenforschung/verfahren/1796.doku.html; Zugriff 03.03.2015)
- Ulbricht C., Chao W., Nummy K., Rusie E., Tanguay-Colucci S., Iannuzzi C.M, Plammoottil J.B., Varghese M. and Weissner W. (2009): Chia (*Salvia hispanica*): A systematic review by the natural standard research collaboration (Review). *Reviews on Recent Clinical Trials* 4, 168-174
- UMWELTBUNDESAMT (2015): Gesetzliche Regelungen für GVO in der EU. (www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/gentechnik/gentechnikgesetze/euregulatuons/; Zugriff 05.03.2015)
- Van der Spiegel M., Noordam M., Van der Fels-Klerx H. (2013): Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12, 662-678
- Van Huis A., Van Itterbeeck J., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G. and Vantomme P. (2013): Edible

- insects: future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper 171. E
- Van Rensburg S. J. (1981): Epidemiological and dietary evidence for a specific nutritional predisposition to oesophageal cancer. *Journal of the National Cancer Institute* 67, 243-251
- Vantomme P. (2010): Edible forest insects, an overlooked protein supply. *Unasylva* 236, 61
- Verband für Unabhängige Gesundheitsberatung e. V. – Deutschland (2015): Lupine: Die heimische Eiweißquelle (www.ugb.de/lebensmittel-zubereitung/lupine/; Zugriff 10.3.2015)
- VERORDNUNG (EG) Nr. 1924/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. Dezember 2006 über nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben über Lebensmittel
- VERORDNUNG (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 1997 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten
- VERORDNUNG (EG) Nr. 353/2008 DER KOMMISSION vom 18. April 2008 zur Festlegung von Durchführungsbestimmungen für Anträge auf Zulassung gesundheitsbezogener Angaben gemäß Artikel 15 der Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates
- VERORDNUNG (EU) Nr. 609/2013 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 12. Juni 2013 über Lebensmittel für Säuglinge und Kleinkinder, Lebensmittel für besondere medizinische Zwecke und Tagesrationen für gewichtskontrollierende Ernährung
- Vietmayer N. (1981): Rediscovering American's forgotten crops. *Natl. Geogr.* 159, 704-712
- VOSS C. (1990): Quinoa. *Ernährungs-Umschau* 37, 15-25
- Waltz E. (2014): Vitamin A super banana in human trials. *Nature Biotechnology* 32, 857
- Watson E. (2012): The rise and rise of gluten-free: But can the meteoric growth continue? Special Edition: Free from Foods. (www.bakeryandsnacks.com; Zugriff 03.12.2015)
- Welin S. (2013): Introducing the new meat: Problems and prospects. *Etikki i praxis. Nordic Journal of Applied Ethics* 7, 24-37
- WHO (2013): Micronutrient deficiencies: Iron deficiency anaemia. (www.who.int/nutrition/topics/ida/en/index.html; Zugriff 02.02.2015)
- Wolkers H., Barbosa M., Kleinegris D., Bosma R. and Wijffels R.H. (2011): Microalgae: the green gold of the future? Large-scale sustainable cultivation of microalgae for the production of bulk commodities, ©Wageningen UR., NL, ISBN 978-94-6173-062-6
- Woltersdorf H., Rauer S., Knigge N., Rolle A. and Zehle G. (2002): Offenlegungsschrift Patent DE 100 29 743 A 1. Verfahren zum Einbringen von Nahrungsmittelalgen in Backwaren.
- Yen A. (2009): Edible insects: traditional knowledge or western phobia? *Entomological Research*, 39, 289-298
- Zeven A. C. (1991): Wheats with purple and blue grains: A review. *Euphytica* 56, 243-258
- Zhang W., Curtin C. and Franci C. (2002): Towards manipulation of post-biosynthetic events in secondary metabolism of plant cell cultures. *Enzyme and Microbial Technology* 30, 688-696

Teil 4

Lebensmittel- verarbeitung

1. Neue Verfahren zur Lebensmittelverarbeitung - Querschnittstechniken

Soweit es sinnvoll und möglich ist und in der wissenschaftlichen Literatur Hinweise und Fakten zu finden sind, werden für alle neuen Techniken jeweils folgende Aspekte behandelt:

- Stand der Technik
- Potential der neuen Technik
- Rechtliche Aspekte
- Nutzen und Risiken
- Informationsstand, Wahrnehmung und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher

Rechtliche Aspekte – Allgemein: Bei den meisten der in diesem Kapitel angeführten, neuen Verfahren ist immer die rechtliche Einstufung zu hinterfragen und zu prüfen. Sehr oft wird die Novel Food Verordnung zum Tragen kommen, wobei aber gegebenenfalls noch andere Aspekte gesondert zu berücksichtigen sind. In vielen Fällen wird nur eine „case by case“-Entscheidung möglich sein, also immer nur für einen bestimmten Anwendungsfall. Den Produzenten kann deshalb nur geraten werden, schon im Vorfeld Kontakt mit der zuständigen Behörde aufzunehmen.

Informationsstand, Wahrnehmung und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher: Bezüglich dieses Punktes existieren einige Publikationen, die generell und auch spezifisch für einzelne Technologien den Wissensstand und die Akzeptanz beschreiben. Übereinstimmend wird darin festgestellt, dass der Wissensstand der Konsumentinnen und Konsumenten über neue Technologien weltweit sehr gering ist. Die Einstellung gegenüber neuen Technologien ist in Europa generell skeptischer als in anderen Kontinenten (Lyndhurst, 2009, Siegrist, 2008). Die Akzeptanz hängt in großem Ausmaß von der Risikowahrnehmung und von wahrgenommenen, potentiellen Vorteilen ab (Rollin et al., 2011). Wenn persönliche Vorteile oder Vorteile für die Umwelt wahrgenommen werden, besteht die Bereitschaft ein höheres Risiko zu akzeptieren. Solche tatsächlichen oder gefühlten Vorteile können ein geringerer Preis, gesundheitliche Vorteile, Convenience, Nachhaltigkeit und Authentizität (Anonym, 2013 a), oder „Natürlichkeit“ sein. Natürlichkeit ist in den Augen der Konsumenten ein sehr positiv besetzter Begriff, wobei es meistens um eine „gefühlte Natürlichkeit“ geht. Chemische Verfahren reduzieren in den Augen der Bevölkerung die Natürlichkeit mehr als physikalische Verfahren. Gentechnik wird als Manipulation der Natur angesehen, während beispielsweise Nanotechnologie nicht so gesehen wird (Siegrist, 2008).

Ein wichtiger Punkt zur Akzeptanz ist auch das Vertrauen in die Informationsquellen. Diese variiert ebenfalls von Kontinent zu Kontinent. In Asien fungieren die Medien als bevorzugte Informationsquellen. Die Konsumentinnen und Konsumenten in den USA haben größeres Vertrauen in die Gesetzgebung als in Europa. Die Europäer setzen mehr Vertrauen in „Aktivisten“ (NGOs, Konsumentenschutz- und Umweltschutzorganisationen) (Lyndhurst, 2009).

1.1. Struktur- und formgebende Verfahren

1.1.1. Nanotechnologie

Alle unsere Lebensmittel und auch der Mensch selbst sind Konstrukte aus natürlichen Nanostrukturen. **Nanotechnologie hingegen ist die bewusste und kontrollierte Schaffung künstlicher, synthetischer Nanostrukturen, die so in der Natur nicht vorkommen.** Der Begriff Nanotechnologie wurde zwar erst vor einigen Jahrzehnten geprägt, die Menschen haben aber auch schon vorher künstliche Nanostrukturen geschaffen. Das trifft genauso für den Bereich der Lebensmittelverarbeitung zu, wo bei vielen traditionellen Verarbeitungsverfahren in den Lebensmitteln neue Nanostrukturen entstehen. Genau das ist nun ein Problem bei der Erstellung institutionalisierter bzw. rechtlicher Definitionen für den Begriff Nanotechnologie (siehe Kap. 1.1.1.1.).

Nanotechnologie ist eine sogenannte Querschnitts- bzw. Schlüsseltechnologie und umfasst nicht nur einen Bereich, sondern sie spielt in vielen Gebieten der Technik eine entscheidende Rolle, genauso im Bereich Lebensmittel und Ernährung. Während in vielen Technikbereichen und auch in der Medizin die Nanotechnologie schon in größerem Ausmaß Verwendung findet, ist bis jetzt der praktische Einsatz in der Lebensmitteltechnik noch eher bescheiden. Das Potential wird aber hier ebenfalls sehr hoch eingeschätzt.

1.1.1.1. Stand der Technik

Im Folgenden werden nach dem derzeitigen Wissensstand die Möglichkeiten des Einsatzes der Nanotechnologie im Bereich Lebensmittel und Ernährung beschrieben.

Prinzipiell kann der Einsatz der Nanotechnologie gegliedert werden in die Anwendungsgebiete direkt in den Lebensmitteln selbst (*nano inside*) und um die Lebensmittel herum (*nano outside*).

Abb. 4.1.1. zeigt schematisch die potentiellen Einsatzbereiche, von denen in diesem Kapitel nur diejenigen eingehender betrachtet werden, welche direkt in die Lebensmittel neue Nanostrukturen einführen.

Zu Erzielung neuer synthetischer Nanostrukturen gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

Top-down-Strategie: Durch Zerkleinerung werden Strukturen unter 100 nm erreicht (z.B. Kolloidvermahlung oder Mikroemulsion). Es entstehen z.B. Nanopartikel, Nanofasern, Nanopulver oder Nanoemulsionen. Partikel in dieser Größenordnung haben eine enorm vergrößerte Oberfläche und weisen deshalb ganz andere Eigenschaften auf (z.B. größere Reaktionsfreudigkeit, verbesserte Textur und sensorische Eigenschaften, bessere Bioverfügbarkeit).

Bottom-up-Strategie: Atome oder Moleküle werden durch Zwangsmaßnahmen oder auch durch Selbstanordnung (z.B. Monoglyceride) zu Nanostrukturen (Nanotubes, Nanokapseln, Nanosomen, Nanomaschinen usw.) geformt. Diese Nanoprodukte können weiter zu Mikro- und Makrostrukturen aufgebaut oder angeordnet werden. In der Natur existieren beeindruckende Beispiele für die Anordnung von Nano- zu Makrostrukturen (z.B. Pflanzen, Bäume, Tiere, Menschen).

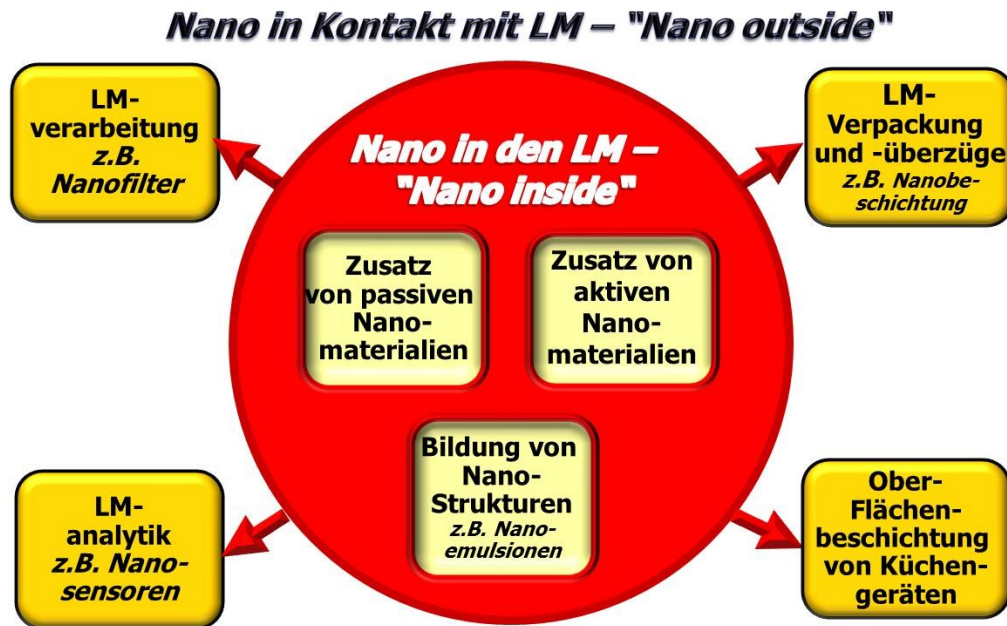


Abb. 4.1.1.: Prinzipielle Möglichkeiten zur Anwendung von Nanotechnologie im Lebensmittel- und Ernährungsbereich

Zugabe von passiven Nanomaterialien direkt zu Lebensmitteln

Anorganische oder organische Zusatzstoffe, Mineralstoffe und Nährstoffe in nanoskaliger Form [⇒ ENPs (*engineered nanoparticles*)] können eine Reihe von technisch-funktionellen und bio-funktionellen Vorteilen bei ihrer Zugabe zu Lebensmitteln ergeben. Sie wirken aufgrund ihrer Nanoskaligkeit und sollen nicht in Wechselwirkung mit anderen Inhaltsstoffen treten. Bei anorganischen, nanoskaligen Stoffen wird auch von "harter Nanotechnologie" gesprochen, während die Verwendung von organischen bzw. biologischen, nanoskaligen Stoffen als "weiche Nanotechnologie" benannt wird.

An Hand von Beispielen, die derzeit schon praktische Verwendung finden oder diskutiert werden, sollen die beabsichtigten Wirkungen näher erläutert werden.

ANORGANISCHE ZUSATZSTOFFE IN NANOPARTIKULÄRER FORM

Siliziumdioxid wird seit langem als Rieselhilfsmittel in trockenen Lebensmitteln eingesetzt (Zusatzstoff mit der E-Nummer 551). Bei der Herstellung dieses Produktes entstehen zwar intermediär nanoskalige Partikel, die aber sofort zu größeren Partikeln weit über 100 nm aggregieren. Die verwendete Kieselsäure ist zwar nanostrukturiert, weil sie aus nanoskaligen Teilchen zusammengesetzt ist, das verwendete Produkt besteht jedoch nicht aus Nanopartikeln.

Titandioxid: Nanopartikuläres Titandioxid wird im Kosmetikbereich bereits eingesetzt (z.B. in Sonnencremes). In Bulkform ist Titandioxid ein erlaubter Lebensmittelzusatzstoff (E-Nummer 171) und dient als weißer Pigmentfarbstoff, beispielsweise für Süßwaren. Im Jahr 1995 wurde von der Firma Mars ein Patent angemeldet in dem neben Titandioxid auch Silizium-, Calcium-, Zink- und Manganoxid zur Nanobeschichtung von Süßwaren vorgeschlagen werden, um die Fettreifbildung auf Schokolade zu verhindern (Beyer et al., 1998). Dieses Patent wird sehr häufig in diversen Internetseiten als Beispiel für den Einsatz der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich zitiert. Es wurde aber noch nie praktisch umgesetzt und wird wahrscheinlich nie zum Einsatz kommen. Nach der gegenwärtigen Rechtslage in der EU (siehe Kap. 1.1.1.3.) muss nämlich nanopartikuläres Ti-

tandioxid schon jetzt als Zusatzstoff neu bewertet und zugelassen werden. Abgesehen davon ist Titanoxid, egal in welcher Form, kein erlaubter Zusatzstoff für Schokolade.

ANORGANISCHE STOFFE IN NANOPARTIKULÄRER FORM ZUR ERHÖHUNG DER BIOVERFÜGBARKEIT

Die Tatsache, dass sich die Bioverfügbarkeit von Stoffen in Nanoform verbessert, wird vor allem im Bereich der Nahrungsergänzungsmittel bereits in größerem Umfang genutzt. Bei Lebensmitteln gibt es ebenso Beispiele dafür. Keines dieser Produkte findet sich aber in Österreich auf dem Markt.

Nano-Calcium: Calciumverbindungen in Nanoform können Lebensmitteln zugesetzt werden. Der Vorteil gegenüber der herkömmlichen Calciumanreicherung liegt darin, dass nanoskalige Calciumverbindungen keine Trübung ergeben, sich nicht entmischen und besser resorbiert werden (Erfanian et al., 2014). Tatsächlich fanden sich in der Datenbank DATAMONITOR-Consumer (2015) bereits vor 2011 einige solche Lebensmittel. Als Calciumquelle können verschiedene calciumhaltige Mineralstoffe dienen, die durch Feinvermahlung (*Top-down*-Strategie) in die Nanoform gebracht werden.

Nanoskalige Metalle und Metalloxe: Nanokolloidales Kupfer, Gold, Iridium, Palladium, Platin, Silber, Titan und Zink werden in Nahrungsergänzungsmitteln eingesetzt. Aus dem Lebensmittelbereich gibt es ein bekanntes Beispiel der japanischen Firma Nippon Ham Group's Nippon Luna Co., Ltd, die im Jahr 2006 ein mit 4 Mikrogramm Platin in Nanoform angereichertes, „*anti-aging*“ Joghurt auf den Markt gebracht hat. Keines dieser Produkte findet sich gegenwärtig in Österreich auf dem Markt.

ORGANISCHE STOFFE IN NANOPARTIKULÄRER FORM

Carotinoide sind in vielen pflanzlichen Lebensmitteln enthalten. In isolierter Form dienen sie auch als Zusatzstoffe zur Färbung von Lebensmitteln (E 160a-f). Sie sind fettlöslich und können deshalb in wässrigen Lebensmitteln nur in Form einer Emulsion oder eben in nanopartikulärer Form eingesetzt werden. Die feine Teilchengröße der Carotinoide bewirkt ihre bessere Aufnahme im Verdauungstrakt. Sehr oft werden sie dabei noch in eine wasserlösliche Matrix eingebettet. An und für sich existiert der Einsatz nanopartikulärer Carotinoide schon seit Jahrzehnten. Weltweit, auch in Europa, gibt es einige Hersteller solcher Produkte. Es wurden bereits zahlreiche toxikologische Untersuchungen mit diesen Formulierungen durchgeführt und es ergaben sich keine Bedenken gegen ihren Einsatz (Möller et al., 2009). Es ist davon auszugehen, dass sie auch in europäischen Lebensmitteln eingesetzt werden, wobei drei Carotinoide dominieren, nämlich β -Carotin, Lycopin (gewonnen aus Paradeisern) und Astaxanthin (gewonnen aus Meeresalgen).

Resistente Stärke (RS): RS vom Typ III bildet sich in geringem Ausmaß bei vielen Garprozessen von stärkereichen Lebensmitteln (Brot und Gebäck, Nudeln, Kartoffeln usw.), unabhängig ob die Zubereitung im Haushalt oder großtechnisch erfolgt. RS besteht aus kurzkettigen, linearen Stärkekettten bis zu 60 Glucosemolekülen. Zwei Ketten verdrehen sich jeweils zu Doppelhelices, welche sich weiter zu Stärkekristalliten zusammenlagern. Die sich ergebende, dichte, kristalline Packung erklärt die Nichtangreifbarkeit durch die menschlichen Verdauungsenzyme und die hohe physikalische Beständigkeit. RS von Typ III kann nun aus normaler Stärke gezielt produziert und Lebensmitteln zur Ballaststoff-Anreicherung zugesetzt werden. Die Herstellung erfolgt entweder durch Feinvermahlung von nativen Stärkekörnern (*Top down*-Strategie) oder durch enzymatische Hydrolyseverfahren. Diese schon seit einigen Jahren praktizierte Herstellung von RS Typ III kann aus heutiger Sicht als Nanotechnologie bezeichnet werden. Einige Firmen bieten solche RS-Präparate auch in Europa an. Inwieweit sie tatsächlich eingesetzt werden, ist schwer zu beurteilen, weil sie rechtlich nicht als Zusatzstoffe gelten. Eine explizite Anführung in der Zutatenliste als RS ist deshalb nicht erforderlich.

Chitosan: Ein Vorschlag aus der Literatur ist der Einsatz von nanopulverisiertem Chitosan (⇒ Gerüstsubstanz von Schalenweichtieren) in cholesterinreduziertem Yoghurt, wodurch angeblich nachteilige sensorische Eigenschaften vermieden werden können (Seo et al., 2009).

Zusatz von aktiven Nanostrukturen aus organischen Molekülen zu Lebensmitteln oder Bildung dieser Strukturen direkt in den Lebensmitteln selbst

„Aktiv“ in Zusammenhang mit Nanostrukturen (⇒ Nanopartikel, Nanokapseln, Nanocluster, Micellen, Liposome usw.) bedeutet, dass diese in Wechselwirkung mit Lebensmittelinhaltsstoffen treten und diese verändern, binden oder gezielt wieder freisetzen können. Aktive Nanostrukturen bieten zweifelsohne die interessantesten Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie bei Lebensmitteln, sowie in der menschlichen und tierischen Ernährung und in der Medizin. Die Bildung aktiver Nanokonstrukte kann durch spontane Selbstassoziation von organischen Molekülen ebenso direkt in Lebensmitteln erfolgen. Bei entsprechenden Bedingungen zerfallen sie wieder.

Die Herstellung dieser Nanostrukturen ist aber nicht Selbstzweck. Sie dienen zur Bindung und vor allem zur Einkapselung von anderen empfindlichen Molekülen. Beispielsweise ist es möglich Aroma- und Farbstoffe einzuschließen, dadurch zu schützen und in den Lebensmitteln bei Bedarf wieder freizusetzen. Einkapselte, bioaktive Stoffe können aber auch nach dem Verzehr gezielt an die Stellen in unserem Körper herangebracht werden, wo sie ihre größte Wirksamkeit entfalten.

Die Kombination von Nanokonstrukten mit funktionellen Wirkstoffen lässt sich potentiell auf mehrere Arten bewerkstelligen:

- a) Bindung der Wirkstoffe an der Oberfläche von Nanopartikeln: Letztere dienen hier als Trägermaterial und können auch aus anorganischen Nanopartikeln bestehen.
- b) Einbettung bzw. Einschluss von Wirkstoffen in feste Nanopartikel (z.B. Einbettung in Hydrokolloidgel-Nanokugeln). Diese Möglichkeit wird an und für sich schon lange bei der sogenannten Mikroverkapselung in der Lebensmitteltechnik genutzt. Neu ist nun, dass versucht wird, die Kapseln bis in den Nanobereich zu verkleinern.
- c) Einkapselung bzw. Einschluss von Wirkstoffen in Löchern oder offenen Hohlräumen von Nanomolekülen bzw. Nanokonstrukten, wie z.B. in Cyclodextrinen.
- d) Einkapselung bzw. Einschluss von Wirkstoffen in Nanohohlkugeln (Micellen, Liposome). Werden diese Präparate dann in einer wässrigen Phase verteilt, ergeben sich Nanoemulsionen.

NICHT SELBSTANORDNENDE, AKTIVE NANOSTRUKTUREN

Cyclodextrine (CDs): CDs sind auf enzymatischem Weg aus Stärke hergestellte, nanoskalige Ringstrukturen aus sechs, sieben oder acht verbundenen Glucosemolekülen, wobei ein konusförmiger, wasserabweisender Hohlraum (⇒ Nanotüten) entsteht. Diese „Molekülfallen“ können in ihrem wasserabweisenden Innenraum fettlösliche Moleküle, wie Vitamine, Aromastoffe oder Cholesterin einschließen, schützen und gezielt wieder freisetzen. Beta-Cyclodextrin ist in der EU als deklarationspflichtiger Lebensmittelzusatzstoff (E 459) zugelassen und wird in Lebensmitteln als Trägerstoff verwendet.

SELBSTANORDNENDE, AKTIVE NANOSTRUKTUREN

Die Selbstanordnung bzw. Selbstassoziation von organischen Molekülen ist ein der Natur innewohnendes Prinzip und war eine der Voraussetzungen zur Entstehung des Lebens bzw. der Lebensformen. Die Nanotechnologie nutzt nun dieses Prinzip geschickt zur Bildung neuer Strukturen (⇒ NSSL – *nano sized self-assembled liquid structures*).

Aktive Nanostrukturen als Einkapselungssysteme auf der Basis von oberflächenaktiven Substanzen (⇒ nanodelivery systems):

Werden oberflächenaktive Substanzen, wie z.B. Emulgatoren, nicht in ein Zweiphasensystem (z.B. Öl/Wasser), sondern in genügend hoher Konzentration in ein Einphasensystem eingebracht, neigen sie dazu durch Selbstanordnung kleine Nanomicellen zu bilden. Dabei ordnen sich die Moleküle so, dass der mit der äußeren Phase nicht verträgliche Molekülteil nach innen gerichtet ist. Es entstehen igelförmige „Bottom up“-Nanokugeln. Letztere können dann als Vehikel benutzt werden, um empfindliche Gastmoleküle [z.B. Vitamine, Omega-3-Fette, sekundäre Pflanzenstoffe (z.B. Isoflavone, Flavonoide, Carotinoide), Pflanzenextrakte, ätherische Öle, Konservierungsstoffe und Farbstoffe] darin einzuschließen und zu schützen, oder wieder gezielt freizusetzen (Sagalowicz, 2006).

Weltweit bieten mehrere Firmen solche Präparate für Nahrungsergänzungsmittel an. Es ist nicht auszuschließen, dass sie auch in Lebensmitteln verwendet werden. Beispielhaft sei hier die Fa. AQUANOVA GmbH (2015) angeführt. Sie vertreibt unter dem Markennamen NOVASOL[®] zahlreiche solcher Micellenpräparate. Vor einigen Jahren wurde von dieser Firma für diese Micellen noch der Begriff „Nano“ auf der Homepage verwendet, nun wird nur mehr von Micellen gesprochen.

Aktive Nanostrukturen als Einkapselungssysteme auf der Basis von Proteinen:

Proteine sind gleichfalls von Natur aus in der Lage sich selbst zu Nanostrukturen anzuordnen, wie die Beispiele der Enzyme, der Muskelproteine und des Kollagens zeigen. Auch das Hauptprotein der Milch, das Kasein, besteht aus natürlichen Nanomicellen (Durchmesser 20-500 nm). Diese Fähigkeit von Kasein Nanomicellen zu bilden, könnte gezielt zum Einschluss von Fremdmolekülen genutzt werden (Pszczola, 2007).

Aktive Nanostrukturen als Einkapselungssysteme auf der Basis von Stärke:

Stärke liegt in der Natur in den Stärkekörnern größtenteils in Form von Nanokristalliten vor. Diese Fähigkeit zur Selbstassoziation von Stärkemolekülen lässt sich ebenfalls zur Erzeugung von Micellen nutzen.

Veränderung von Lebensmittelstrukturen und -inhaltsstoffen durch Nanotechnologie, bzw. Erzeugung nanoskaliger Strukturen direkt in den Lebensmitteln

Hier geht es um die drei wichtigsten, grob- bzw. makrodispersen Lebensmittelsysteme, nämlich Suspensionen, Emulsionen und Schäume.

Bei **Suspensionen** sind nichtlösliche Feststoffpartikel in einer Flüssigphase verteilt, wie z.B. Zellwandpartikel in naturtrübem Apfelsaft.

Als **Emulsion** wird die Verteilung zwei nichtmischbarer Flüssigkeiten bezeichnet, wobei eine Flüssigphase in Form feinsten Tröpfchen in der anderen, zusammenhängenden Flüssigphase vorliegt. Das kann eine „Öl in Wasser“-Emulsion (z.B. Milch, Soßen) oder eine „Wasser in Öl“-Emulsion (z.B. Butter, Margarine) sein.

Unter einem **Schaum** ist die Verteilung von kleinen Gasblasen in einer Flüssigkeit (z.B. Eiweißschaum) oder in einem Feststoff (z.B. erstarrter Eiweißschaum oder Brot) zu verstehen.

Allen diesen grobdispersen Mehrphasensystemen ist gemeinsam, dass sie nicht stabil sind und wieder zur Entmischung der beiden Phasen neigen. Je kleiner die Flüssigkeitströpfchen, Feststoffpartikel oder Gasblasen sind, umso besser ist die Stabilität und Lagerfähigkeit dieser Lebensmittelsysteme. Es war daher immer schon das Ziel der Lebensmitteltechnik, die Partikelgröße in die-

sen Systemen zu verringern, also aus Makro- Mikropartikel zu machen. Mit den heutigen technischen Möglichkeiten können sie nun bis in den Nanobereich zerkleinert werden. Nanopartikel weisen veränderte Eigenschaften auf, weshalb auch die entstehenden Systeme völlig neue, oft verblüffende Eigenschaften haben.

NANOSUSPENSIONEN BZW. ZERKLEINERUNG FESTER LEBENSMITTELINHALTSSTOFFE IN DEN NANOBEREICH

Die Zerkleinerung von unlöslichen, pflanzlichen Zellwandstrukturen in den Nanobereich könnte einerseits stabile, naturtrübe Obst- und Gemüsesäfte liefern, bei denen sich die festen Bestandteile auch bei langer Lagerzeit nicht mehr absetzen. Andererseits fungieren die Zellwandbestandteile von Pflanzen auch als Ballaststoffe. Sie bereiten aber bei der Zugabe zu anderen Lebensmitteln, zum Zwecke der Ballaststoffanreicherung, sensorische und technologische Probleme. Je feiner und kleiner die Zellwandbestandteile zerkleinert werden, umso leichter lassen sich diese Nachteile vermeiden. Nach dem Verzehr ergeben sich gleichfalls Vorteile, weil die positiven Wirkungen im Verdauungstrakt (z.B. Wasserbindungskapazität) verbessert werden. Der Einsatz der Nanotechnologie könnte also in Zukunft die Gewinnung von Ballaststoffpräparaten erleichtern bzw. überhaupt erst ermöglichen. Das zeigen Versuche, bei denen im Labormaßstab durch intensive Vermahlung mit Kugelmøhlen Zellwandbestandteile von Kleie (Arabinoxylane) in den Nanobereich zerkleinert und damit wasserextrahierbar gemacht wurden (Craeyveld, 2009).

NANOEMULSIONEN

Je kleiner die Tröpfchengröße in Emulsionen ist, umso stabiler sind diese. In natürlichen und künstlichen Emulsionen liegt die Größenordnung der Tröpfchen im Bereich von ca. 1-50 µm. Da es sich aber immer um eine Tröpfchengrößenverteilung handelt, kommen auch in konventionellen Emulsionen bereits Tröpfchen vor, die im Nanobereich sind, also kleiner als 0,1 µm (= 100 nm). Wenn der Großteil der Tröpfchen unter 300 nm ist, wird eine sehr stabile Mikroemulsion bzw. Nanoemulsion erhalten. Es existieren heute Emulsionstechniken, mit denen die Herstellung solcher Emulsionen möglich ist, wie Membranemulgierung, Ultraschallmulgierung und Microfluidisation (Sangasuri & Agustin, 2006).

Trotz Verringerung des Fettanteiles bleiben in Nanoemulsionen angeblich die sensorischen Eigenschaften nicht nur erhalten, sondern sie werden sogar noch verbessert, weil es nicht auf die Fettmenge ankommt, sondern auf die Zahl und die Größe der Öltröpfchen (deGroot, 2006). Damit lassen sich kalorienreduzierte Nanoemulsionen erzeugen, die sich im Geschmack nicht von vollfetten, normalen Emulsionen unterscheiden.

Nanoemulsionen sind auch geeignet, um aromatische Öle (Aromastoffe) und fettlösliche Farbstoffe einzuschließen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Emulsionen sind diese völlig transparent und sehr stabil. Ein Vorteil, der anscheinend schon genutzt wird. Sowohl die Firma AQUANOVA (2015) als auch die Firma WILD (2015) preisen auf ihrer Homepage Emulsionen an, die klar sind und zahlreiche Vorteile aufweisen sollen, sowie Vitamine und andere Wirkstoffe (z.B. Carotinoide) enthalten können. Beide Firmen sprechen nicht von Nanoemulsionen, sondern von Micellen und Mikroemulsionen. Im Patent der Fa. WILD (Chanamai, 2007), welches die Herstellung dieser Mikroemulsionen zum Inhalt hat, wird die Tröpfchengröße dieser Mikroemulsionen unter 1.400 Ångström, vorzugsweise im Bereich von 100 – 500 Ångström, angegeben. Die Einheit Ångström ist keine SI-Einheit und wird kaum mehr verwendet. Wenn eine Umrechnung in Nanometer vorgenommen wird, ergeben sich für die Tröpfchengröße Werte von 140 nm, vorzugsweise 10 – 50 nm. Es handelt sich also zweifelsohne um Nanoemulsionen.

Durch die große innere Oberfläche von Nanoemulsionen ist die Bioverfügbarkeit von Stoffen in der Ölphase weit höher. Das kann beispielsweise zur besseren Bioverfügbarkeit von Algenölen, die reich an Omega-3-Fettsäuren sind, genutzt werden. Das Öl wird dabei in Form einer Nanoemulsion in Yoghurt eingebracht (Lane et al., 2013).

NANOSCHÄUME UND NANOBLÄSCHEN

So wie Nanoemulsionen sind Nanoschäume ebenfalls extrem stabil und ergeben sehr interessante sensorische Eigenschaften, wie ein Produkt der Firma JONES SODA Co., USA zeigt. Der Riegel dieser Firma enthält angeblich Kohlendioxidbläschen in Nanoform und ergibt beim Verzehr im Mund ein angenehmes, „elektrisches“ Kribbeln (JONES SODA, 2015).

Ozon zeigt einen guten Sterilisationseffekt bei Wasser, und zwar weit besser als Chlorverbindungen. Ozon existiert in Wasser allerdings nur sehr kurze Zeit, während Ozonbläschen in Nanoform mehrere Monate stabil sein können und Langzeitsterilisationseffekte ergeben. Mit Ozon-Nanobläschen angereichertes Wasser könnte beispielsweise zur Abtötung von Noroviren in Austern eingesetzt werden (Chiba & Takakashi, 2015).

1.1.1.2. Potential

Der Nanotechnologie wird ein großes, hoffnungsträchtiges Potential zugeschrieben. Das lässt sich auch aus der Zahl der Patente auf diesem Gebiet ablesen. Im Zeitraum von 2002-2012 finden sich in den Patentdatenbanken 22.759 Patente allein unter dem Stichwort „*nano*“ in Kombination mit „*food*“ und/oder „*agriculture*“ (Grobe & Rissanen, 2012). Bezüglich der Zahl liegt die Patentfamilie „*food processing and production*“ hinter den Familien „*medical applications*“, „*construction materials*“ und „*paper products*“ an vierter Stelle. Seit dem Jahr 2009, wo der Höhepunkt der Patentwelle im Lebensmittelbereich mit ca. 2.500 Patentanmeldungen erreicht wurde, ist aber ein drastischer Abfall auf ca. 1.000 im Jahr 2011 zu beobachten (Pérez-Esteve et al., 2013). Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass die praktischen Erfolge der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich bis jetzt nicht in dem erhofften Ausmaß eingetreten sind.

In der Datenbank „*Food Science and Technology Abstracts*“ werden im Zeitraum 2001 bis dato 350 wissenschaftliche Artikel betreffend die Nanotechnologie im Lebensmittelbereich zitiert. Nur sehr wenige befassen sich direkt mit der Anwendung in Lebensmitteln selbst. Der Großteil behandelt Einsatzmöglichkeiten bei Lebensmittelverpackungen.

Obwohl mit Sicherheit alle Lebensmittelkonzerne sehr intensiv im Bereich der Nanotechnologie forschen, halten sie sich bezüglich Forschungsergebnissen oder Resultaten bzw. eines praktischen Einsatzes sehr bedeckt.

In der Nanoprodukt-Datenbank des Woodrow Wilson Int. Center (PEN, 2015) wurden im November 2013 in der Kategorie „*Food and Beverages*“ (inkl. Nahrungsergänzungsmitteln und Küchenutensilien) ca. 200 Nanoprodukte angeführt, die schon auf dem Markt sind. 83 davon betrafen Nahrungsergänzungsmittel. 86 Produkte waren Lebensmittel, die Titandioxid als erlaubten Zusatzstoff enthielten. Warum gerade diese aus der Vielzahl an Lebensmitteln, die diesen Zusatzstoff enthalten, herausgegriffen wurden, war nicht nachvollziehbar. Sie wurden unter der Kategorie 5 „*not advertised by manufacturers*“ geführt. Nur 10 Produkte, darunter auch Küchenutensilien, betrafen Lebensmittel direkt. Bei einer Abfrage im Februar 2015 in dieser Datenbank finden sich in der Gruppe „*Food*“ nur mehr 7 Nano-Lebensmittel. Alle Titandioxid enthaltenden Lebensmittel wurden aus der Datenbank entfernt. Von den sieben angeführten Produkten betreffen nur drei Lebensmittel, denen Nanostrukturen zugesetzt wurden, nämlich ein Getränk mit zugesetztem Nano-Gold; ein Pflanzenöl mit zugesetzten, Phytosterine enthaltenden Nanomicellen und ein Schokolade-Shake mit nanoskaligem Kakaopulver.

In der Produktdatenbank DATAMONITOR-Consumer (2015) können auf dem Markt befindliche Lebensmittel nach allen möglichen Kriterien abgefragt werden. Eine Suche nach Lebensmitteln (Abfrage 05.02.2015), die ab 2011 weltweit auf den Markt gekommen sind, und auf der Etikette

die Bezeichnung „nano“ allein oder in Wortverbindungen enthalten, ergab nur folgende sieben relevante Treffer:

- Funktionelles Getränk mit zugesetztem Nano-Collagen (Thailand)
- Funktionelles Getränk mit stabilen Nano-Bläschen (USA)
- Milch mit zugesetztem Nano-Eisen (Taiwan)
- und 4 Wodka-Produkte, bei denen bei der Herstellung die Nanofiltration eingesetzt wurde.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass weltweit derzeit kaum Lebensmittel auf dem Markt zu finden sind, bei denen der Einsatz der Nanotechnologie beziehungsweise von Nanoprodukten und -strukturen angeführt oder ausgelobt werden.

Die Frage ist deshalb, ob es bei dem großen Potential der Nanotechnologie und der Vielzahl an einschlägigen Patenten, tatsächlich noch zu keinem breiteren Einsatz gekommen ist, oder ob Bestandteile, die unter die Kennzeichnungspflicht fallen, auf den Lebensmitteletiketten dennoch nicht angeführt werden.

1.1.1.3. Rechtliche Aspekte

Voraussetzung für eine rechtliche Regelung des Einsatzes der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich ist eine entsprechende Definition. Letztere kann entweder über die Größe der Nanopartikel oder über ihre innere Oberfläche erfolgen. International wird der Größenordnung des Nanobereiches sehr unterschiedlich definiert, nämlich von 1 – 200 Nanometer. Die Schwierigkeit bei der Definition nach der Größe liegt darin, dass erstens einmal Nanopartikel nur in einer Dimension im Nanobereich vorliegen können (z.B. Nanofibrillen). Außerdem kann es sein, dass in einem stofflich homogenen Nanomaterial nur ein Teil in Nanopartikelform vorliegt. Ab welchem Anteil an Nanopartikeln wird der Stoff dann zum Nanomaterial? Genau diese Frage stellt sich bei schon lange in Verwendung befindlichen Lebensmittelzusatzstoffen (Titanoxid, Siliziumdioxid).

Besser wäre wahrscheinlich eine Definition über die innere Oberfläche eines Nanomaterials. Je kleiner die Teilchen, umso größer wird diese. Diese Größe sagt auch etwas über die Reaktivität eines Materials aus und damit im Endeffekt auch über mögliche Risiken.

Weltweit fehlt eine einheitliche und verbindliche Definition von Nanomaterialien. Die Europäische Kommission hat im Jahr 2011 eine allgemeine, nicht lebensmittelspezifische Definition empfohlen (Europäische Kommission, 2011), die folgendermaßen lautet:

„Nanomaterial“ ist ein natürliches, bei Prozessen anfallendes oder hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben.

In besonderen Fällen kann der Schwellenwert von 50 % für die Anzahlgrößenverteilung durch einen Schwellenwert zwischen 1 % und 50 % ersetzt werden, wenn Umwelt-, Gesundheits-, Sicherheits- oder Wettbewerbserwägungen dies rechtfertigen.

Spezifisch für den Lebensmittelbereich wird derzeit in der EU versucht in der Novelle der Novel Food-Verordnung eine Regelung und Zulassung für „...**technisch hergestellte Nanomaterialien**...“ zu implementieren (Europäische Kommission, 2013). Derzeit ist nicht bekannt, wann diese Novellierung umgesetzt wird.

Trotz dieser fehlenden verbindlichen horizontalen Definition gibt es bereits zwei EU-Verordnungen, in denen konkret Nanomaterialien in Lebensmitteln geregelt werden. Zum einen ist das die Lebensmittelzusatzstoffverordnung [Verordnung (EG) Nr. 1333/2008] und die Lebensmittelinformationsverordnung [Verordnung (EU) Nr. 1169/2011].

In der Zusatzstoffverordnung wird in Artikel 12 ausgeführt:

*Wenn bei einem Lebensmittelzusatzstoff, der bereits in der Gemeinschaftsliste aufgeführt ist, sein Produktionsverfahren oder die verwendeten Ausgangsstoffe erheblich geändert werden **oder die Partikelgröße — z. B. durch die Anwendung der Nanotechnologie — geändert wird**, ist dieser nach den neuen Verfahren oder mit den neuen Ausgangsstoffen hergestellte Lebensmittelzusatzstoff als ein anderer Zusatzstoff anzusehen, und es ist ein neuer Eintrag in die Gemeinschaftsliste bzw. eine Änderung der Spezifikationen erforderlich, bevor der Zusatzstoff in Verkehr gebracht werden darf.*

Offen bleibt hier die Frage, ob das auch Zusatzstoffe betrifft, die schon seit vielen Jahren eingesetzt werden, und zumindest teilweise in nanoskaliger Form vorliegen (z.B. Titandioxid, Siliziumdioxid, Cyclodextrin).

In der Lebensmittelinformationsverordnung wird in Artikel 2 und Artikel 18 sehr ausführlich auf Nanotechnologie Bezug genommen:

Artikel 2 - Begriffsbestimmungen

*t) „**technisch hergestelltes Nanomaterial**“ jedes absichtlich hergestellte Material, das in einer oder mehreren Dimensionen eine Abmessung in der Größenordnung von 100 nm oder weniger aufweist oder deren innere Struktur oder Oberfläche aus funktionellen Kompartimenten besteht, von denen viele in einer oder mehreren Dimensionen eine Abmessung in der Größenordnung von 100 nm oder weniger haben, einschließlich Strukturen, Agglomerate und Aggregate, die zwar größer als 100 nm sein können, deren durch die Nanoskaligkeit bedingte Eigenschaften jedoch erhalten bleiben.*

Zu den durch die Nanoskaligkeit bedingten Eigenschaften gehören

- i) diejenigen Eigenschaften, die im Zusammenhang mit der großen spezifischen Oberfläche des betreffenden Materials stehen, und/oder*
- ii) besondere physikalisch-chemische Eigenschaften, die sich von den Eigenschaften desselben Materials in nicht nanoskaliger Form unterscheiden.*

Artikel 18 - Zutatenverzeichnis

(3) Alle Zutaten, die in Form technisch hergestellter Nanomaterialien vorhanden sind, müssen im Zutatenverzeichnis eindeutig aufgeführt werden. Auf die Bezeichnung solcher Zutaten muss das in Klammern gesetzte Wort „Nano“ folgen.

Die Problematik dieser Regelung ist die mangelnde Differenzierung zwischen traditionellen Lebensmittelverarbeitungsverfahren und neuen Verfahren. Bei vielen, seit Jahrhunderten betriebenen, klassischen Lebensmittelverarbeitungsverfahren entstehen neue Nanostrukturen (z.B. Mahlen, Emulgieren, Homogenisieren, Macerieren). Theoretisch müssten nach dieser Definition nun alle technisch hergestellten Emulsionen, Mahlprodukte (Mehl) etc., die Nanomaterialien enthalten, als Nanomaterialien gekennzeichnet werden (Grobe & Rissanen). Genau über diese Frage sind sich die Europäische Kommission und das Europäische Parlament uneinig. Das Parlament vertritt hier einen sehr rigiden Standpunkt (Scott-Thomas, 2014).

Seit 11. Dezember 2014 müssen die Regelungen der Lebensmittelinformationsverordnung eingehalten werden. Es gibt aber seitens der Kommission noch keine Leitlinien, was nun wirklich unter einem „technisch hergestellten Nanomaterial“ zu verstehen ist, und welche Zutaten so zu kennzeichnen sind (BLL, 2014). Es wird jedenfalls spannend, wie die Produzenten diese Regelung umsetzen werden. Zumindest neuartige Nano-Zutaten sind auf jeden Fall kennzeichnungspflichtig. Voraussichtlich wird sich nur sehr selten der „nano“-Hinweis auf den Lebensmitteletiketten finden, weil es wie in Kap. 1.1.1.2. ausgeführt, derzeit kaum solche gibt.

Einen Sonderfall stellt der Bereich der Lebensmittelverpackung dar, wo der Einsatz der Nanotechnologie schon weit verbreitet ist (siehe Teil 5). Für Lebensmittelverpackungen gibt es eigene gesetzliche Regelungen [VERORDNUNG (EG) Nr. 1935/2004]. Sie müssen einzeln genehmigt werden und es gilt der Grundsatz, dass sie nicht auf Lebensmittel übergehen dürfen. Eine Kennzeichnung des Verpackungsmaterials selbst ist auf den Lebensmittelverpackungen nicht vorgeschrieben.

1.1.1.4. Nutzen und Risiken

Nutzen der Nanotechnologie

Der Einsatz der Gentechnik im Agrar- und Lebensmittelbereich hat bis heute kaum einen direkt erkennbaren und spürbaren Nutzen für die Konsumentinnen und Konsumenten. Ob beispielsweise eine Pflanze Herbizid-resistent ist, wird dem Endverbraucher ziemlich egal sein und er kann darin keinen Vorteil erkennen. Im Gegensatz dazu sollte der Nutzen der Nanotechnologie in allen Einsatzbereichen für die Verbraucherinnen und Verbraucher direkt erkennbar und spürbar sein. Obige Ausführungen zeigen diese Vorteile für den Lebensmittelbereich auf und müssen hier nicht wiederholt werden.

Ob diese Vorteile das möglicherweise ebenfalls vorhandene Risiko aufwiegen, muss im Endeffekt von den Konsumentinnen und Konsumenten selbst entschieden werden. Die Akzeptanz der Nanotechnologie wird umso größer sein, je offener alle Beteiligten damit umgehen.

Risiken der Nanotechnologie

So wie jedes technische Handeln, birgt die Nanotechnologie neben den unbestreitbaren Nutzen ebenfalls ein „Gefährdungspotential“. Das Gefährdungspotential bezeichnet das im Auslöser eines Risikos (etwa Stoff, Technologie oder Verhalten) enthaltene Potenzial an möglicher Gefährdung von Leben, Gesundheit und Umwelt (Zimmer et al., 2009).

Nachdem Nanotechnologie, wie bereits ausgeführt, sehr vielfältig ist und alle Technikbereiche betrifft, kann auch keine allgemeingültige, allumfassende Risikoabschätzung vorgenommen werden. Auch innerhalb eines Technikbereiches muss noch weiter differenziert werden. Wahrscheinlich wird oft nur eine separate Entscheidung für jeden Einsatzfall zielführend sein. Bestenfalls kann ein Clustering von Einsatzfällen vorgenommen werden.

Mit den Risiken der Nanotechnologie allgemein und auch im Lebensmittelbereich befassen sich bereits eine Vielzahl an Publikationen [z.B. die NanoTrust Dossiers des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW, 2015)] und sogar ein eigener Wissenschaftsbereich (⇒ Nanotoxikologie). Trotzdem ist der Wissensstand bezüglich des Risikopotentials in vielen Bereichen noch sehr dürftig. Hier soll nur auf einige spezifische Aspekte im Lebensmittelbereich eingegangen werden. Insbesondere wird der Risikoaspekt beim Verzehr von Nanopartikeln oder Nanostrukturen, also die orale Aufnahme, behandelt.

Die in Kap. 1.1.1.4. angeführten, möglichen Verwendungsbeispiele lassen sich in drei Risikokategorien zusammenfassen und abhandeln:

a) Organische, abbau- bzw. verdaubare Nanopartikel oder Nanostrukturen

In diese Kategorie fallen Nanoemulsionen aus Lipiden und aromatischen Ölen und den darin gelösten organischen Stoffen (z.B. Vitamine, Farbstoffe, Aromastoffe). Diese können sich im Verdauungstrakt durch zahlreiche physikalische Vorgänge so verändern, dass der Nanobereich verlassen wird (z.B. Koaleszenz). Eine weitere Möglichkeit ist der Abbau bzw. Verdauung dieser Substanzen, so wie in der Nichtnanoform. Nach Yada et al. (2014) gibt es keinerlei Hinweise,

dass solche Strukturen im Verdauungstrakt direkt absorbiert werden und in andere Körperregionen (z.B. Blutbahn) gelangen.

Bei stärke- (z.B. Cyclodextrin) und proteinbasierten Einkapselungssystemen werden sich hinsichtlich der Trägermaterialien ebenfalls keine größeren Probleme ergeben, wenn diese im Verdauungstrakt abgebaut werden können oder löslich sind.

b) Organische, nicht abbau- bzw. verdaubare Nanopartikel

Zu dieser Gruppe zählen beispielsweise Nanosuspensionen, bei denen natürliche Zellwandbestandteile in den Nanobereich zerkleinert wurden, oder isolierte, nanoskalige Ballaststoffpräparate und andere Hydrokolloide. Die Bestandteile der pflanzlichen Zellwände und viele Hydrokolloide sind durch menschliche Verdauungsenzyme nicht abbaubar, das trifft uneingeschränkt für Cellulose zu. Andere können im Dickdarm teilweise durch unser Mikrobiom (Darmbakterien) gespalten werden (z.B. Pektin). Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass diese Substanzen bei der Magen-Darm-Passage verändert werden (Yada et al., 2014). Wie sich das auf ihre Resorbierbarkeit auswirkt, oder ob sie ausgeschieden werden ist nicht klar.

c) Anorganische, unlösliche Nanopartikel (Metalle und Metalloide)

Das größte Risikopotential geht zweifelsohne von unlöslichen, anorganischen Nanopartikeln aus. Metalle und Metalloide, entweder in ihrer Reinform oder in Verbindung mit anderen Elementen, werden in ihrer nanoskaligen Form schon bewusst oder unbewusst im Bereich der Lebensmittel eingesetzt. Beispielsweise sind das:

Siliziumdioxid (silicone dioxide): Wird als erlaubter Zusatzstoff (E 551) seit Jahrzehnten als Rieselhilfsmittel verwendet. Zu diesem Zusatzstoff liegen umfangreiche toxikologische Studien vor, die keine Hinweise auf nachteilige gesundheitliche Effekte ergaben (Greßler et al., 2008, Biosuisse, 2013). Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) hat die Verwendung von Siliziumdioxid (silanisiert) als Zusatzstoff in Lebensmittel-Kontakt-Materialien im Zuge einer Re-Evaluierung genehmigt. Hintergrund des wissenschaftlichen Gutachtens war die Tatsache, dass dieses Material bislang immer auf der Basis von synthetischem amorphem Siliziumdioxid in Nanoform hergestellt wurde. Das CEF-Gremium kam zu dem Schluss, dass die bereitgestellten Informationen das Fehlen von isolierten Primär-Nanopartikeln im Ausgangsmaterial hinreichend belegen, da nur Agglomerate mit einem Durchmesser größer 100 nm nachgewiesen werden konnten. Das Einbringen der Siliziumdioxid-Partikel in eine Polyethylen-Folie hatte keinen Einfluss auf die beobachtete Partikelgröße. Im Fall eines simulierten Lebensmittel-Kontakt-Materials konnte ein Transport von Partikel jeglicher Größe aus der Folie hin zum entsprechenden Lebensmittel ausgeschlossen werden. Demnach geht von den beschriebenen Partikelgrößen von Siliziumdioxid (silanisiert) kein Sicherheitsrisiko für den Verbraucher aus innerhalb der derzeit autorisierten Nutzungsbedingungen (EFSA CEF Panel, 2014). Bis Dezember 2016 soll auch eine Neubewertung von Siliziumdioxid (E 551) als Lebensmittelzusatzstoff erfolgen [Verordnung (EU) Nr. 257/2010].

Nanocalcium wird, wie bereits erwähnt, in manchen Ländern (nicht in der EU) Lebensmitteln zur Calciumanreicherung zugesetzt.

Nanosilber ist eines der am weitesten verbreiteten Nanomaterialien in vielen Technikbereichen. Lebensmitteln wird es zwar nicht direkt zugesetzt, es wird aber zur Oberflächenbeschichtung von vielen Lebensmittelkontaktmaterialien verwendet (z.B. Kühlschränke, Vorratsdosen, Schneidbretter). Die generellen Bedenken gegenüber der weitverbreiteten Anwendung dieses Nanomaterials und potentielle Risiken werden in einem eigenen Nano-Dossier der ÖAW (Fries, 2009) eingehend behandelt. Durch Abrieb könnte Nanosilber auch in die Lebensmittelmatrix gelangen. Wie die Ergebnisse von Echegoyen & Nerin (2013) zeigen, kann

eine solche Migration tatsächlich in geringem Ausmaß eintreten (unter dem zulässigen Grenzwert), wobei sich das Nanomaterial verändert. Eine solche Transformation des nanoskaligen Silbers bei einer Migration finden auch Artiaga et al. (2015)

Titandioxid: In letzter Zeit gibt es Hinweise, dass die als Lebensmittelzusatzstoff verwendeten Titandioxidpräparate von Natur aus einen relativ hohen nanopartikulären Anteil (ca. 36 % unter 100 nm) aufweisen (Weir et al., 2012). Aus Tierversuchen ergab sich der Verdacht auf eine mögliche krebserregende Wirkung von Titandioxid generell (Baan et al., 2006). Während früher angenommen wurde, dass Titandioxidpartikel den Verdauungstrakt passieren ohne adsorbiert zu werden, wurde nun in Tierversuchen gefunden, dass eine zumindest teilweise Adsorption erfolgt (Yada et al., 2014).

Zusammenfassend kann zur Risikobewertung von Nanomaterialien im Lebensmittelbereich festgestellt werden, dass wegen der Vielfalt der Materialien eine generelle Bewertung nicht möglich ist und der Informationsstand derzeit noch nicht für endgültige Beurteilungen der unterschiedlichen Nano-Strukturen ausreicht. Insbesondere fehlen definitive Erkenntnisse und Aussagen bezüglich des Schicksals aufgenommener Nanopartikel und -strukturen im Verdauungstrakt (Yada et al., 2014).

1.1.1.5. Informationsstand und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher

Einleitend zu dieser Thematik sei hier eine Aussage der Delphi-Studie zur Nanotechnologie des deutschen Bundesinstituts für Risikoforschung zitiert (Zimmer et al., 2009):

Die schnelle Entwicklung der Nanotechnologie und die zunehmende Bedeutung dieser Technologie für den Verbraucheralltag finden bislang eher unbeachtet von der Öffentlichkeit statt. Der gesellschaftliche und beim überwiegenden Teil der Bürger auch der individuelle Meinungsbildungsprozess zum Thema stehen erst am Anfang. Die Debatten zur Nanotechnologie werden derzeit überwiegend von Experten in Fachzirkeln geführt. Bei Politik und Fachöffentlichkeit besteht jedoch Problembewusstsein dahingehend, dass eine so weit in die Zukunft reichende und so viele Bereiche des Alltagslebens tangierende Technologie wie die Nanotechnologie auch auf ihre Akzeptanz durch Nutzer und Verbraucher hin untersucht werden sollte.

Nach einer anderen Studie des Bundesinstituts für Risikoforschung (Zimmer et al., 2008) können ca. 50 % der Bevölkerung mit dem Begriff Nanotechnologie nichts anfangen. Bei der Bewertung der Nanotechnologie durch die Konsumentinnen und Konsumenten ergaben sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der einzelnen Anwendungsgebiete. Während insgesamt eher eine positive Akzeptanz vorhanden war, verringerte sich diese „je näher die Produkte als an den Körper herandrückend bzw. im Körper selbst wirkend erlebt werden“. Ausnahme von dieser Regel ist der Medizinbereich. Nanotechnologie in Gebrauchsartikeln wird also eher akzeptiert als in der Kosmetik und vor allem im Lebensmittelbereich. Im Lebensmittelbereich wiederum, wird Nanotechnologie im Verpackungsbereich leichter angenommen (Rollin et al., 2011). Gefühlte Vorteile sind hier ein entscheidender Prädiktor für eine Kaufbereitschaft (Siegrist et al., 2007, Siegrist et al., 2008).

Die Europäische Kommission (Gaskell et al., 2010) hat sich ebenfalls mit der Akzeptanz verschiedener Technologien, unter anderem mit der Nanotechnologie, auseinandergesetzt. Die Schlussfolgerungen basieren auf den Eurobarometer 73.1 Umfragen. In der EU sagen 55 % der Konsumentinnen und Konsumenten, dass sie noch nie von Nanotechnologie gehört haben. 20 % haben davon gehört und 22 % haben sich tatsächlich auch schon damit informationsmäßig auseinandergesetzt. Auf die Frage, ob Nanotechnologie generell unterstützt werden sollte, gaben 60 % der

EU-Bürgerinnen und Bürger eine zustimmende Antwort. Österreich liegt hier mit einer Zustimmungsrate von 48 % am vorletzten Platz.

Das vor kurzem abgeschlossene Europäische Projekt „NANOPINION - Monitoring public opinion on Nanotechnology in Europe“ hatte ebenfalls das Ziel den Wissensstand und die Zustimmung der EU-Bürgerinnen und Bürger zur Nanotechnologie mittels on-line Befragungen zu erheben (NANOPINION, 2015). Zur Nanotechnologie im Lebensmittelbereich gab es nur eine Fragestellung, nämlich „Würden Sie antibakterielle Lunchboxen benutzen, die Nanopartikel in Kunststoff enthalten?“ Gemeint sind dabei vor allem die bereits auf den Markt befindlichen, mit Nanosilber beschichteten Kunststoffbehälter. Die Antworten lauteten:

5 %	Weiß nicht
20%	Stimme absolut nicht zu
14 %	Stimme überwiegend nicht zu
25 %	Stimme überwiegend zu
36 %	Stimme absolut zu

Es scheint so, dass ein Großteil der Bevölkerung sich noch keine endgültige Meinung bezüglich der Nanotechnologie gebildet hat. In welche Richtung das Meinungsspendel ausschlägt, wird davon abhängen, wie offen und ehrlich mit dieser Thematik von allen Beteiligten umgegangen wird.

1.1.2. 3-D-Food Printing

Gag oder Realität, Fiktion oder Funktion, Nonsense oder ernstzunehmende Technik, diese Fragen stellen sich im Zusammenhang mit dem 3-D-Druck von Lebensmitteln. In der Öffentlichkeit ist dieses Thema bis jetzt bestenfalls eine Randnotiz. Auch in der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur ist diese Technik nicht existent. Gerade einmal zwei relevante Treffer finden sich bis jetzt in der Datenbank „Food Science and Technology Abstracts[®], OvidSP“.

Der 3-D-Druck und die dazugehörigen Maschinen (3-D-Drucker) sind allerdings schon weit entwickelt und gehören in vielen Technikbereichen mehr oder weniger bereits zum Stand der Technik. Die Herstellung von neuen Lebensmitteln beziehungsweise -strukturen durch 3-D-Drucker ist zwar eine sehr futuristisch klingende Angelegenheit, zumindest aber in der Labor-Praxis bereits erstaunlich weit fortgeschritten.

1.1.2.1. Stand der Technik

3-D-Druck ist ein computergestütztes Fertigungsverfahren, bei dem die phantasievollsten, dreidimensionalen Produkte und Gegenstände durch sukzessives Aufeinanderschichten von Material erzeugt werden. Im Prinzip kann die Technik mit Laser- oder Tintenstrahldruckern verglichen werden, wo aus Patronen entnommene, farbige Tinte schichtweise aufgetragen wird, und aus wenigen Farben alle Farbtöne erzeugbar sind. Statt Tinte verwendet ein 3-D-Drucker aber Pulver oder Pasten (Bermann, 2012).

Das aus- bzw. aufgetragene Material muss dann in irgendeiner Weise verfestigt (ausgehärtet) werden oder sich selbst verfestigen. Dafür existieren mehrere prinzipielle Methoden bzw. Techniken (Anonym, 2014 a, Barnat, 2014):

Materialextrusion (*fused decomposition modelling, thermoplastic extrusion, plastic jet printing, fused filament method*): Ein pumpbares oder vorzugsweise thermoplastisches (Kunststoff)-

Material wird aufgeschmolzen, durch eine computergesteuerte Extruderdüse ausgetragen und schichtweise aufeinander gelegt. Im Prinzip können aufschmelzbare (Metall)-Pulver, Beton, keramische Materialien und auch Lebensmittelkomponenten bzw. -zutaten dafür verwendet werden.

Bottich-Photopolymerisation (*vat photopolymerization*): In einem Tank mit einem flüssigen Photopolymer wird mittels eines Lichtstrahls oder Lasers die erste Schicht eines dreidimensionalen Objektes an der Flüssigkeitsoberfläche polymerisiert. Diese erste Schicht liegt auf einer absenkbaren Plattform, welche nun Schritt für Schritt abgesenkt und jedes Mal vorher mit dem Lichtstrahl eine neue Schicht darauf polymerisiert wird.

Material-Strahl-Verfahren (*material jetting*): Ein computergesteuerter Druckerkopf sprüht schichtweise eine Flüssigkeit auf, die entweder mit Licht verfestigt wird, oder bei Kontakt erstarrt.

Bindemittel-Verfahren (*binder jetting*): Ein computergesteuerter Druckkopf versprüht selektiv ein Bindemittel auf aufeinanderfolgenden Pulverschichten.

Power Bed Fusion: Ein Laser oder eine andere Wärmequelle verbindet selektiv aufeinanderfolgenden Pulverschichten.

Laser Pulver-Formung (*laser powder forming or directed energy deposition*): Ein Metallpulver wird in einen Laser gebracht, geschmolzen und abgelagert.

Blatt-Lamination (*sheet lamination*): Dünne, vorgeschnittene Schichten aus Papier, Kunststoff oder Metall werden aufeinander laminiert.

Es liegt auf der Hand, dass für den 3-D-Lebensmitteldruck nur das erstgenannte **Materialextrusionsverfahren** praktikabel ist. Bei der Suche nach einem leicht verfügbaren Experimentiermaterial für 3-D-Druckversuche kam ein findiger Forscher, Brandon Bowman, auf die erfolgreiche Idee Buttergebäckteig dafür zu verwenden (Lipson & Kurman, 2013).

Beim 3-D-Druck von Lebensmitteln wird also das extrudierte Vor- bzw. Rohmaterial durch eine computergeführte Extruder- bzw. Formdüse schichtweise zu dreidimensionalen Lebensmitteln aufgetragen. Im Prinzip sind dafür folgende Komponenten erforderlich:

- Rohmaterial
- 3-D-Drucker mit Extruderdüse
- Computersteuerung zur Führung der Extruderdüse
- Computersoftware, wo die erwünschte Produktform vorprogrammiert ist.
- Nachbehandlungskomponenten zur Aushärtung bzw. Verfestigung des Materials

Rohmaterial: Es gibt viele Lebensmittelpulver, Pasten, Teige, Gele, Zuckerglasur, Schokolade usw., die sich prinzipiell für eine solche Extrusion eignen. Die Vorprodukte für einen 3-D-Druck können selber zusammengemischt, oder vielleicht zukünftig abgefüllt in Patronen von diversen Erzeugern gekauft werden. So wie bei Tintenstrahl- oder Laserdruckern werden die einzelnen Vorkomponenten zu fertigen Lebensmitteln gedruckt beziehungsweise geformt. Angeblich arbeitet die Firma Barilla schon an solchen Vorkomponenten zur Pastaherstellung (Anonym, 2014 b).

3-D-Drucker sind bereits Stand der Technik und in vielen Ausführungen und Varianten zu erschwinglichen Preisen erhältlich. Es existieren sogar schon Modelle speziell für den Lebensmittelbereich, wie z.B.

Foodini 3-D-Printer (www.naturalmachines.com)

ChefJet™ 3-D-Printer (www.3dsystems.com/es/chefjet) – Diese Firma bietet auch die entsprechende Software mit Rezepten dazu und sogar die Rohstoffe selbst an. Welche phantastischen Kreationen mit diesem Drucker aus Zucker(glasur) möglich sind, zeigt Abb. 4.1.2.

Computersteuerung und Computersoftware: Die Computersteuerung ist beim 3-D-Drucker inkludiert. 3-D-Druck-Software zur Kreation und zum Entwurf eigener Formen ist ebenfalls schon käuflich für jedermann zu erwerben (z.B. <https://www.indiegogo.com/projects/new-matter-mod-t-a-3d-printer-for-everyone>).

Nachbehandlungskomponenten zur Aushärtung bzw. Verfestigung des Materials: Hier besteht mit Sicherheit noch der größte Entwicklungsbedarf. Materialien, wie Zuckerglasur, die sich selbst verfestigen, stellen nicht das Problem dar. Wenn das Produkt aber verfestigt werden soll, muss der 3-D-Drucker mit Nachbehandlungsgeräten kombiniert werden. Dafür sind einige Möglichkeiten vorstellbar:

- Backplatte: Das Produkt wird durch den Druckerkopf direkt auf eine heiße Platte ausgedruckt und sozusagen schichtweise gebacken (Lipson & Kurman, 2013).
- Mikrowelle zum nachträglichen Erhitzen, um zum Beispiel Proteinprodukte zu koagulieren.
- Hochfrequenz zur Trocknung und Verfestigung von Gelen



Abb. 4.1.2: Kreationen aus Zuckerglasur, hergestellt mit dem ChefJet™ 3-D-Drucker (<http://the-sugar-lab.com/gallery>)

1.1.2.2. Potential

Aus derzeitiger Sicht sind 3-D-Drucker für eine Massenfertigung von Lebensmitteln kaum geeignet. Ihre Stärke liegt vielmehr in der raschen und einfachen individuellen Gestaltung von Unikaten. In Zukunft wäre es denkbar, dass 3-D-Drucker die Küche revolutionieren und in der Haushaltsküche oder in der Gastronomie zur Standardausrüstung gehören. Neue Lebensmittel werden direkt von den Endverbrauchern vor Ort in kreativer Weise hergestellt. Die Lebensmittelproduzenten werden zu Lieferanten von Vorprodukten, welche in Patronen, Tuben etc. abgefüllt und

angeboten werden. Es könnten ähnliche Konzepte wie das Nespresso-System von der Firma Nestlé entstehen, bei dem Maschine und Vorprodukte (Kaffeekapseln) gemeinsam verkauft werden.

Der 3-D-Druck von Lebensmitteln wird an seine Grenze gelangen, wenn frische Lebensmittel ausgedruckt werden sollen. Das wird am Beispiel eines Hamburgers von Lipson & Kurman (2013) erklärt. Der 3-D-Druck von Faschiertem zum Burger stellt kein Problem dar. Auch das Ketchup kann aus einer anderen Tube darauf gedruckt werden. Der Druck des rohen Teiges und das anschließende Backen sind ebenfalls vorstellbar. Nicht möglich ist der 3-D-Druck von frischen Tomatenscheiben, Zwiebelringen und Salatblättern. Dazu muss ein völlig neues Konzept kreiert werden, indem diese Lebensmittel zuerst püriert und dann in der früheren Form dreidimensional ausgedruckt und re-strukturiert werden. Ein 3-D-Druck eines Hamburgers geht also von mehreren Patronen aus, in denen die diversen Bestandteile vorerst in pump- und formbarer Pastenform vorliegen und schichtenweise zu einem Hamburger gedruckt werden. Ob ein solches Produkt mit dem echten konkurrieren kann, wird sich herausstellen. Der bessere Weg wird sein, nicht konventionelle Lebensmittel zu imitieren bzw. nachzudrucken, sondern völlig neue Lebensmittel und Lebensmittelkompositionen zu kreieren.

Um das derzeit gar noch nicht in vollem Umfang vorstellbare Potential des 3-D-Druckes von Lebensmitteln zu beleuchten, werden im Folgenden einige in Zukunft denkbare Einsatz- und Anwendungsgebiete angeführt:

Süß- und Backwarenbereich: Schokolade und Zuckerglasur sind ideale Vormaterialien für einen 3-D-Druck von Süßwaren (Marcelo Coelho Studio, 2015, Lipson & Kurman, 2013). Nicht von ungefähr beschäftigen sich die Firma Hershey (Askew, 2014) und die Firma Mondelez (Borison, 2014) bereits intensiv auf diesem Gebiet. Zukünftig wären Konditoreien und Bäckereien prädestiniert, 3-D-Drucker zur Herstellung von phantastischen Süßwaren- und Gebäckkreationen einzusetzen.

Herstellung von neuen Lebensmitteln für ältere Personen: Ausgehend von Pasten ermöglicht ein 3-D-Druck die Herstellung von Lebensmitteln mit weichen Texturen, die aber so aussehen und schmecken, wie die „härteren“ Originale, und auch von Personen mit Schluckbeschwerden ohne Kauen verzehrbar sind (Bonar, 2014).

3-D-Druck von Lebensmitteln in Flugzeugen und in der Raumfahrt: Die Passagiere gestalten auf dem Bildschirm vor ihren Sitzen ein Lebensmittel, welches in der Kombüse ausgedruckt wird. Der Vorteil wäre, dass nicht viele Lebensmittel unnötig vorrätig gehalten werden müssen, sondern bei Bedarf ganz individuell aus wenigen Grundrohstoffen erzeugbar sind.

Individualisierte Ernährung (Molekulare Ernährung): Dieser Bereich lässt sich am besten an Hand eines Beispiels erklären. Ein Nanosensor in der Blutbahn eines Diabetikers sendet Daten an einen Computer, dessen Software berechnet, welche Nährstoffe die nächste Mahlzeit enthalten muss. In weiterer Folge erstellt er eine Rezeptur für ein vom Diabetiker vorgewähltes Lebensmittel, leitet diese Daten an den 3-D-Drucker weiter, der schlussendlich das Lebensmittel ausdruckt (Lipson & Kurman, 2013).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass 3-D-Drucker ganz gewiss Eingang in unser Leben und in unsere Haushalte für die unterschiedlichsten Zwecke finden werden. Der 3-D-Druck von Lebensmitteln wird ebenfalls kommen. Die Frage ist nur, ob er eine Nische für skurrile Anwendungsgebiete bleibt, oder allgemein Einzug in unsere Küchen hält, und ob er unsere Art zu essen und unsere Gesundheit zu managen entscheidend beeinflussen wird oder nicht. Wenn ja, wird der Kühlschrank in Zukunft zahlreiche Patronen mit aseptisch abgefüllten Grundmaterialien enthalten, die zu den diversesten Produkten kombiniert und gestaltet werden können.

1.1.2.3. Rechtliche Aspekte

Klarerweise gibt es noch keine spezifischen, rechtlichen Regelungen auf dem Gebiet des 3-D-Druckes für Lebensmittel. Die Vorprodukte als auch die fertig „gedruckten“ Produkte werden im Normalfall eindeutig Lebensmittel sein. Es könnten aber völlig neue Vorprodukte aus diversen Ingredienzen und isolierten Lebensmittelbestandteilen erzeugt werden, die in dieser Zusammensetzung noch nicht existieren.

Die fertigen Produkte werden direkt im Haushalt oder in der Gastronomie erzeugt. Der Gesetzgeber wird sich daher wahrscheinlich eher auf die Regelung der angebotenen Vorprodukte beschränken müssen.

Es wäre auch möglich, dass in der EU die Novel-Food-Verordnung zum Tragen kommt. Zwei in dieser Verordnung genannte Kriterien, wann ein Lebensmittel neuartig ist, könnten hier zutreffen [VERORDNUNG (EG) Nr. 258/97]:

- Lebensmittel mit neuer oder gezielt modifizierter primärer Molekularstruktur
- Lebensmittel, die mit einem neuen, nicht üblichen Verfahren hergestellt wurden, das eine Veränderung der Zusammensetzung oder Struktur bewirkt.

1.1.2.4. Nutzen und Risiken

Der Nutzen des 3-D-Druckes für Lebensmittel wird individuell ganz verschieden sein. Jedenfalls können die Verbraucher selbst frei entscheiden, ob ihnen diese Technik Vorteile bringt oder nicht.

Lebensmittel aus dem 3-D-Drucker sind, obwohl sie den Anschein von konventionellen Produkten haben können, künstliche, designte Lebensmittel und weit von „natürlichen“ Lebensmitteln entfernt.

Spezifische Risiken sind in dieser Technik derzeit nicht erkennbar.

1.1.2.5. Informationsstand, Wahrnehmung und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher

Aufgrund der Neuheit des Verfahrens ist der Informationsstand der Öffentlichkeit derzeit praktisch nicht vorhanden. Da direkt sichtbare und spürbare Vorteile existieren, ist zu erwarten, dass zumindest bei einigen Konsumentenschichten und für bestimmte Einsatzzwecke die Akzeptanz gegeben sein wird.

1.1.3. Neue Emulgiertechniken

Beim Emulgieren sollen zwei nicht miteinander mischbare Flüssigkeiten zu einem System (⇒ Emulsion) vereinigt werden, indem eine der beiden Flüssigkeiten in der anderen in Form feinsten Tröpfchen verteilt wird.

1.1.3.1. Membranemulgierung

Während bei den konventionellen Emulgierv Verfahren die erwünschte Tröpfchengröße durch sukzessives Zerkleinern größerer Tröpfchen erfolgt, wird bei der Membranemulgierung jedes Tröpfchen individuell geformt. Dazu wird die zu emulgierende Phase durch eine Membran in die kontinuierliche Phase hinein gedrückt (Abb. 4.1.3). Die Größe der Membranporen bestimmt die Tröpfchengröße (Spyropoulos et al., 2013, Charcosset, 2009). Die Technik ist sehr einfach und benötigt

weniger Energie, weniger Emulgatoren und ermöglicht eine sehr enge Tröpfchengrößenverteilung. Außerdem werden die Produkte schonender behandelt als bei den klassischen Emulgiermethoden.

Eine Sonderform der Membranemulgierung ist die rotierende Membran-Emulgierung. Hier wird nicht die äußere Phase an der Membran vorbei gepumpt, sondern die Membran ist eine rotierende Röhre, die in der äußeren Phase rotiert. Die aus der Membran austretenden Tröpfchen, werden durch die Rotation sofort abgeschert und sind sehr klein (Lloyd et al., 2014).

Als Membranmaterialien können poröses Glas, keramisches Material und Kunststoffpolymere verwendet werden. Die letzte Entwicklung sind Metallmembranen, bei denen sehr gleichmäßige Poren mittels Laser gebohrt werden können (Spyropoulos et al., 2013).

Seit ihrer Einführung vor rund 30 Jahren hat die Membranemulgierung in der Pharma- und Kosmetikbranche weit verbreitete Anwendung gefunden. Aufgrund der Nachteile, vor allem der geringen Durchflussrate, steht im Lebensmittelbereich ihr Einsatz erst am Beginn. Mit dem weiteren Fortschritt dieser Technik, vor allem bei den Membranen, ist aber eine weitere Verbreitung auch in diesem Bereich zu erwarten.

Im Jahr 2009 war erst ein Lebensmittel dokumentiert auf dem Markt, bei dessen Herstellung die Membranemulgierung bereits genutzt wurde. Es handelt sich um einen kalorienreduzierten Brotaufstrich (Charcosset, 2009). Es kann angenommen werden, dass es in der Zwischenzeit bereits mehr Produkte sind. Da die Deklaration eines Einsatzes dieser Technik auf den Etiketten nicht zwingend erforderlich ist, kann das aber kaum eruiert werden.

Die mittels Membranemulgierung erzeugten Emulsionen sind prinzipiell mit den auf konventionellem Weg erzeugten vergleichbar.

1.1.3.2. Microfluidization

Die Weiterentwicklung der konventionellen Kegel/Platten-Homogenisatoren bzw. –emulgatoren stellt die Maschine der US-Firma Microfluidics dar. Das Verfahren wurde inzwischen als „*Microfluidization*“ bekannt. Dabei wird eine Voremulsion mit hohem Druck (bis zu 150 MPa) in eine sogenannte Interaktionskammer gepumpt (Abb. 4.1.4). Diese besteht aus Mikrokanälen in denen das Produkt in zwei Flüssigkeitsströme geteilt wird, die rechtwinkelig umgelenkt werden, wobei sehr hohe Scherkräfte entstehen. Die beiden Flüssigkeitsströme prallen dann in der Kammer aufeinander, werden noch einmal umgelenkt und treten anschließend aus der Kammer aus (Jafari et al., 2007). Bei sehr hohen Drücken und langen Emulsionszeiten kann es allerdings zu einer Überverarbeitung kommen, wobei die Tröpfchen koaleszieren, also sich wieder zu größeren Tröpfchen vereinigen.

Die auftretenden hohen Scherkräfte und Kavitationen in der Interaktionskammer ermöglichen die Herstellung sehr feindisperser Emulsionen bis in den Nanobereich.

Mit dieser Maschine können auch Feststoffpartikel in Suspensionen (z.B. Zellwandbestandteile in trüben Obst- und Gemüsesäften) bis in den Nanobereich zerkleinert werden. Die entstehenden Nanosuspensionen sind stabil, d.h. die Nanopartikel setzen sich nicht mehr ab. Wan et al. (2015) nutzen diese Möglichkeit zur Herstellung von essbaren Überzugsmaterialien für Lebensmittel. Ballaststoffe werden dabei mittels *Microfluidization* sehr fein zerkleinert. Das entstehende Überzugsmaterial zeigt gute Barriereigenschaften und ist wasser“löslich“ bzw. besser wasserdispergierbar.

Die Firma Microfluidics bietet Produktionsmaschinen in verschiedenen Größen und Ausführungen an, von denen einige bereits in der Praxis eingesetzt werden. Ob ein breiterer Einsatz in Zukunft zu erwarten ist, wird sich weisen.

Rechtliche Aspekte dieser Methode betreffen einerseits die Maschine selbst aber auch die damit erzeugten Lebensmittelsysteme, sofern sie in den Nanobereich hineinfallen. Die Bewertung solcher Nanosysteme wird im Kap. 1.1.1.3. abgehandelt.

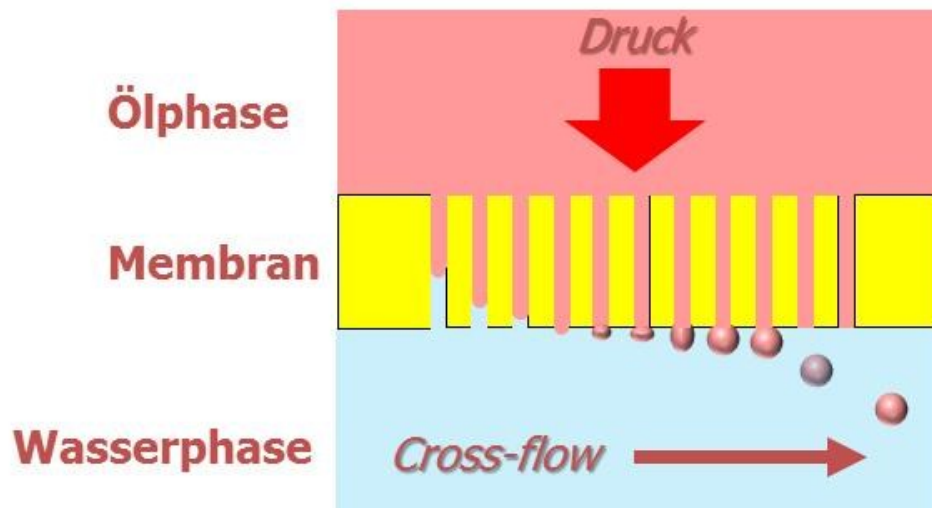


Abb. 4.1.3: Schematische Darstellung der Membranemulgierung

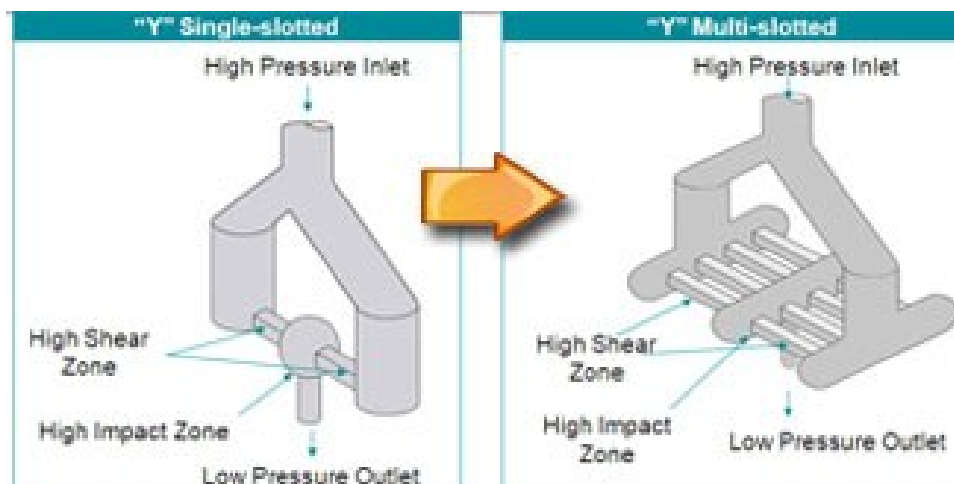


Abb. 4.1.4: Interaktionskammer eines Microfluidizer (Microfluidics, 2015)

1.1.3.3. Ultraschall'emulgierung

Siehe dazu Kapitel 1.4.1.2.

Durch die neuen Emulsionstechniken und die Verwendung von Emulgatoren lassen sich auch Liposomen erzeugen, wo z.B. sehr kleine Wassertropfchen in Öltröpfchen eingeschlossen werden und letztere dann wieder in eine Wasserphase hinein emulgiert werden. Es entstehen sogenannte multiple Emulsionen (z. B. Wasser/Öl/Wasser-Emulsionen). Damit können z.B. wasserlösliche Inhaltsstoffe, die miteinander reagieren könnten, getrennt in die innerste und äußere Wasserphase eingebracht werden (z.B. Aromastoffe), oder eine langsamere und länger anhaltende Freisetzung der Aromastoffe beim Verzehr bewirkt werden. Abb. 4.1.5 zeigt eine solche mit einem Microflu-idizer erzeugte W/O/W-Emulsion.

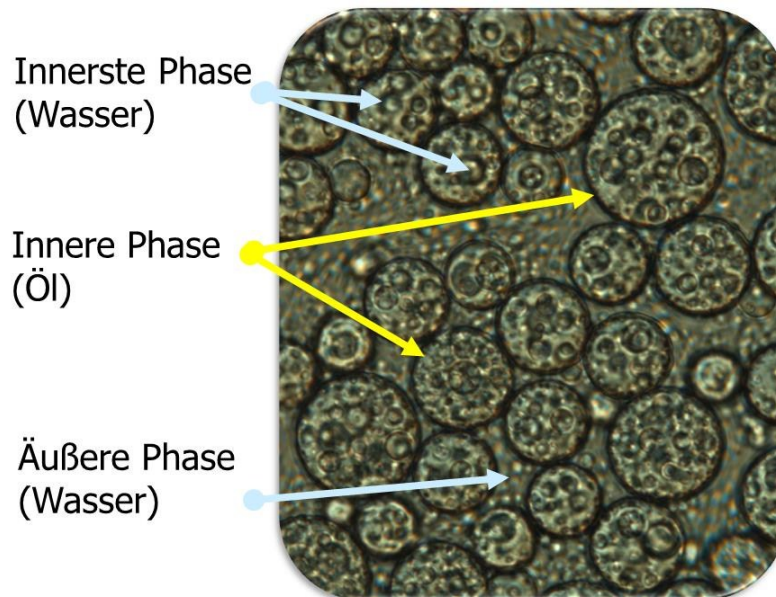


Abb. 4.1.5: Wasser in Öl in Wasser-Emulsion (Sommeregger, 2010)

1.1.4. Mikroverkapselung

Die Mikroverkapselung von empfindlichen Wirkstoffen zählt in der Pharmaindustrie schon lange zum Stand der Technik und wird auch in der Lebensmittelindustrie mehr und mehr genutzt. Damit können Lebensmittelinhaltsstoffe durch eine physische Barriere geschützt, und am richtigen Ort zur richtigen Zeit gezielt in Lebensmittelsystemen und auch im Verdauungstrakt freigesetzt werden (Gouin, 2004).

Beispiele für mikroverkapselte Stoffe:

- Aromastoffe, Aromen, ätherische Öle und Gewürzextrakte - In mikroverkapselter Form sind diese länger stabil und besser dosierbar.
- Antioxidantien und Konservierungsmittel (Beispiel: Mikroverkapselung von Sorbinsäure und Zusatz zum Teig, wo sie aber in mikroverkapselter Form keine Wirkung hat und das Backhefe-wachstum nicht stört. Beim Backen schmelzen die Mikrokapseln und setzen die Sorbinsäure frei, die nun das Schnittbrot vor Schimmelwachstum schützt.)
- Vitamine - In mikroverkapselter Form sind diese länger stabil und besser dosierbar.
- Öle (z.B. mikroverkapselte Fischöle oder Omega-3-fettsäurereiche Öle zur Anreicherung von wässrigen Lebensmitteln)

- Mikroverkapselte Eisenpräparate zur Anreicherung von Lebensmitteln, um sensorische Nachteile dieser Präparate zu beseitigen.
- Enzyme (Enzymimmobilisierung durch Mikroverkapselung – In dieser Form können sie nach ihrer Tätigkeit wieder entfernt und erneut eingesetzt werden.)
- Lebende, probiotische Bakterien sind in mikroverkapselter Form während der Magenpassage geschützt und gelangen im Lebendzustand in den Dickdarm.

Grundsätzlich lassen sich die in Abb. 4.1.6 dargestellten vier Typen von Mikrokapseln unterscheiden:

- a) Mikrokapseln mit einem von einer festen Schale bzw. Hülle umgebenen flüssigen oder festen Kern. Der Kern enthält den zu schützenden Stoff.
- b) Mikrosphären bzw. Mikromatrix, wo der Wirkstoff in einer (Polymer)-Matrix eingebettet ist.
- c) Mehrschalige Mikrokapseln
- d) Kombination aus mehrschaligen Mikrokapseln und Mikrosphären

Als **Hüllmaterialien** werden bevorzugt Stärke und modifizierte Stärken, Cellulose und ihre Derivate verwendet. Es können aber im Prinzip alle Hydrokolloide aus Landpflanzen, Algen und Mikroorganismen, sowie tierische und pflanzliche Proteine dafür eingesetzt werden (Nedovic et al., 2011). Die meisten Hydrokolloide sind rechtlich als deklarationspflichtige Zusatzstoffe einzuordnen. Das ist beim Einsatz solcher Mikrokapseln natürlich zu beachten (z.B. Höchstgrenzen, Einschränkung auf bestimmte Lebensmittel).

Die technische Umsetzung der Mikroverkapselung kann mit mehreren Methoden erfolgen (Nedovic et al. 2011), wie z.B.:

Sprühtrocknung: Ist die älteste und am weitesten verbreitete Methode. Der Wirkstoff wird in einer Polymerlösung gelöst bzw. dispergiert und sprühgetrocknet. Die erhaltenen Mikropartikel liegen im Größenbereich von unter 40 Mikrometer.

Fließbett-Trocknung: Pulverpartikel werden in einem Luftstrom aufgewirbelt (Fließbett) und mit dem flüssigen Überzugs- bzw. Einbettungsmaterial besprüht und das Lösungsmittel abgetrocknet.

Sprühkühlung: Wird zur Mikroverkapselung in einer Fettmatrix eingesetzt. Der Wirkstoff wird in der ausgeschmolzenen Fettmatrix gelöst, emulgiert oder dispergiert. Die Fettmatrix wird dann in einen Kühlturm fein versprüht, wobei sie erstarrt und den Wirkstoff einschließt.

Extrusionsmethode: Der Wirkstoff wird in einer Polymerlösung, vorzugsweise Alginate-Lösung, gelöst bzw. dispergiert und die Lösung über eine (Tropf)-Düse in ein Fällungsbad extrudiert. Es entstehen feste, gelartige Mikrokugeln oder Mikrofäden.

Phasenseparation (Koazervation): Der Wirkstoff wird in Form flüssiger Tröpfchen oder in Form fester Partikel in einer organischen Polymerlösung emulgiert bzw. suspendiert. Durch Zugabe eines Phasentrennmittels kommt es zur Koazervation des Polymers. Darunter versteht man die Auftrennung einer makromolekularen Lösung in zwei miteinander nicht mischbare Flüssigkeiten, eine dichte, polymerreiche Koazervatphase und eine zweite Phase, die hauptsächlich aus dem Lösungsmittel besteht. Die Koazervate können die Partikel mit einem flüssigen Polymerfilm umschließen und vorzugsweise einheitlich einhüllen. Der flüssige Polymerfilm kann mittels eines geeigneten Verfahrens, wie der Variation der Temperatur oder des pH-Wertes oder einer chemischen Reaktion, verfestigt (feste oder gelartige Phase) und gehärtet werden. Die Mikrokapseln können mittels Sedimentation oder Filtration abgetrennt werden (Gouin, 2004).

Bezüglich eventuell vorhandener Risiken sind nicht so sehr die einzelnen, zum Stand der Technik zählenden Verfahren relevant, sondern die verwendeten Hüllmaterialien und die Wirkstoffe selbst. Eine Beurteilung kann hier nur von Fall zu Fall vorgenommen werden.

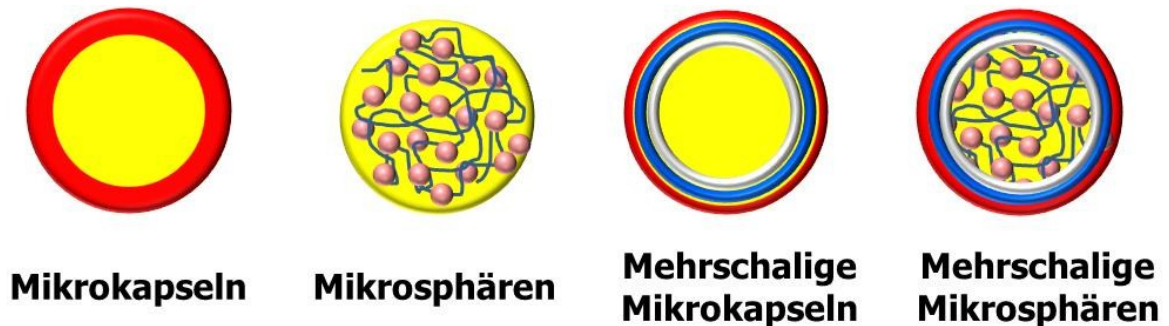


Abb. 4.1.6: Typen von Mikrokapiteln

1.1.5. Neue Zerkleinerungstechniken

1.1.5.1. Neue Schneidtechniken

Wasserstrahlschneiden

Wasserstrahlschneiden (*water jet cutting*) zählt an und für sich schon seit Jahrzehnten in vielen Bereichen, auch in der Lebensmittelproduktion, zum Stand der Technik. Dabei wird ein gebündelter, dünner Wasserstrahl, der von einer Hochdruckpumpe (bis zu 620 MPa) erzeugt wird, auf das zu schneidende Material gerichtet. Die Austrittsgeschwindigkeit des Wasserstrahls beträgt an der Austrittsdüse ca. 750 m/s, das entspricht etwa der 3-fachen Schallgeschwindigkeit.

Es können damit die verschiedensten Arten an Lebensmitteln (z.B. Pizza, Kuchen, Torten, Sellerie, frisches und gefrorenes Fleisch, gefrorener Fisch, Speck, Sandwiches, Schokoriegel, Müsliriegel) mit dem Wasserstrahl geschnitten werden. Die Schnittflächen sind glatt und exakt und es gibt keinen Abrieb. Der Vorgang erfolgt in hygienischer Umgebung und ohne die beim Klingenschneiden auftretenden Kreuzkontaminationen. Weitere Vorteile sind die Zeitersparnis und keine Ausfallzeiten durch das Austauschen oder Schärfen stumpfer Schneidwerkzeuge.

Aufgrund dieser Vorteile zählt das Wasserstrahlschneiden zu den weltweit am schnellsten wachsenden bedeutenden Maschinenwerkzeugprozessen (Anonym 2015 a +b). In Zukunft ist zu erwarten, dass auch kleine Hersteller (Bäcker, Konditoren, Fleischer) diese Schneidtechnik einführen werden. Auf der anderen Seite wird sie vielleicht auch Eingang bei den ganz großen Betrieben halten, wie zum Beispiel in Zuckerfabriken zum Schneiden der Zuckerrüben (Harten, 2006).

Die Maschinenhersteller führen an, dass das Verfahren durch die USDA (*United States Department of Agriculture*) genehmigt wurde, weil es ein bakterienfreies und hygienisches Schneidverfahren ermöglicht.

Die Vorteile sowohl für die Produzenten als auch für die Endverbraucher sind offensichtlich.

Erkennbare Risiken sind damit keine verbunden, eher im Gegenteil: Es werden hygienische Risiken minimiert. Die weitere Akzeptanz kann daher angenommen werden.

Ultraschallunterstütztes Schneiden

Siehe dazu Kap. 1.4.1.1.

1.2 Neue Trenn- und Isolierungsverfahren

1.2.1. Neue Entwicklungen bei den Membrantrennverfahren

Membrantrennverfahren sind heutzutage nicht mehr aus der Lebensmittelproduktion wegzudenken und werden in den verschiedensten Bereichen für die unterschiedlichsten Zwecke eingesetzt. Es sind also keine neuen Verfahren. Sowohl die Verfahren als auch die verwendeten Membrane werden aber sukzessive weiter entwickelt und optimiert. Dafür werden im Folgenden einige Beispiele angeführt.

1.2.1.1. Kombination der Membrantrennverfahren mit Ultraschall

Ein Problem der Membrantrennverfahren ist das sogenannte „*fouling*“. Dabei setzen sich Stoffe an oder auf der Membran fest und verringern den Durchfluss. Mittels Ultraschall kann diese Deckschichtbildung verhindert werden (Jin, 2014). Die grundsätzliche Wirkung von Ultraschall wird in Kapitel 1.4. eingehend behandelt.

1.2.1.2. Verbesserte Membrane durch Nanotechnologie

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen nanostrukturierten und nanoverbesserten Membranen. Bei **nanostrukturierten Membranen** bezieht sich der Term „nano“ ausschließlich auf die Porenstruktur. Der Porendurchmesser liegt hier im Nanometerbereich. Diese Nanoporen werden durch verschiedenste Techniken erreicht. Mittels solcher Membrane ist eine sogenannte **Nanofiltration** möglich, die zwischen der Ultrafiltration und der Umkehrosmose liegt und eine Trenneffektivität zwischen Salzen und Kolloiden aufweist.

Bei **nanoverbesserten Membranen** werden hingegen künstliche Nanopartikel und -strukturen in die Membranmatrix integriert bzw. inkorporiert oder auf die Membranoberfläche aufgebracht (Müller, 2011, Buonomenna, 2013).

Ein Trend in diese Richtung ist beispielsweise die Inkorporation von Nanopartikeln in Polymere Membrane (Nguyen et al., 2013). Dadurch können eine ganze Reihe von Membraneigenschaften

ten positiv verändert werden, wie z.B. die Selektivität und Permeabilität. Als Nanopartikel kommen Silber, Eisen, Zirkonium, Silizium, Aluminium, Titan und Magnesium in Frage.

Auch Nanotubes lassen sich vorteilhaft in Membrane integrieren (Buonomenna, 2013).

Nanostrukturierte Membrane sind genauso wie andere Membrane zu betrachten. Bei nanoverbesserten Membranen wird es hingegen darauf ankommen, ob die integrierten Nanopartikel in oder auf der Membran bleiben oder in die Lebensmittel übergehen können, und falls ja, in welchem Ausmaß. Hier kommen dann die allgemeinen, sicherheitsrelevanten Aspekte der Nanotechnologie zum Tragen.

1.2.2. Neue Adsorptionsmaterialien

Neben den gängigen Adsorptionsmitteln, wie Aktivkohle, Kieselgur und Bentonit wird verstärkt nach neuen, besseren und selektiven Mitteln gesucht.

Jiang et al. (2012) beschreiben die Herstellung von Kunststoffpartikeln, die mit einer Nano-Eisenverbindung überzogen wurden. Diese Präparate sind zur spezifischen Entfernung von Arsen aus Trinkwasser geeignet. Zhang (2013) machen das gleiche mit einer Manganverbindung.

Laut Nasabi et al. (2012) eignen sich Titandioxid-Nanopartikel als Adsorptionsmittel zur Entfärbung von Dattelsirup.

Behbahani et al. (2013) stellen durch **molekulare Prägung (*molecular imprinting*)** von Kunststoffpartikeln mit Blei ein ganz selektives Adsorptionsmittel für Blei her. Bei dieser Methode wird um die Zielmoleküle (Bleiverbindung) herum ein vernetztes Polymer gebildet. Das Zielmolekül wird anschließend aus der Kunststoffmatrix heraus gelöst, wobei ein Hohlraum bleibt, in dem sich wieder die gleichen Moleküle einlagern können. Solcherart geprägte Polymere können zur selektiven Entfernung von Blei aus diversen Lebensmitteln eingesetzt werden. Die wieder mit Blei beladenen Partikel werden aus der Lebensmittelmatrix entfernt. Mit der faszinierenden Methode der molekularen Prägung lassen sich noch viele weitere Möglichkeiten andenken, um unerwünschte Moleküle aus Lebensmitteln gezielt abzutrennen.

Alle neuen Adsorptionsmittel gelten als Zusatzstoffe bzw. Verarbeitungshilfsstoffe und sind zulassungspflichtig. Im Rahmen dieser Zulassungsverfahren wird von Fall zu Fall eindeutig abzuklären sein, ob Risiken bestehen.

1.3. Verwendung von überkritischem Kohlendioxid

Obwohl die Extraktion mit überkritischen Flüssigkeiten (*supercritical fluid extraction – SFE*) seit einigen Jahrzehnten auch im Lebensmittelbereich zum Stand der Technik gehört, ist ihre verbreitete Anwendung trotz der vielen Vorteile gegenüber organischen Extraktionsmitteln (wie z.B. Hexan, eine Benzinfraktion, eingesetzt zur Gewinnung pflanzlicher Öle) bis jetzt leider ausgeblieben. Im Prinzip ließen sich alle Extraktionsverfahren in der Lebensmitteltechnik durch dieses umwelt- und produktschonende Trennverfahren ersetzen. Als Extraktionsmittel wird dabei Kohlendioxid im überkritischen Zustand verwendet. Das verwendete Kohlendioxid kommt nicht aus der Verbrennung von fossilen Rohstoffen, sondern wird als regeneratives Nebenprodukt (Lebensmittelkohlen-

säure) bei Fermentationen gewonnen. Überkritische Flüssigkeiten haben eine Dichte ähnlich wie Flüssigkeiten und damit die gleich guten Lösungseigenschaften. Hinsichtlich der Viskosität sind sie aber eher mit der Gasphase vergleichbar. In der Gasphase können Stoffe gut diffundieren, wodurch eine rasche Stofftrennung möglich ist.

Manche neue Techniken werden oft sehr rasch in die Praxis eingeführt, bei anderen dauert der Durchbruch länger, beziehungsweise sie schaffen es nie. Ein Beispiel dafür sind die Membrantrennverfahren, von denen lange geglaubt wurde, dass sie sich nicht durchsetzen werden. Fortschritte in der Herstellung der Membranen haben dazu geführt, dass heute kaum ein Lebensmittelbetrieb existiert, in dem nicht in irgendeiner Form ein Membrantrennverfahren zum Einsatz kommt. SFE hat den Nimbus von den Anlagekosten ein sehr teures Verfahren zu sein, was aber gar nicht so stimmt (Perrut, 2015). Wenn sich diese Erkenntnis endlich durchsetzt, wird in Zukunft dieses Verfahren nicht nur für die Gewinnung von „hochpreisigen“ Produkten (z.B. Aromastoffextrakte) sondern auch in anderen Bereichen genutzt werden.

Das Anwendungspotential von überkritischem Kohlendioxid in der Lebensmitteltechnik ist aber keineswegs nur auf die Extraktion beschränkt. In der Zwischenzeit wurden viele andere Einsatzmöglichkeiten gefunden, erforscht und teilweise auch schon praktisch eingesetzt. Dieses fallen in die unterschiedlichsten Aufgabengebiete, werden aber hier gemeinsam behandelt. Einleitend dazu werden die vielen Vorteile von überkritischem Kohlendioxid angeführt:

- Es ist toxikologisch unbedenklich.
- Es wirkt bakteriostatisch.
- Es ist chemisch reaktionsträge.
- Es ist nicht brennbar, wie andere Lösungsmittel.
- Es ist nicht umweltbelastend.
- Es ist leicht und ökonomisch verfügbar.
- Es hat bei 50 MPa etwa dieselben Lösungseigenschaften wie Hexan.

1.3.1. Einsatz von überkritischem Kohlendioxid bei der Extrusion

Mittels Heiextrusion können stärke- und proteinreiche Rohstoffe in einem Extruder ohne Wasserzusatz unter Druck und hoher Temperatur innerhalb kurzer Zeit aufgeschmolzen beziehungsweise aufgeschlossen (⇒ gekocht) werden. Beim Austritt der Schmelze aus dem Extruder tritt ein plötzlicher Druckabfall ein. Der in der Schmelze noch vorhandene, geringe Wassergehalt wird durch diese Entspannung verdampfen. Die entstehenden Dampfbläschen schäumen die Schmelze auf (⇒ Expansion), die sofort zu einem festen, amorphen Schaum erstarrt. Auf diese Weise lassen sich unzählige expandierte Snackprodukte, Quellmehle usw. herstellen.

Werden proteinreiche Rohstoffe heißextrudiert und die Expansion verhindert, indem die aus dem Extruder austretende Schmelze in einem weiterführenden Rohr langsam unter die Verdampfungstemperatur des Wasser abgekühlt wird. Auf diese Weise lassen sich aus Pflanzenproteinen (z.B. Sojaprotein) fleischähnliche Strukturen erzeugen. Dieser Prozess ist für Sojaprotein an und für sich schon lange bekannt. Zur Erzeugung von Fleischimitaten aus anderen pflanzlichen Proteinquellen erfährt er in Europa aufgrund des „vegetarischen Trends“ gegenwärtig zumindest im Forschungsbereich wieder eine gewisse Renaissance.

Schon 1995 wurde die Möglichkeit beschrieben (Rivzi, 1995), in die im Heiextruder entstehende Schmelze bevor sie austritt überkritisches Kohlendioxid hinein zu pressen. Durch den hohen Druck im Extruder bleibt es im fluiden Zustand und verdampft erst nach dem Austritt. Im Vergleich zur Wasserdampfexpansion ergibt Kohlendioxid viel feinere Bläschen und damit eine bessere Struktur der Endprodukte. Damit lassen sich auch aus schwer expandierbaren Rohstoffmischungen bei

niedrigen Extrusionstemperaturen sensorisch akzeptable Produkte erzielen (Cho & Rivzi, 2010, Sinkkhornart et al., 2012). Die Methode ist zur Teiglockerung in Knetextrudern gleichfalls einsetzbar (Hicsasmaz, 2003). Eine praktische Nutzung des Verfahrens scheint derzeit noch nicht stattzufinden. Das Einsatzspektrum wird voraussichtlich auch in überschaubaren Grenzen bleiben.

Die Vorteile für die Konsumentinnen und Konsumenten liegen in sensorisch verbesserten Extrusionsprodukten. Schon jetzt ist ihnen kaum bekannt, welche Lebensmittel durch die konventionelle Heiextrusion erzeugt wurden, das wäre sich auch beim Einsatz des neuen Verfahrens kaum ändern.

1.3.2. Einsatz von überkritischem Kohlendioxid zur Inaktivierung von Mikroorganismen in Lebensmitteln (Kaltpasteurisation)

Schon seit ca. 30 Jahren ist die Möglichkeit bekannt, Mikroorganismen (MO) in Lebensmitteln zu inaktivieren, indem diese für eine bestimmte Zeit in beziehungsweise mit überkritischem Kohlendioxid behandelt werden (Perrut, 2015, Garcia-Gonzalez et al., 2007). Wahrscheinlich ist dieser Effekt auf mehrere Ursachen zurückzuführen, wie z.B.

- Lösung des überkritischen Kohlendioxid in den MO-Zellen und Zerreißen der Zellen bei plötzlicher Druckentspannung
- Intrazellulärer pH-Abfall
- Zellmembranmodifikation
- Inaktivierung von Schlüsselenzymen

Für die praktische Durchführung könnten die gleichen Anlagen wie für eine SF-Extraktion eingesetzt werden. Im Prinzip handelt es sich um eine nichtthermische Pasteurisation. Sporen können nur in Kombination mit milder Hitze, weit unterhalb der thermischen Sterilisationstemperatur, abgetötet werden. Das Verfahren eignet sich auch zur Inaktivierung rohstoffeigener Enzyme (Yank et al., 2011), also für ein nichtthermisches Blanchieren. Im Gegensatz zu den thermischen Konservierungsverfahren werden Lebensmittelinhaltsstoffe kaum geschädigt.

Die SF-Extraktion zählt zwar zum Stand der Technik. Für dieses neue Einsatzgebiet von überkritischem Kohlendioxid ist wahrscheinlich aber eine Zulassung nach der Novel Food Verordnung erforderlich. Insbesondere muss festgestellt werden, ob die hygienische Sicherheit auch wirklich gewährleistet wird. Zu klären wäre auch noch der genaue Wirkungsmechanismus.

Gegenwärtig wird sehr intensiv nach nichttermischen Haltbarkeitsmethoden gesucht, weshalb in Zukunft dieses Verfahren Bedeutung erlangen könnte.

Wenn alle Sicherheitsbedenken gelöst sind, wird wahrscheinlich auch die Akzeptanz durch die Verbraucherinnen und Verbraucher gegeben sein, zumal sie frischer schmeckende Lebensmittel mit natürlichem Image bekommen.

1.3.3. Mikropartikelbildung mit überkritischem Kohlendioxid

Viele feste, trockene Lebensmittelingredienzen werden in der Lebensmitteltechnik in Form von feindispersen Pulvern eingesetzt, welche durch Kristallisation, Mahlen, Sprüh- und/oder Fließbett-Trocknung usw. erzeugt werden.

Aktive Substanzen, wie Enzyme, Vitamine, Farbstoffe, Aromastoffe werden immer mehr durch **Mikroenkapselung** in diversen Matrices in stabile, lagerfähige, gut dosierbare Mikropartikel übergeführt.

Wenn sehr kleine Mikropartikel benötigt werden, oder zähe, hochviskose Schmelzen, Fette und fettähnliche Substanzen und Flüssigkeiten ebenfalls in ein freifließendes Pulver mikropartikuliert werden sollen, sind die Grenzen der bisherigen Methoden erreicht. Hier kommen nun neue Verfahren zum Einsatz, die eine Partikelbildung mit Hilfe von überkritischem Kohlendioxid erreichen und sogar flüssigkeitsgefüllte Mikropartikel generieren können (Wendt, 2007).

Perrut (2015) und Lack et al. (2005) geben einen Überblick über die prinzipiellen Möglichkeiten zur Partikelgenerierung mittels überkritischem Kohlendioxid, von denen die für die Lebensmitteltechnik wichtigen näher beschrieben werden.

1.3.3.1. RESS (*rapid expansion of a supercritical solution*)

Das Produkt wird in überkritischem Kohlendioxid gelöst und durch eine Düse in einen Sprühturm eingetragen. Das überkritische Kohlendioxid verdampft plötzlich und setzt lauter kleine, freifließende Feststoffpartikel frei. Das Verfahren ist nur für Produkte einsetzbar, die in überkritischem Kohlendioxid löslich sind (Lack et al., 2005). Es wurde bereits in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts entwickelt und findet in der Pharmaindustrie Verwendung (Perrut, 2015).

1.3.3.2. SAS (*supercritical antisolvent technology*)

Das Produkt wird vorerst in einem organischen Lösungsmittel gelöst. Durch sukzessive Zufuhr von überkritischem Gas, das sich im organischen Lösungsmittel löst, wird anschließend die Löslichkeit des Produktes herabgesetzt, wodurch es in kleinen Partikeln ausfällt (Lack et al. 2005). Die Größe beziehungsweise die Kleinheit der anfallenden Partikel kann bis in den Nanobereich gehen (50 – 200 nm) (Perrut, 2015). Das Verfahren wird in der Pharmaindustrie für Wirkstoffe eingesetzt, könnte aber durchaus auch im Lebensmittelbereich Verwendung finden. Zhou et al. (2012) beschreiben beispielsweise die Herstellung von Resveratrol/Hydroxypropyl- β -Cyclodextrin-Einschlusskomplexen mit diesem Verfahren zur Verbesserung der Wasserlöslichkeit.

1.3.3.3. CPF (*concentrated powder form*)

Das CPF-Verfahren generiert pulverförmige Partikel aus Flüssigkeiten. Dazu wird eine Flüssigkeit (Lösung, Getränke, Gewürzextrakte, Ätherische Öle, Pflanzenöle etc.) mit überkritischem Kohlendioxid gemischt und in einem Sprühturm versprüht. Gleichzeitig wird in diesen Turm ein pulverförmiges Trägermaterial (Stärke und modifizierte Stärke, Cellulose, Kieselsäure, Zucker etc.) eingeblasen. Das freigesetzte Gas verwirbelt die Flüssigkeitströpfchen und den pulverförmigen Trägerstoff, die sich miteinander verbinden. Es entsteht ein freifließendes Pulver mit bis zu 85 % gebundener Flüssigkeit. Damit lassen sich quasi Flüssigkeiten in ein pulverförmiges Material umwandeln (Lack et al. 2005).

1.3.3.4. PGSS (*particle from gas saturated solution*)

Die zu versprühende Substanz wird geschmolzen und mit dem Kohlendioxid unter Druck diskontinuierlich in einem Kessel oder kontinuierlich in einem statischen Mixer gemischt und danach über eine Düse versprüht. Das überkritische Kohlendioxid löst sich in der Schmelze und reduziert deren Viskosität. Nach dem Austritt aus der Düse wird durch das plötzlich expandierende Gas die Schmelze in kleinste Tröpfchen zerrissen. Durch den Joule-Thomson-Effekt erfolgt auch eine plötz-

liche Abkühlung und die Tröpfchen erstarren sofort (Lack et al. 2005). Aus hochviskosen Fetten und Emulgatoren entstehen auf diese Weise freifließende, gut dosierbare Pulver.

Es können auch zwei Komponenten mit dem überkritischen Gas vermischt werden, beispielsweise ein Hüllmaterial (Schokolade, Palmfett etc.) und ein Kernmaterial (Extrakte, Flüssigkeiten etc.). Beide Materialien werden erhitzt und intensiv mit dem Gas gemischt, damit Flüssigkeits-Mikrotröpfchen im geschmolzenen Hüllmaterial entstehen. Nun wird wieder über eine Düse versprüht. Das expandierende Gas entzieht durch den Joule-Thomson-Effekt den entstandenen Tröpfchen sehr rasch die Wärme, wodurch das Hüllmaterial erstarrt und eine feste Hülle bzw. eine Schale um die mikropartikulierten Flüssigkeitströpfchen bildet (Wendt et al., 2007). Beispielsweise lässt sich dadurch Kirschwasser oder Aromen in kleine Schokoladekugeln einkapseln, die wiederum verschiedensten Lebensmitteln (z.B. Cappuccino) zudosiert werden können (Anonym, 2005).

Zwei Einsatzbeispiele aus der letzten Zeit sollen das Potential der Methode noch näher darstellen. DePaz et al. (2012) beschreiben die Einkapselung von β -Carotin in Sojabohnen-Lecithin durch PGSS, wobei Partikel von 1 – 5 Mikrometer erhalten wurden. Der flüssige Farbstoffextrakt aus Opuntien wurde von Saldanha do Carmo et al. (2015) mittels PGSS in Glycerinmonostearat einkapselt. Im Vergleich zu einem getrockneten Extrakt ließen sich die PGSS-Partikel weit besser in Eiscreme integrieren.

Das bereits 1994 entwickelte PGSS-Verfahren, an dem auch die österreichische Firma Natex beteiligt war, hat sein großes Potential in der Zwischenzeit an den unterschiedlichsten Materialien bewiesen. Mittlerweile hat es Industriestandard erreicht und einige Anlagen sind in Betrieb. Das erste industriell erzeugte Produkt war Schokoladenpulver und ist angeblich auf dem Markt (Wendt et al., 2007). Das PGSS-Verfahren hat von den oben angeführten Methoden zweifelsohne die größte Bedeutung in der Pharma- und Lebensmittelindustrie erreicht. Aufgrund der faszinierenden Möglichkeiten ist zu erwarten, dass es in Zukunft noch weitere Verbreitung finden wird. Vor allem dann, wenn der Anlagenbau im Umgang mit überkritischen Gasen weiter fortschreitet.

Alle Verfahren zur Mikropartikulierung mittels überkritischen Kohlendioxids haben gemeinsam, dass sie sehr produkt- und umweltschonend sind. Ob sie in rechtlicher Hinsicht eine Zulassung nach der Novel Food Verordnung bedürfen ist eher unwahrscheinlich, weil sie zumindest teilweise schon vor dem Inkrafttreten dieser Verordnung eingesetzt wurden und auch schon ähnliche Produkte mit anderen Verfahren gewonnen wurden.

Rechtliche und Risikofragen stellen sich eher nicht im Zusammenhang mit den Verfahren selbst, sondern mit den verwendeten Hüllmaterialien (z.B. Polymere) und den erzeugten Endprodukten, sofern letztere auch in den Nanobereich hinein gehen.

Der Nutzen für die Lebensmittelproduzenten liegt in leicht hantierbaren Materialien und für die Konsumentinnen und Konsumenten in kreativen Produkten.

Da die Endverbraucher in den meisten Fällen gar nicht wissen werden, mit welchen Verfahren die neuen, kreativen Produkte erzeugt wurden, stellt sich die Frage der Akzeptanz wahrscheinlich gar nicht.

1.4. Einsatz von Ultraschall in der Lebensmitteltechnik

Ähnlich wie die Nanotechnologie oder die Verwendung von überkritischem Kohlendioxid ist auch der Einsatz von Ultraschall eine Querschnittstechnologie und kann für die unterschiedlichsten Aufgaben und Zwecke herangezogen werden. Deshalb werden diese auch gemeinsam in diesem Kapitel abgehandelt.

Die praktische Anwendung von Ultraschall steht in den meisten möglichen Einsatzfällen aber erst am Beginn und bedarf noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit.

1.4.1. Prinzipielle Wirkung von Ultraschall und allgemeine Einsatzkriterien bei Lebensmitteln

Akustische Wellen sind mechanische Wellen, die sich in einem Material ausbreiten. Sie werden bezüglich ihrer Wellenlänge in drei Frequenzbereiche unterteilt. Der für den Menschen hörbare Frequenzbereich liegt zwischen 20 Hz – 20 kHz. Niedrigere Frequenzen werden als **Infraschall** und höhere als **Ultraschall** bezeichnet.

Werden Ultraschallwellen durch ein Medium geleitet, verändern sie sich hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit, ihrer Frequenz oder ihrer Wellenlänge. Diese Veränderungen sind vom Material abhängig. Deshalb sind Ultraschallwellen im hochfrequenten Bereich mit geringer Energie (nicht höher als 1 W/cm^2) zur Untersuchung von menschlichem Gewebe aber auch zur zerstörungsfreien Untersuchung von Lebensmitteln geeignet. Ultraschallwellen mit höherer Energie im Bereich von 20 – 1000 kHz (*power ultrasound, high intensity ultrasound*) können das Medium, welches sie durchdringen, direkt beeinflussen und verändern. Ultraschall lässt sich deshalb potentiell für die unterschiedlichsten Aufgaben im Bereich der Lebensmitteltechnik nutzen (Cárcel et al., 2012, Soria & Villamiel, 2010).

Der Haupteffekt von Ultraschall in einem flüssigen Medium besteht darin, dass die Schallwellen alternierend eine Kompression (Druckaufbau) und Dekompression (Druckentlastung) aufbauen. Bei der Dekompression kommt es durch Kavitation zur Bildung von Dampf- bzw. Gasblasen im Mikrometerbereich. Unter Kavitation versteht man eine örtlich begrenzte Phasenänderung in Flüssigkeiten von flüssig in gasförmig infolge der Dekompression (Dampfdruckabsenkung). Diese Blasen sind nicht stabil und fallen zusammen, wenn der Druck wieder über den Dampfdruck ansteigt. Dieses Zusammenfallen kann nun auf zwei Arten geschehen.

Bei der **weichen Kavitation** treten in die Blasen Gase ein, die in der Flüssigkeit gelöst vorliegen, und dämpfen den Blasenkollaps beziehungsweise verhindern diesen ($\Rightarrow$ stabile Kavitation). Auf diese Weise wird eine Mikro-Durchmischung der Flüssigkeit erreicht.

Bei der **harten (transienten) Kavitation** wachsen die Blasen, die hauptsächlich Dampf der umgebenden Flüssigkeit enthalten, weiter und kollabieren dann durch die Einwirkung des umgebenden Drucks dann schlagartig. Es kommt zur Blasenimplosion (mikroskopischer Dampfschlag), wobei lokal enorme Temperaturen (*hot spots* bis zu 5000° K) und Drücke (bis zu 500 MPa = 5.000 bar), sowie Stoßwellen und Turbulenzen entstehen (Cárcel et al., 2012, Pingret et al., 2013). Erfolgt die Implosion einer solchen Dampfblase in der Nähe der Flüssigkeitsoberfläche ist diese asymmetrisch. Dabei schießen Mikro-Flüssigkeitsstrahlen ($\Rightarrow$ Mikrojets) mit hoher Energie aus der Flüssigkeitsoberfläche heraus und treffen auf die umgebenden Festkörperoberflächen. Dieser Effekt kann bei festen Körpern (z.B. Metallen, Glas) zur Reinigung eingesetzt werden. Treffen die Mikro-

jets auf weiche Materialien, wie z.B. feste Lebensmittel, dringen die Mikrojets ein und es kommt zu einer Imprägnierung (Awad et al., 2012, Cárcel et al., 2012).

Werden Ultraschallwellen direkt in festen bzw. weichen Materialien (z.B. Pflanzengewebe) erzeugt, bewirken sie einen sogenannten „Schwammeeffekt“. Durch alternierenden Druckaufbau und Druckentlastung kann die in dem Festkörper enthaltene Flüssigkeit austreten, beziehungsweise kann die umgebende Flüssigkeit eintreten. Die entstehenden Kräfte können die Kapillarkräfte übersteigen (Cárcel et al., 2012). Neben den physikalisch/mechanischen Effekten kann bei der Kavitation durch die auftretenden Temperaturen und Drücke auch die chemische Reaktivität im Medium drastisch beeinflusst werden, d.h. es kann zu chemischen Reaktionen, wie beispielsweise zur Bildung von Radikalen kommen (Awad et al., 2012, Pingret et al., 2013). Dieser Effekt ist gleichfalls im Lebensmittelbereich nutzbar, z.B. zur Inaktivierung von Enzymen und Mikroorganismen. Es können dadurch aber auch nachteilige Reaktionen ausgelöst werden, wie z.B. Farbstoff- und Fettveränderungen (Pingret et al., 2013).

Für die praktische Anwendung von Ultraschall muss dieser zuerst einmal durch die Nutzung elektrischer Energie erzeugt werden. Ein Umwandler ($\Rightarrow$ Transducer) wandelt elektrische Energie in mechanische Energie in Form von akustischen Ultraschallwellen um. Es gibt magnetostruktive und die weiter verbreiteten piezoelektrischen Transducer. An den Umwandler ist ein Vibrationsystem angeschlossen, welches die Schallwellen in das Medium weiter leitet. In Ultraschallbädern sind mehrere Transducer an den metallischen Tank angeschlossen, die phasengleich die Ultraschallwellen an den Tank übertragen. Beim SONDENSYSTEM wird der Ultraschall durch ein Ultraschallhorn (Sonotrode, Finger, Sonde) direkt in das zu behandelnde Medium geleitet. Das Problem dabei ist, dass sich das Ultraschallfeld mit der Entfernung von der Sonotrode stark abschwächt (Cárcel et al., 2012).

In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Einsatzmöglichkeiten von Ultraschall näher dargestellt.

1.4.1.1. Ultraschallunterstütztes Schneiden

Das Verfahren gehört schon zum Stand der Technik und wird zum Schneiden von schmierenden Lebensmitteln eingesetzt, die eine hohe Reibkraft auf die Messerklingen ausüben, und wo dünne Scheiben gewünscht sind (z.B. Hartkäselaibe, Fleischwaren, Süßwaren). Eine Ultraschallschneideeinrichtung besteht aus einem Generator, der die Netzspannung in eine ausgewählte hochfrequente Wechselspannung umwandelt, die üblicherweise im Bereich von 20 – 50 kHz liegt. Der Konverter beinhaltet eine Piezokeramik, mittels derer die elektrische Schwingung in eine mechanische Schwingung gleicher Frequenz umgesetzt wird. Die Sonotrode ist im Falle der vielfach verbreiteten Keilmesser für einen drückenden Schnitt bereits als Schneide ausgebildet. Form und Länge sind so abzustimmen, dass die Sonotrode in Resonanz schwingt (Zahn, 2009).

Es gibt Hinweise, dass bei fetthaltigen Lebensmitteln aufgrund der von den Ultraschallwellen ausgelösten Reaktionen (Radikalbildung) die Ausbildung eines Fehlgeschmacks ($\Rightarrow$ *off-flavor*) entstehen kann (Schneider et al., 2006).

1.4.1.2. Ultraschallunterstützte Emulsionsherstellung

Die Wirkung von Ultraschall beim Emulgieren beruht wieder auf der Kavitation. Wenn die entstehenden Dampfblasen in der Nähe der Grenzfläche der beiden Flüssigkeiten kollabieren, wird durch den entstehenden Schock und die entstehenden Mikrojets eine effiziente Mischung er-

reicht. Es lassen sich sehr stabile Emulsionen mit kleiner Tröpfchengröße erreichen (Soria & Villamiel, 2010). Die Tröpfchengröße kann sogar bis in den Nanobereich herabgesetzt werden. Außerdem werden Emulgatoren eingespart (Awad et al., 2012).

Kommerzielle Anlagen in Form von Ultraschallbädern oder in Röhren eingebettete Sonotroden ($\Rightarrow$ *in-line process*) werden in vielen Industriezweigen weit verbreitet genutzt. Im Lebensmittelbereich erfolgt ein Einsatz bei der Herstellung von Majonäse und Ketchup (Soria & Villamiel, 2010). Laut Pingret et al. (2013) war die Emulgierung einer der ersten Einsatzgebiete des Ultraschalls in der Lebensmitteltechnik. Die Ultraschalleinrichtungen lassen sich auch leicht in bestehende Anlagen integrieren. Bei der ultraschallunterstützten Emulgierung wurden durch die bei der Blasenimplosion entstehenden Bedingungen Veränderungen von Inhaltsstoffen gefunden. Diese Tatsache kann bei pflanzlichen Ölen zu einem ranzigen oder metallischen Fehlgeschmack führen (Pingret et al., 2013).

Mit Ultraschall lassen sich auch Nanomemulsionen erzeugen, wie das Beispiel von Pascual-Pineda et al. (2015) zeigt.

1.4.1.3. Ultraschallunterstützte Extraktion

Nach Cárcel et al. (2012) wurde die ultraschallunterstützte Extraktion in den letzten zwei Dekaden schon weit verbreitet zur Herstellung von Pflanzenextrakten genutzt. Vorteile sind die Ausbeuteerhöhung, geringere Verfahrenstemperatur und Einsparung von Lösungsmittel.

Die Wirkung des Ultraschalls beruht auf dem oben erwähnten „Schwammeeffekt“ und der Zerstörung der pflanzlichen Zellwände (Soria & Villamiel, 2010).

Die Extraktion mit überkritischem Kohlendioxid kann ebenfalls ultraschallunterstützt ablaufen. Die geringeren Diffusionsraten in diesem Medium werden mittels Ultraschall gesteigert.

Unter milden Extraktionsbedingungen wurden keine Inhaltsstoffveränderungen gefunden. Bei manchen Rohstoffen wurden aber sehr wohl Hinweise auf eine Veränderung der organoleptischen und chemischen Eigenschaften nachgewiesen (Pingret et al., 2013, Soria & Villamiel, 2010).

1.4.1.4. Ultraschallunterstütztes Gefrieren

Beim Gefrieren beziehungsweise Tiefkühlen von wasserreichen Lebensmitteln wird ein Teil des Wassers ausfrieren. Die Kristallisation des Wassers zu Eis erfolgt in zwei Stufen. Zuerst müssen sich Eiskristallkeime bilden, die dann weiter wachsen. Je mehr Kristallkeime sich bilden, umso kleiner werden sie bleiben, und umso besser wird die Textur und Struktur der Lebensmittel erhalten. Das lässt sich durch eine hohe Gefriereschwindigkeit erreichen. Genau hier setzt aber auch die Wirkung des Ultraschalls an. Durch die Kavitation wird die Bildung von Eiskristallkeimen angeregt und der Wärme- und Stofftransport durch die entstehenden Mikroströmungen verbessert (Awad et al., 2012).

Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes MINICRYSTAL (2008-2010) wurden die Vorteile des ultraschallunterstützten Gefrierens bei der Herstellung von Tiefkühlkost untersucht. Die Eiskristallgröße konnte um 19 – 28 % verringert werden und der Saftverlust nach dem Auftauen um bis zu 28 %. Im Rahmen dieses Projektes wurde auch eine Prototyp-Anlage konstruiert, die zum Testen in einem Werk eingebaut wurde (Anonym 2014 c).

Ein interessantes, zukünftiges Einsatzgebiet der ultraschallunterstützten Kristallisation ist die Eiscremeherstellung. Je kleiner die Eiskristalle in Eiscreme sind, umso cremiger schmeckt diese (Awad et al., 2012).

Auch bei der Gefriertrocknung und der Gefrierkonzentration ist der Einsatz von Ultraschall vorstellbar. Bei der Gefrierkonzentration wird beim Gefrieren der Rohstoffe die Bildung von vielen, kleinen Eiskristallkeimen angeregt, was dann wiederum Textur- und Strukturvorteile nach der Sublimation des Eises ergibt. Im Gegensatz dazu wird bei der Gefrierkonzentration die Flüssigkeit unterkühlt und durch Ultraschall die Bildung von nur wenigen Kristallkeimen induziert, die dann zu großen Eiskristallen heranwachsen und leicht von der nun aufkonzentrierten Flüssigkeit abgetrennt werden können (Awad et al., 2012).

1.4.1.5. Ultraschallunterstützte Trocknung

Es wurde gezeigt, dass Ultraschall zur Unterstützung entweder vor der Trocknung oder bei der Trocknung dienen kann. Vorher, indem die zu trocknenden Lebensmittel in einem Ultraschallbad behandelt werden. Es lässt sich aber auch direkt in den Trockner ein Transducer zur Erzeugung der Ultraschallwellen integrieren (Witrowa-Rajchert et al., 2014). In beiden Fällen wurden höhere Diffusionsraten und damit eine raschere Trocknung und Kosteneinsparung erzielt.

Bei der Gefriertrocknung ergibt eine gleichzeitige Ultraschallbehandlung eine raschere Sublimation, was wieder zur Senkung der Trocknungszeit und der Kosten führt (Schossler et al., 2012).

1.4.1.6. Inaktivierung von Mikroorganismen (Thermosonification)

Siehe dazu Kapitel 2.8.2.2.

1.4.1.7. Rechtliche Aspekte, Nutzen und Risiko der Anwendung von Ultraschall

Die praktische Anwendung von Ultraschall steht bei vielen potentiellen Einsatzgebieten erst am Beginn und bedarf noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit. In manchen Bereichen ist der Einsatz aber bereits Stand der Technik.

Ultraschalleinsatz ist zweifelsohne ein nicht übliches Verfahren. Sicher ist auch, dass dabei Veränderungen der Zusammensetzung und der Struktur erfolgen. Die Frage, ob diese bedeutend sind und Auswirkungen auf den Nährwert und Stoffwechsel haben, und sich unerwünschte Stoffe dabei bilden, wird eine Ermessenssache sein, die von Fall zu Fall zu prüfen ist.

Wie oben ausgeführt, kann es zur Veränderung von Inhaltsstoffen und zur Bildung von Radikalen kommen. Das wird auch genutzt, um gezielt Enzyme oder Mikroorganismen zu inaktivieren. Zur Relativierung sei angeführt, dass auch bei konventionellen, mechanischen Verfahren eine Radikalbildung passieren kann, wie z.B. beim Mahlen trockener Produkte.

Für eine Risikobeurteilung wird also immer auch das Ausmaß dieser Veränderungen entscheidend sein.

1.4.1.8. Informationsstand, Wahrnehmung und Akzeptanz seitens der Verbraucherinnen und Verbraucher

Ultraschalltechniken bieten eher verfahrenstechnische Vorteile und nutzen deshalb vor allem den Herstellern. Für die Endverbraucher ergeben sich indirekte Vorteile durch verbesserte Lebensmittel. Sie werden aber gar nicht wahrnehmen, wie diese Vorteile erzielt wurden.

Der Informationsstand der Konsumentinnen und Konsumenten ist derzeit sicher als sehr gering einzuschätzen. Als mechanisches Verfahren wird die Akzeptanz höher sein, als bei anderen, „von der Natur weiter entfernten“ Methoden.

2. Neue Verfahren zur Zubereitung, Garung und Haltbarkeitsverlängerung von Lebensmitteln

Einleitend muss festgehalten werden, dass eine klare Trennung und Abgrenzung zwischen Gar- und Haltbarkeitsmethoden nicht möglich ist. Viele der in diesem Kapitel beschriebenen Verfahren können für mehrere Zwecke eingesetzt werden, beziehungsweise können Verfahren kombiniert werden. Die Erstellung und exakte Einhaltung einer Systematik ist deshalb schwierig beziehungsweise unmöglich.

2.1. Minimal processing (minimally processed food) / fresh cut products

Vor einigen Jahren hat sich eine neue Produktgruppe in unseren Supermärkten etabliert, die in eigenen Kühlvittrinen oder sogar bei Raumtemperatur angeboten werden. Es handelt sich um vorge-schnittene, rohe Obst- und Gemüseprodukte, die in der Fachsprache als „*minimally processed food*“, „*chilled products*“ oder „*fresh-cut products*“ bezeichnet werden.

Entstanden ist diese Produktgruppe in der Obst- und Gemüseverarbeitung und wurde in weiterer Folge auf tierische Lebensmittel übertragen. Schlussendlich wurde die Bezeichnung „*minimally processed food*“ sogar für Fertiggerichte angewandt.

Eine ursprüngliche Definition lautet (Ohlsson, 1994):

„Minimal-processing methods all involve processing procedures that change the inherent fresh-like quality attributes of the food as little as possible (minimally) but at the same time endow the food products with a shelf life sufficient for its transport from the processing plant to the consumers.“

Demnach handelt es sich bei „*minimally processed food*“ um vorverarbeitete, aber **rohe, nicht ge-garte** Lebensmittel. In dieser Definition werden die beiden Bereiche „Vorverarbeitung“ und eine erforderliche „Haltbarmachung“ kombiniert, wobei sich „minimal“ auf beide bezieht. Synonyme für dieses Wort sind sowohl im Deutschen als auch im Englischen die Wörter „gering“ und „we-nig“. Eine geringe (Vor)verarbeitung von Lebensmitteln ist möglich und ergibt auch einen Sinn, ei-ne geringe Haltbarmachung oder Konservierung hingegen nicht. Entweder ist eine Konservierung für einen bestimmten Zweck ausreichend oder zu gering. „Minimal“ im Zusammenhang mit der Haltbarkeitsverlängerung bedeutet also eher schonend oder sanft.

Jedem ist die Tatsache bekannt, dass geschnittenes Obst und Gemüse nur eine sehr geringe Halt-barkeit aufweist. Ohne entsprechende Haltbarkeitsmaßnahmen ist deshalb ein Verkauf im Su-permarkt nicht möglich. Klarerweise lassen sich bei dieser Produktgruppe nicht alle Konservie-rungsmethoden anwenden. Thermische Methoden, wie die klassische Hitzepasteurisation und -sterilisation scheiden aus. Konsequenterweise wurde deshalb verstärkt nach schonenden, nichtthermischen Konservierungsverfahren für diese gering vorverarbeiteten Lebensmittel ge-sucht. Einige der in den folgenden Kapiteln angeführten Verfahren sind für diese Zwecke geeignet. Es wird üblicherweise auch nicht nur eine einzelne Konservierungsmaßnahme getroffen, sondern es werden mehrere Maßnahmen im Rahmen eines **Hürdenkonzeptes** kombiniert. Wird nur eine einzelne Hürde (= eine Haltbarkeitsmethode) verwendet, muss diese entsprechend hoch oder in-tensiv sein. Werden dagegen mehrere Hürden kombiniert, kann die Intensität der einzelnen Hür-

den geringer sein. Die Hitzesterilisation ist beispielsweise eine solche Einzelhürde und erfordert Temperaturen von über 100° C. Die schonendere Hitzepasteurisation wird nur in Kombination mit saurem pH-Wert oder Kühlung eingesetzt und kann bei Temperaturen unter 100° C erfolgen. Es handelt sich also hier um ein Zweihürdenverfahren.

Abb. 4.2.1 zeigt schematisch die Herstellung von „*minimally processed food*“ und die in den einzelnen Verfahrensstufen möglichen Hürden zur Verhinderung von Verderbsreaktionen.

Intensive Forschungen laufen gegenwärtig im Bereich der Schutzüberzüge (siehe Kap. 2.1.1.). Diese können nicht nur für geschnittenes, sondern auch für unverarbeitetes Obst und Gemüse eingesetzt werden.

In weiterer Folge hat sich der Begriff „*minimal processed*“ von der Zubereitung gelöst und wird jetzt auch nur alleine auf nichtthermischen Konservierungsverfahren angewandt, unabhängig davon, wie hoch verarbeitet bzw. zubereitet das damit behandelte Lebensmittel ist. Gegarte Fertiggerichte, die mit einer schonenden Methode haltbar gemacht wurden, fallen daher heute ebenfalls in diese Kategorie.

In einer Weiterentwicklung dieses Konzeptes wurde dann noch der Schritt der Garung einbezogen. Letzterer sollte ebenfalls so schonend als möglich erfolgen. Dazu wurde beispielsweise die Methode des mikrowelleninduzierten Dämpfens entwickelt (siehe Kap. 2.2.3.).

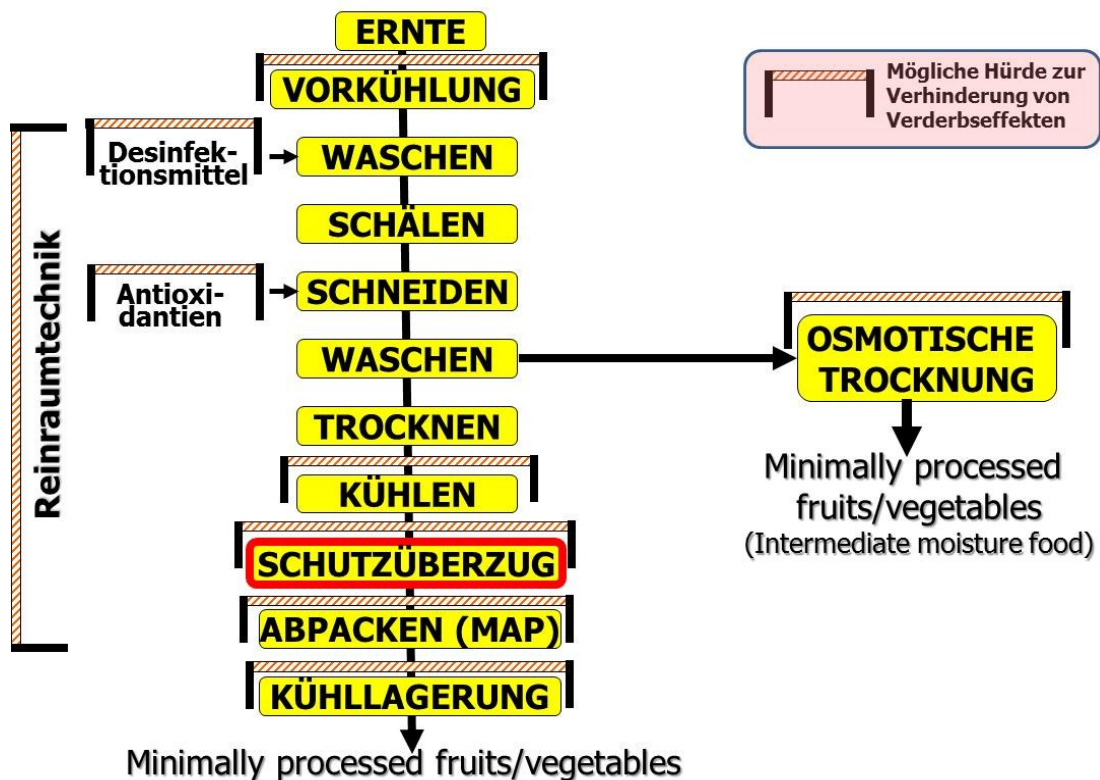


Abb. 4.2.1: Herstellung von „*minimally processed fruits and vegetables*“

2.1.1. Schutzüberzüge

Es gibt eine unüberschaubare Zahl an Publikationen, welche sich mit Schutzüberzügen von frischen, ganzen oder vorgeschnittenen Obst und Gemüse, aber auch von tierischen Lebensmitteln (Fleisch, Fisch, Eier, Käse) beschäftigen.

Siehe dazu auch Kapitel 2.2.3 – Essbare Überzüge auf Lebensmitteln (*edible films/coatings*) in Teil 5 dieses Reports.

Prinzipiell lassen sich solche Schutzüberzüge bzw. -filme in folgende zwei Gruppen gliedern.

2.1.1.1. Schutzüberzüge, die eine mechanische Barriere zwischen dem Lebensmittel und der Umgebung bilden.

In der Literatur werden unzählige, potentielle Stoffe für Schutzüberzüge beschrieben (Rojas-Graü et al., 2009, Falguera et al., 2011). Die meisten sind filmbildende Hydrokolloide aus den verschiedensten Quellen. Da sie mit den Lebensmitteln mitverzehrt werden, müssen sie auch essbar ($\Rightarrow$ *edible coating*), aber nicht unbedingt verdaulich sein. Sie dienen als mechanische Barriere und schützen das Lebensmittel einerseits vor Umwelteinflüssen (z.B. Luftsauerstoff, Mikroorganismen), andererseits können sie auch Wasserverluste durch Austrocknung vermindern.

Im Zeitalter der Nanotechnologie liegt es auch auf der Hand, nanostrukturierte Überzüge zu kreieren (siehe dazu Teil 5, Kapitel 2.2.3.).

2.1.1.2. Schutzüberzüge mit integrierten, aktiven Substanzen

In die Schutzüberzüge können zusätzlich eine Reihe von aktiven Stoffen in Normal- oder Nanoform für folgende Zwecke integriert werden:

- Antimikrobielle Substanzen (z.B. Konservierungsmittel, Lysozym – ein bakterienzellwandabbauendes Enzym)
- Antibräunungsmittel (Antioxidantien, wie Ascorbinsäure, organische Säuren, Bräunungsenzyme-Inhibitoren)
- Texturverbessernde Mittel (z.B. Calciumsalze)

2.1.1.3. Rechtliche und sicherheitstechnische Bewertung von Schutzüberzügen

Die rechtliche Einordnung und Sicherheitsbewertung essbarer Lebensmittelüberzüge ist aufgrund der Vielfalt der Substanzen und Möglichkeiten sehr schwierig. Schutzüberzüge könnten als Lebensmittel, Lebensmittelzusatzstoffe, Lebensmittelkontaktmaterial oder sogar als Lebensmittelverpackung bewertet werden.

Einige der vorgeschlagenen Hydrokolloide sind Lebensmittel bzw. Lebensmittelzutaten, wie beispielsweise Proteine. Viele sind Lebensmittelzusatzstoffe. Hier muss überlegt werden, ob ihr Einsatz für diesen Zweck mit dem Lebensmittelzusatzstoffrecht konform geht.

Liegen die Überzugsmaterialien oder die darin integrierten Aktivstoffe in Nanoform vor, muss auf jeden Fall eine separate und spezielle Bewertung erfolgen.

Schutzüberzüge sollten jedenfalls für die Konsumentinnen und Konsumenten eindeutig und klar gekennzeichnet werden, damit jeder selbst entscheiden kann, ob er diese akzeptiert.

2.2. Neue oder verbesserte Garverfahren

2.2.1. *Sous vide*-Garung

Der französische Ausdruck „*sous vide*“ bedeutet „unter Vakuum“. Fälschlicherweise wurde daraus der Begriff Vakuumkochen, was absolut unrichtig ist, weil unter Vakuum durch die Herabsetzung der Siedetemperatur kein Kochen erfolgen kann. Gemeint ist vielmehr, dass rohe Lebensmittel oder Zutaten unter Vakuum in kochstabile Kunststoffbeutel abgepackt, und Letztere anschließend in Wasserbädern schonend unter Luftausschluss gegart werden (Baldwin, 2011).

Chefköche in Toprestaurants nutzen dieses Garverfahren weltweit schon seit den 70er-Jahren des vorigen Jahrhunderts zur Garung unter exakten Temperatur- und Zeitbedingungen in evakuierten Beuteln. Dabei wird beispielsweise ein Steak in diesen Beuteln ca. 1 Stunde bei 60 – 70° C (Niedrigtemperaturgarung) gegart, aus den Beuteln entnommen und danach kurz angebraten. Das Steak ist bei dieser Garmethode innen noch rosa aber zart, und außen braun und knusprig (Seitz, 2015).

In weiterer Folge wurde das Verfahren von der Catering-Industrie übernommen und ein eigenes Catering-System daraus entwickelt [Vakuumkochen (*sous vide*), *vacuum cooking*, „*la cuisson sous vide*“]. Rohe Lebensmittel werden in temperaturstabile Kunststoffbeutel vakuumverpackt und in der Packung gegart. Es erfolgt eine schonende Garung unter Sauerstoffausschluss. Gleichzeitig erfolgt auch eine Pasteurisation des Gutes.

Diese Vorgangsweise bietet mehrere Vorteile: Durch den Sauerstoffausschluss beim Kochen und bei der späteren Lagerung wird eine Oxidation empfindlicher Inhaltsstoffe (Aroma- und Geschmackstoffe) minimiert. Deren Oxidation führt sonst bei fertig gekochten und gelagerten Speisen zur Ausbildung des sogenannten „Aufwärmgeschmacks“ (*WOF – warmed over flavor*). Die daraus resultierenden negativen, sensorischen Veränderungen sind generell ein großes Problem bei der Lagerung von Fertiggerichten, weshalb diese auch kaum wie frisch gekochte Gerichte schmecken. Weitere Vorteile sind eine gute Nährwerterhaltung und die Verhinderung von Auslaugeverlusten. Durch die gleichzeitig stattfindende Pasteurisation wird eine Haltbarkeit der Produkte bei Kühlagerung (⇒ Hürdenkonzept) von bis zu 42 Tagen erreicht. Im Gegensatz dazu beträgt die maximale Lagerzeit beim Catering-System „kochen/kühlen“ nur 3 – 4 Tage.

Das Verfahren erfordert aber eine äußerst hygienische Arbeitsweise von Beginn an, um das hygienische Risiko zu minimieren. Weil eben nur eine Pasteurisation erfolgt, muss die Kühlkette als zweite Hürde exakt eingehalten werden. Es können auch nicht alle Lebensmittel in Beuteln gekocht werden, wie zum Beispiel Kohlkarten.

Die dritte Einsatzstufe dieser Methode ist nun die Herstellung von Fertiggerichten für den Endverbraucher. In vielen europäischen Ländern finden sich bereits seit längerer Zeit in den Supermärkten – also im Retailhandel – *sous vide*-Produkte. In Österreich sind sie nur vereinzelt erhältlich (z.B. geschälte, gekochte, ganze Kartoffel), nicht zuletzt aus Preisgründen. Der höhere Verpackungsaufwand und die erforderliche Kühlagerung sind nämlich teuer. Mit dem Fortschreiten des

Anteils an Fertiggerichten ist aber zu erwarten, dass auch in Österreich in Zukunft ein höherer Marktanteil an solchen Qualitäts-Produkten erreicht wird.

Da die Hersteller in diesem Verfahren durchaus eine USP (*Unique Selling Proposition*) erkennen, erfolgt oft eine freiwillige Auslobung dieser Methode auf den Verpackungen.

2.2.2. Mikrowelleninduziertes Dämpfen

Um die sensorischen Nachteile von Fertiggerichten zu vermeiden, aber trotzdem einen hohen Conveniencegrad hinsichtlich der Zubereitungs- und Servierzeit zu bekommen, werden mehrere Maßnahmen kombiniert (Abb. 4.2.2.). Ausgegangen wird von rohen, vorzerkleinerten („*fresh-cut*“) Produkten (Gemüse, Fleisch und deren Kombinationen). Ihre Herstellung wurde schon in Kapitel 2.1. dargestellt. Sie werden in speziellen Kunststoffbehältern, -beuteln etc. abgepackt und durch Kühlagerung zu den Endverbraucherinnen und -verbrauchern gebracht. Als weitere Hürden neben der Kühlagerung können alle in Kapitel 2.1. aufgezeigten Möglichkeiten genutzt werden, wie eventuell auch die Abpackung unter modifizierter Atmosphäre (MAP – *modified atmosphere packaging*).

Im Haushalt werden die Verpackungen in den Mikrowellenofen gestellt. Die Mikrowellenbehandlung dient aber nicht dazu, um die rohen Lebensmittel zu garen, sondern um rasch Wasserdampf in der Verpackung zu erzeugen. Der Wasserdampf wird aus dem in den Lebensmitteln vorhandenen Wasseranteil gebildet, oder es wird ein wassergetränktes Fließ zusätzlich in die Verpackung hinein gegeben. Die Verpackung ist dicht, weshalb durch den gebildeten Dampf darin ein Überdruck, und damit verbunden eine Temperatur über 100 °C (bis zu 120 °C) entsteht. Damit die Verpackung nicht explodiert, ist ein Überdruckventil in der Verpackung integriert, welches sich ab einem bestimmten Dampfdruck öffnet. Durch den gebildeten Dampf und den erreichten Überdruck erfolgt eine verblüffend rasche Garung der Lebensmittel. Das Prinzip ist mit dem Dämpfen in Druckkochtöpfen vergleichbar. Die Vorteile dieses Kombinationsverfahrens liegen in der kurzen, schonenden Garung, der gleichmäßigen Temperaturverteilung in der Verpackung ohne „*hot spots*“, und es werden frisch gegarte, sensorisch ansprechende Speisen erhalten.

In der Zwischenzeit bieten schon eine Reihe von Firmen solche Verpackungssysteme an, darunter auch die österreichische Firma Mondi, Korneuburg mit ihrem NeoSteamTM MAP-System (MONDI, 2015). Es gibt auch leere Verpackungen zu kaufen, die zu Hause mit rohen Lebensmitteln befüllt, verschlossen und im Mikrowellenofen rasch gedämpft werden können.

Ein neues Verfahren der Firma Microplast (MICROPLAST, 2015) nutzt dieses mikrowelleninduzierte Dämpfen zur Haltbarmachung von Fertigenen. Dabei werden die rohen Fertigenenkomponenten in Kunststoffschalen gefüllt, dampfdicht verschlossen, durch einen Mikrowellen-Tunnelofen geführt und dabei schonend durch Dämpfen gegart und gleichzeitig pasteurisiert (10 – 12 min bei 120° C). Um ein Schrumpfen bzw. ein Einfallen des Deckels der Packung nach Kondensation des Dampfes beim Abkühlen zu verhindern, wird nach der Mikrowellenbehandlung mittels einer Injektionsnadel ein inertes, steriles, sauerstofffreies Gas in die Verpackung eingeleitet. Die sterile Atmosphäre verdrängt den heißen Dampf. Die Öffnungen im Verpackungsdeckel werden danach mit einem Etikett verschlossen. Die neue Atmosphäre in der Verpackung sorgt zusätzlich für eine lange Haltbarkeit bis zu 90 Tage im Kühlregal, also weit länger als bei *Sous vide*-Produkten.

Mit dem mikrowelleninduzierten Dämpfen sind keine erkennbaren, spezifischen Risiken verbunden. Viele Konsumentinnen und Konsumenten stehen aber aus wissenschaftlich nicht nachvollziehbaren Gründen der Anwendung von Mikrowellen skeptisch gegenüber. Diese Gruppe wird

deshalb auch diese Produkte nicht goutieren. Für alle anderen steht damit aber eine Garmethode zur Verfügung, die einen hohen Conveniencewert mit sensorischen und ernährungsphysiologischen Vorteilen verbindet.

Für Produkte, die außer Haus mit Mikrowellengarung bzw. -behandlung hergestellt wurden, wird es aber für kritische Konsumentinnen und Konsumenten schwierig. Mikrowellenbehandlung ist kein neues Verfahren im Sinne der Novel Food-Verordnung und daher auch nicht extra zu deklarieren. Erfolgt keine freiwillige Kennzeichnung können die Konsumentinnen und Konsumenten gar nicht erkennen, ob eine Mikrowellenbehandlung bei der Produktion eingesetzt wurde.

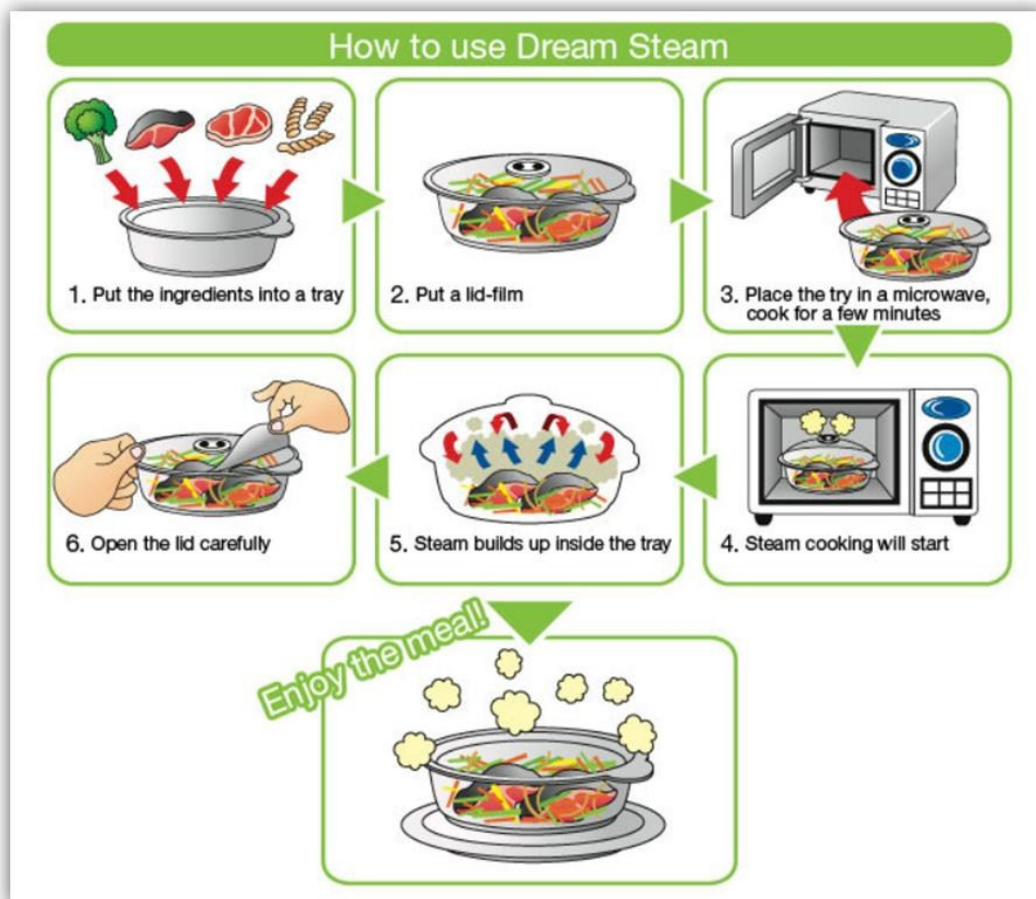


Abb. 4.2.2: Schematische Darstellung des mikrowelleninduzierten Dämpfens (TAKIGAWA, 2015)

2.3. Vorgegarte Convenience-Produkte

Die mehr oder weniger lange Kochzeit von stärkereichen Rohstoffen wird im Convenience-Zeitalter als nachteilig angesehen. Daher steigt der Anteil an fertig gekochten bzw. gegarten Lebensmitteln und Fertiggerichten. Diese benötigen einerseits einen höheren Konservierungsbedarf, um die Zeit zwischen der Produktion und dem Verzehr zu überbrücken; andererseits können sie auch sensorische Nachteile aufweisen (*warmed over flavor*). Das heißt, sie schmecken nicht wie frisch gekochte Speisen.

Um dieses Dilemma aufzulösen, werden mehr und mehr vorgekochte bzw. vorgegarte Produkte im Lebensmittelhandel angeboten, die eine verkürzte Garzeit benötigen, aber dann wie frisch gekocht schmecken. Insbesondere betrifft das folgende Produktgruppen:

- **Stärkereiche Körner und Samen**
 - Getreidekörner (Reis, Weizen usw.)
 - Leguminosen (Hülsenfrüchte) (Bohnen, Erbsen, Linsen usw.)
- **Knollen und Wurzel**
 - Kartoffel usw.

Stärkereiche Körner und Samen

Um schnellkochende, vorgegarte Produkte zu erhalten, werden die ungeschälten oder geschälten Körner und Samen eingeweicht, dann gekocht oder gedämpft oder einer anderen thermischen Behandlung unterzogen, und anschließend wieder getrocknet. In der wissenschaftlichen Literatur gibt es nur sehr vage Hinweise über die Prozesse. Mehr Informationen findet man in der Patentliteratur, aber generell halten sich die Firmen aus Konkurrenzgründen hier sehr bedeckt.

Instant-Reis beziehungsweise vorgekochter ($\Rightarrow$ *pre-cooked* oder *quick-cooking*) Reis ist bereits weit verbreitet. Er darf nicht mit dem *parboiled* Reis verwechselt werden, obwohl die Herstellungsverfahren ähnlich sind. Beim Parboiling wird der Reis ebenfalls eingeweicht, die darauffolgende Erhitzung erfolgt aber unterhalb der Verkleisterungstemperatur der Reisstärke. Es soll nur dazu führen, dass Inhaltsstoffe aus den äußeren Schichten des Reiskorns in das Endosperm hinein wandern (diffundieren). Beim Instant-Reis werden Temperaturen oberhalb der Stärkeverkleisterungstemperatur angewandt, also eine wirkliche (Vor-)Garung erzielt.

Bei Weizen finden sich gleichfalls ähnliche Produkte auf dem Markt, die im Prinzip auf die in Vorderasien seit langem eingesetzte Bulgur-Herstellung zurückgehen.

Leguminosen, die einst zu unserer wichtigsten Grundnahrungsmitteln zählten, werden heute kaum mehr verzehrt, unter anderem auch sicher wegen ihrer besonders langen Einweich- und Kochzeit. Neben Nasskonserven, bei denen die Leguminosen schon voll gegart sind, sind vereinzelt auch nur vorgegarte Trockenprodukte zu finden.

Knollen und Wurzel

Im Cateringbereich, also in Großküchen, ist es heute sehr verbreitet, nicht von rohen ungeschälten Kartoffeln auszugehen, sondern von geschälten, vorgekochten oder voll gekochten ganzen oder geschnittenen Kartoffeln. Mittlerweile existieren im Retail-Handel ebenfalls vergleichbare Produkte, die meistens in Kunststoffbeuteln, unter Vakuum abgepackt, angeboten werden.

Neben der thermischen Garung besteht die Möglichkeit das Hochdruckverfahren (siehe Kapitel 2.8.2.1) für eine Vorgarung einzusetzen, wie Boluda-Aguilar et al. (2013) am Beispiel von Reis beweisen.

2.4. Überhitzter Wasserdampf (*superheated steam* - SHS)

Eine Möglichkeit, um energieeffizient und schonend zu trocknen, zu kochen, sowie zu braten bzw. zu frittieren ist die Anwendung von überhitztem Wasserdampf (*superheated steam*).

2.4.1. Prinzip von SHS

Unter überhitztem Dampf (auch Heißdampf genannt) versteht man Dampf, der eine höhere Temperatur als gesättigter Dampf unter identem Druck aufweist. Er wird durch weitere Wärmezufuhr zu gesättigtem Dampf gewonnen, welcher vorher vom restlichen „Ausgangswasser“ befreit wurde. Durch die zusätzliche Wärmezufuhr wird der Dampf sozusagen getrocknet, was einen instabilen Zustand darstellt, dem er durch erneute Wasseraufnahme entkommen möchte. Genau dieses Bestreben, also die äußerst hohe Wasseraufnahmefähigkeit des überhitzten Dampfs gegenüber gesättigtem Dampf, macht man sich bei der Trocknung zunutze. Die Abwesenheit von Luft in der Dampfatmosfera und die Tatsache, dass Dampf eine geringere Dichte als Luft besitzt, sind ebenfalls hilfreich bei der Trocknung. Im Vergleich mit der sonst zur Trocknung genutzten Heißluft wird eine raschere Strömung des Dampfes zum Trocknungsgut, sowie eine raschere Diffusion in das Gut bewirkt, was wiederum eine schnelle und homogene Trocknung ergibt. Bei SHS werden üblicherweise Temperaturen von 120 – 180° C, für manche Prozesse sogar bis zu 240° C eingesetzt.

Der bedeutendste, die Trocknungscharakteristika bestimmende Parameter ist unbestritten der Grad der Überhitzung des Dampfes (z.B. Pronyk et al., 2004, Zzaman & Zhang, 2014, Kozanoglu et al., 2006). Im Gegensatz zur Heißlufttrocknung soll neben der Temperatur auch die Geschwindigkeit der Dampfströmung der Trocknungsrate direkt proportional sein (Pronyk et al., 2004).

2.4.2. Nutzungsrelevanz von SHS

Die Anwendung von SHS zeigt gegenüber der konventionellen Heißlufttrocknung folgende wirtschaftliche, ernährungsphysiologische und sensorische Vorteile:

Erhöhte Trocknungsgeschwindigkeit & erhöhte Energieeffizienz

Wie bereits in der Verfahrensbeschreibung (2.3.1) angeführt, ist die Hauptintention zur Nutzung von SHS die erhöhte Trocknungsgeschwindigkeit, basierend auf der höheren Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit des Heißdampfes (z.B. Moreira, 2011, Li et al., 1999, Wu et al., 2014). So konnte etwa laut den Ergebnissen des Fraunhofer-Instituts die Trocknungszeit von Apfelchips von 8 h bei der Heißlufttrocknung auf 50 min und von Kartoffelprodukten von 7 h auf 30 min verkürzt werden (Hirth, 2014). Die raschere Trocknung erfordert entsprechend weniger Energieaufwand. Die Wärmeverluste sind ebenfalls geringer und die kompakteren Anlagen erfordern geringere Investitionskosten (siehe auch Kap. 2.3.4).

Eine gleichzeitige Hygienisierung ist möglich.

Die hohen Temperaturen ermöglichen eine Keimzahlreduktion des Trocknungsgutes bzw. dieses zu sterilisieren. Es können nämlich sogar die äußerst hitzeresistenten Sporen von *Bacillus stearothermophilus* inaktiviert werden. Das Fusarium-Mycotoxin DON in Getreide wird ebenfalls unschädlich gemacht (Head et al., 2008, Lenkowski et al., 2007).

Weniger oxidative Reaktionen

Da Heißdampf im Gegensatz zu Heißluft keinen Sauerstoff enthält, sind sämtliche sauerstoffbasierten Reaktionen weitgehend ausgeschlossen. Für Güter geringer Partikelgröße (etwa Mehl oder Trockensuppen) bedeutet dies den sicherheitstechnisch relevanten Ausschluss der Gefahr von Staubexplosionen. Bei Produkten mit hohem Fettgehalt ergibt sich eine Verringerung der Lipidoxidation mit reduziertem *off-flavour*, sowie damit verbunden eine längere Erhaltung der Genussstauglichkeit. Das ist bei der Trocknung von Fleisch und Fisch relevant (Sotome & Isobe, 2011, Huang et al., 2004). Auch andere sauerstoffempfindliche Lebensmittelinhaltsstoffe wie Vitamin C und einige phenolische Substanzen haben sich bei der Behandlung mit überhitztem Dampf als stabiler im Vergleich mit Heißlufttrocknung erwiesen (Moreira, 2011, Kadoma et al., 2005). Hierzu ist allerdings auch eine widersprüchliche Studie zu finden, welche eine schnellere Degradierung von Vitamin C in Pulverform für SHS im Temperaturbereich 140 – 180° C unter Heißluft/Heißdampfbehandlung beschreibt (Horagai. et al., 2008). Dies weist darauf hin, dass hier Matrix / und oder Temperaturbereiche eine Rolle spielen dürften. Ein „Trick“ beim Einsatz von SHS zum verbesserten Erhalt hitzelabiler Substanzen ist die Behandlung unter Druck (siehe dazu Kapitel 1.8.3).

Geringere Fettaufnahme

Bei Pommes frites, die vor dem Frittieren mittels SHS behandelt wurden, wurde eine deutlich reduzierte Fettaufnahme (von 0,359 kg/kg auf 0,263 kg/kg) bei vergleichbarer Härte und Knusprigkeit beobachtet. Dies soll sowohl auf dem Entzug der Feuchtigkeit an sich als auch auf der Veränderung des Gewebes beruhen. Elektronenmikroskopische Aufnahmen zeigten nämlich einen Kollaps der Stärkekörner, welcher mit einer homogenen, kompakteren Oberflächenstruktur einhergehend, was wiederum die Durchlässigkeit für das Öl verhindert haben könnte (Zielinska et al., 2014).

Texturerhalt

Studien zeigten ein verbessertes Texturprofil (weniger Fissuren) und damit verbunden eine bessere Qualität bei mit SHS behandeltem Reis im Sinne von besseren Kocheigenschaften, wie etwa geringerem Kochverlust (Wu et al., 2014). Ein ähnliches Ergebnis wurde nach dem SHS-Blanchieren von Kartoffeln beobachtet, welche beim Kochen keinen nachweisbaren Masseverlust aufwiesen, wohingegen die herkömmlich blanchierte Vergleichsprobe einen 4 %-igen Kochverlust zeigte (Sotome et al., 2009).

Geringerer Salzgehalt

Eine Auswirkung, deren Nutzen fraglich ist, ist die Möglichkeit der Reduktion des natürlich im Lebensmittel enthaltenen Salzgehalts. Dieser soll durch das Prinzip des Konzentrationsausgleiches des Salzes zwischen zwei angrenzenden Bereichen zustande kommen, welcher sich in diesem Fall durch Lebensmittel mit hohem Salzgehalt und umgebendem salzlosen Dampf bzw. Kondenswasser ergibt (Kadoma et al., 2005). Hier wäre zu hinterfragen, ob neben Natriumchlorid nicht auch andere Salze aus dem Lebensmittel extrahiert werden.

Sonstiges

Versuche zur Trocknung und Enzyminaktivierung (Urease) bei Sojabohnen ergaben, dass unter Nutzung von SHS eine geringere Temperatur zum Erreichen desselben Trocknungs- und Enzyminaktivierungsgrades bei identem Erhalt der Proteinlöslichkeit gegenüber Heißlufttrocknung ausreichend war (Prachayawarakorn et al., 2000).

Farberhalt

Durch die geringeren Trocknungszeiten wurde ein zu erwartender, verbesserter Farberhalt etwa für Reismehl (Wu et al., 2014), sowie Kakaobohnen (Zzaman und Yang, 2014) beobachtet. Bei Pommes frites ergaben sich im Vergleich zur Referenz höhere Gelb- und Rotwerte bei ähnlicher Helligkeit (Zielinska et al., 2014). In diesem Zusammenhang wurde auch ein erhöhter Gehalt an

niedermolekularen Kohlenhydraten und freien Aminosäuren in mit SHS behandelten Kartoffeln gemessen, welche für ihre farbgebenden Eigenschaften (Maillard-Reaktion) bekannt sind (Iyota et al., 2003).

Stärkeverkleisterung

Bei Pommes frites wurden im Vergleich zur herkömmlichen Vorbehandlung durch Zielinska et al. (2014) keine signifikanten Unterschiede im Grad der Stärkeverkleisterung festgestellt. Dementgegen wurde eine klare Erhöhung des Verkleisterungsgrades in einem ähnlichen Versuchsaufbau mit Pommes frites von Lin et al. (2009), sowie von Iyota et al. (2003) aufgezeigt. Eine Erhöhung der Temperatur soll dabei mit einer Erniedrigung der Gelatinisierungsrate assoziiert sein (Lin et al., 1999). Zudem ist zu erwähnen, dass bei SHS behandelten Kartoffeln im Gegensatz zu herkömmlich behandelten, keine Stärkekörner an der Oberfläche verblieben waren (Iyota et al., 2003).

2.4.3. Aktuelle Forschung zur Verwendung von SHS

Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich - neben der Simulation zum Auffinden optimaler Bedingungen für jeden Einsatzzweck (z.B. Sinhal et al., 2010) – einerseits mit der weiteren Steigerung der Energieeffizienz, und andererseits mit der weiteren Verbesserung der Produktqualität insbesondere für empfindliche Produkte.

Kombination mit „hot water micro-droplets“

Der Hitzetransfer lässt sich durch zusätzliches Einsprühen von in Mikrotröpfchen zerteiltem Heißwasser in den überhitzten Wasserdampf erhöhen (Sotome et al., 2009). Dieser Effekt wurde durch das Umwälzen des Dampfes durch den Aufprall der Mikrotropfen erklärt (Sotome & Isobe, 2011).

Intermittent super heated steam

Die Nutzung von Unterbrechungen im Trocknungsverlauf soll vor allem der weiteren Erhöhung der Energieeffizienz, aber auch der Produktschonung dienen (Thomkapanich et al., 2007).

Low-pressure superheated steam (LPSHS)

Unter leicht erhöhtem Druck (üblicherweise 5 – 10 kPa) ist Dampf bereits bei niedrigeren Temperaturen gesättigt und dementsprechend auch bei niedrigeren Temperaturen überhitzt, als das unter Normaldruck der Fall wäre. Diese Methodik ist besonders für die Trocknung hitzeempfindlicher Produkte wie Obst, Gemüse und Kräuter vorteilhaft, weil mit deutlich geringeren Temperaturen ähnliche Effekte erzielt werden können (Mujumdar, 2008). Konkret wurden beispielsweise für unter LPSHS bei 70 – 90° C mit SHS getrocknete Bananenchips ein deutlich verbesserter Farberhalt, sowie ein geringerer Schrumpfungsgrad gegenüber Heißlufttrocknung festgestellt (Thomkapanich et al., 2007). LPSHS-Trocknung bei 50 – 70° C resultierte für Basilikumblätter gegenüber Heißlufttrocknung in einem deutlich besseren Erhalt des charakteristischen Aromas, sowie der phenolischen Substanzen (Barbieri et al., 2004).

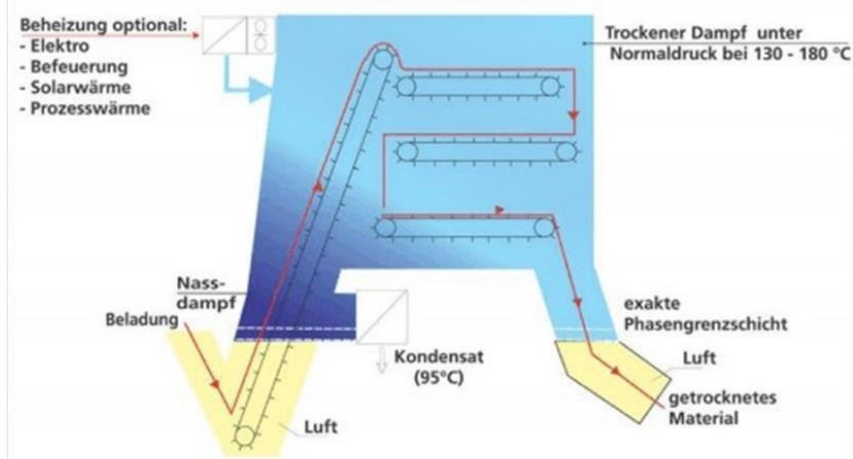
2.4.4. Derzeitiger, praktischer Einsatz von SHS

Obgleich das Prinzip von SHS seit über 100 Jahren bekannt ist, blieb die technische Umsetzung noch sehr begrenzt (Karimi, 2010). Vor dem Hintergrund des hohen Energie- und damit verbundenen Kostenaufwand für Trocknungsverfahren (90 % der Energie zur Herstellung von Lebensmitteln fließen in die Trocknung) und möglicher Förderungen für energieautarke Firmen könnte sich dies jedoch in Zukunft ändern. Die nachstehend beschriebenen Fortschritte im Anlagenbau bezüg-

lich weiterer Energieeffizienzsteigerung, Simplifizierung und universaler Nutzbarkeit werden dazu ebenfalls einen Beitrag leisten.

Am Fraunhofer-Institut wurde kürzlich eine Anlage (Abb. 4.2.3) vorgestellt, bei der unter Atmosphärendruck Heißdampf unter einer Art „unten offener Käseglocke“ gehalten wird. Dies beruht darauf, dass Heißdampf leichter ist als unten abgeschiedene Luft und Kondenswasser. Damit muss der Dampf nicht neu produziert und nur wirklich genutzte Wärme erneut zugeführt werden. Es sind keine aufwendigen Schleusen erforderlich, und es kann ein relativ beliebiges Transportsystem gewählt werden. Abgegebene Trocknungswärme wird dem Heißdampf wieder zugeführt. Außerdem lassen sich die Abwärme und Kondenswasser an anderen Stellen der Verarbeitung nutzen. SHS-Trocknungsanlagen lassen sich mittlerweile im Industriemaßstab in existierende Trockner integrieren, wie z.B. in Fließbett Trockner oder rotierende Trocknungsräume (Abb. 4.2.4) (GEA Process Engineering Ltd, 2015).

Ein bereits seit einigen Jahren erfolgreiches industrielles Anwendungsgebiet ist das Frittieren mit SHS in den seit 2007 kommerziell erhältlichen Anlagen der Marke „HiFri®“ der belgischen Firma QBTEC, welche vor allem an Restaurants verkauft werden (Abb. 4.2.5) (QBTEC BV, 2015). Das Marketing zielt dabei vor allem auf Fettreduktion, geringen Energieaufwand und den Wegfall des Filterns und Wechsels des Öls ab. Neben Industrieanlagen und Anlagen für die Gastronomie wurde SHS auch für Haushaltsgeräte entdeckt. So vertreibt die Firma Sharp einen SHS-Ofen im Design einer Mikrowelle (Abb. 4.2.6). Dieser wird offensiv als kalorien-, fett-, und salzreduzierte, sowie vitaminschonende Zubereitungsart beworben (SHARP Corporation, 2015).



Wasserdampf ist bei gleicher Temperatur leichter als Luft. Daher können zu trocknende Produkte ohne Schleusen von unten und kontinuierlich durch die Trocknungsapparatur gefördert werden.
© Fraunhofer TEG

Abb. 4.2.3: Beispiel für energieeffizientes Anlagendesign eines *superheated steam* Trockners (Fraunhofer TEG, 2015)



Abb. 4.2.4: Diverse Anlagendesigns von *Superheated steam*-Trocknern der Fa. GEA Barr-Rosin (GEA Process Engineering, 2015)



Abb. 4.2.5: *Superheated steam* Friteuse HiFri© (QBTEC BV, 2015)



Abb. 4.2.6: *Superheated steam*- Haushaltsgerät AX-HC1-R (SHARP Corporation, 2015)

2.4.5. Risiken, rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Gesundheitlich nachteilige Effekte ausgehend von SHS behandelten Lebensmittel sind nicht publiziert und nicht zu erwarten. Um ein vorteilhaftes Nährstoffprofil zu erhalten und minimal negative hitzeinduzierte Reaktionsprodukte (wie etwa Acrylamid) zu generieren, ist selbstverständlich – wie bei allen anderen hitzebasierten, lebensmitteltechnologischen Prozessen – die Wahl der Temperatur und Prozesszeit zu beachten.

Für Konsumentinnen und Konsumenten ist SHS wohl noch kein Begriff. Zumal man Dampfzugen und Dampfdruckkochen etc. aus der Küche kennt, ist zu vermuten, dass die Akzeptanz gegeben sein wird.

2.5. Reinraumtechnik in Verbindung mit „Hygienic design“ und Robotik

2.5.1. Reinraumtechnik

Je geringer die Ausgangskeimzahl (= Kontamination der Lebensmittel mit Mikroorganismen), umso länger wird es dauern, bis sich pathogene Mikroorganismen zu einer schädlichen Konzentration vermehren können. Genau dieses Prinzip macht man sich bei der Lebensmittelverarbeitung in Reinräumen zu Nutze, um Kontaminationen bzw. Rekontaminationen zu verhindern oder zu minimieren. Beispielsweise werden Lebensmittel, wie Wurst, Schinken, Käse Schnittbrot etc., immer mehr im vorgeschnittenen Zustand angeboten. Diese an und für sich im Inneren keimarmen Lebensmittel werden beim Schneiden rekontaminiert. Das kann durch die an der Oberfläche der Lebensmittel und vor allem in der Umgebungsluft befindliche Mikroorganismen passieren oder auch durch verkeimte, unsaubere Maschinen und Maschinenteile, wie die Schneidwerkzeuge.

Das Prinzip der Reinraumtechnik ist in der Elektronikindustrie bei der Chipherstellung (⇒ Bauelemente mit integrierten Schaltkreisen) schon seit längerer Zeit im Einsatz. Damit soll verhindert werden, dass sich in der Luft vorhandene Staubpartikel auf diese elektronischen Bauteile absetzen und ihre Funktion später stören. Die Produktionsräume werden dabei gekapselt und durch stetiges Einblasen von sauberer, staubpartikelfreier Luft unter leichten Überdruck versetzt. Alle in den Reinräumen befindlichen Personen müssen eine Art Vollkörperschutzkleidung tragen, um als Kontaminationsquelle auszuschneiden.

Staubpartikel haben in etwa die gleiche Größenordnung wie Mikroorganismenzellen. Es war deshalb naheliegend das Reinraumkonzept auf die Lebensmittelherstellung zu übertragen. Auch hier wird in den Produktionsraum stetig entkeimte Luft eingeblasen. Diese Luft wird an undichten Stellen bzw. an Stellen, die nicht abgedichtet werden können, wieder ausströmen. Damit wird verhindert, dass nicht entkeimte Luft in den Produktionsraum eindringen kann. Die Arbeiter im Reinraum müssen entsprechende Schutzkleidung tragen und können den Reinraum nur über eine Schleuse betreten oder verlassen. Die Luftströmungen im Reinraum sind so zu gestalten, dass sie von den Maschinen und Produkten weg zu den Arbeitern hin gerichtet sind und nicht umgekehrt, und möglichst keine Verwirbelungen eintreten.

Die Entkeimung der Luft vor ihrem Eintritt in die Reinräume kann so wie in der Elektronikindustrie mechanisch durch Feinfilterung erfolgen. Eine andere Möglichkeit ist die Inaktivierung bzw. Abtötung der Keime in der Luft durch UV-Strahlung, durch gepulstes Licht, oder durch Zerstäubung von Desinfektionsmitteln in der Luft (Aerosole) (z.B. Peressigsäure, Wasserstoffperoxyd).

Reinräume halten vermehrt Einzug in die Lebensmittelverarbeitung. Auch in Österreich nutzen einige Firmen schon dieses Konzept bei der Herstellung und Verpackung von geschnittenen Fleischprodukten.

2.5.2. „Hygienic design“

Ein weiterer konsequenter Schritt zur hygienischen Lebensmittelproduktion ist die Konstruktion und Ausgestaltung von Maschinen und Geräten in der Art, dass eine Kontamination bzw. Rekontamination verhindert oder minimiert wird. Dieses Konzept hat sich schon gut etabliert und ist als

„Hygienic Design“ bekannt. Seine Grundzüge lassen sich folgendermaßen zusammenfassen (EHEDG, 2004, Koch, 2009):

- Glatte, leicht zu reinigende Oberflächen (Nanostrukturierte Oberflächen werden hier in Zukunft einen wesentlichen Beitrag leisten.)
- Keine toten Winkel und unzugängliche Stellen, die nicht inspiziert werden können.
- Vollständige Entleerungsmöglichkeit bzw. selbstentleerende Rohrleitungen, Behälter etc.
- Geringer Wartungsbedarf

Es gibt bereits eine eigene Vereinigung in Europa, in der Maschinenhersteller und Forschungsinstitutionen zusammenarbeiten, um dieses Ziel in der Praxis umzusetzen (EHEDG – The European Hygienic Engineering & Design Group).

2.5.3. Robotik

Die Menschen sind trotz Schutzanzügen die Hauptkontaminationsquellen in Reinräumen (Anonym, 2006). Konsequenterweise sollten sich daher so wenige Arbeiter als möglich in Reinräumen aufhalten. Durch weitere Automatisierung und Einsatz von Robotern wird es in Zukunft möglich sein, überhaupt ohne Menschen in den Produktionsräumen auszukommen. Diese sitzen in den Kontrollstationen und betreten die Reinräume nur mehr zu Inspektions- und Reparaturzwecken.

Der Einsatz von Robotern in den einzelnen Teilbranchen der Lebensmittelindustrie ist unterschiedlich stark (z. B. Automatisierungsgrad in Großbäckereien ca. 80 %, fleischverarbeitende Industrie ca. 20 %). Bereits zu den Standardanwendungen von Robotern gehören Verpacken und Palettieren.

Für den direkten Kontakt mit Lebensmitteln ist ein entsprechendes „Hygienic Design“ der Roboter erforderlich. Das betrifft u. a. die verwendeten Werkstoffe oder die Gestaltung der Gelenke, die ohne Schmiermittel auskommen müssen. Außerdem werden eine entsprechende 3-D-Objekterkennung und flexible, produktschonende Greifer benötigt. Das Deutsche Institut für Lebensmitteltechnik (DIL) betreibt eine Forschungsplattform Robotik, und entwickelte vor kurzem einen neuen Vakuumgreifer für weiche Produkte (DIL, 2015). Die österreichische Firma EEP Maschinenbau hat eine Verfahrenslinie zur vollautomatisierten Produktion von Lasagne von den Rohstoffen bis zur Abpackung errichtet, wobei mehrere, standardmäßige Industrieroboter eingesetzt werden (EEP, 2013).

In der zukünftigen *Smart Factory* (siehe Kapitel 1.1.4.1.) werden dann nicht nur standortfixierte Roboter zum Einsatz kommen, sondern ähnlich wie Menschen bewegliche Automaten, die alle miteinander vernetzt agieren und kommunizieren (Industrie 4.0, siehe Teil 1, Kapitel 1.1.4.1). Unsere Lebensmittelproduktionsstätten werden also in Zukunft völlig anders aussehen und betrieben werden. Die Konsumentinnen und Konsumenten werden wahrscheinlich davon nicht sehr viel mitbekommen, weil die Lebensmittelindustrie verständlicherweise immer noch gern ein romantisches Bild der Lebensmittelherstellung zeichnen möchte. Zum Beleg dieser Aussage braucht man sich nur Werbespots für Lebensmittel im TV anzusehen, wo sicher kein realistisches Bild der Lebensmittelproduktion vermittelt wird.

2.6. Aseptische Abfülltechnik in Kombination mit neuen Konservierungsverfahren

In den 50er-Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde von der schwedischen Firma Tetra Pack ein revolutionierendes neues Verfahren für die Abpackung von pasteurisierter Milch auf den Markt gebracht. Im Prinzip wird dabei ein flaches Kartonband kontinuierlich durch Verschweißen zu einem Schlauch geformt. Der Schlauch wird unten ebenfalls durch Verschweißen verschlossen und abgewickelt. Von oben wird nun pasteurisierte Milch eingefüllt und der Schlauch nochmals im rechten Winkel zur unteren Naht verschlossen und abgetrennt. Es entstehen am laufenden Band mit Milch gefüllte, **tetra**ederförmige Milchpackungen.

Ein gewaltiger Vorteil dieses Verfahrens war nun, dass die Milchpasteurisation produktschonend und energiesparend außerhalb der Verpackung durchgeführt werden konnte. Bei der konventionellen Pasteurisation oder Sterilisation wird das unsterile Lebensmittel in eine nicht sterile Verpackung (z.B. Konservendose) gefüllt, letztere verschlossen und nun durch Wärmezufuhr pasteurisiert oder sterilisiert. Es dauert sehr lange bis in der gesamten Dose die erforderliche Temperatur erreicht wird. Das Gut wird deshalb sehr ungleichmäßig erhitzt. Wie Abb. 4.2.6 zeigt, wird beim Tetra Pak-Prozess die Milch außerhalb der Verpackung pasteurisiert. Das Verpackungsmaterial wird nun, bevor es mit Milch befüllt wird, oberflächlich ebenfalls entkeimt. In einer sogenannten **Aseptikzone** wird dann die pasteurisierte oder auch sterilisierte Milch in die entkeimte Verpackung abgefüllt und diese verschlossen (⇒ **aseptische Abfüllung**). Die Aseptikzone muss einerseits verhindern, dass eine Wiederverkeimung der Milch erfolgt, andererseits aber die Einschleusung der Verpackung und der Milch und die Austragung der fertigen Verpackungen ermöglichen. So wie in der Reinraumtechnik (siehe Kap. 2.5.1.) wird deshalb in dieser Zone durch kontinuierliches Einblasen von Sterilluft ein Überdruck erzeugt und das Eindringen nicht steriler Luft verhindert.

Die Entkeimung des Verpackungsmaterials bzw. der Verpackungen kann heute durch chemische Entkeimung (z.B. Wasserstoffperoxid, Peressigsäure), durch Heißluft oder Sattdampf, durch Bestrahlung mit UV-, Infrarot-, gepulstem Licht oder Elektronenstrahlung, oder durch Plasma erfolgen.

Die Erhitzung und Abkühlung der Milch beziehungsweise auch anderer flüssiger Lebensmittel außerhalb der Verpackung ist sehr rasch und gleichmäßig durchführbar. Es sind sogenannte Hoch/Kurzzeit-Erheizungen (HTST – *high temperature/short time*) oder sogar Ultrahoch/Kurzzeit-Erheizungen möglich. Je höher die Pasteurisations- oder Sterilisationstemperatur und umso kürzer die Behandlungszeit, desto produktschonender ist der Prozess. Diese Tatsache wird von vielen Konsumentinnen und Konsumenten nicht verstanden, weil hohe Temperaturen automatisch als nachteilig empfunden werden. Dass dies hier nicht der Fall ist, kann durch die Reaktionskinetik erklärt werden. Jede Reaktion wird nämlich durch Temperaturerhöhung beschleunigt, aber jede unterschiedlich stark. Die Inaktivierung von Mikroorganismenzellen wird sehr stark beschleunigt, während hingegen schädliche Reaktionen (z.B. Vitaminabbau, Bräunungsreaktionen) nicht so stark davon betroffen sind. Um einen ausreichenden Pasteurisations- oder Sterilisationseffekt zu erzielen, muss eine bestimmte Hitzebelastung erfolgen. Die Erreichung dieser Norm kann bei niedrigen Temperaturen aber dafür langen Behandlungszeiten oder eben vorteilhafter bei hohen Temperaturen und dafür kürzeren Zeiten erfolgen. Im letzteren Fall werden weit weniger bis gar keine schädlichen Abbaureaktionen eintreten.

Stand der Technik ist gegenwärtig die Aufheizung und Abkühlung flüssiger Lebensmittel in einer Sekunde auf 150° C. Das gelingt mit dem sogenannten Direktampfinfusionsverfahren, wo heißer Dampf direkt in das zu pasteurisierende oder sterilisierende, flüssige Lebensmittel unter Druck eingebracht wird. Der Dampf kondensiert und gibt seine Kondensationswärme an das Produkt ab. Anschließend wird die Flüssigkeit sofort entspannt. Bedingt durch den Druckabfall verdampft ein

Teil der Flüssigkeit und die dafür erforderliche Verdampfungsenergie wird dem Gut sehr rasch entzogen und dieses wieder abgekühlt. Das Verfahren wird unter anderem zur Herstellung von ESL-Milch eingesetzt (ESL = *extended shelf life*). Damit wird eine länger "frische" Milch bezeichnet, die in der Haltbarkeit zwischen pasteurisierter Frischmilch und sterilisierter H-Milch liegt. ESL-Milch kann aber auch durch eine Kombination von Mikrofiltration und Pasteurisation erhalten werden.

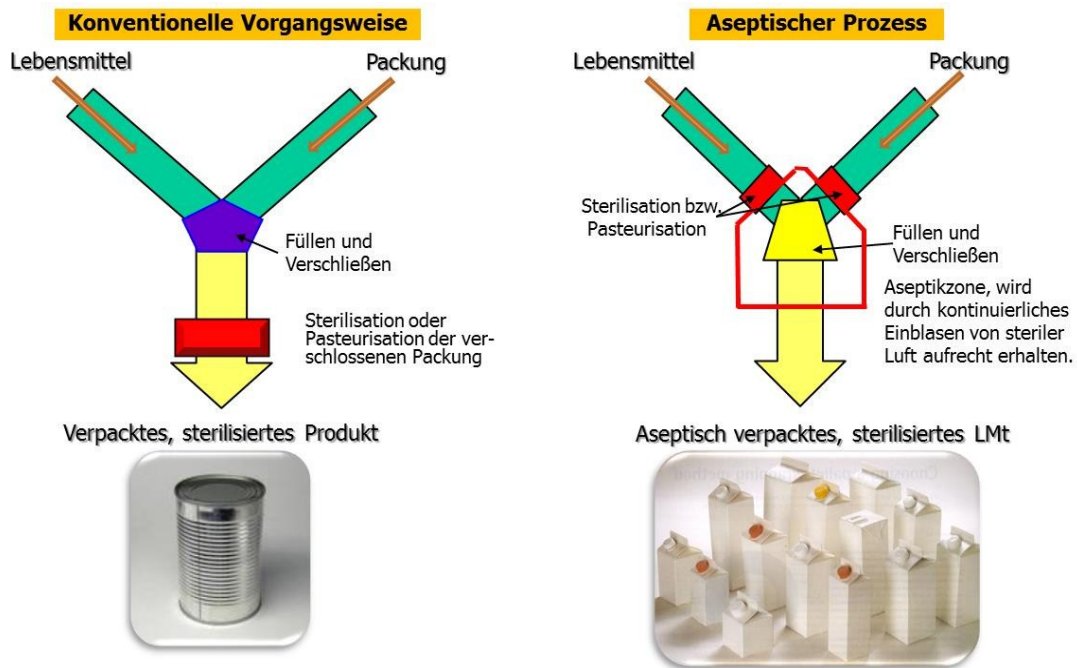


Abb. 4.2.6: Vergleich der konventionellen Pasteurisation/Sterilisation mit der aseptischen Abfüllung

Aufgrund ihrer Vorteile hat sich die aseptische Abfüllung in der Zwischenzeit generell durchgesetzt. Neben Milch können und werden heute ein Großteil aller flüssigen Lebensmittel (Getränke, Suppen etc.) aseptisch abgefüllt. Voraussetzung ist, dass die flüssige Phase nicht zu viskos ist. Es können auch feste Partikel suspendiert enthalten sein, sofern ihr Anteil nicht zu hoch und die Partikel nicht zu groß sind.

Die Abfülltechnik ist in der Zwischenzeit so weit fortgeschritten, dass nicht nur flexible Verbundkartonverpackungen, sondern auch starre Verpackungen aus den unterschiedlichsten Materialien (z.B. Glas- und Kunststoffflaschen, Aluminiumdosen) auf diese Weise abgefüllt werden können. Es ist sogar die aseptische Abfüllung in Großbehältern möglich, wie z.B. in Fässern und Metallcontainern.

Zur kontinuierlichen Durchführung der klassischen Hitzepasteurisation oder -sterilisation werden heutzutage unterschiedlichste Arten an Wärmeaustauschern eingesetzt, die HTST-Prozesse ermöglichen. In Kapitel 2.8. werden neue Verfahren beschrieben, um die Aufheiz- und Abkühlraten noch weiter zu beschleunigen.

Trotz der produktschonenden Weise der neuen thermischen Erhitzungsmethoden bleibt aber der grundsätzliche Nachteil aller thermischen Haltbarkeitsverfahren weiter bestehen. Nämlich der, dass eben nicht nur Mikroorganismenzellen inaktiviert werden, sondern auch andere Reaktionen ausgelöst werden können. Zum besseren Verständnis kann der Vergleich mit einem

Schrotgewehr heran gezogen werden. Der unpräzise Schuss trifft erwünschte und unerwünschte Ziele. Besser wäre ein gezielter präziser Schuss, der nur die Mikroorganismen trifft aber keine Lebensmittelinhaltsstoffe. Chemische Konservierungsmittel wirken genau auf diese Weise. Wie in Kapitel 2.8. ausgeführt wird, gibt es heute tatsächlich neue nichtthermische, technische Verfahren, die gezielt nur die Mikroorganismen inaktivieren oder entfernen und andere Inhaltsstoffe völlig unbehelligt lassen. Das erklärt auch, warum immer intensiver nach Alternativverfahren zu den thermischen Haltbarkeitsverfahren gesucht wird.

2.7. Supercooling/superchilling

Unter „*super-chilling*“, auch unter den Namen „*super-cooling*“, „*deep-chilling*“, „*light-freezing*“ und „*partial ice-formation*“ bekannt, ist das Herabkühlen und die Lagerung eines Lebensmittels auf etwa 1 – 1,5° C unter seinem Gefrierpunkt zu verstehen. Das entspricht im Allgemeinen bei den dafür prädestinierten Lebensmitteln wie Fisch und Fleisch realen Temperaturen von etwa -1° bis -3° C. Dabei werden die Vorzüge des Frierens (lange Lagerfähigkeit) und des Kühlens (geringerer Energie- und Kostenaufwand und vom Konsumenten als „frischer“ erachtet) in vorteilhafter Weise kombiniert.

2.7.1. Prinzip und Nutzungsrelevanz

Die Technologie umfasst vereinfacht das (Abpacken) und das rasche Abkühlen und Halten auf der von der Matrix abhängigen Zieltemperatur. Um den Gefriervorgang möglichst rasch und damit schonend im Sinne von möglichst geringer Größe der gebildeten Eiskristalle zu gestalten, werden statt herkömmlicher, mechanischer Froster meistens Kryogenfroster (z.B. Flüssigstickstoff-Kühlen) oder *impingement-freezer* eingesetzt. Bei Letzteren handelt es sich um Froster, die aus zwei unabhängig voneinander regelbaren (Temperatur und Luftgeschwindigkeit) Zonen bestehen, wobei die Lebensmittel zunächst die höher temperierte Zone und anschließend die Zone mit einer deutlich geringeren Temperatur auf einem Förderband durchlaufen.

Physikalisch wird ein Teil des Wassers im Lebensmittel (5 – 30 % hat sich als optimal erwiesen) zu Eis konvertiert, was meist einem oberflächlichen Frieren der äußersten 1 – 3 mm entspricht. Damit wird sozusagen ein „interner Eispolster“ gebildet, welcher die von innen nachgelieferte Wärme auffängt. Auf diese Weise lässt sich die Eislagerung im Frischfischhandel ersetzen, die eine Kontaminationsquelle darstellt. Der Grundgedanke des *super-chillings* besteht darin, dass das Innere des Lebensmittels weitgehend unbeeinflusst von Schäden durch Eiskristallbildung bleibt, was beim klassischen „Durchfrieren“ zu einem gewissen Grad unvermeidbar ist. Die Temperaturen sind dabei tief genug, um mikrobielles Wachstum und viele enzymatische/biochemische Verderbsreaktionen zu unterdrücken. Für abgepackte und *super-chilled* Seebrasse wurde gegenüber Lagerung auf Eis eine verbesserte Sensorik in ungekochtem und gekochtem Zustand, geringere Werte für Trimethylamin, freier Gesamtstickstoff (TVN) und Thiobarbitursäure (Verderbnisindikatoren bei Fisch) und ein verringertes bakterielles Wachstum beobachtet (Duran-Montge et al., 2014). Damit konnte die Haltbarkeit der Seebrassenfilets um das 1,25 – 1,7-fache verlängert werden. Für Fisch (Karpfen und Lachs) sowie Schweinefleisch wurde ein verminderter Tropfverlust und eine damit assoziierte erhöhte Wasserbindungskapazität gegenüber gekühlten und gefrorenen Produkten festgestellt (Mi et al., 2011, Johansen et al., 2013, Duun et al., 2008, Kaale et al., 2014). Gegenüber Kühl Lagerung konnte die Haltbarkeit von *super-chilled* Schweinefleisch von 14

Tagen auf 16 Wochen erhöht werden (Duun et al., 2008). Für Fisch wurde die verlängerte Haltbarkeit (für Karpfen etwa 21 Tage) damit erklärt, dass die Degradierung der myofibrillären Proteine (Hauptverderbsursache bei Fisch) durch die Bildung von insgesamt weniger und kleineren Eiskristallen geringer ausfällt und die Aktivität des Enzyms Calcium-ATPase besser erhalten bleibt (Mi et al., 2013). Auch am Objekt Surimi wurde eine verringerte Zerstörung des myofibrillären Proteins aufgezeigt (Liu et al., 2014).

2.7.2. Kritische Parameter und Beschränkungen

Kritisch beim *super-chilling* ist, dass die Abkühlung so rasch als möglich abläuft und die Temperatur in sehr geringen tolerierbaren Schwankungsbreiten gehalten wird. Temperaturschwankungen und -gradienten führen nämlich zu einer unerwünschten Rekristallisation, die mit einer Vergrößerung vorhandener Eiskristalle einhergeht und damit einen wesentlichen Vorteil des *super-chillings* zunichte macht (Kaale et al., 2014). Die Erhöhung der Temperatur über Gefriertemperatur ist bekanntermaßen mit einem Risiko für die Lebensmittelsicherheit und Qualität assoziiert, wobei hier aber im Gegensatz zum herkömmlichen TK-Lagern wenige Grad Temperatursteigerung ausreichen, um in den kritischen Bereich zu gelangen.

2.7.3. Kombinationen

Liu et al. (2014) beobachteten Synergien des *super-chilling* mit den Kryoprotektoren Saccharose und Sorbit bei Surimi.

2.7.4. Mögliche Risiken und Forschungsbedarf

Forschungsbedarf besteht vor allem dahingehend, zu eruieren, inwieweit die Qualität und Sicherheit der Lebensmittel bei der anschließenden Kühl- bzw. Tiefkühl Lagerung durch Handel und/oder im Haushalt auch wirklich gewährleistet bleibt. Derzeit nutzt man *super-chilling* nämlich noch wenig und ausschließlich zur Kostensenkung und Qualitätssteigerung im Produktionsbereich und nicht im Handel bzw. Haushalt. Der *super chilling*-Temperaturbereich ist eher unüblich. Daher weiß man auch über die Wachstumskinetik und den Stoffwechsel von MO, Proteindenaturierung, Fettoxidation etc. bei diesen Bedingungen und möglichen Schwankungen relativ wenig. Weiter muss für jede Lebensmittelmatrix der optimale Temperaturbereich des *super-freezings* ermittelt werden, weil dieser z.B. vom Fettgehalt abhängig ist. Während Fisch relativ gut und Fleisch zumindest etwas untersucht ist, fehlen für andere Lebensmittel wissenschaftliche Kenntnisse zum Qualitätserhalt unter *super-chilling*.

2.7.5. Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Im Österreichischen Lebensmittelbuch (online Zugriff 01/2015) wird der beim *super chilling* eingesetzte Temperaturbereich nicht angeführt. Hier existieren nur folgende Lagermöglichkeiten hinsichtlich der Temperatur:

1. Bereich der Tiefkühl Lagerung: Entspricht definitionsgemäß einem Temperaturbereich unter minus 18 °C und wird in der Kennzeichnung durchwegs mit der genauen Angabe der Lagertemperatur und dem Hinweis „tiefgekühlt“ oder „tiefgefroren“ deklariert.
2. Bereich der gekühlten Lagerung: Das bedeutet eine Lagerung im Kühlschrank bzw. in Kühlgeräten und umfasst den Temperaturbereich von 0 - 9 °C (mit Toleranz bis 10 °C). Darüber hinaus kann eine konkrete Angabe der Lagertemperatur erfolgen z. B. „(gekühlt) bei +6 °C lagern“, „(gekühlt) bei 4 - 6 °C lagern“, so z.B. bei Milcherzeugnissen (+6 - +8 °C) oder bei Fleischerzeugnissen (meist +4 - +6 °C).
3. Raumtemperatur.

Für den praktischen Einsatz des *super chillings* müssen also zuerst die rechtlichen Voraussetzungen geschaffen werden.

Da man sich unter *super-chilling* als Kombination der beiden lange bekannten und als sicher eingestuften Lebensmittel-Kühl Lagerung und TK-Lagerung sehr viel vorstellen kann (also „Erwartetes“ passiert) und die Vorteile der Kombination verständlich sein dürften, ist bei einem allfälligen Einsatz von einer breiten Konsumentenakzeptanz auszugehen.

2.8. Nichtthermische Verfahren

Die im Folgenden beschriebenen Verfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass der bei konventionellen Verfahren meistens genutzte Eintrag von thermischer Energie vermieden oder zumindest weitgehend reduziert wird. Damit soll die Reduktion des Verlustes an wertgebenden Inhaltsstoffen (z.B. Vitamine, Farb- und Aromastoffe) vermieden werden. Daneben lässt sich bei einigen Verfahren der Gesamtenergieeintrag reduzieren, was wiederum ökonomische Vorteile mit sich bringt.

Im Wesentlichen ist die Nutzungsrelevanz auf einem oder mehreren der nachfolgenden Charakteristika begründet:

- Es wird keine wesentliche Hitzeeinwirkung hervorgerufen, d.h. es handelt sich um sogenannte „nicht-thermische Verfahren“. Das ist der Fall, wenn anstatt thermischer Energie mechanische Energie [z.B. hoher Druck im Fall der Hochdruckbehandlung (HP)] oder elektromagnetische Energie [z.B. Elektroporation für *pulsed electric fields* (PEF)] genutzt wird.
- Die Hitzeeinwirkung wird durch vorteilhafte Änderung des Zeit/Temperaturprofils wesentlich reduziert, sozusagen nach dem „Vorbild der UHT-Behandlung.“ Das lässt sich beispielsweise durch Beschleunigung des Aufheizvorgangs bewerkstelligen, wie z.B. durch Ohm'sche Erhitzung oder mittels Nutzung einer zweiten Wirkungskomponente wie Ultraschall, womit die ursprünglich nötige Temperatur deutlich verringert werden kann, etwa im Fall der *Thermosonication*.
- Die Hitzeeinwirkung wird homogener gestaltet, was bei Verfahren möglich ist, die das sogenannte „volumetrische Erhitzen“ nutzen. Volumetrisches Erhitzen bedeutet, dass die Wärme im Lebensmittel selbst generiert wird und nicht von außen nach innen geleitet werden muss. Letzteres führt bei herkömmlichen Prozessen oft zu Überhitzung der äußeren Schichten mit allen daraus resultierenden Qualitätseinbußen. In diesen Bereich fallen beispielsweise die Radiofrequenzerhitzung (*radio-frequency heating*) und die Ohm'sche Erhitzung (*ohmic heating*).

- Das Verfahren ermöglicht eine gezielte Inaktivierung der Keime und Enzyme, vorrangig zur Haltbarkeitsverlängerung. Dazu zählen Methoden, die beispielsweise bei festen Lebensmitteln gezielt nur die Oberflächenflora inaktivieren und das Innere der Lebensmittel dabei quasi „unberührt“ lassen und/oder das Erbgut von Mikroorganismen gezielt schädigen, wie UV-Strahlung, gepulstes Licht oder Kaltplasma. Auch Verfahren wie Hochdruck das gezielt vorrangig Proteine denaturiert, fallen unter diesen Punkt.

Meistens treffen für diese neuartigen Verfahren nicht nur einer sondern mehrere der oben angeführten Punkte zu, wodurch eine systematische Einteilung schwierig wird. Eigentlich nicht-thermische Verfahren werden häufig auch in Kombination mit schwacher Hitzeeinwirkung (meist im Bereich 50 – 60° C = Kompromiss zwischen keinen negativen Effekten und etwas „Wirkung“) genutzt, weil sich so synergistische Wirkungen ergeben. Dies wird im Nachfolgenden in den „Kombinations“-Unterkapiteln näher beschrieben.

Die Generierung der jeweiligen Wirkmechanismen erfolgt vorrangig durch elektromagnetische oder mechanische Energie, weshalb die weitere Gliederung in den nachfolgenden Kapiteln nach diesen Kriterien vorgenommen wurde.

Diese neuartigen („*novel*“) Verfahren können unter die Novel-Food Verordnung Nr. 258/97 fallen. Die Definition eines *Novel Food* aufgrund des Produktionsprozesses ist Folgende: *„Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, bei deren Herstellung ein nicht übliches Verfahren angewendet worden ist und bei denen dieses Verfahren eine bedeutende Veränderung hinsichtlich der Zusammensetzung oder den Strukturen des Lebensmittels oder der Lebensmittelzutaten bewirkt hat, was sich auf den Nährwert, den Stoffwechsel oder auf die Menge unerwünschter Stoffe im Lebensmittel auswirkt.“*

Grundsätzlich ist hierzu klarzustellen, dass die Klärung, ob es sich bei den – durch die im nachfolgenden beschriebenen Verfahren hergestellten – Lebensmitteln um Novel-Food handelt nur *case-by-case* gefällt werden kann. Entscheidungen sind demnach nur auf Empfehlung der zuständigen Behörden als Einzelfallentscheidungen zu treffen.

Dennoch sollen im Folgenden kurz allgemein einige Entscheidungskriterien, die sich aus der Definition eines Novel-Food ergeben, diskutiert werden.

Die Formulierung „bedeutend“ ist eine Auslegungssache - selbst wenn die Art der Veränderung definiert wäre, müsste man sich etwa über das betroffene Ausmaß der Veränderung im Lebensmittel Gedanken machen. Beispielsweise fallen unter die nichtthermischen Verfahren auch gepulstes Licht und Kaltplasma, welche als Oberflächenentkeimungsverfahren lediglich im Nanometer-Bereich in das zu behandelnde Lebensmittel eindringen. Definiert man nun „bedeutende“ Änderung als eine hochprozentuell im Lebensmittelgewicht stattfindende Änderung, fallen/fielen diese Verfahren *per definitionem* nicht unter die Novel-Food-Verordnung.

Bei der **Beurteilung der Akzeptanz** dieser neuartigen Verfahren seitens der Konsumentinnen und Konsumenten sind folgende Erkenntnisse aus der „Akzeptanzforschung“ zu berücksichtigen:

- Das Bewusstsein für neuartige Lebensmitteltechnologien ist in der Allgemeinbevölkerung sehr gering.
- Kaum jemand traut sich zu, selbst medial breitgetretene Themen wie z.B. die Gentechnik (welche einen Ausnahmefall mit hoher Bewusstseinsbildung darstellt) seinen Freunden zu erklären, weil befürchtet wird, dass der eigene Wissensstand nicht ausreicht.

- Eine Meinungsbildung erfolgt meistens durch eine Gegenüberstellung aus angenommenen Vorteilen und Risiken. Das setzt aber ausreichende Informationen voraus.
- Die angenommen Vorteile/Risiken der einzelnen Verfahren decken sich nur bedingt mit den Ansichten der Experten.
- Information ist eine Sache des Vertrauens, sie muss also aus einer für die jeweilige Bevölkerungsgruppe vertrauenswürdigen Quelle stammen. Hierbei gibt es in den verschiedenen Ländern große Unterschiede darin, wem die Bevölkerung traut (Ärzte? Wissenschaftler? Politik?).
- In Fällen eines geringen Informationsstandes ist die Akzeptanz der Konsumentenkreise im Allgemeinen leicht negativ, in einigen wenigen Studien neutral. Ohne klar erkennbare Vorteile schlägt die „*wir kommen auch ohne klar*“-Meinung durch und/oder „*das bringt wohl nur den Herstellern was*“.
- Bekannte Grundlagen zur Entscheidung über den Akzeptanzlevel neuer Technologien sind: Preis, Convenience, „Natürlichkeit“, Gesundheitsaspekte (negative & positive).
- Frauen stehen neuen Technologien allgemein skeptischer gegenüber als an der Technik interessiertere Männer.
- Junge Menschen mit hohem Bildungsniveau sind ebenfalls tendenziell offener.
- „*The proof of the pudding is in the eating*“ – Es wurde beobachtet, dass im Fall, dass eine Versuchsperson anfangs eine wenig stark ausgeprägte Meinung zu einer Technologie hat, sich diese durch Verkostung eines damit hergestellten Produktes in die Gegenmeinung umkehren lässt. Das wurde beispielsweise im Fall von gepulsten elektrischen Feldern (PEF) beobachtet, wo eine anfängliche Skepsis gegenüber „Elektrizität im Lebensmittel“ durch das positive Erlebnis „Trinken eines wie frisch gepressten Saftes“ ins Positive umgekehrt werden konnte.

2.8.1. Nutzung elektromagnetischer Energie

Abb. 4.2.7 zeigt das elektromagnetische Spektrum mit den einzelnen Bereichen, sowie deren Wellenlängen und Frequenzen. Von Radiowellen bis zur Gammastrahlung werden alle Bereiche zur Bearbeitung und Behandlung von Lebensmitteln eingesetzt. Der unterste Teil von Abb. 4.2.7 stellt schematisch die Wechselwirkung der elektromagnetischen Wellen mit der Materie dar. Von Radiowellen bis zur Infrarotstrahlung werden Moleküle angeregt und beginnen zu rotieren bzw. zu schwingen. Die elektromagnetische Energie wird dabei in Wärmeenergie umgewandelt ($\Rightarrow$ dissipiert). Diese Bereiche (Radiowellen, Mikrowellen, Infrarotstrahlung) können und werden daher zur Erwärmung von Lebensmitteln eingesetzt.

Ab dem kurzwelligen, sichtbaren Licht, UV-Licht, Röntgen und Gammastrahlung entstehen direkte strahlenchemische Effekte, indem Elektronen aus den Hüllen der Atome herausgeschlagen werden. Dabei entstehen freie Elektronen und Radikale. Wie der Name schon sagt, sind Radikale nicht beständig, weil sie mit anderen Molekülen weiter reagieren, um ihre Elektronenhüllen wieder zu sättigen. Geringfügige Änderungen in Lebensmitteln durch solche Effekte sind ausreichend, um Haltbarkeitseffekte durch die Inaktivierung von Mikroorganismen und Enzymen zu erreichen. Die Behandlung mit ionisierenden Strahlen (Lebensmittelbestrahlung schlechthin) oder mit UV-Licht zählen schon lange zum Stand der Technik.

In den folgenden Kapiteln werden neue Entwicklungen bei der Nutzung der einzelnen Bereiche näher dargestellt.

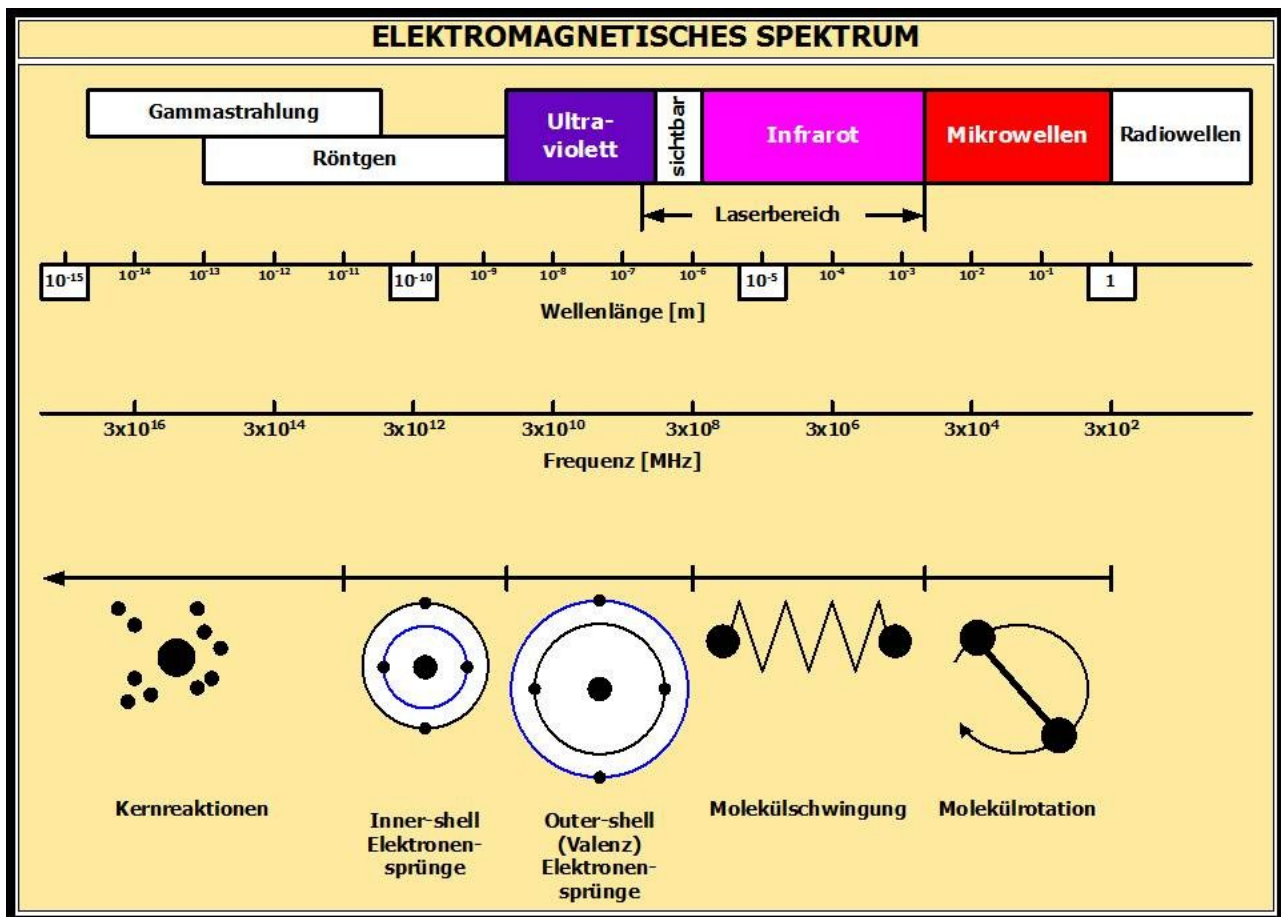


Abb. 4.2.7: Bereiche des elektromagnetischen Spektrums

2.8.1.1. Radiowellen (*radio frequency*) (RF)

Unter „*radio-frequency*“-Behandlung versteht man in der Lebensmittelverarbeitung eine Nutzung hochfrequenter Energie in Form von nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung zum Kochen, Trocknen, Auftauen und zur Dekontamination von Lebensmitteln.

Prinzip

Die RF-Behandlung fällt methodisch ebenso wie die weitaus bekanntere Mikrowellentechnologie unter das Prinzip des dielektrischen Erhitzens, was folgendermaßen funktioniert: Ein elektrisches Wechselfeld hoher Energie (zugelassene Radiofrequenzen für Lebensmittel sind 13,56 bzw. 27,12 bzw. 40,68 MHz) bewirkt im Lebensmittel „Bewegung“. Einerseits bewegen sich negativ geladene Ionen zur positiv geladenen Elektrode und positive geladene Ionen zur negativ geladenen Elektrode. Dieses Phänomen nennt man auch „ionische Depolarisierung“. Elektrisches Wechselfeld bedeutet, dass sich die Ladungen der Elektroden ständig ändern und dies – da auf Radiofrequenz – mit sehr hoher Frequenz (Häufigkeit). Da die Ionen versuchen sich im elektrischen Feld auszurichten, bewirkt diese ständige Umpolung eine Oszillation der Moleküle. Dies wird als „Dipolrotation“ bezeichnet. Die hohe Bewegungsenergie, die sich aus der Summe der ionischen Depolarisierung und der Dipolrotation ergibt, wird letztlich im Lebensmittel in Wärmeenergie umgewandelt (dissipiert).

Neben der hervorgerufenen Erhitzung, die sich von herkömmlichen Garmethoden nur durch die Art der Wärmeerzeugung unterscheidet – letztlich ist es immer Molekülbewegung, die Wärme generiert – sollen auch noch nicht näher definierte, nicht-thermische Effekte für das rasche Abtöten von MO durch eine RF-Behandlung verantwortlich sein (Marra et al., 2009).

Wesentliche Unterschiede zu Mikrowellen sind die geringere Frequenz (für Lebensmittel zugelassene Mikrowellenfrequenzen sind 915 und 2450 MHz) und die damit verbundenen, höheren Wellenlängen. Bei RF soll der Effekt der ionischen Dipolarisierung gegenüber der Dipolrotation im Gegensatz zu den Mikrowellen überwiegen (Buller et al., 1993). In der Praxis äußern sich die Unterschiede in einer höheren Eindringtiefe der längeren RF-Strahlen in das Lebensmittel, was mit einer homogenen Erhitzung assoziiert sein soll. Für Mikrowellen ist die Bildung sogenannter *hot* und *cold spots* (also Stellen mit deutlich höherer bzw. niedrigerer Temperatur als im Gesamtlebensmittel) ein größeres Problem (Marra et al., 2009).

Der einfachste Aufbau einer RF-Anlage ist ein Generator mit einem Elektrodenpaar, zwischen welchen sich das zu behandelnde Gut befindet. Im Gegensatz zu der unten beschriebenen Ohm'schen Erhitzung ist kein direkter Elektrodenkontakt erforderlich, was eine Behandlung in der Verpackung ermöglicht.

Nutzungsrelevanz

Gegenüber der konventionellen Erhitzung ergeben sich die folgenden methodischen Vorteile:

- Die Absorption (Aufnahme) der Energie erfolgt direkt durch das Lebensmittel und nicht durch ein Übertragungsmedium, was geringere Energieverluste ergibt.
- Da die Wärme direkt im Lebensmittel generiert wird (volumetrisches Erhitzen), erfolgt eine gleichmäßige Erhitzung.

In Kombination führt das zu einem deutlich schnelleren Prozessverlauf (z.B. bis zu dreißigmal schnelleres Kochen von Fleisch) (Laycock et al., 2003, Guo et al., 2006) und zu Verbesserungen bei diversen Qualitätsparametern. So konnten im Vergleich zu herkömmlichem Kochen auf denselben Endpunkt (z.B. festgelegte Textur, Kerntemperatur etc.) in Brokkoli durch RF höhere Gehalte an Vitamin C und Glucosinolaten, sowie in Lachs ein höherer Vitamin B-Gehalt erhalten, und für Röstkartoffeln der Acrylamidgehalt um 50% gesenkt werden (Fiore et al., 2013). Ein verbesserter Erhalt von Vitamin C bei gleichzeitig geringerer Bildung von 5-Hydroxymethylfurfural wurde bei Behandlung von Tomatenmark erzielt (Felke et al., 2011). Die Verringerung des Acrylamidgehalts konnte auch für Kekse bei Ersetzen eines Teils der Backzeit durch RF bestätigt werden. Dabei wurde anstatt 205°C für 11 min Backen, nur 8 min bei 205°C gebacken und anschließend 45 sec RF-behandelt, wobei eine Acrylamidreduktion um 50% beobachtet wurde (Kocadagli et al., 2012). RF nach Ende des Backprozesses zu nutzen, hat einen weiteren Sinn, den man bereits industriell nutzt. Dabei werden die bestehenden Inhomogenitäten in der Feuchteverteilung (*moisture-pockets*) mittels RF ausgeglichen, was letztlich zu geringerer Bruch tendenz führt. Dabei macht man sich zunutze, dass RF Wasser vorrangig verglichen mit Fett und Zucker erhitzt, da dieses eine höhere Dielektrizität aufweist (Jones, 1985). Bei der Salattrocknung konnte bei beachtlicher Verringerung der Trocknungsdauer auf 120 min (vgl. dazu mit Heißluft: 360 min) ein deutlich verbesserter Farberhalt sowie eine klar erhöhte Rehydrierungskapazität, allerdings bei etwas erhöhter Schrumpfrate im Vergleich zur Heißlufttrocknung gezeigt werden (Roknul et al., 2014). Ein verbesserter Erhalt von Farbe und Sensorik wurde auch bei Einsatz von RF als Nacherntetechnologie zur Dekontamination für Persimonen (Monzon et al., 2007) und Pfeffer (Jeong und Kang, 2013) beobachtet. Die Entfernung von Schädlingen mittels RF bei gleichzeitig gutem Erhalt der sensorischen Eigenschaften beruht u.a. darauf, dass Schädlinge im Allgemeinen einen höheren Wassergehalt als die Lebensmittelmatrix aufweisen und damit schneller erhitzt

werden. RF hat sich in zahlreichen Studien z.B. mit Nüssen, Gewürzen, Persimonen, Äpfeln, Süßkirschen und Alfalfasamen als sinnvolle Alternative zu Pestiziden etc. erwiesen (Wang et al., 2002, Wang et al., 2013, Jeong and Kang, 2014, Monzon et al., 2007, Wang et al., 2006, Nelson et al., 2003). Dabei wurde die ausreichende Inaktivierung der jeweils relevanten Schädlinge bzw. Mikroorganismen bei Temperaturen von 48 - 55°C mittels RF durch die Schale (wenn vorhanden) bewerkstelligt. Bei Alfalfasamen wurde gezeigt, dass die Keimfähigkeit durch die RF-Behandlung zur Abtötung von Salmonellen und *E.coli* nicht leidet (Nelson et al., 2003). Weiters wurde RF auch bereits erfolgreich zur Inaktivierung der unerwünschten Enzyme Phosphatase und Proteasen genutzt, um die Haltbarkeit der temperaturempfindlichen Misopaste zu erhöhen. Die vollständige Inaktivierung dieser Enzyme im bereits abgepackten Lebensmittel wurde unter besserem Erhalt von Farbe und Sensorik in 1/3 des Zeitaufwands einer herkömmlichen Hitzebehandlung realisiert (Lemura et al., 2014). Bei Pasteurisierung von Eiern in der Schale mittels RF ließen sich neben den sensorischen Eigenschaften auch technologisch relevante Eigenschaften wie Viskosität und Schaumstabilität erhalten (Kannan et al., 2013). Bei Fleisch wurde ein deutlich geringerer Saftaustritt experimentell bestätigt (LAYCOCK et al., 2003, Orsat et al., 2004), was vermutlich u.a. auf die verringerte Kochzeit zurückzuführen ist. Für den Trend des *fresh-cut* Gemüses ist möglicherweise relevant dass eine RF-Behandlung verbesserte Qualität (Farbe, Sensorik) im Vergleich mit Chlor behandelten und Heißwasser behandelten Karottensticks zeigte (Orsat et al., 2001). Der Vorteil der volumetrischen Erhitzung und der hohen Eindringtiefe der Strahlung zeigt sich vor allem bei heterogenen Lebensmitteln. So erhitzen sich in Versuchen am Modell „Lasagne“ Teig, Tomatensauce, Faschiertes und Käse erstaunlich homogen (Wang et al., 2012). Auch in einer vergleichenden Studie für Erdnussbuttercracker in Sandwichform mit homogener Creme versus „*crunchy*“ - Variante ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Inaktivierung der für dieses Lebensmittel relevanten *Salmonella ssp* und *E.coli* (Ha et al., 2013).

Derzeitiger praktischer Einsatz

RF wird für das Nachtrocknen von Keksen und Crackern zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Feuchteverteilung sowie zur Pasteurisierung und Vortrocknung von gefüllter Pasta industriell genutzt (Jones, 1985; Alberti et al., 2011). Einige andere Anwendungen wurden zumindest auf ihre industrielle Machbarkeit getestet. So wurde eine Linie zur RF-Pasteurisierung von Wurst mit Durchsätzen von ca. 120 kg/h betrieben (Houben et al., 1991). Abgepackte marinierte Hühnerbrust konnte in RF-Bandöfen unter 41% iger Verringerung der Kochzeit bei vergleichbarer Kochausbeute, Wasserbindungsvermögen, allerdings unerwartet etwas schlechterem Farberhalt gegenüber dem herkömmlichen Kochen prozessiert werden (Kirmaci & Singh, 2012). Grundsätzlich hat sich RF in der Industrie allerdings noch nicht durchgesetzt, was laut Marra et al. (2009) im Bereich der Dekontamination vor allem auf die höheren Investitionskosten bei ähnlichen Energiekosten basiert. Im Bereich des Garens ist das ebenfalls dielektrische Mikrowellenverfahren momentan erforschter, bekannter und damit klar verbreiteter. Fernab der eigentlichen Lebensmittelverarbeitung könnte RF mittelfristig als RFID (*radio-frequency identification*) zum *tagging* und damit zur Verbesserung der Rückverfolgbarkeit von agrarischen Rohstoffen und Lebensmitteln Einsatz finden (z.B. Ruiz-Garcia and Lunadai, 2011, Qian et al., 2012, siehe dazu Teil 5).

Beschränkungen, kritische Parameter und Forschungsbedarf

Die aufgenommene Energie lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$Q_v = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon' \cdot \epsilon'' \cdot E^2$$

f = Frequenz

E = elektrische Feldstärke

ϵ' = dielektrische Konstante

ϵ'' = dielektrischer Verlustfaktor.

ϵ'' gibt an, wie gut eine Matrix die Strahlung absorbieren kann und damit letztlich, wieviel Strahlungsenergie in Wärme umgewandelt wird. ϵ'' hängt wesentlich von der Zusammensetzung des Lebensmittel ab. Studien am Modell Rindfleisch zeigten, dass mit steigendem Salzgehalt im Lebensmittel ϵ'' ansteigt, während eine Erhöhung des Fettgehaltes eine Verringerung von ϵ'' bewirkt (Lyng et al., 2005, Zhang et al., 2007). Die Eindringtiefe der RF-Strahlung soll weiters mit Erhöhung der Frequenz sinken und mit Erhöhung von Wassergehalt und Temperatur im Gut steigen (Zhu et al., 2014, Basaran-Akgul & Rasco, 2013).

Als mögliche weitere Faktoren, welche die Effizienz der RF-Behandlung beeinflussen könnten wurden in diversen Studien die Form, Menge und Ausrichtung des Lebensmittels im elektrischen Feld identifiziert. Für Äpfel und Orangen unter RF-Behandlung traten selbst unter Nutzung von wasserunterstütztem RF, das üblicherweise der Verbesserung der homogenen Temperaturverteilung dient, gewisse *hot spots* auf (Birla et al., 2004). Eine höhere Schichtdicke, also ein verringerter Abstand zu den Elektroden, sowie mechanisches Umwälzen des Gutes erwiesen sich als förderlich (Orsat et al., 2001, Tiwari et al. 2011, Wang et al., 2005). Ebenso wurde das Einleiten von Dampf in den RF-Ofen zur Verbesserung der Temperaturverteilung empfohlen (Aymerich et al., 2008). Neueste Forschungsarbeiten zeigten den Nutzen der Verpackung in Polyetherimiden (PEI) zur homogenen Temperaturverteilung unter RF-Behandlung auf. Konkret wurde bei Pathogeninaktivierung von in PEI-verpackter Erdnussbutter mittels RF der Temperaturunterschied zwischen *hot* und *cold spots* an der Oberfläche von 13°C auf 7°C, im Querschnitt von 28°C auf 18°C gesenkt (Jiao et al., 2014).

Bei Dekontaminationsapplikationen könnten Unterschiede in der Empfindlichkeit verschiedener Mikroorganismen problematisch sein. Schlüsselberg et al. (2013) zeigten in Faschiertem für *E.coli* eine vollständige Inaktivierung (bei konventionellem Erhitzen für 40 min bei 220°C ergab sich nur eine Reduktion von etwa 2 log), während unter identer Behandlung für *Listeria monocytogenes* RF kaum Wirkung zeigte (Reduktion von nur 0,4 log) und konventionelles Erhitzen eine vollständige Inaktivierung erzielte. Die Mechanismen dahinter sind ungeklärt. Ein weiterer ungeklärter Effekt ist die Verringerung der Proteinlöslichkeit und des Molkeproteinstickstoffindex (WPNI) in mittels RF zur Dekontamination behandeltem Milchpulver (Chen et al., 2013).

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Im Vergleich zur Mikrowellenstrahlung ist eine verbesserte Homogenität durch die längere Wellenlänge und eine bessere Regelbarkeit (keine „unkontrollierte Reflexion an Wänden“) zu nennen. Dies macht RF-Strahlung im Vergleich zur MW zur sichereren Variante.

Die Konsumentenakzeptanz von RF sollte selbst bei ausschließlicher Bereitstellung der Information, „*dass die Mikrowellenstrahlung etwas länger ist*“, derjenigen der Mikrowelle ähnlich sein. Die Bekanntheit von RF-Strahlung im Lebensmittelbereich ist momentan äusserst gering.

2.8.1.2. Mikrowellen (*microwave frequency*)

Unter Mikrowellenbehandlung versteht man in der Lebensmittelverarbeitung – analog zur *radio-frequency* Behandlung – eine Nutzung hochfrequenter Energie in Form von nichtionisierender, elektromagnetischer Strahlung, die im Wesentlichen zur Erwärmung, Garung, Trocknung, zum Auftauen und Dekontaminieren von Lebensmitteln dient.

Prinzip und Nutzungsrelevanz

Die Erwärmung von Lebensmitteln durch Mikrowellen beruht auf dem Prinzip des dielektrischen Erhitzens, dessen Grundlagen bereits im vorangehenden Kapitel (Radiofrequenzstrahlung) behandelt wurden. Dabei überwiegt die Dipolrotation gegenüber der ionischen Depolarisierung. Der wesentliche methodische Unterschied zu RF besteht in der höheren Frequenz (915 bzw. 2450 MHz) und demnach geringeren Wellenlängen. Dies hat eine geringere Eindringtiefe der Mikrowellenstrahlung zur Folge. Gerätetechnisch besteht der wesentliche Unterschied darin, dass nicht „zwischen“ Elektroden erhitzt wird, sondern die in einem sogenannten Magnetron generierte elektromagnetische Strahlung in einen strahlungsisolierten Hohlraum (Mikrowellenofen) geleitet wird. Dort wird sie in Abhängigkeit von der Absorption durch das Lebensmittel mehrmals an den Wänden zurück ins Gut reflektiert, bis sie sämtliche Energie an dieses abgegeben hat. Der Prozess ist demnach stark von der Geometrie und Dichte des Gutes abhängig, also tendenziell weniger exakt kontrollierbar.

Wenig bekannte und neuere Anwendungen

Die klassische Anwendung der Mikrowelle in Haushalt und Industrie zum Erwärmen, Auftauen und Garen von Lebensmitteln und ihr wesentlicher Vorteil, die schnellere Erhitzung, sind hinreichend bekannt. Der Trend und damit die Verkaufszahlen für Haushalts-Mikrowellengeräte sind in Europa und den USA rückläufig (Watson, 2014, Euromonitor, 2013). Neben der bereits flächendeckenden Versorgung mit den Geräten, wurden weitere Ursachen dafür ausgemacht:

- Mikrowellen haben ein schlechtes Image in der Bevölkerung
- Konsumentinnen und Konsumenten wollen neben „convenience“ angeblich immer mehr Kontrolle über ihr Essen zurückbekommen, und selbst Kreatives „schaffen“, was typische „Mikrowellenmahlzeiten“ nicht bieten können (Watson, 2014).

Im Gegensatz zum Haushalt erhält der Einsatz von Mikrowellen großtechnisch eine immer größere Bedeutung. Im Folgenden werden einige industrielle Einsatzbereiche angeführt:

- Mikrowellen unterstützte Extraktion: Sowohl in der Probenvorbereitung für die Lebensmittelanalytik als auch zur schonenden, technischen fest-flüssig Extraktion wertvoller Lebensmittelinhaltsstoffe ist seit einigen Jahren MAE (*microwave assisted extraction*) bzw. SFME (*solvent free microwave extraction*) im Einsatz. Die Extraktion wird dabei durch die Veränderung der Zellwände durch Einwirkung elektromagnetischer Strahlung in Kombination mit der auftretenden strahlungsinduzierten Erwärmung unterstützt. Der wesentliche methodische Vorteil der MAE ist, dass Hitze- und Massetransfer in dieselbe Richtung, von innen nach außen, erfolgen. Im Fall herkömmlicher Extraktion erfolgt hingegen die Diffusion der zu extrahierenden Stoffe ebenfalls von innen nach außen, die förderliche Erwärmung aber durch Wärmeleitung von außen ins Innere (z.B. Veggi et al., 2013). Basierend auf der Verringerung bis Vermeidung organischer Lösungsmittel gilt MAE bzw. SFME als umweltschonendes „grünes“ Verfahren. Zur praktischen Durchführung wird das Gut in einen geschlossenen Behälter mit einem geeigneten Lösungsmittel (oft Wasser) eingebracht und mit MW bestrahlt. Bei einer MW-unterstützten (SFME) Hydrodestillation zur Gewinnung essentieller Gewürzöle aus Basilikum, Minze und Thymian ergab sich beispielsweise eine Verkürzung der Extraktionszeit auf 30 min gegenüber 4,5 Stunden bei der herkömmlichen Hydrodestillation unter gleichzeitiger, besserer Erhaltung der wertgebenden Inhaltsstoffe (Lucchesi et al., 2004). Viele bioaktive, antioxidative Substanzen, wie Flavanoide und sonstige phenolische Substanzen, lassen sich mittels MAE ebenfalls mit geringerem Zeitaufwand extrahieren (z.B. Routray & Orsat; 2012, Perino-Issartier, 2011). Um das Verfahren noch schonender für die Inhaltsstoffe zu gestalten, lässt sich die MAE auch unter Vakuum durchführen (z.B. Mengal & Mompon, 1996).

- Krustenloses Brot: Krustenloses Sandwich- und Toastbrot wird herkömmlich sehr energieaufwändig nach dem klassischen Backprozess durch „Entrinden“ hergestellt. Alternativ lässt sich mittels Mikrowellenbehandlung in seiner Eigenschaft als volumetrisches Erhitzungsverfahren (Erhitzung „von innen nach außen“) Brot direkt ohne Kruste backen. Die beim herkömmlichen Prozess auftretende, die Krustenbildung hervorrufoende Übererhitzung der Oberfläche wird hierbei vermieden.
- Erzeugung von Schnellkochreis: Der beliebte Schnellkochreis (10 min. anstatt der üblichen 20 – 30 min. Kochzeit) wird klassisch durch ein energie- und zeitaufwändiges mehrstufiges Verfahren bestehend aus Wässern und Trocknung hergestellt (siehe dazu auch Kapitel 2.4.). Kontinuierliche Mikrowellenbehandlung in Kombination mit förderlicher Dampfatosphäre bereits in der Verpackung reduziert die Prozesszeit deutlich bei simultaner Erhöhung der Kochausbeute. Hierauf hält die deutsche Mikrowellengeräte vertreibende Firma Linn High Therm GmbH ein Patent (Kintsel, 2013)
- Dekontamination von rohem Fleisch: Mittels entsprechend optimierter Parameter konnten in einem zweistufigen Verfahren bei rohem Fleisch, welches mit *E. coli* O157:H7 inokuliert wurde, in 1 min. (70° C) die Bakterien vollständig inaktiviert werden (Huang & Sites, 2010).
- Behandlung von Weinkorken: Weinkorken werden sterilisiert, um eine Reduktion des durch Bakterien erzeugten Trichloranisol zu erreichen, welches den typischen Korkgeschmack in Wein hervorrufen kann. Die schlechte Wärmeleitfähigkeit von Kork erschwert den herkömmlichen, auf Kochen und anschließender Heißdampfbehandlung basierenden Dekontaminationsprozess. Mittels MW-Strahlung lässt sich die Dekontaminationseffizienz bei erhöhter Behandlungsgeschwindigkeit steigern (Kintsel, 2013).
- Kombinationensmethoden: Um Synergien zwischen den verschiedenen Erhitzungsmethoden optimal nutzen zu können, wird an der Kombination von Infrarotstrahlung, Heißluft, Dampf und MW geforscht. Damit lässt sich etwa beim Backen sowohl eine hohe Prozessgeschwindigkeit (vor allem durch MW), als auch eine vorteilhafte Krustenbildung (durch Heißluft) realisieren. Bei derartigen Kombinationen kann sich ein von den Einzelmethoden differierendes Erhitzungsprofil sowohl bezüglich der Erhitzungsrate als auch in der Wärmeverteilung im Gut ergeben (Datta & Rakesh, 2012). Mit steigender Anzahl der kombinierten Techniken summieren sich aber die Einflussparameter, weshalb Kombinationsöfen einen hohen mathematischen Simulationsbedarf und ausgefeilte Kontrollmechanismen erfordern.

Potentielle Risiken

- Unzureichend homogene Erhitzung: Das Problem potentiell auftretender *hot* und *cold spots* unter MW-Behandlung ist bekannt (z.B. Marra, 2009). In diesem Zusammenhang wurde beispielsweise von einem Praxisfall aus Alaska berichtet. Von 30 Personen, die ein identes, rohes, kontaminiertes Schweinefleisch zuhause erhitzten, erkrankten ausschließlich nur diejenigen an Salmonellen bedingter Gastroenteritis, welche die Garung mit MW vornahmen (Gessner und Beller, 1994).
- Migration von Substanzen aus Behältnissen: Behältnisse müssen auf ihre Mikrowellentauglichkeit getestet werden. Für das an Beliebtheit gewinnende Melamingeschirr wurde eine deutliche Migration von Melaminformaldehyd in Lebensmitteln festgestellt, wobei der EU-Grenzwert von 10 mg/dm² überschritten wurde (Poovaradom et al., 2014).
- Gesundheitliche Risiken: In vielen Medien und diversen Internetforen wird immer wieder die Schädlichkeit der Behandlung von Lebensmitteln mit Mikrowellen behauptet. Seriöse wissenschaftliche Studien, welche diese Behauptungen unterstützen, wurden auch im Zuge dieser Recherche nicht gefunden. Das schlechte Image dürfte eher auf psychologische Momente zurückzuführen sein. Im Gegensatz zur Infrarotstrahlung, wo die Quelle der Strahlung meistens durch die Begleitstrahlung des sichtbaren roten Lichtes wahrgenommen wird und die Wirkung

der Infrarotstrahlung sofort spürbar ist, kann die Mikrowellenstrahlung vom Menschen nicht identifiziert werden. Die teilweise auch in wissenschaftlichen Publikationen gefundenen Unterschiede zwischen einer konventionellen Erhitzung und einer Mikrowellenerhitzung sind darauf zurückzuführen, dass die thermische Belastung nicht gleich war. Die Wirkung der Mikrowellen ist, so wie bei allen klassischen Garverfahren, ausschließlich auf thermische Effekte zurückzuführen. Trotz aller gegenteiligen Behauptungen konnten spezifische, strahlenchemische Effekte bis jetzt nicht gesichert bewiesen werden. Da die Mikrowellenbehandlung kein neues Verfahren ist, wird in der vorliegenden Studie auch nicht näher auf diesen Punkt eingegangen. Eine Zusammenfassung aller Aspekte einer Mikrowellenbehandlung wird sehr ausführlich von Hill (1998) gegeben.

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Bekanntermaßen ist Mikrowellenstrahlung bereits ein allgemein akzeptiertes, anerkanntes Verfahren mit weiter Verbreitung in Industrie, Gastronomie und Haushalten und unterliegt keine besonderen rechtlichen Vorschriften oder Einschränkungen.

2.8.1.3. Infrarotstrahlung (*infrared frequency* - IR)

Die Infrarotstrahlung ist eine nichtionisierende Strahlung in einem Wellenlängenbereich zwischen 0,78 – 1000 μm (zwischen Mikrowellen und sichtbarem Licht). Sie wird von der Menschheit schon seit ca. 1 Million Jahren mit der Nutzung des Feuers beim Grillen, Backen, Braten und Rösten eingesetzt. In der Lebensmittelindustrie wird sie darüber hinaus zusätzlich zur Trocknung, Pasteurisation/Sterilisation, sowie zur gezielten Bräunung und zum Erleichtern des Schälens genutzt.

Prinzip

Prinzipiell funktioniert Infrarotbehandlung analog zu den aus dem medizinischen Bereich bekannten Infrarotlampen. Lebensmittel werden in einer Kammer (Ofen) oder Tunneln etc. einer sehr intensiven IR-Strahlung (meist im Bereich 100 – 500 W) ausgesetzt. Die Infrarotstrahlung wird mit IR-Lampen, direkt oder indirekt beheizten Infrarotstrahlern (z.B. keramische Elemente) und anderen Einrichtungen erzeugt. Die Strahlung muss direkt auf das Lebensmittel gerichtet sein. Zur besseren Wärmeverteilung wird oft noch eine Luftgebläse eingesetzt. Im Gegensatz zu den Radio- und Mikrowellen erfolgt die Hitzegenerierung durch die deutlich kürzeren Infrarotstrahlen nicht durch Dipolrotation und/oder ionische Depolarisierung, sondern vorwiegend durch Anregung von Molekylvibrationen. Jedes Molekül (bzw. jede Bindung im Molekül) hat bestimmte natürliche Schwingungsfrequenzen (z.B. Aminosäuren, Polypeptide und Proteine in den Bereichen 3 – 4 μm und 6 – 9 μm , Lipide bei 3 – 4 μm bzw. 6 μm bzw. 9-10 μm , Kohlenhydrate bei etwa 3 μm sowie im Bereich 7-10 μm) (Krishnamurthy et al., 2008). Diese Schwingungsfrequenzen liegen im Bereich der meistens genutzten, fernen Infrarotstrahlung (FIR: 3-1000 μm). IR-Strahlung funktioniert demnach, indem sie die Moleküle zur Schwingung anregt, wobei letztlich aus der Bewegungsenergie der Lebensmittelmoleküle Wärme im Lebensmittel entsteht. Bei Desinfektionsanwendungen scheint der Wirkmechanismus eine DNA-Schädigung ähnlich der UV-induzierten zu sein.

Im Gegensatz zu Radio- und Mikrowellen kann die Infrarotstrahlung aber nur unwesentlich in Lebensmittel eindringen. Die Anregung der Moleküle und damit verbunden die Erwärmung erfolgt deshalb nur oberflächlich. Die Wärme muss dann durch Wärmeleitung in das Innere weiter geleitet werden.

Nutzungsrelevanz und Anwendungsbeispiele

Wie alle strahlungsbasierten Erhitzungsmethoden weist auch die Infrarotstrahlung gegenüber den anderen Verfahren den wesentlichen Vorteil der rascheren Wirkung auf. Üblicherweise lassen sich die Prozesszeiten in den gängigen Anwendungen auf etwa 40% reduzieren, wobei die Parameterwahl eine entscheidende Rolle spielt. Pilze ließen sich beispielsweise mittels IR-Behandlung bei 70° C in 260 min mittels IR gegenüber 480 min mittels Heißlufttrocknung bei besserem Erhalt von Farbe und sensorischen Eigenschaften trocknen (Wang et al., 2014). Entsprechend geringer ist auch der Energieverbrauch (Yilmaz & Tuncel, 2010).

Neben der Verringerung von Prozesszeit und -energie gibt es Hinweise auf einen besseren Erhalt der Farbe, sowie der ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften. Beispielsweise sollen die sensorischen Eigenschaften von IR-getrockneten Pilzen in Textur und Geschmack heißluftgetrockneten deutlich überlegen sein (Wang et al., 2014). IR-getrocknete Karotten sollen gegenüber heißluftgetrockneten einen um 17 % erhöhten Carotinoidgehalt aufweisen (Vishwanathan et al., 2010). Die Änderungen bezüglich der mechanischen Eigenschaften (Knusprigkeit und Härte), der Farbe und der Wasseraufnahmekapazität von im selben Ofen mittels IR gegenüber unter Heißluft bei identer Temperatur (65° C bzw. 75° C) getrockneten Apfelscheiben sollen lediglich von der Temperatur, nicht aber von der Methode beeinflusst sein (Nowak & Lewicki, 2005).

Kritische Parameter und Beschränkungen

Grundsätzlich hat sich die Nutzung des fernen Infrarot (FIR, meistgenutzt sind 2,5 bis 30 µm) gegenüber dem nahen Infrarot (NIR, 0,78 – 2,5 µm) für die Lebensmittelbehandlung als vorteilhaft erwiesen. Theoretisch liegt das daran, dass die Schwingungswellenlängen der meisten Lebensmittelinhaltsstoffe in diesem Bereich liegen. Praktisch äußert sich das in einer rascheren Erwärmung bei tendenziell geringerer Temperatur, einer homogenen Erhitzung und einfacherer Entfernbarekeit von Häuten und Schalen. Mittels speziellen Filtern lassen sich prinzipiell auch sehr kleine Wellenlängenbereiche herausfiltern, um ganz spezifisch bestimmte Moleküle anzuregen. So wurde für Sporen von *A.niger* und *Fusarium proliferatum* in Maismehl mit gefiltertem IR-Licht mit einer Wellenlänge von 5,88 – 6,66 µm gegenüber ungefiltertem IR eine um 40 % gesteigerte Inaktivierungsrate erzielt (Krishnamurthy et al., 2008). Die Erklärung soll in der bevorzugten Denaturierung der Sporenproteine in diesem Wellenlängenbereich liegen. Zur gezielten Nutzung gefilterter Wellenlängen fehlt derzeit allerdings noch Hintergrundwissen über die für bestimmte Zwecke optimalen Wellenlängen.

In zahlreichen Studien wurde bewiesen, dass die Trocknungsrate für IR stark positiv mit der zugeführten Energie im Trocknungsraum korreliert (Kocabiyik & Tezer, 2009, Doymaz, 2012, Ning & Han, 2013, Doymaz, 2014). Beispielsweise wurde für die Trocknung von Pilzscheiben und Granatapfelsamen bei stufenweiser Steigerung der Leistung von 83 auf 209 W eine proportionale Senkung der Trocknungsrate von 300 min bzw. 150 min (83 W) auf 40 min bzw. 60 min (209 W) erreicht (Doymaz, 2012; Doymaz, 2012 a).

Das wesentliche Problem der IR-Strahlung ist die geringe Eindringtiefe im Vergleich zur Radio- und Mikrowellenstrahlung. Bei hoher Lebensmittel-Dicke ist die Erhitzungseffizienz deutlich geringer. Dies wurde für Ginseng unterschiedlicher Größe ebenso aufgezeigt wie für Süßkartoffelscheiben (Ning & Han, 2013, Doymaz, 2012). Güter über etwa 1 cm Dicke eignen sich daher nur bedingt zur IR-Trocknung.

Für die Effizienz der Entkeimung mittels IR scheint der Wassergehalt im Ausgangsgut eine bedeutende Rolle zu spielen. Studien zum Zweck der Dekontamination von Reis von *Asperillus flavus*-Sporen zeigten bei identer Inokulation und identen IR-Bedingungen (60° C, 120 min) Inaktivierungsraten von 2,5 log bis 8,3 log in positiver Korrelation mit dem ursprünglichen Wassergehalt im Bereich 14 – 27 % (Wang et al., 2014). Die Inaktivierung des pathogenen *Staphylococcus aureus* in

Milch lässt sich mittels IR mit einer Lampentemperatur von 619° C bei 4-minütiger Behandlungsdauer und sinnvoll dimensioniertem Probenvolumen unter Reduktion von >8 log realisieren (Krishnamurthy et al., 2008).

Bewiesen ist weiter, dass IR-Trocknung die Mikrostruktur der behandelten Lebensmitteloberflächen im Sinne geringerer Homogenität verändert (Ning & Han, 2013, Quintero-Ruiz et al., 2014). Hypothesen besagen, dass dies auf das teilweise Aufplatzen der Zellen zurückzuführen ist. Für einige Anwendungen kann das von Vorteil sein. So soll eine Vortrocknung mittel IR anstelle von Heißluft vor der Gefriertrocknung von Bananen diesen eine höhere Knusprigkeit verleihen (Pan et al., 2008). Das Schälen von Tomaten soll durch die veränderte Schalenstruktur gegenüber herkömmlicher Laugenschälung in kürzeren Prozesszeiten, dünneren Schalen und damit verbunden geringerem Masseverlust resultieren (Li et al., 2014). Somit lassen sich Wasser, Chemikalien und Energie bei gleichzeitiger Qualitätsverbesserung einsparen, und durch Wegfall der Chemikalien und Wasser einfacher *higher-value added products* aus dem Reststoff Schale (im Fall von Tomaten z.B. Lycopin und Ballaststoffe) herstellen, womit wiederum die Effizienz weiter erhöht wird (Pan et al., 2013).

Kombinationen

Aufgrund der geringen Eindringtiefe der IR-Strahlung ist ihre singuläre Anwendung begrenzt. Daher gibt es verstärkt Forschungsaktivitäten in Richtung von IR-Kombinationskonzepten. Für Bananchips kann eine IR-Vortrocknung auf etwa 40% Gewichtsverlust vor der kostenintensiven langdauernden Gefriertrocknung beispielsweise den Zeit- und Energiebedarf bei gutem Erhalt der Farbe, geringer Schrumpfung und Erhöhung der Knusprigkeit senken (Pan et al., 2008). Die Kombination IR mit Heißlufttrocknung führte beim Rösten von Mandeln zu einem verbesserten Energieverbrauch/Qualitätsniveau (Yang et al., 2013). Ernährungsphysiologisch bedeutend wurde ein um 39% erhöhter Vitamin C Gehalt bei mittels IR blanchierten und anschließend mittels IR-Heißlufttrocknung behandelten Karottensticks gegenüber herkömmlich im Wasserbad blanchierten und einer Heißlufttrocknung unterzogenen Karottensticks bei 45% Zeitersparnis beobachtet (Vishwanathan et al., 2013). Ein im Pilotmaßstab auf einem Förderbandsystem durchgeführter Vergleich zur Trocknung von Apfelscheiben mittels Heißluft, Kombination IR-Kaltluft und IR-Heißluft bewies klare Vorteile der IR-Heißluft-Kombination in Geschwindigkeit, Energieersparnis, Rehydrierungseigenschaften, Schrumpfungsausmaß und Farberhalt (El-Mesery & Mwithaga, 2014). Brote, die in IR-Heißluft hybridöfen gebacken wurden, wiesen im Vergleich mit konventionell gebackenen Broten höheres Wasserhaltevermögen, höheres Volumen, geringere Krumenhardt und eine bessere Sensorik auf, wobei die Backzeit um 28% reduziert werden konnte (Chhanwal et al., 2014). Für die Trocknung von Fleischstreifen ergab die IR/Heißluftkombination eine verbesserte Trocknung durch vorteilhafte Wasserdiffusion, sowie geringere Schrumpfung (Xie et al., 2014). Ebenso konnten Energieeffizienz und Qualität hinsichtlich des Farberhalts, der Textur, der Rehydrierungskapazität und der Schrumpfung für Chili durch Synergieeffekte IR/Mikrowelle gegenüber ausschließlicher Mikrowellenbehandlung gesteigert werden (Saengrayap et al., 2014). Die Dreierkombination Mikrowelle/Vakuumtrocknung/IR soll zur Herstellung hochqualitativer (Textur, Farbe, Rehydrierungskapazität) getrockneter Shiitakepilze geeignet sein (Katrang et al., 2012). Bei der Inaktivierung von *E.coli* und *Salmonella enterica* verbessert die Kombination IR/UV gegenüber ausschließlicher UV-Behandlung die antibakterielle Wirkung (Ha & Kang, 2013). Das Konzept der kombinierten Trocknung zur optimalen Synergienutzung mündete bereits in der Konstruktion einer kombinierten Anlage, welche zur seriellen und/oder parallelen Nutzung von Gefrier-, Heißluft-, Kontakt-, Mikrowellen-, Infrarot oder Vakuumtrocknung fähig ist (Kraus et al., 2011).

Derzeitiger Einsatz

Die IR-Technologie hat bereits in vielen Haushaltsgrillern als die „Mikrowelle des Outdoor-kochens“ Einzug gehalten. Die Firma TEC bietet dabei Griller (*Char-broil* Kombigeräte) an, welche zu 100% mit IR arbeiten. Das Hauptverkaufsargument ist schnelleres, saubereres, energiesparendes „Grillen“ mit geringerem Saftverlust. Die hohe Leistung und die damit erzielbaren hohen Temperaturen sollen allerdings selbst erfahrene Hobbygriller fordern, wobei vor allem die Gefahr des Übererhitzens verbunden mit der erhöhten Bildung an cancerogenen Maillard-Abbauprodukten bestehen kann.

Neben der Verwendung von Infrarotstrahlern in industriellen Back-, Brat- und Röstanlagen gibt es in diesem Bereich auch neue Entwicklungen. Die Firma OSRAM vertreibt beispielsweise diverse Infrarotlampen unter den Marken SICCATHERM® und HALOTHERM® zum Warmhalten von Lebensmitteln für den Gastronomie- und Cateringbereich. Die Firma HERAEUS baut maßgeschneiderte IR-Module für vielfältige Applikationsmöglichkeiten (Auswahl illustriert in Abb. 4.2.8). Darunter sind Geräte für übliche Prozessschritte, wie Brotbacken, fettfreies Rösten, Kochen von Würsten, Desinfektion von Schnittbrot nach dem Schneiden, Erhitzen beim Zusammenkleben von Pralinenhälften, Getreidekörnerpoppen etc. ebenso zu erhalten, wie IR-Tunnelsysteme zur Generierung von Lebensmitteln mit „attraktiver Oberflächenbräune“. Die Zielgruppe sind hier Hersteller von Fleischlaibchen, Schinken, Süßspeisen (etwa Käsekuchen, *Crème brûlée*), oder Fertiggerichten (Lasagne etc.). Der Trick dabei ist das Schaffen einer appetitlichen Bräune ohne zusätzliches in Fett braten oder Durchkochen der Lebensmittel.



Abb. 4.2.8 Beispiele industrieller Anwendung der IR-Strahlung (von links nach rechts: Bräunen von Schinken, Bräunen von Käsekuchen, Bräunen des Käsebelages auf TK-Lasagne, Desinfizieren von Schnittbrot) (Heraeus Noblelights, 2015)

Potentielle Risiken, rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Nachdem, wie oben angeführt, die Infraroterhitzung von den Menschen seit Nutzung des Feuers angewandt wird, sind hinsichtlich ihres industriellen bzw. großtechnischen Einsatzes keine Akzeptanzprobleme und rechtliche Einschränkungen zu erwarten.

2.8.1.4. UV-Licht

Ultraviolette Strahlung ist vorwiegend eine Möglichkeit zur Oberflächen- und Flüssigkeitsentkeimung und ein Weg zur Stimulation der Bildung einiger Vitamine und sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe.

Prinzip

UV-Strahlung ist elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 100 und 400 nm, deren Ursprung in der Sonne oder in künstlichen Quellen (meist Quecksilberdampf lampen) liegen kann. Ihre keimtötende Wirkung beruht darauf, dass DNA-Einzelstränge gespalten werden, womit die DNA an der Transkription und Replikation, also an Wachstum und Vermehrung, gehindert wird.

Der Aufbau von Vitamin D durch UV-Strahlung erfolgt aus dessen Vorstufen (z.B. Ergosterol in Pilzen) durch bereits identifizierte, photochemische Synthesewege. Die Hintergründe der verstärkten Bildung anderer Vitamine und antioxidativer Substanzen sind dagegen noch nicht vollständig geklärt. Das Phänomen des Anstiegs solcher dem Schutz des Organismus dienenden Substanzen durch geringe Dosen von UV-Licht wird "Hormesis" genannt. Es wird davon ausgegangen, dass dabei zelleigene Schutzmechanismen aktiviert werden, die aufgrund der (an und für sich schädlichen) UV-Strahlung ausgelöst werden. Das führt zur Bildung von Schutzsubstanzen gegenüber dem Auslöser (UV-Strahlung oder sonstigen schädlichen Einwirkungen). Im Fall negativer, oxidativer Einflüsse sind das Vitamin C und viele phenolische Substanzen, die antioxidative Funktionen in der Pflanze selbst aber auch im menschlichen Organismus (antientzündlich, anticancerogen, gegen viele Immunerkrankungen etc.) erfüllen.

Nutzungsrelevanz und Einsatzmöglichkeiten

Der ursprüngliche und mittlerweile gut etablierte Einsatz der UV-Strahlung im Lebensmittelbereich war lange auf die Desinfektion von Lebensmittelkontaktoberflächen (Arbeitsflächen, Verpackungen etc.) und Wasser (z.B. Wasser für Limonadenbereitung, sonstige Prozesswasser) beschränkt. Diese Anwendungen bieten sich aufgrund der äußerst geringen Eindringtiefe der UV-Strahlung in undurchsichtige Materialien an.

In den letzten Jahren wurden aber einige Applikationsmöglichkeiten in der Lebensmittelverarbeitung selbst aufgezeigt. Dies bekam besondere Relevanz mit dem Auftreten von großflächigen Lebensmittelvergiftungen durch *E.coli* O157:H7 in kontaminierten Apfelsäften und Apfelmust in den USA, wodurch die UV-Bestrahlung in den USA zur Dekontamination zugelassen wurde. Dabei gilt das Kriterium, dass die Keimreduktion der Zielkeime bei Frucht- und Gemüseprodukten unabhängig von der angewandten Methode mindestens 5 log betragen soll. Mit UV-Strahlung ist das an der Grenze des Möglichen bei der Dekontamination von flüssigen Lebensmitteln. Die Keimreduktion durch UV-C Strahlung als ausschließliche Methode in Apfelsaft und Most beträgt etwa 4 log. Eine 90 prozentige Reduktion von Patulin in Apfelsaft wurde durch UV-Strahlung bei 222 nm bei gutem Erhalt von Farbe und Geschmack, allerdings 36 prozentiger Verringerung des Vitamin C Gehalts erreicht (ZHU et al., 2014). In Kokosnussmilch wurde unter mehreren Testbedingungen mit 4,1 log die maximale Reduktion für *E. coli* und *Salmonella typhimurium* erreicht (Ochoa-Velasco et al., 2014). Auch in Flüssigei konnte der Gehalt an Salmonellen in Versuchen nicht immer unter die Grenze des sicheren Verzehrs gebracht werden, wobei jedoch die funktionalen Eigenschaften (Schaumstabilität etc.) des Eies durch 5 bzw. 10-minütige UV-Behandlung etwas verbessert werden konnten (Abdanan Mehdizadeh et al., 2014). In Saft weißer Trauben wurde bei einmaligem Durchlauf eine log Reduktion von *E. coli*, Milchsäurebakterien und Hefen von 3,7 bzw. 4,1 bzw. 1,6 log erreicht, wobei mit Erhöhung auf 8-fachen Durchlauf (32 minütige Prozesszeit) die durch die FDA empfohlene 5 log Reduktion von *E.coli* in Fruchtsäften erfüllt werden konnte (Unluturk & Atilgan, 2014). In Wein wurde UV-Strahlung mit dem Ziel des Ersatzes des allergenen Sulfites als Konservierungsmethode in zehn Rot- und Weißweinen getestet. Das Ergebnis weist darauf hin, dass ein vollständiger Ersatz bei Weißweinen durchaus möglich wäre, bei Rotweinen eine UV-Behandlung allein jedoch nicht ausreicht (Rizotti et al., 2015).

Für feste Lebensmittel wurde die Eignung der UV-Strahlung zur Oberflächendekontamination untersucht. Die Qualität und Sicherheit von Seebrassenfilets konnte mittels UV-Bestrahlung direkt *postmortem* in den ersten 4 Tagen der Kühllagerung deutlich verbessert werden (Molina et al., 2014). Die Bestrahlung ganzer Tomaten resultierte gegenüber der unbehandelten Kontrolle in einer Keimzahlsenkung von 1 – 2 log bei 8 – 9 % höherer Festigkeit und Reifeverzögerung an Tag 15 der Lagerung bei 10° C nach der Behandlung (Pinheira et al., 2014). Eine Verbesserung der Qualität über die 4-wöchige Lagerdauer (unter Kühlung) beweist auch eine Studie zur Untersuchung der Auswirkungen der UVA, UVB und UVC Strahlung auf Heidelbeeren (Nguyen et al., 2014).

Das zweite bedeutende Anwendungsgebiet der UV-Strahlung ist die Erhöhung des Vitamin D- Gehalts in pflanzlichen Lebensmitteln, was insbesondere in den Wintermonaten und für Veganer von Bedeutung ist. Kürzlich wurde zu diesem Zweck eine mit UV-behandelte Bäckerhefe (*S. cerevisiae*) als Novel Food zugelassen (EFSA, 2014), weitere Anträge etwa betreffend Milch sind in Bearbeitung. Vitamin D kann körpereigen durch Sonneneinstrahlung auf die Haut gebildet, oder über die Ernährung aufgenommen werden. Ein Mangel kann u.a. das Osteoporoserisiko erhöhen, sowie einige Autoimmunerkrankungen begünstigen (Bensik et al., 2014). Lebensmittel, die von Natur aus sehr hohe Vitamin D-Gehalte aufweisen, sind wilde Pilze, die gegenüber kultivierten Pilzen stark erhöhte Vitamin D-Gehalte – vermutlich aufgrund der einwirkenden UV-Strahlung – aufweisen. Durch UV-Bestrahlung lassen sich in Pilzkulturen die Vitamin D-Konzentrationen in etwa verzehnfachen (Simon et al., 2013). Daneben ließen sich auch die Gehalte an phenolischen Substanzen (um 7%) und speziell Flavonoiden (um 12 %) in Shiitakepilzextrakten durch UV-B Strahlung erhöhen (Kim et al., 2014). Die gezielte Erhöhung des Vitamin D-Gehalts funktioniert ebenso in Eiern von mit UV-Licht bestrahlten Hühner. Kühn et al. (2014) setzten Hühner einer UV-B Strahlung von bis zu 5 h täglich aus, wonach die gelegten Eier eine direkt proportionale, nichtlineare starke Steigerung des Vitamin D-Gehalts mit der Bestrahlungszeit auf bis zum 10-fachen der Ausgangskonzentration aufwiesen.

Wie eingangs erwähnt, wird bei geringen Dosen an UV-Strahlung durch die sogenannte Hormesis der Gehalt an den mittlerweile auch als gesundheitsförderlich bekannten, antioxidativen Substanzen erhöht. Bei Heidelbeeren wurden aber nur UV-B und UV-C-Strahlung für diesen Zweck als förderlich identifiziert (Nguyen et al., 2014).

Beschränkungen, kritische Parameter und Forschungsbedarf

Neben der geringen Eindringtiefe und der damit assoziierten Beschränkung der alleinigen Nutzung von UV-Strahlung zur Dekontamination ergeben sich folgende, methodisch bedingte mögliche Probleme:

- Reparaturmechanismen der Organismen: Mikroorganismen und andere Organismen leben schon „länger unter der Sonne“ und sind damit an die UV-Strahlung gewöhnt und daher auch in der Lage diverse Schutzmechanismen zu entwickeln. Darunter fällt die Einlagerung von Pigmenten, welche die Resistenz gegenüber UV-Strahlung erhöhen (ähnlich „gebräunter Menschen“), aber auch Reparaturmechanismen auf DNA-Ebene. Bekannt wurde in diesem Zusammenhang die sogenannte Photoreaktivierung, also die Reparatur unter an die UV-Behandlung anschließender Lichteinwirkung. Photoreaktivierte Zellen sind für folgende Behandlungen deutlich resistenter. Einwirkungen subletaler Dosen fördern diese Resistenzen.
- Unterschiede in der Empfindlichkeit zwischen den MO: Mikroorganismen sind unterschiedlich empfindlich gegenüber einer UV-Strahlung. Für einige Arten wurden bereits die optimalen Inaktivierungsdosen identifiziert, für andere fehlen noch Erfahrungswerte.
- Inhomogenitäten der Oberflächenstruktur fester Lebensmittel Kleine Kavitäten in der Oberfläche fester Lebensmittel können Mikroorganismen Schutz bieten.
- Pigmente bzw. Partikel/Trübungen in flüssigen Lebensmitteln: Säfte mit hohem Feststoffanteil weisen im Vergleich mit klaren Getränken eine höhere Absorption und damit eine geringere Transmissionsfähigkeit für UV-Strahlung auf, wodurch diese weniger weit in das Lebensmittel penetrieren kann (Choudhary & Bandla et al., 2012; Koutchma, 2008). Ein Maß für diese, die Wirkung vermindern, Absorption eines Lebensmittels ist der Absorptionskoeffizient. Dieser beträgt etwa für klaren Apfelsaft 11 cm^{-1} , für Orangensaft bis zu 50 cm^{-1} (Koutchma, 2008).

- Sonstige, die Absorption steigernde Komponenten in Lebensmitteln: Koutchma et al (2008) zeigten auf, dass nicht nur offensichtliche Trübungen und Partikel im Lebensmittel die Absorption erhöhen können, sondern diese auch durch Vitamin C im Getränk erhöht wird. Versuche mit Vitamin C substituierten Getränken ergaben eine lineare positive Korrelation zwischen dem Vitamin C-Gehalt und der Absorption für UV-C-Strahlung. Daraus folgt, dass die häufig mit zusätzlichem Vitamin C angereicherten Säfte höhere Strahlungsdosen bei der Pasteurisation benötigen und allgemein die Zusammensetzung von Lebensmitteln eine große Rolle für die Effizienz der Methode spielen könnte.
- Veränderungen von einigen Lebensmittelkomponenten: UV-Strahlung kann die Bildung von freien Radikalen induzieren, wie etwa der *lipid superoxide radicals* (SOR). Diese wiederum können zur Vernetzung zwischen Kohlenhydraten und Proteinen, zur Proteinfragmentierung und Peroxidation ungesättigter Fettsäuren und zum Verlust von Membranfunktionen führen. In Milch beispielsweise könnte dieser Angriff auf Proteine, Aminosäuren und Enzyme durch UV-Einflüsse zu Texturveränderungen führen (Choudhary & Bandla et al., 2012).

Die Effektivität der Behandlung flüssiger Lebensmittel hängt neben der Strahlungsintensität im Wesentlichen von der Gewährleistung eines homogenen Durchflusses ab, also dem Ziel, jedes Teilchen des LM einer minimal zur Abtötung der entsprechenden Mikroorganismen nötigen Dosis auszusetzen. Hierfür haben sich technische Weiterentwicklungen zur Verbesserung der Strömungsdynamik in den Reaktoren als sinnvoll erwiesen wie *turbular-flow units*. Experten halten bei Optimierung Pasteurisationsraten für Säfte von bis zu 4.000 Litern in 24 s für möglich (Koutchma, 2014).

Derzeitiger praktischer Einsatz

Momentan ist der Einsatz von UV-Strahlung zur Trinkwasseraufbereitung in der Lebensmittelindustrie weit verbreitet. So wird Wasser bzw. verdünnte Zuckerlösungen zur Verwendung in Sodawasser und Limonaden dekontaminiert. Für diese Anlagen gibt es viele kommerzielle Hersteller wie etwa Aquaionic oder Aquafine. Der Einsatz bei anderen Lebensmitteln ist weltweit aufgrund des noch hohen Forschungsbedarfes momentan gering, und in Europa zusätzlich rechtlich beschränkt. Kommerziell erhältliche Anlagen für die Industrie gibt es allerdings (siehe z.B. Abb. 4.2.9). Auf die amerikanische Zulassung und die durch Aufnahme von kontaminiertem Apfelsaft und Most verursachten Epidemien reagierte man mit dem kommerziellen Einsatz der Anlage CiderSure 3.500[®] für die Dekontamination dieser Produkte. Die C&S Equipment & Co. bietet rotierende Reaktoren und Förderbandsysteme zur Behandlung von frischen Lebensmitteln (Obst/Gemüse und Fleisch), gefrorenen Lebensmitteln (Gemüse, Fische, Fleisch, Backwaren) sowie auch von bereits gekochten, gekühlten Produkten (Pasta, Käse etc.) an. Mit diesen Anlagen soll für jeden Anwendungszweck eine optimale Durchmischung möglich sein, ein Sterilluftsystem für die Vermeidung einer Rekontamination sorgen, und Durchsätze bis zu 4.500 kg/h realisierbar sein (Koutchma, 2008). Auch die Firma DaRo-UV Systems hat mit Förderbändern kompatible Anlagen für einige Anwendungszwecke (auch Brotdesinfektion etc.) im Verkaufsprogramm. Hortimax[®] ist ein steuerbares UV-Lampensystem für die Pflanzenkultivierung von der Firma Van Remmen UV Technik.



Abb. 4.2.9: UV-Förderbandsystem der Fa. Daro- UV Systems, Hortimax der Fa. Van Remmen UV Technik, diverse Anlagen der DaRo von innen (Van Remmen UV Technik BV, 2014; DaRo UV Systems Ltd, 2010)

Kombinationen

Um die Effektivität der UV-Behandlung zu steigern, wurden diverse synergistische Effekte im Rahmen eines Hürdenkonzeptes identifiziert. Eine förderliche Kombination ist die UV-Behandlung mit Hitze („UV-H“-Behandlung), wobei in Abhängigkeit der Thermoresistenz der abzutötenden MO Temperaturen der Bereich zwischen 50 und 60° C ein geeigneter Kompromiss zwischen Keimreduktion und Erhalt der Qualität sein soll. Die unter ausschließlicher UV-Nutzung unsichere Erreichung der von der FDA geforderten 5-Log Reduktion von *E.coli* H157:H7 in Apfelsaft lässt sich unter UV-H Nutzung bei 55° C zu 95 – 99,9 % erreichen (Gayan et al., 2014). Die Kombination UV-H in diesem Temperaturbereich brachte für Apfelsaft darüber hinaus den Vorteil einer deutlichen Reduktion der notwendigen Prozesszeiten und einer Reduktion der UV-Dosis (Gouma et al., 2014).

Die Kombination UV mit Ultraschall ergab eine Erhöhung der bioaktiven Substanzen Trans-Resveratrol, p-Coumarin bei Kaffee, und von Ferulasäure bei Erdnüssen im Vergleich mit den beiden Einzelbehandlungen (Sales & Resurrecion, 2010).

Eine neue Anwendungstechnik von UV-Licht ist der Einsatz in Kombination mit IR-Strahlung und sichtbarer Strahlung in Form von gepulster Bestrahlung (Lichtblitze) (siehe Kapitel 8.2.5.1.). UV-Strahlung soll ein für *pulsed-light* besonders geeigneter Bereich sein (Ramos-Villarroel et al., 2014).

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Die Lebensmittelbestrahlung mit UV-Licht ist in Österreich bzw. in der EU aufgrund der weitverbreiteten Anwendungsmöglichkeiten unterschiedlich geregelt bzw. nicht geregelt. Die Entkeimung von Trinkwasser wird speziell im Österreichischen Lebensmittelbuch (2007) (Codexkapitel B1 – Trinkwasser; online aberufen 01/2015) behandelt.

Die Behandlung mit ionisierenden Strahlen wird in der EU durch zwei Basis-Richtlinien geregelt (RICHTLINIE, 1999/2/EG und RICHTLINIE EU 1999/3/EG). In keiner der beiden Richtlinien wird die UV-Bestrahlung explizit erwähnt. EU-Richtlinien müssen durch nationale Verordnungen in den einzelnen Mitgliedstaaten umgesetzt werden. Die entsprechende österreichische Verordnung wurde im Jahr 2000 erlassen (Österr. Bestrahlungsverordnung, 2000). Auch in dieser Verordnung wird die UV-Strahlung nicht erwähnt. In der deutschen Verordnung (Deutsche Lebensmittelbestrahlungsverordnung, 2000) aber sehr wohl, wie schon aus deren Titel hervorgeht, der folgendermaßen lautet: Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen, Neutronen oder **ultravioletten Strahlen** (Lebensmittelbestrahlungsverordnung - LMBestrv). In dieser Verordnung wird in § 1 Folgendes angeführt:

(4) Die Behandlung durch direkte Einwirkung mit ultravioletten Strahlen ist zugelassen zur Entkeimung

1. von Trinkwasser,
2. der Oberfläche von Obst- und Gemüseerzeugnissen,
3. von Hartkäse bei der Lagerung.

(5) Die bei der Entkeimung von Luft durch ultraviolette Strahlen auftretende indirekte Einwirkung auf Lebensmittel ist zugelassen.

Wir sind tagtäglich mit der UV-Strahlung konfrontiert, von der Sonnenstrahlung bis zur Diskothek. Viele Menschen haben mit der direkten strahlenchemischen Wirkung von UV-Licht auch schon unangenehme Erfahrungen in Form eines Sonnenbrands gemacht. Trotzdem wird die UV-Behandlung von Lebensmitteln nicht unmittelbar mit einer Lebensmittelbestrahlung assoziiert. Die Akzeptanz einer UV-Behandlung von Lebensmitteln ist deshalb ungleich höher im Vergleich zur ionisierenden (Gamma-)Strahlung. Außerdem ist eine Kennzeichnung von Lebensmitteln, die mit UV-Licht behandelt wurden, derzeit nicht explizit vorgesehen, wodurch die Konsumenten mit dieser Tatsache gar nicht konfrontiert sind.

2.8.1.5. Gepulstes Licht (*pulsed light*- PL)

Unter *pulsed light* (PL) versteht man die Nutzung intensiver Lichtpulse bzw. Lichtblitze von sehr kurzer Dauer im UV-VIS-NIR-Bereich mit dem vorrangigen Zweck der Dekontamination von Lebensmitteloberflächen und Verpackungen.

Prinzip

Das zu behandelnde Gut wird kurzen Lichtpulsen im Wellenlängenbereich von 100 – 2.600 nm ausgesetzt, wobei der tatsächlich genutzte Bereich weiter eingeschränkt sein kann. Der genutzte Bereich des elektromagnetischen Spektrums erstreckt sich also vom UV-Licht über den sichtbaren Lichtbereich bis in den Infrarotbereich. Üblich ist dabei eine Behandlung mit 1 – 20 Pulsen/s mit einer Dauer von je 1 μ s – 0,1 s. Die Energiedichte an der Lebensmitteloberfläche beträgt im Allgemeinen 0.01 bis 50 J/m². PL wurde 2002 von der FDA zur Oberflächendekontamination von Lebensmitteln mit einer Beschränkung des Wellenlängenbereichs auf 200 – 1.000 nm, der Pulsdauer auf < 2 ms und der Energiedichte auf <12 J/m² zugelassen.

Technisch funktioniert PL im Prinzip folgendermaßen: In einem elektrischen Kondensator gespeicherte Energie wird in eine Xenonlampe entladen, was die enthaltenen Xenonatome in einen energetisch höheren Zustand versetzt. Um nun in den bevorzugten Grundzustand zurück zu gelangen, geben die Xenonmoleküle die Energie in Form von Photonen (also Licht) in das Lebensmittel ab.

Nutzungsrelevanz und Einsatzmöglichkeiten

Die Inaktivierung von Mikroorganismen durch PL wird im Wesentlichen folgenden drei Effekten zugeschrieben (FDA, 2014):

- Photochemische Schädigung durch den UV-Anteil: Der UV-Anteil des Lichtes bewirkt unter anderem eine DNA-Schädigung, womit MO im Wachstum und an der Vermehrung gehindert werden.
- Photothermische Schädigung durch lokale Überhitzung: Zwischen Bakterien und der umgebenden Lebensmittelmatrix bestehen Unterschiede in der Absorption und der Erhitzungs-/Abkühlungsrate, wobei die Bakterienzellen als lokales Verdampfungszentrum fungieren sollen. Damit lassen sich die bereits mikroskopisch beobachtete Zerstörung der Membrane und das Aufbrechen der Zellwände erklären. Für die Erhitzung sind vor allem der sichtbare und der Infrarot-Spektralbereich verantwortlich.

- Photophysikalische Schädigung durch die Pulsintensität: Zellwand- und Zellmembranschädigungen, sowie Zerstörung anderer Komponenten im Cytoplasma könnten auch auf die physikalische Einwirkung der Pulse zurückzuführen sein.

PL versteht sich als Weiterentwicklung der kontinuierlichen UV-Behandlung, gegenüber der sich jedoch methodisch begründete Vorteile ergeben. Die MO-Inaktivierungsraten sind durch die zusätzlichen photothermischen und photophysikalischen Schädigungen deutlich erhöht. So wurde *L. monocytogenes* auf fester Oberfläche unter PL in ca. 180 s um 6 Zehnerpotenzen reduziert, während die Inaktivierung mittels kontinuierlicher UV-Licht-Bestrahlung in 1.000 s die Keimzahl lediglich um 4 Zehnerpotenzen verringerte (Ceigh et al., 2013). Ein weiterer Vorteil der PL-Behandlung ist die Nutzung von Xenonlampen, die im Vergleich zu den bei der kontinuierlichen UV-Bestrahlung genutzten Quecksilberdampflampen umweltfreundlicher sind.

Neben der Inaktivierung der klassischen lebensmittelpathogenen und haltbarkeitsvermindernden Bakterien und Pilze wurde auch ein Potential zur Reduktion von Viren aufgezeigt. Hepatitis A Viren und Norovirensurrogate ließen sich innerhalb von 2 s PL-Behandlung in Suspension sowie auf Stahloberfläche komplett (5 log) inaktivieren (Jean et al., 2011). In komplexeren Medien ist die Effizienz jedoch klar reduziert, wie sich in Versuchen mit Rinderserum zeigte (3 log Reduktion bei identer Ausgangsbelastung).

Analog zu kontinuierlicher UV-Behandlung lässt sich auch mittels gepulsten UV-Lichts (PL im Bereich 100 – 400 nm) der Vitamin D-Gehalt in Pilzen erhöhen. Dabei reicht eine Prozessdauer von 1 s (3 Pulse), um von quasi nicht vorhandenem Vitamin D₂-Gehalt (0,005 µg/g) in *Agaricus bisporus*-Pilzen die Bildung der 100 %-igen Tagesdosis/Portion (entspricht 12, 6 µg/g) zu induzieren (Kalares et al., 2011).

Ein weiterer Anwendungszweck könnte die Inaktivierung von Enzymen sein. So wurde beispielsweise die für eine enzymatische Bräunung in Lebensmitteln verantwortliche Phenoloxidase (PPO) in Modelllösungen mittels PL (8,75 J/m²) vollständig inaktiviert (Manzocco et al., 2013).

Ebenfalls Gegenstand der Forschung ist die kürzlich entdeckte Möglichkeit, das allergene Potential von Lebensmitteln durch PL zu reduzieren. Die Verdaulichkeit des Milchproteins β -Lactoglobulin ließ sich dadurch erhöhen (Castillo-Santaella et al., 2014). Die Voraussetzung für eine mögliche allergene Wirkung von β -Lactoglobulin ist, dass es nicht verdaut wird, weil es nur so als „funktionierendes“ Allergen in die Blutbahn gelangen und dort an einen entsprechenden Antikörper von Allergikern binden kann. Eine Erhöhung der Verdaulichkeit ist deshalb mit einer Senkung des allergenen Potentials verbunden. Die Behandlung mit gepulstem UV-Licht konnte in Studien auch das allergene Potential von Tropomyosin, dem Hauptallergen von Shrimps in Shrimpsextrakten, die Allergenität von Sojaallergenen in Sojabohnenextrakten sowie Erdnussallergenen in Erdnussbutter reduzieren (Shriver et al., 2011, Yang et al., 2010, Yang et al. 2012).

Eine weitere Einsatzmöglichkeit von PL liegt in der Behandlung von Lebensmitteln, die in durchsichtigen Kunststoffmaterialien verpackt sind. Die Wirkungseffizienz von PL hinsichtlich der Inaktivierung von *L. monocytogenes* auf Agarplatten, welche in diverse Plastikfilme verpackt wurden, unterschied sich marginal von derjenigen unverpackter Platten (Fernandez et al., 2009). Ein ähnliches Ergebnis zeigte sich für die Dekontamination von Hartkäseoberflächen zur Reduktion von *P. roqueforti* und *L. monocytogenes*, wobei jedoch die Elastizitätsmodule des Kunststoffes herabgesetzt wurden (Can et al., 2014). PL kann ferner auch zur Dekontamination von Verpackungsmaterialien vor einer aseptischen Abfüllung als umweltfreundliche Alternative zu chemischer Desinfektion dienen (z.B. Turtoi & Nicolai, 2007).

Kritische Parameter und Beschränkungen

Grundsätzlich ist die Wirkungseffizienz von PL der Energiedichte und der Pulszahl direkt, und dem Abstand des Guts von der Lichtquelle indirekt proportional (z.B. Pataro et al., 2011, Zhao et al., 2014,). Ein hoher UV-Anteil bzw. reines, gepulstes UV-Licht könnten der MO-Inaktivierung förderlich sein. Daneben existieren jedoch zahlreiche weitere Einflussgrößen, die von der Lebensmittelmatrix oder bei Dekontaminationsapplikationen vom jeweiligen Zielorganismus abhängig sind, wie:

- Oberflächenbeschaffenheit: Je stärker reflektierend die Lebensmitteloberfläche ist, desto weniger PL kann im Lebensmittel wirken und desto schlechter ist die Effizienz. Auch raue Oberflächen sind problematisch, weil Unebenheiten Schatten werfen und Kavitäten MO Schutz vor Licht bieten. Im Praxistest zeigte sich diesbezüglich eine der Oberflächenreflektion und -rauheit zuordenbare Variabilität bei der Inaktivierung von *Listeria innocua* auf Verpackungsmaterialien zwischen 3,5 und 7,2 log (Ringus & Moraru et al., 2013). In Scheiben geschnittene Pilze wiesen eine höhere Vitamin-D-Bildungsrate verglichen mit ganzen Pilzen auf (Kalares et al., 2011).
- Farbe: Gefärbte Lebensmittel absorbieren mehr UV-Strahlung, womit die Wirkungseffizienz von PL sinkt. Dieses Prinzip gilt auch für gefärbte MO. Dies konnte exemplarisch für weiße (*F. culmorum*) gegenüber schwarzen (*A. niger*) Schimmelsporen aufgezeigt werden (Gomez-Lopez et al., 2007). Die PL-induzierte Erhöhung des Vitamin D-Gehalts in Pilzen ist für weiße gegenüber braunen erhöht (Kalares et al., 2011). Komplexe Unterschiede in der Lebensmittelfarbe/Wirkungsbeziehung wurden in einer Studie mit gelben, orangen und roten Paprika identifiziert. In gelben und roten Paprika wurde im Gegensatz zu den anderen Sorten der Vitamin C-Gehalt erhöht. In rotem Paprika wurden L*, a* und b*-Farbwerte erhöht, während sie bei orangen verringert wurden etc. (Hong et al., 2013).
- Partikelgehalt: Partikel bzw. Trübungen in flüssigen Lebensmitteln absorbieren die UV-Strahlung, woraufhin diese Energie verliert. Das bedeutet eine geringere Effizienz bei einem hohen Partikelgehalt in Flüssigkeiten (siehe auch Kapitel 2.8.1.4.). Dies wurde beispielsweise in einer Vergleichsstudie von klarem Apfelsaft und faserreichem Orangensaft aufgezeigt (Pataro et al., 2011). Versuche mit herkömmlicher Milch gegenüber einer partikelhaltigeren Dickmilch, bei denen Letztere eine deutlich höhere Keimbelastung nach der Behandlung aufwies, bestätigten diese Befunde (Miller et al., 2012). Auch MO sind Partikel und absorbieren demnach Energie und werfen Schatten. Eine hohe Keimbelastung führt deshalb unglücklicherweise ebenfalls zu einer verringerten Inaktivierungsrate (Gomez-Lopez et al., 2007).
- Zusammensetzung: Neben Trübungen bzw. Partikeln wurde ein erhöhter Fettgehalt in Milch als Störfaktor aufgefunden, was mit Streuung des Lichts an den Fetttröpfchen erklärt wurde (Miller et al., 2012).
- Zielmikroorganismus: MO sind unterschiedlich resistent gegenüber einer UV-Strahlung, wobei grampositive Bakterien resistenter sein sollen (Pataro et al., 2011).
- Resistenzbildung und Photoreparaturmechanismen: Für *Enterococcus faecalis* wurde die Fähigkeit aufgezeigt, Resistenzen durch Mutationen im Anschluss an eine PL-Behandlung (0,5 J/cm²) gegenüber nachfolgenden Behandlungen (1,2 J/cm²) auszubilden (Massier et al., 2013). Zusätzlich wurde für PL-Behandlung – analog zu einer kontinuierlichen UV-Behandlung – das Phänomen der Photoreparatur beobachtet, also eine DNA-Reparatur nach einer nachfolgenden subletalen Lichteinwirkung. Die Kultivierbarkeit einer *Listeria innocua*-Probe, welche nach PL-Behandlung unter Lichteinfluss gelagert wurde, war gegenüber der dunkel gelagerten Vergleichsprobe um 2,2 log erhöht (Lasagabaster & Maranon, 2014).

- Sonstiges: Bei Käsescheiben, welche mit diversen Energiedichten im Bereich von 0,7- 11,9 J/m² behandelt wurden, zeigte sich bei Dosiswerten von > 4,2 J/m² eine erhöhte Proteinoxidation (Fernandez et al., 2014). Außerdem wurde ein Zusammenhang zwischen dem pH-Wert des Lebensmittels und der Inaktivierungseffizienz des für eine enzymatische Bräunung verantwortlichen Enzyms Polyphenoloxidase identifiziert (Wang et al., 2013).

Bezüglich des Qualitätserhalts der LM zeigten sich unterschiedliche Studienergebnisse. Für viele Parameterkombinationen konnten äußerst positive Ergebnisse im Sinne von zufriedenstellender Haltbarkeitsverlängerung und/oder Abtötung von pathogenen MO bei keinen bis minimalen Qualitätsverlusten erzielt werden. Die Haltbarkeit von Erdbeeren ließ sich ohne merkliche Qualitätsverluste um zwei Tage verlängern. Ein erfolgsentscheidender Faktor scheint dabei eine geringe Oberflächentemperatur zu sein, die z.B. in genanntem Versuch durchgehend unter 42° C lag (Luksiene et al., 2013). Auch für *fresh-cut*-Mangos unter PL-Behandlung waren nach dreitägiger Lagerung keine Veränderungen hinsichtlich Textur, Farbe und Carotenoidgehalt feststellbar (Charles et al., 2013). In Trockenwürsten wurde bei der durch die FDA erlaubte Maximalenergiedichte von 12 J/m² kein Einfluss auf die Qualität festgestellt (Ganan et al., 2013).

Als wesentliches Defizit einer PL-Behandlung wurde die mögliche Überhitzung der Oberfläche mit diversen daraus resultierenden Effekten identifiziert. Eine Behandlung von Tomaten (1 Puls mit 2,68 J/cm²) ergab ab dem dritten Lagertag eine deutliche Erweichung, Gewichtsverlust und Faltenbildung verglichen mit der unbehandelten Kontrollprobe (Aguilo-Aguayo et al., 2013).

In Rind- und Thunfischcarpaccio, sowie in Schinkenaufschnitt führte PL zu deutlichen Qualitätseinbußen hinsichtlich Sensorik, Farbe und Textur (Hierro et al., 2012; Wambura & Verghese, 2011).

Unter PL-Behandlung wurde die Keimfähigkeit von Weizen um 14 – 15% reduziert (Maftai et al., 2014).

Kombinationen

Die nachteilige Beeinflussung durch die Oberflächenbeschaffenheit der Lebensmittel lässt sich durch wasserunterstützte PL-Behandlung verbessern (Huang & Chen, 2014).

Zur weiteren Erhöhung der Mikroorganismen -Inaktivierungseffizienz wurden folgende Methoden für geeignet befunden:

- Erhöhung der Prozesstemperatur analog der UV-Behandlung (siehe Kap. 2.8.1.4): Angesichts der nachteiligen Qualitätsveränderungen bei hohen Temperaturen für einige Lebensmittel, sollten die derart behandelten Lebensmittel allerdings sorgfältig gewählt werden. Für Molke etwa konnte in einem Durchfluss-PL-System mit Erhitzung auf 60°C ein klar positiver, synergistischer Effekt der PL-Hitzebehandlung erzielt werden (Antigüez et al., 2015).
- Osmotischer Schock: Hefezellen, die in Medien mit hohem Zuckergehalt (≥ 30%) gezüchtet wurden, sind sensibler für eine nachfolgende PL-Behandlung (Hayes et al., 2012).
- Hypericin-basierte Photosensibilisierung: Die Kombination Hypericin-PL soll die Inaktivierung von gramnegativen und grampositiven Bakterien gleichermaßen bewerkstelligen, wie für *L.monocytogenes* und *S. enterica* exemplarisch aufgezeigt wurde (Kairyte et al., 2012; Pataro et al., 2011).
- Bacteriocine: *Listeria innocua* konnte auf Wurst mittels PL um 1,37 log, mittels Nisin um 2,35 log, in Kombination PL-Nisin um deutlich erhöhte 4,03 log vermindert werden (Uesugi & Moraru, 2009).

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

In den USA hat die FDA bereits 1996 die PL-Behandlung als Technologie zugelassen (FDA, 1996). Wie bereits oben erwähnt, spielt bei typischen Oberflächenverfahren, wie der PL-Behandlung, wohl auch die Eindringtiefe eine Rolle für die Einordnung. Diese ist bei PL grundsätzlich gering. Die FDA hat diesen Aspekt bereits etwas einbezogen und PL zu Dekontaminationszwecken nur bis 12 J/cm² erlaubt (FDA, 2014).

Die rechtliche Einordnung von PL in der EU ist derzeit noch unklar.

Ein Unterschied von PL zu der für bestimmte Lebensmittel zugelassenen UV-Strahlung ist ihre „höhere Wirksamkeit“ gegenüber Mikroorganismen. Daher stellt sich die Frage, ob das durch wesentlichere Veränderungen verursacht wird. Der zweite Unterschied zur UV-Strahlung ist der Beitrag der Strahlung anderer Wellenlängen. Dies kann nun einerseits als „höhere Natürlichkeit“ angesehen werden, weil sozusagen das ganze (Sonnen-) Lichtspektrum genutzt wird; andererseits aber auch als „undefinierter und damit risikoreicher“ interpretiert werden.

Hinsichtlich der Konsumentenakzeptanz gelten die gleichen Überlegungen, wie für eine UV-Bestrahlung. Es wird auch davon abhängen, wie dieses Verfahren gegenüber den Konsumentinnen und Konsumenten kommuniziert wird. Wenn es als Lebensmittelbestrahlung (ähnlich einer UV-Bestrahlung) erklärt wird, was es richtigerweise auch ist, wird die Akzeptanz darunter leiden. Eine Bezeichnung als „Beleuchtung“ der Lebensmittel, was auch nicht ganz unrichtig ist, weil ein Teil der verwendeten Strahlung im sichtbaren Bereich liegt, ergäbe sicher eine höhere Akzeptanz.

2.8.1.6. Hochbogenentladung (*high voltage arc discharge hydrodyne* – HVADH)

Hochbogenentladungen („*high voltage arc discharge hydrodyne*“) haben sich als potentielle Methode zur Pasteurisation einiger flüssiger Lebensmittel und zur Verbesserung der Fleischtextur erwiesen.

Prinzip

Im Grundprinzip handelt es sich bei HVADH um die Erzeugung eines elektrohydraulischen Schocks im Lebensmittel durch Applikation rascher Spannungsentladungen über einen Elektrodenspalt. Die Temperaturerhöhung im Lebensmittel beträgt dabei vernachlässigbare, wenige Zehntel Grad Celsius.

Bei der HVADH-Behandlung treten zweierlei Arten an Effekten auf:

- Physikalische Effekte durch intensive Schockwellen, also starkem Druck;
- Chemische Effekte durch eine auftretende Elektrolyse, wodurch chemisch reaktive Substanzen gebildet werden (z.B. freie Radikale und Ozon), die dann weiter reagieren.

Mögliche Effekte, Hintergründe, Risiken und Forschungsbedarf

HVADH wurde in Versuchen bereits erfolgreich zur Pasteurisation von Milch und diversen Zitrus-säften eingesetzt, wobei in diesen wässrigen Systemen Inaktivierungsraten von 5 – 7 log für unterschiedlichste schädliche Mikroorganismenarten (*E.coli*, *Enterococcus faecalis*, *Micrococcus radiodurans*, *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Chlostridium sporogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Lactobacillus lactis*, *Aspergillus niger*, *Penicillium digitatum*) erzielt wurden. Der antimikrobielle Effekt soll dabei eher nicht auf die physikalische Wirkung der Schockwellen, sondern auf die Bildung und Weiterreaktion der Elektrolyseprodukte zurückzuführen sein. Die gebildeten freien Radikale, Ozon und UV-Strahlen sind zelltoxisch, weil sie letztlich für den Zellstoffwechsel unerlässliche, intrazelluläre Komponenten zerstören, Enzyme (z.B. Lactatdehydrogenase, Trypsin

und Proteinasen) der Bakterien inaktivieren und die Zellmembran irreversibel abbauen (Barbosa-Canovas et al., 1999). Die Firma FABCO Technologies, die Ende der 1990er Jahre den kommerziellen Vertrieb von HVADH-Anlagen anstrebte, führte Studien zur Effektivität der Anlagen durch. Dabei sollen in Orangensäften pathogene MO um 5 – 7 log ohne negativen Einfluss auf Farbe und Geschmack reduziert und die mikrobielle Belastung in frisch-gepresstem Grapefruitsaft um 50% gesenkt werden können. Dadurch ließ sich die Haltbarkeit auf 100 Tage unter Kühlung vergrößern (FABCO Technologies, 1998). Von anderen Autoren wurde kritisch angemerkt, dass es sich dabei um Einzelstudien eines Anlagenbauers handelt und die Ergebnisse von unabhängigen Experten validiert werden sollten (Barbosa-Canovas et al., 1999). Für die Behandlung fester Lebensmittel scheint die Behandlung mittels HVADH kaum zur Dekontamination geeignet zu sein. Während Williams-Campbell & Solomon (2001) und Campbell & Solomon (2002) Reduktionen von 1,7 bis 3 log in Fleisch unter EHSW-Behandlung (Vorgängermethode der HVADH, bei der die Schockwellen explosiv statt elektrisch generiert werden) beobachteten, konnten Lorca et al (2002) keinen Unterschied in der Belastung mit psychotropen Keimen, Coliformen und *E.coli* zwischen HVADH-behandeltem und unbehandeltem Fleisch feststellen. Die Autoren empfehlen allerdings weitere Experimente unter mehrfacher sequentieller Behandlung, welche bislang wegen der raschen Degradierung der Verpackung unter den Behandlungsbedingungen scheiterte.

Neben der Pasteurisation von flüssigen Lebensmitteln ist die Texturverbesserung von Fleisch ein weiteres mögliches Anwendungsfeld der HVADH, wobei hierfür die Intensität der Druckwellen die Ursache ist. Dabei lässt sich die Zartheit des Fleisches nach der Totenstarre erhöhen, ähnlich wie durch das üblichere Marinieren oder durch elektrische Stimulation oder Druckeinwirkung (Lorca et al., 2003). Ferner soll unter HVADH ein Auftauen homogener und rascher stattfinden können (He et al., 2014).

Mögliche Probleme beim Einsatz von HVADH könnten sich aus der Komplexität der unterschiedlichen Reaktionsprodukte der Elektrolyse (freie Radikale, Ozon) und deren unkontrollierten Weiterreaktionen ergeben, weil diese meist oxidativen Reaktionen zur Zerstörung diverser natürlicher Lebensmittelkomponenten führen. Deshalb wurde die Methode um 1990 für die Behandlung von Lebensmitteln für ungeeignet befunden, wobei man dieser Technologie aber nun wieder etwas Potential einräumt. Jedenfalls ist noch gewaltiger Forschungsbedarf gegeben, den die FDA folgendermaßen in einer Stellungnahme zusammenfasst: „*Understanding how delivery of highly reactive ozone and UV radiation by electric arc discharge inactivates microorganisms, quantifying the inactivation kinetics and mechanisms, identifying reaction process products generated during the submerged arc discharge process due to the highly reactive nature of ozone and UV radiation, defining maximum allowable dose in a manner similar to food irradiation*“ (FDA, 2014).

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Der noch hohe Forschungsbedarf, der relative Stillstand in der Forschung und das mangelnde Interesse von Lebensmittelbetrieben werden, wenn überhaupt, den praktischen Einsatz dieses Verfahrens in naher Zukunft sicher nicht ergeben.

2.8.1.7. Hochspannungs-Elektroimpulsverfahren (*high intensity pulsed electric fields* - PEF)

Unter *pulsed electric fields* (PEF) versteht man in der Lebensmittelverarbeitung die Durchleitung kurzer, elektrischer Pulse durch eine Lebensmittelmatrix mit dem Ziel der schonenden Haltbarmachung, sowie der Beschleunigung von Massetransportprozessen.

Prinzip

Die Hochspannungsimpulse bewirken in den Zellen der MO aber auch in pflanzlichen und tierischen Zellen eine erhöhte Permeabilität der Zellmembranen. Wenn die Belastung unter einem bestimmten Niveau liegt, entsteht lediglich eine reversible Porenbildung in den Zellwänden bzw. -membranen ($\Rightarrow$ Elektroporation). Bei höherer Belastung kommt es zu einer irreversiblen Porenbildung. Im Fall von MO-Zellen bedeutet das im Allgemeinen eine letale Schädigung, weil der überlebenswichtige Massetransport in und aus der Zelle, sowie innerhalb der Zelle gestört ist. Dieser Effekt wird für Dekontaminationsaufgaben genutzt. Für pflanzliche oder tierische Lebensmittel-Zellen bedeutet eine Elektroporation ebenfalls, dass Ein- und Austritt von Substanzen vereinfacht werden. Dieser Aspekt wird für Aufgaben zur Verbesserung des Massetransportes genutzt.

Technisch werden zur PEF-Behandlung ein leistungsfähiger Pulserzeuger, zwei Behandlungselektroden und eine geerdete Elektrode, sowie eine dem Lebensmittel angepasste Behandlungszelle benötigt. Der äußerst leistungsfähige Pulsgenerator (mittlerweile sind Anlagen bis 80 kW realisiert) bewirkt, dass sich das Feld zwischen den Elektroden, durch welches das zu behandelnde Lebensmittel hindurchbewegt wird, entsprechend rasch verändert, um eine maximale Elektroporation zu erzielen. Anlagen sind bereits sowohl als „Förderbandvarianten“ für Stückgut als auch in Form von Durchflussanlagen für pumpfähige Güter realisiert.

Nutzungsrelevanz und Einsatzmöglichkeiten

- **Haltbarkeitsverlängerung und Reduktion von pathogenen Mikroorganismen:** Beim Einsatz des PEF-Verfahrens zur Keimzahlreduktion ist der wesentliche Vorteil gegenüber der klassischen Hitzebehandlung die Produktschonung durch den verbesserten Erhalt einiger temperatursensitiver Vitamine, Aromen und phenolischer Substanzen aufgrund der niedrigeren Behandlungstemperaturen. Grundsätzlich kann PEF durchaus als „nichtthermisches“ Verfahren bezeichnet werden. Eine unvorteilhafte Geometrie der Behandlungszelle, die Zusammensetzung des Produktes bzw. die Produktströmung und/oder eine unzureichende Isolierung/Kühlung bei hohem Energieeintrag etc. können die Temperatur allerdings in gewissem Ausmaß erhöhen. Eine erhöhte Temperatur kann aber auch absichtlich synergistisch zur verbesserten Effizienz der Keimzahlreduktion genutzt werden. Alles in allem ist die Hitzebelastung unter PEF-Behandlung selbst in diesen Fällen mit typischerweise 50 – 60° C für einige zehntel Sekunden gegenüber einer herkömmlicher Hitzepasteurisation äußerst gering. Typischerweise arbeitet man zum Zweck der Keimzahlreduktion mit einem Energieeintrag im Bereich von 50 – 250 kJ/kg, und zur Inaktivierung von Enzymen mit dem etwa 4 – 5-fachen Energieeintrag.

Das MHD von frisch-gepressten Fruchtsäften lässt sich mittels PEF-Behandlung unter Kühllagerung von wenigen Tagen auf 2 – 5 Monate, und bei Raumtemperatur auf etwa 3 – 5 Wochen erhöhen (Buckow et al., 2013). Dabei zeigte sich, dass der Gehalt an Vitamin C und phenolischen Substanzen gegenüber hitzebehandelten Säften besser erhalten wird. In Tomaten- und Erdbeersäften zeigte sich zudem ein deutlich verbesserter Erhalt diverser aromagebender Substanzen (Odrizola-Serrano et al., 2013). Proteinbasierte Lebensmittel sind im Allgemeinen resistenter gegenüber einer PEF-Behandlung, wobei erwiesen ist, dass mit steigendem Proteingehalt, insbesondere jenem an micellärem Casein, die Inaktivierungseffizienz durch PEF sinkt (Jäger et al., 2009). Nichtsdestotrotz lässt sich für Milch und Flüssigkei mit 25 – 40 kV/cm in einigen Zehntel bis Hundertstel Sekunden die Zahl an relevanten Keimen um 3 – 6 log reduzieren und die Haltbarkeit auf 3 – 4 Wochen unter Kühllagerung steigern (Zhao et al., 2012). Cheddar-Käse aus PEF-pasteurisierter Milch zeigte eine bessere Textur und sensorische Eigenschaften als jener aus hitzepasteurisierter Milch (Sepulveda-Ahumada et al., 2008). Während sich PEF zur Inaktivierung der Enzyme Peroxidase, Polyphenoloxidase, Pectinmethylesterase und Hydroperoxidlyase mit 85 – 90 %-iger Inaktivierungsrate als äußerst effektiv erwies, sind Polygalacturonase, Lipoxygenase und β -Glucosidase mit „lediglich“ 50% vergleichsweise resistent

gegenüber einer Elektroporation (Zhao et al., 2012). Erwähnenswert ist dabei, dass die sonst äußerst thermoresistente Peroxidase mittels PEF sehr einfach und zuverlässig zu inaktivieren ist. Das zeigt einerseits, dass sich die Inaktivierungskinetik der bekannteren thermischen Methodik nicht auf PEF übertragen lässt, und damit hier Forschungsbedarf besteht; und andererseits ein hohes Synergiepotential zwischen thermischer und elektrischer Energie zur Enzyminaktivierung existiert.

- Erhöhung der Extraktionseffizienz: PEF ist neben den häufig genutzten thermischen und enzymatischen Vorbehandlungen eine Möglichkeit des gezielten Zellaufschlusses zur Verbesserung der Extraktionseffizienz. Für die Gewinnung von Obst- und Gemüsesäften wird dabei in der Praxis eine Steigerung der Saftausbeute um 4 – 8% erreicht. Eine PEF-Vorbehandlung von Raps resultiert in einer Erhöhung der Ölausbeute beim Pressen von 34 auf 42%. Die Gewinnung von Zucker aus Zuckerrüben lässt sich ebenfalls verbessern. Neben diesen meistgenutzten Extraktionsaufgaben der Lebensmittelindustrie eignet sich PEF auch zur Effizienzsteigerung der Extraktion von natürlichen Lebensmittelfarbstoffen etwa aus Roten Rüben (FINCAN et al., 2004) und der Gewinnung von Vitaminpräparaten aus Algen (Pulsemax, 2014) und Karotten (Roohinejad et al., 2014).
- Erhöhung der Trocknungseffizienz: Die Perforierung von tierischen bzw. pflanzlichen Zellen der Lebensmittel führt zur Aufhebung der Stofftransportbarriere, womit u.a. die Diffusion von Wasser in anschließenden Trocknungsprozessen verbessert wird.
- Verbesserung der Stoffinfusion: Bedingt durch die erhöhte Durchlässigkeit ergibt sich eine Effizienzsteigerung beim Marinieren und Pökeln von Kochpökelfleisch. Ein weiterer Vorteil dabei ist die verbesserte Homogenität der Salzverteilung unter PEF, was wiederum mit einer gleichmäßigeren Wasserbindungsfähigkeit und letztlich mit einer Verringerung des Kochverlustes einhergeht.
- Reifung und Zartmachung: Insbesondere für Rindfleisch eignet sich PEF zur Beschleunigung der Reifung und zur Zartmachung durch gezielte „Zellzerstörung“ (z.B. Soliva-Fortuny, 2007).
- Vereinfachung von Schneidprozessen: Ein PEF-induzierter Zellaufschluss kann Schneidprozessen vorangestellt werden und diese beschleunigen. Die Schneidenergie und der Messerververschleiß werden verringert und damit höhere Durchsätze unter Kostenreduktion bewirkt. Allerdings ist dabei zu beachten, dass die Zellen des Lebensmittels irreversibel perforiert, also leicht „zerstört“ sind, womit sich dafür Lebensmittel nicht eignen, deren einwandfreie Oberflächenbeschaffenheit sehr qualitätsentscheidend ist, etwa bei Frischgemüse.
- Verringerung der Fettaufnahme und Verringerung der Blanchierdauer für Pommes frites: Neben der Verringerung der Schneidenergie können bei der Pommes frites Herstellung noch zwei weitere, positive Effekte mittels PEF erzielt werden. Zum einen beschleunigt die Aufhebung der Stofftransportbarriere den Blanchierprozess und die Vortrocknung; zum anderen lässt sich die Fettaufnahme beim Frittierprozess bei vergleichbarer Knusprigkeit verringern. Der Ölbedarf und damit verbundene Kosten werden damit gesenkt und für die Konsumentinnen und Konsumenten ein Gesundheitsnutzen erzielt. Die Hintergründe für diese Vorgänge sind noch nicht endgültig geklärt. Eine Hypothese basiert auf einer beschleunigten Krustenbildung der durch PEF in der Oberflächenstruktur veränderten Kartoffelstücke.
- Bildung von bioaktiven Substanzen: Behandlungsparameter, die lediglich eine reversible Porenbildung hervorrufen, führen zur Induzierung einer Abwehrreaktion des lebenden Gewebes im Sinne der Bildung von Stressabwehrsubstanzen in Form von als gesundheitsfördernd (anti-entzündlich, anticancerogen usw.) bekannten, phenolischen Inhaltsstoffen. Dazu wurde ein spezifischer Energieeintrag von etwa 0,6 – 1,3 V/cm als geeignet befunden (z.B. Soliva-Fortuny et al., 2009). Im Speziellen lässt sich in diesem Zusammenhang für Wein neben der Erhöhung der Pressausbeute mittels PEF die gesteigerte Bildung von Anthocyanen in den Trauben indu-

zieren und damit die Farbe verbessern (Puertolas et al., 2010). Die beiden Effekte, PEF-induzierte Bildung antioxidativer Substanzen und PEF-induzierte Erhöhung der Extraktionsausbeute, resultierte für Rotkohl (bei 2,5 kV/cm, 15 μ s, 50 Pulsen) in einer 2,15-fachen Ausbeuteerhöhung an Anthocyanen gegenüber unbehandeltem Gut (Gachovska et al., 2010).

- Erhöhung der Membranfiltrationseffizienz: Mittels PEF lässt sich der Permeatfluss in Membranfiltrationsprozessen deutlich erhöhen. Dadurch ergibt sich eine kürzere Reinigungszeit und eine Einsparung von Reinigungsmitteln, und die durchgehende Betriebsdauer verlängert sich. Konkret konnte für die *cross-flow*-Ultrafiltration von Apfelsaft zum Zweck der Klärung der Permeatfluss unter optimierten Bedingungen am Ende der 50-minütigen Filtrationszeit von 3,75 auf 7,3 l/m² h erhöht werden, wobei die Schichtdicke der Ablagerungen von 6,84 μ m auf 4,85 μ m gesenkt wurde (Sarkar, 2014). Der Hintergrund dafür ist, dass Ablagerungen geladen sind und solche geladenen Partikel bestrebt sind der Orientierung des Feldes zu folgen und so von der Membran „abwandern“.

Derzeitiger Einsatz

Obgleich die Wirkung gepulster elektrischer Felder bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts bekannt ist (1920 war mit dem sogenannten „*electropure*“-Prozess bereits ein Verfahren zur Milchpasteurisation im Einsatz), hat PEF bis vor wenigen Jahren nicht den Weg in die Industrie gefunden. Die wesentliche technologische Beschränkung, das Nichtvorhandensein entsprechend leistungsfähiger Pulsgeneratoren, wurde vor kurzem gelöst, was sich nun in einer stetigen Verbreitung von industriellen Anlagen bemerkbar macht. Die ersten industriellen Anlagen zur Fruchtsaftkonservierung wurden 2005 mit einer Kapazität von etwa 200 l/h durch die Firma Genesis, USA in Betrieb genommen. 2006 folgte die kommerzielle Nutzung zur Saftextraktion und Ölgewinnung mit Durchsätzen von 10 t/h. 2011 befanden sich weltweit bereits etwa 30 Systeme vorwiegend zur Haltbarmachung von Säften und Smoothies in den Niederlanden und Großbritannien, sowie zum Aufschluss von Kartoffeln in Deutschland, den Niederlanden und den USA im Einsatz. Hersteller werben mit einer 80 %-igen Energie- und einer 90 %-igen Zeitersparnis gegenüber Alternativprozessen bei Prozesskosten inkl. Anschaffungskosten von lediglich 1 - 2 Cent/l für die Pasteurisierung. Führend in Forschung wie auch Bau und Vertrieb maßgeschneiderter industrieller Anlagen ist das Deutsche Institut für Lebensmitteltechnik eV, kurz DIL, bzw. dessen *spin-off*, die Firma ELEA, welches PEF-Anlagen mit Hochspannungsgeneratoren und Behandlungszellen unter dem Markennamen ELCRACK[®] vertreibt (DIL, 2014). Die neue Generation der Pulsgeneratoren am DIL (Durchschnittsleistungen von 5 kW bzw. 30 kW bzw. 80 kW) ermöglicht dabei Anlagendurchsätze von bis zu 5.000 l/h bei der Pasteurisation pumpfähiger Lebensmittel, und bis zu 30 t/h für Aufgaben des Zellaufschlusses. Unterschiedlich konstruierte Behandlungszellen bewerkstelligen die maßgeschneiderte Behandlung diverser Produktbeschaffenheiten. Eine weitere PEF-Anlagenbauende Firma im europäischen Raum ist Cool Wave Processing (Wageningen, NL), deren Anlage unter dem Namen PurePulse (oder PEF 2.0) bekannt ist (PurePulse, 2014). Diese umfasst im Wesentlichen eine schonende Vorerwärmung mit dem Ziel der Erweichung der Zellmembranen, die eigentliche PEF-Behandlung (Durchfluss, 1 – 4 ms, 20 – 40 kV/cm, max. Temperaturanstieg in Behandlungszelle von 5 – 15° C) und eine rasche Abkühlung. Damit sollen für pumpfähige, homogene Güter im Durchflussverfahren (~2.000 L/h) pathogene MO um 5 – 6 log reduziert und die Haltbarkeit auf 4 – 6 Wochen verlängert werden. Ebenfalls über Sitz in den Niederlanden (und den USA) verfügt die Firma Pulsemaster, die – ähnlich wie das DIL – über Anlagen für alle wesentlichen Anwendungszwecke verfügen soll. Vor allem die Anwendung von PEF zur Vorbehandlung von Pommes frites, womit eine deutliche Fettreduktion gegenüber herkömmlich mit Hitze vorbehandelten Pommes frites erzielt werden kann, wird durch Pulsemaster offensiv beworben.

PEF-behandelte Produkte haben 2014 mit Säften der Vertriebsfirma Ali Juus (Abb.4.2.10), welche in Filialen der Wiener Bäckerei Ströck erhältlich sind und eine Haltbarkeit von 18 Tagen unter Kühlagerung (gegenüber 5 Tagen ohne Behandlung) aufweisen sollen (Ali Juus, 2015), anschei-

nend erstmals offensichtlich den österreichischen Markt erreicht. Dabei ist jedoch nicht auszuschließen, dass weitere Produkte am Markt sind, bei denen der Einsatz von PEF nicht derart offensichtlich beworben wird.

Der Markt für PEF behandelte Produkte, welche laut Herstellern eine gewisse Lagerfähigkeit mit der Qualität und Sensorik vergleichbarer frischgepresster Säfte mitbringen, scheint im Steigen. Dies hat seine Hintergründe darin, dass man von der seit Jahrzehnten üblichen Rückverdünnung aus (importierten) Konzentraten zur Safterstellung in Richtung (lokal produzierter) Frisch- bzw. Direktsäfte übergeht (Buckow et al., 2011).



Abb. 4.2.10: PEF-Testanlage PurePulse (Wageningen), Werbung Ali Juus „ultrafresh mit PEF“ (Pure Pulse, 2014; Ali Juus, 2015)

Kritische Parameter und Beschränkungen

Die wichtigsten, relativ gut steuerbaren Parameter beim PEF-Einsatz sind die Behandlungszeit und -temperatur, sowie der Energieeintrag, deren Erhöhung eine Effizienzsteigerung zur Folge hat. Daneben bestehen für Dekontaminationsaufgaben Abhängigkeiten der Effizienz von der Zusammensetzung der Zellmembranen, der Zellgröße, der Verteilung der Zellen im Gut und der Zusammensetzung des zu behandelnden Lebensmittels. Unterschiede in der Zusammensetzung der Zellmembranen sind auch der Grund für die unterschiedliche Sensitivität der Mikroorganismen gegenüber der Elektroporation. Große Zellen sind grundsätzlich besser zu behandeln.

Die Homogenität des elektrischen Feldes, also die zuverlässig gleichmäßige Wirkung auf möglichst alle Zielzellen bei gleichzeitiger homogener Produktbelastung (= Qualitätserhalt), wird komplex beeinflusst durch:

- **Verteilung der MO-Zellen im Gut:** Voraussetzung für eine effiziente Inaktivierung ist, dass alle Zellmembranen der „Perforation“ bzw. der „Poration“ zugänglich sind. Im Fall von sogenannten „inclusion oder insulating particles“, das sind (MO-)Zellen, die von anderen vollständig eingeschlossen sind, und Zellagglomeraten funktioniert dieser Aufschluss unzureichend bis nicht (z.B. Töpfl et al., 2007). Zellen schützen sich sozusagen gegenseitig vor Elektroporation oder „verstecken“ sich zwischen Fettpartikeln etc.
- **Zusammensetzung der Lebensmittel:** Allgemein sind erwartungsgemäß partikelhaltige Lebensmittel, sowie stark viskose Lebensmittel schlecht mittels PEF zu behandeln (Cool wave processing, 2012). Eine inhomogene Verteilung von Gasbläschen im Lebensmittel kann ebenso Einfluss nehmen. Generell ist jede Lebensmittelparameter-Anlagenkombination individuell zu betrachten, zumal sich selbst in ähnlichen LM, wie Tomaten/Karottensaft Unterschiede in der Inaktivierungseffizienz zeigten. Relativ gut untersucht ist der Effekt von PEF in proteinbasierten Lebensmitteln. Eine hohe Konzentration an Proteinen (z.B. Milch insbesondere micelläres Casein) soll einen Schutzeffekt gegenüber einer PEF-Behandlung haben, die Mikroorganismen - Inaktivierung also erschweren, wie etwa am Beispiel *Lactobacillus rhamnosus* aufgezeigt wur-

de (Jäger et al., 2009). Zudem werden viele Proteine unter PEF in ihrer Konformation und folglich in ihrer Funktionalität verändert. Die wesentlichen beobachteten Effekte sind dabei die verstärkte Aggregation von Milchproteinen, hinter der eine Auffaltung von Proteinketten unter Exposition von SH-Gruppen, die sich anschließend zusammenlagern und/oder die Polarisierung bestimmter Gruppen mit folgender Anziehung der Gegenladungen vermutet wird. Diese verstärkte Aggregation zeigt sich in einer Verringerung der Löslichkeit unter zu exzessiven PEF-Bedingungen, wie beispielsweise bei Sojaproteinisolat (Li et al., 2007). Im Fall von Flüssigei kann daraus eine verringerte Aufschlagfähigkeit resultieren (Marco-Moies et al., 2011). Unter den Enzymen neigt insbesondere Lysozym zu verstärkter Aggregation und Präzipitation unter PEF, womit es sich der PEF-Inaktivierung entziehen kann. Dem lässt sich allerdings durch Zugabe von Zitronensäure vorbeugen (Wu et al., 2015).

- **Anlagendesign und Kontrolle:** Nicht nur im Sinne der Sicherstellung einer ausreichenden Inaktivierung von Mikroorganismen ist eine homogene Behandlung wichtig, auch die Vermeidung einer lokalen Überhitzung und damit einer unnötigen Zerstörung von Lebensmittelbestandteilen ist Grund für ein vorteilhaftes Anlagendesign. Eine gewisse Hitzeentwicklung um die Elektroden ist methodisch bedingt (quasi *ohmic heating*), kann jedoch durch entsprechend effiziente Kühlmaßnahmen verhindert werden. So wurde etwa die Integration eines Mantelwärmetauschers um die geerdete Elektrode für geeignet befunden (Meneses et al., 2011). Die Strömungseigenschaften und damit die Homogenität der Behandlung ließ sich beispielsweise durch Turbulenzbildung mittels in die Behandlungszelle eingebauten Gittern verbessern (Jäger et al., 2009). Ein weiterer Trick ist die Nutzung mehrerer Behandlungszellen hintereinander, um Fehler in der Inhomogenität in einzelnen Zellen auszugleichen. Eine gewisse Kontrolle über die Effizienz der Behandlung lässt sich mittels Systemen gewinnen, die abgegebene Anlagenleistung, Produktstrom und Temperatursteigerung während dem Prozess messen und rückkoppeln, welche etwa in Anlagen des DIL Standard sind. Lokale Inhomogenitäten sind damit jedoch nicht zu kontrollieren.

Kombinationen

Synergistische Effekte mit der PEF-Behandlung wurden für folgende Ansätze aufgezeigt:

- **Hitze:** Die Effizienz der PEF induzierten Mikroorganismen-Inaktivierung nimmt grundsätzlich mit steigender Behandlungstemperatur zu, wobei sich Temperaturen von 50 – 60° als sinnvoller Kompromiss zwischen effektiver Abtötung und Produktschonung erwiesen haben (z.B. Heinz et al., 2003; Töpfl et al., 2007). Mit dieser Kombination lässt sich der Energieaufwand senken, die Inaktivierung PEF- und/oder hitzeresistenter Mikroorganismen bzw. Enzyme gleichermaßen bewerkstelligen und die Abtötung relativ kleiner, der PEF schlecht zugänglicher Zellen (z.B. Listerien) realisieren.
- **Antimikrobielle Substanzen und Konservierungsmittel:** Benzoate, Sorbate und Zitronensäure erhöhen ebenso die MO-Inaktivierungsraten (Gurtler et al., 2011). Nisinzusatz (100 U/ml) bewirkte eine deutlich erhöhte Abtötungseffizienz. Konkret konnte bei relativ schonenden PEF-Bedingungen (80 kV/cm, 20 Pulse, 44° C) eine Absenkung der Gesamtkeimzahl in Orangensaft von 1,75 log auf >6 log erzielt werden (Hodgins et al., 2002).
- **UV bzw. *pulsed light*:** Ein Hürdenprinzip aus der Kombination PEF/UV bzw. PEF/PL ist den Einzelmethoden überlegen, wohingegen die Kombination PEF/Ultraschall wenig vielversprechend sein soll (Caminti et al., 2011).

Mögliche Risiken

Methodisch bedingt sind folgende potentielle Risiken zu berücksichtigen:

- **Elektrodenerosion:** Wie bei allen Methoden mit involvierten Elektroden stellt die Korrosion von Elektrodenmaterial in das Gut ein potentielles Problem dar. In der Vergangenheit viel ge-

nutzte Edelstahlelektroden lösen sich u.a. in gesundheitlich bedenkliche Bestandteile wie Eisen, Nickel, Chrom und Cadmium auf. In modernen Anlagen ist daher Titan als Elektrodenmaterial im Einsatz, dessen Abbauprodukt Titandioxid (auch als Lebensmittelzusatzstoff verwendet) gesundheitlich als unbedenklich eingestuft wird.

- **Inhomogene Feldverteilung:** Kritisch für die Lebensmittelsicherheit ist bei Dekontaminationsaufgaben die Gewährleistung einer homogenen Behandlung (siehe auch kritische Parameter). Laufende Forschungsaktivitäten untersuchen dabei die optimale Strömung in den Behandlungszellen und die Wirkung von mehreren in Serie genutzten Behandlungszellen.

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

PEF-Behandlung wird in der europäischen Lebensmittelindustrie sowohl für Pasteurisations-/Sterilisationsaufgaben als auch zum Zellaufschluss genutzt. Selten, aber doch, wird auch offensiv damit geworben („ultrafresh durch PEF“ – Ali Juus). Einerseits lassen sich methodisch die Bildung von unerwünschten, reaktiven Zersetzungsprodukten – ausgelöst durch hohen Energieeintrag – und folgende Redoxreaktionen unter Bildung freier Radikale etc., sowie eine gewisse Migration von Elektrodenmaterial nicht ausschließen. Andererseits existieren bereits relativ „sichere“ Elektrodenmaterialien und die Gleichwertigkeit wurde für Apfelsaft aus mittels PEF aufgeschlossenen Äpfeln zu konventionell hergestelltem Apfelsaft schon bewiesen, womit im Falle der Notwendigkeit einer NF-Zulassung zumindest das verkürzte Gleichwertigkeitsverfahren angewandt werden könnte. Als Qualitätsparameter von Apfelsaft, also als Kriterium zur Beurteilung der Gleichwertigkeit gegenüber herkömmlich hergestelltem Apfelsaft, wurden dabei Phenolgehalt, Gesamtsäure und Trubstabilität herangezogen (SKLM, 2008).

Im Fall von „gepulsten elektrischen Feldern“ scheint die Elektrizität im Namen auf. Das könnte durch eine damit assoziierte Gefahr bei der Bevölkerung eine gewisse Skepsis gegenüber dem Verfahren hervorrufen (Olsen, 2010). Die meisten Konsumentinnen und Konsumenten werden mit diesem Verfahren derzeit aber kaum etwas anzufangen wissen.

2.8.1.8. Oszillierende Magnetfelder (*oscillating magnetic fields*) (OMF)

Eine Methode, die in den Anfängen des mittlerweile deutlich aufstrebenden PEF-Verfahrens als weitere vielversprechende Methode zur Dekontaminierung von Lebensmitteln untersucht wurde, sind oszillierende, magnetische Felder (OMF). Im Gegensatz zu PEF ist ihr praktischer Nutzen allerdings bislang nicht zulänglich wissenschaftlich bestätigt.

Prinzip

Das in Kunststoffmaterialien verpackte Lebensmittel wird 1 – 100 Pulsen eines magnetischen Wechselfeldes ausgesetzt, wobei Intensitäten zwischen 0 und 50 Tesla und Frequenzen ($\Rightarrow$ Häufigkeit des Ladungswechsels) von 5 – 500 kHz empfohlen werden. Ab 500 kHz soll die Temperatursteigerung durch die Behandlung bereits recht hoch sein, im empfohlenen Bereich beträgt sie zwischen 2 und 5°C zwischen Anfang und Ende der Behandlung, womit es sich aber klar um ein nichtthermisches Verfahren handelt. Die Ausgangstemperatur beträgt im Allgemeinen 0 – 50°C, die Behandlungsdauer 10 μ s bis einige ms. Über die Hintergründe der möglichen Dekontaminierung weiß man nach wie vor nicht Bescheid. Diskutiert wurde eine Auflösung der Bindungen zwischen Ionen und Proteinen durch Anlegen eines schwachen OMF, was in Folge den Zellstoffwechsel stören könnte, weil an diesem viele Protein-Ionen-Konstrukte beteiligt sind. Analog sollen Calcium-bindende Ionen in Calcium-bindenden Proteinen wie Calmodulin in deren Funktion gestört werden, welche in viele zellinterne Signalwege involviert sind. Zudem könnte das OMF magnetisch aktive Teile der DNA derart beeinflussen, dass kovalente Bindungen zerstört werden (Barbosa-Canovas et al., 1993). In einem Patent, das die Anwendung von OMF zur Wirkungsunterstützung von medizinischen Wirkstoffen und Therapien schützt, wird die Wirkung

oberflächlich damit erklärt, dass Reizströme die Zellmembran beeinflussen, intrazelluläre Abläufe stören, und Bakterien durch den verursachten Stress leichter angreifbar sind (Praschelik & Sturm, 2011).

Mögliche Effekte und Forschungsbedarf

Studien zeigten Inaktivierungsraten für Bakterien zwischen 2 und 3 log bei Behandlung durch einen einzigen OMF-Puls in Milch, Joghurt, Orangensaft und Brotteig (Hoffmann, 1985). Vergleichbare Inaktivierungsraten (Reduktion von 3 log für die Bakterien *Ervinia carotovora* und *Streptomyces scabies* und 2 log für den Pilz *Alternaria solani*) wurden auch in einer neueren Studie erzielt (LIPIEC et al., 2004). Dabei ist anzumerken, dass es sich beim behandelten Material um zuvor auf sehr hohe Zelldichten angezüchtete Flüssigkulturen handelte. Daneben sind unter den insgesamt äußerst wenigen publizierten Studien, jedoch ähnlich viele zu finden, in welchen nach OMF-Behandlung das Zellwachstum unbeeinträchtigt blieb oder gar stimuliert wurde (Barbosa-Canovas et al. 1993; Pothakamury et al. 1993).

Als mögliche Einflussfaktoren auf die induzierten Wirkungen wurden die magnetische Felddichte, die Pulszahl, die Frequenz und die Eigenschaften des Lebensmittels (konkret Widerstand, elektrische Leitfähigkeit und Form/Schichtdicke) genannt. Der Forschungsbedarf ist unbestritten hoch (Barbosa-Canovas et al., 1993; Butz & Tauschner, 2002). Vor dem Hintergrund der unsicheren Wirkung, der Unbekanntheit der Wirkmechanismen und der Einflussfaktoren, ist ein industrieller Einsatz demnächst nicht zu erwarten. Die FDA fasst den erheblichen Forschungsbedarf folgendermaßen zusammen: *“Identify key resistant pathogens, establish the effects of magnetic fields on microbial inactivation, elucidate the destruction kinetics of magnetic fields, determine the mechanisms of action of magnetic fields, determine critical process factors and effects on microbial inactivation, validate the process and evaluate indicator organisms and appropriate surrogates, identify process deviations and determine ways to address them”* (FDA, 2014).

Ein neuerer Ansatz ist die Nutzung magnetischer Hyperthermie als Desinfektionsmethode zur Bekämpfung von pathogenen MO. Dabei wurde eine Lösung mit *Pseudomonas fluorescens* und Magnetit-Nanopartikeln versetzt und anschließend mit einer Frequenz von 873 kHz OMF-behandelt (relativ hoch), wobei durch die entstehende Erhitzung der Magnetit-Nanopartikel eine vollständige Abtötung der Keime nach 8 min (untypisch lange Zeit) bei 55°C erfolgte (Banobre-Lopez et al., 2013).

Der postulierte Effekt eines vorteilhaften, effizienteren, homogenen Gefrierens unter Nutzung eines OMF konnte in Versuchen mit Knoblauch nicht bestätigt werden (James et al., 2014).

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Der Einsatz von OMF wird derzeit nicht forciert, zumal eine technologische Nutzungsrelevanz nicht sicher ist. Die rechtliche Einordnung und die Akzeptanz sind deshalb nicht relevant.

2.8.1.9. Induktionserhitzung (*inductive heating*) (IE)

Unter *Inductive-heating* (IH) versteht man Erhitzen mittels elektromagnetischer Induktion.

Prinzip

Unterhalb der Kochplatten ist eine Drahtspule angeordnet durch welche elektrischer Strom geleitet wird. Die Spule ist damit ein starker, hochfrequenter Elektromagnet. Wenn nun ein Behälter aus einem magnetischen (z.B. eisenhaltigen) Material oberhalb von diesem Element positioniert wird, wird das starke elektrische Feld des Elektromagneten auf dieses Behälter und in weiterer

Folge in das darin befindliche Lebensmittel transferiert. Die durch das Gut aufgenommene, elektrische Energie wird in Wärme umgewandelt ($\Rightarrow$ dissipiert), wodurch sich das Lebensmittel erhitzt. Die kontrollierbare Stärke des Magnetfelds bestimmt letztlich die Erhitzungsrate. Über mögliche Nebeneffekte zusätzlich zur Erhitzung, die mikrobiologische Inaktivierungskinetik der Methode, Veränderungen in Lebensmittelinhaltsstoffen etc. sind derzeit kaum wissenschaftliche Publikationen und damit Daten zu erhalten.

Nutzungsrelevanz und derzeitige Nutzung

Nichtsdestotrotz befindet sich die IH in Gastronomie und Haushalten als Alternative zu Gas- und herkömmlichen Elektroherden in regem Einsatz. Folgende bedeutendste Vorteile wurden gegenüber den herkömmlichen Systemen angeführt:

- Raschere, effizientere Erhitzung: Im Gegensatz zu Gas/Elektroherdplatten, wird nicht die ganze vorgesehene Kochfläche erhitzt, sondern nur spezifisch das Behältnis bzw. das darin befindliche Gut. Zudem lässt sich das Magnetfeld ohne Verzögerung ein- und ausschalten. Hersteller beziffern die tatsächlich genutzte „Kochenergie“ der eingebrachten Energie für die IH mit etwa 84% im Vergleich zu 40% für Gasherde.
- Kühlere Küche, keine Verbrennungsgefahr am Kochtopf und an der Herdplatte: Dadurch, dass sich die Platte nicht und der Topf nur geringfügig aufheizen, bleibt die Küche kühler, Verbrennungen an der Platte sind ausgeschlossen.

Geworben wird weiter mit dem Schlagwort des „*zoneless*“ cooking. Das bedeutet, dass man eine große Oberfläche mit Behältnissen unterschiedlichster Anzahl, Größe, Form und Orientierung nutzen kann, und damit an Flexibilität gegenüber einer vorgegebener Anzahl und Größe bei herkömmlichen Kochflächen gewinnt. Da sich lediglich die Behältnisse (nicht jedoch die Flächen dazwischen) erhitzen, verliert man durch große Freiflächen bei dieser Methode keine Energie.

Neben typischen Kochplatten werden auch beispielsweise Pizzawarmhaltetaschen bereits mit IH-Systemen ausgestattet (Firma Cooktek), auch IH-Öfen sind bereits kommerziell erhältlich (Abb. 4.2.11).



Abb. 4.2.11: von links nach rechts: spezifische Erhitzung des magnetischen Behältnisses, Pizzawarmhaltetaschen auf IH-Basis der Firma Cooktek, Induktionsherd der Firma Samsung (Cooktek, 2014; Samsung, 2015)

Mögliche Risiken

Die Methode an sich und damit auch die mit ihr einhergehenden Risiken wurden bislang kaum wissenschaftlich untersucht. Kritiker befürchten eine Gesundheitsgefährdung der Anwender durch das starke elektromagnetische Feld. Diesbezüglich gibt es einen Grenzwert der ICNIRP (*International Commission on non-ionising radiation protection*) von 6,25 μT (Microtesla- Maß für die magnetische Feldstärke), wofür man einen Abstand von 30 cm von der Herdplatte einhalten müsste. Kritisiert wird nun, dass dieser Mindestabstand von unkundigen Hobbyköchen normalerweise nicht eingehalten wird, was für Schwangere, Stillende und Kinder problematisch sein könnte.

te. Letztlich ist diese Diskussion mit derjenigen um eine mögliche Gesundheitsgefährdung durch Starkstrommasten in der Nähe von Wohngebieten ident.

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Induktionsöfen sind bereits seit längerer Zeit in den Küchen eine Realität. Zur breiten Akzeptanz trägt wohl u.a. die Tatsache bei, dass „nur der Topf“ erhitzt wird, das Lebensmittel aber mit dem „Wirkungsprinzip nicht in Berührung kommt“.

2.8.1.10. Ohm'sche Erhitzung (*ohmic heating*) (OH)

Ohm'sche Erhitzung (OH) ist eine Möglichkeit, Lebensmittel durch Durchleitung von elektrischem Strom rasch zu Erhitzen (Kochen, Pasteurisieren, Sterilisieren, Trocknen, Auftauen), sowie Fermentations- und Extraktionsprozesse zu beschleunigen.

Prinzip

Elektrischer Strom wird direkt durch das Lebensmittel geleitet, wodurch im Lebensmittel Hitze generiert wird. Meistens werden dabei Frequenzen von 50 – 60 Hz und Spannungen zwischen 20 und 50 V/cm genutzt. Im Gegensatz zu *radio-frequency* Erhitzung ist direkter Elektrodenkontakt erforderlich. Gerätetechnisch wird zwischen statischen und Durchflussanlagen differenziert. Die bedeutendsten Elektrodenmaterialien sind (rostfreier) Stahl, Aluminium und Titan. Bei Durchflussanlagen ist daneben noch in der Elektrodenanordnung zu unterscheiden.

Großer Vorteil der Ohm'schen Erhitzung sind die erzielbaren hohen gleichmäßigen Aufheizraten, welche sich vor allem aus der sogenannten „volumetrischen Erhitzung“ ergeben: Die Wärme wird im Lebensmittel selbst generiert und muss demnach nicht – wie bei herkömmlicher konduktiver oder konvektiver Erhitzung – von den Randschichten ins Innere geleitet werden. Letzteres führt bei herkömmlichen Prozessen oft zu Überhitzung der äußeren Schichten mit allen daraus resultierenden Qualitätseinbußen, was bei OH entfällt.

Der einflussreichste Parameter für alle Anwendungen ist das Ausmaß der Erhitzung, die sich von gewöhnlichen Erhitzungsverfahren nur in der Art der Entstehung unterscheidet. Es wurde jedoch festgestellt, dass bei identer Temperatur eine OH-Behandlung eine etwas höhere Keimreduktion gegenüber der herkömmlichen Hitzebehandlung ergibt, was auf einen zusätzlichen nicht-thermischen Effekt hinweist (z.B. Somavat et al., 2013). Hypothesen hierzu besagen, dass in Dekontaminationsapplikationen neben der generierten Hitze die Elektroporation von Keimen eine Rolle spielt. Als möglicher Hintergrund wurde die im Gegensatz zu Mikrowellen und Radiofrequenzbehandlung geringere Frequenz (~ 50 Hz) verantwortlich gemacht. Die geringe Frequenz soll dabei die Aufladung der Zellwände und die anschließende Porenbildung in diesen ermöglichen, wofür bei hoher Frequenz die Zeit zwischen den Ladungswechseln nicht ausreichen würde.

Effekte und Nutzungsrelevanz

Bei der OH handelt es sich um ein volumetrisches Verfahren mit dem methodischen Vorteil der homogenen und schnelleren Erhitzung verglichen mit „klassischen“ Erhitzungsverfahren, zumal Wärmeverluste an den Phasengrenzen bei heterogenen Lebensmitteln weitgehend entfallen. So konnte beispielsweise durch eine OH-Vortrocknung von Tomatenmark von 90 auf 70 % Feuchtigkeit die Trocknungszeit um beachtliche 80 – 97 % gegenüber einer Heißlufttrocknung reduziert werden (Hosainpour et al., 2014). Bei der Milchpasteurisation wurde die Behandlungszeit gegenüber herkömmlicher Pasteurisation um 18 % reduziert (Shivmurti et al., 2014). Versuche zur Abtötung von *Alicyclobacillus acidoterrestris*-Sporen in Orangensaft ergaben für alle untersuchten Temperaturen (70, 80 und 90° C) eine raschere und effizientere Abtötung für OH-behandelte Proben (58, 12 und 6 min) gegenüber den Referenzproben (83, 15 und 8 min) (Baysal & Icier, 2010).

Die kürzere Prozesszeit geht dabei tendenziell mit einer Verbesserung des Qualitätserhalts einher. Eine vergleichende Studie zwischen OH-, Mikrowellen- und IR-Behandlung, sowie konventioneller Pasteurisation von Orangensaft ergab für alle beobachteten Temperaturen den besten Vitamin-C Erhalt für OH (Vikram et al., 2005). Die Ergebnisse von Demirdöven & Baysal (2012) bestätigen einen geringfügig höheren Vitamin-C-Gehalt in Orangensaft für OH gegenüber klassischer Pasteurisation. Für mittels OH sterilisierte und anschließend aseptisch verpackte Marillen n Sauce wurde über die Lagerdauer von 52 Wochen ein zufriedenstellendes mikrobiologisches Ergebnis und eine den frischen Früchten ähnliche Qualität erzielt. Der Vitamin-Gehalt sank dabei unter der Behandlung von ursprünglich 50 auf etwa 35 mg/100 g, wobei dieses Niveau über die gesamte Lagerdauer gehalten wurde (Pataro et al., 2011). Am Modell Acerola-Mus wurde kein signifikanter Unterschied in der Anthocyanabbaukinetik zwischen OH- und herkömmlicher Erhitzung beobachtet (Mercali et al., 2011). Ebenso wiesen OH- und herkömmlich pasteurisierte Granatapfelsäfte keine signifikanten Unterschiede in Rheologie, Farbe und Phenolgehalt auf (Yildiz et al., 2009). Der β -Carotingehalt in mittels OH-, Mikrowellen und konventioneller Wasserbadbehandlung blanchierten Karotten unterschied sich ebenfalls unwesentlich zwischen den Methoden (Lemmens et al., 2009).

Für Fleischprodukte zeigen Studien für OH gegenüber einer konventionellen Erhitzung einerseits einen geringeren Saftaustritt/Kochverlust, homogenere Mikrostruktur und festere Textur, andererseits hellere Farbe und das Ausbleiben der für viele Produkte erwünschten Krustenbildung (z.B. Bozkurt & Izier, 2010; Yildiriz-Turp et al., 2013; Engchuan et al., 2014; Zell et al., 2012). Letzteres ist auf die Hitzegenerierung im Produkt (volumetrische Erhitzung) zurückzuführen, also sozusagen die Negativseite der homogenen Erhitzung.

Die Enzyminaktivierung (Alkalische Phosphatase, Pectinmethylesterase und Peroxidase) in Milch, Frucht- und Gemüsesäften durch OH entspricht etwa derjenigen der konventionellen Hitzebehandlung. Lediglich für Karottensaft zeigte sich für OH eine höhere Peroxidaseinaktivierungsfähigkeit (Jakob et al., 2010).

Analog zu Garung und Dekontamination wird durch OH auch der Tauvorgang bei niedrigerem Tauverlust deutlich gegenüber dem herkömmlichen Tauen beschleunigt, was sich insbesondere für größere Fleischstücke positiv bemerkbar macht (Bozkurt & Izier, 2009).

Eine OH unterstützte Hydrodestillation zur Extraktion der essentiellen Öle aus Thymian wurde ebenfalls klar beschleunigt (Gavahian et al., 2011). Eine solche Behandlung vor der Lösungsmittelextraktion von Reisöl führte zu einer Reduktion der Extraktionszeit um 70 – 75 % bei vergleichbarer Qualität und Ausbeute (Nair et al., 2012). Die OH-Behandlung von Reisstärke und -mehlen resultierte in Produkten mit niedrigeren Verkleisterungstemperaturen, verbesserter Kochstabilität und geringerer Retrogradationstendenz (An & King, 2006). Als Alternative zur Pasteurisation von Milch in herkömmlichen Wärmetauschern bietet OH den Vorteil geringerer Ablagerungen in den Apparaten und damit verbundener einfacherer Reinigung und eines geringeren Energieaufwandes (Ayadi et al., 2003).

Derzeitiger praktischer Einsatz

Ohm'sche Erhitzung wird bereits seit vielen Jahren weltweit zur Dekontamination von Fruchtzubereitungen in großem Umfang genutzt; darüber hinaus zur Pasteurisation von Joghurt in Japan, sowie zur Behandlung von Flüssigei und einigen Convenienceprodukten in den USA (Ruan et al., 2001). Kommerzielle Anlagen werden beispielsweise von den Firmen APV Baker (UK) (Abb. 4.2.12) und Raztek Corp (USA) vertrieben. Da aber noch beachtlicher Forschungsbedarf besteht, ist die weitere Verbreitung jedoch noch eingeschränkt (siehe Forschungsbedarf). Des Weiteren ist die Anwendung derzeit auf Durchflusssysteme mit anschließender aseptischer Abfüllung begrenzt, weil die Möglichkeiten entsprechender *in-pack* Anwendungen gegenwärtig nicht erforscht sind.

Die Notwendigkeit der Kombination mit einer aseptischen Abfüllung ist mit zusätzlichen Kosten und dem Risiko einer Rekontamination verbunden. Da aber die aseptische Abfüllung immer mehr im Kommen ist, wird auch die OH in Zukunft noch breitere Anwendung finden.

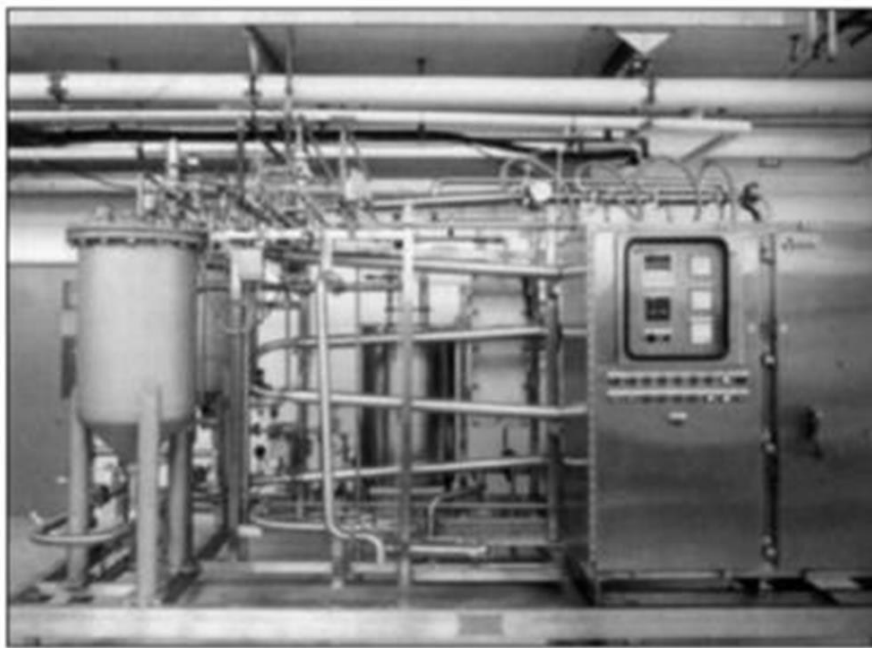


Abb. 4.2.12: OH-System APV Baker (UK)

Kritische Parameter, Beschränkungen und Forschungsbedarf

Der erfolgsentscheidende Faktor bei der OH-Behandlung ist, wie bei allen Erhitzungsverfahren, die generierte Temperatur und insbesondere der Zeit/Temperaturverlauf im *cold-spot*, also dem „am schlechtesten zu erhitzenden Bereich“ des Lebensmittels. Dabei ist zu beachten, dass sich die Lokalisation von *cold-spots* unter OH nicht aus der Erfahrung mit klassischen Garverfahren ableiten lässt, da andere Faktoren mitspielen, wie:

- Leitfähigkeit der zu behandelnden Lebensmittelmatrix: Unbestritten ist, dass die Temperaturerhöhung durch OH der Leitfähigkeit des zu behandelnden Lebensmittels direkt proportional ist. Nun ist die Leitfähigkeit von Lebensmitteln an und für sich sehr verschieden. Äpfel weisen beispielsweise eine klar niedrigere Leitfähigkeit gegenüber anderen Früchten auf, was auf deren hohen Luftgehalt zurückgeführt wird (Sarang et al., 2008). Umgekehrt ergibt eine Erhöhung der Temperatur im Lebensmittel eine Erhöhung der Leitfähigkeit. Wenn nun die Leitfähigkeit im gesamten Lebensmittel homogen ist, lassen sich auf dieser Basis sinnvolle Behandlungsparameter bestimmen. Problematisch wird es, wenn ein Lebensmittel eine in sich heterogene Leitfähigkeit aufweist. Dieser Fall kann in heterogenen Mischungen aus Sauce/Partikeln, wie Suppen und diversen anderen Convenienceprodukten durchaus auftreten, aber auch bereits durch die Verteilung der chemischen Zusammensetzung im Rohstoff selbst determiniert sein. Beispielsweise besitzt Fett eine deutlich geringere Leitfähigkeit als Muskelfleisch, was dazu führt, dass Fettansammlungen in Fleischstücken durch OH weniger rasch erhitzt werden (Sarang et al., 2008; Yildiriz-Turp et al., 2013). Auch für Eiscreme wurde die negative Korrelation zwischen Fettgehalt und Erhitzungsrate aufgezeigt (Icier & Tayman, 2006). Für die Pasteurisierung von Flüssigeiprodukten gilt, dass Eiweiß leitfähiger als Dotter und Vollei ist (Darvishi et al., 2012).
- Partikelart, -lokalisierung und -orientierung: Wie bereits erwähnt, haben Differenzen in der Leitfähigkeit zwischen Grundmatrix und diversen Partikeln eine bedeutende Rolle zur Gewährleis-

tung einer homogenen Erhitzung und damit Auswirkung auf die Qualität und Lebensmittelsicherheit. In gewissem Umfang lassen sich Unterschiede (z.B. bei heterogenen Convenienceprodukten) durch Zugabe von Salzen zu einzelnen Bestandteilen ausgleichen (Sarang & Sastry, 2005). Zudem wurden Unterschiede in der Erhitzungskinetik der Einzelbestandteile in gerührten und statischen Systemen beobachtet. Ferner scheint die Orientierung der Partikel im elektrischen Feld Einfluss auf die Erhitzungseffizienz und -differenzen zu nehmen.

- Elektrische Feldstärke und Frequenz: Die Erhitzungsrate und damit die Dekontaminationseffizienz ist der angelegten elektrischen Feldstärke direkt proportional (z.B. Sastry & Paliappan, 1992; Darvishi et al., 2011; Lee et al., 2012). Daneben bestimmt auch die Frequenz die Effizienz der Methode. Eine hohe Frequenz (100 Hz bzw. sogar 1 kHz gegenüber der ursprünglich viel genutzten 50 – 60 Hz) bewirkt dabei geringere Ablagerungen und Korrosionen an den Elektroden. Das führt zu längerer Haltbarkeit, geringerem Reinigungsaufwand, verbesserter Wärmeübertragung und damit zu einer verbesserten Energieeffizienz und geringerem Gesundheitsrisiko durch Absenkung der Migration des Elektrodenmaterials in die Lebensmittel (z.B. Wang & Farid, 2015, Lee et al., 2013, Wang et al., 2012). Auch eine erhöhte Erhitzungsrate wurde unter Erhöhung der Frequenz beobachtet (Lee et al., 2013). In einer Studie zur Untersuchung des Einflusses der Frequenzen (50 Hz bis 1 MHz) auf die Qualität von Pfirsichen wurde eine höhere Frequenz als vorteilhaft für den Erhalt der Gewebestruktur identifiziert (Shynkaryk et al., 2010).
- Elektrodenmaterial, -dicke und -anordnung: Ein wesentlicher Grund dafür, dass sich OH in seinen Anfängen nicht durchgesetzt hat, war die Korrosion des Elektrodenmaterials und die nachgewiesene Migration von Elektrodenmaterialien in die Lebensmittel. Die Identifizierung geeigneterer Materialien, Elektrodendimensionierungen, -isolierungen und die Maßnahme mit erhöhter Frequenz zu arbeiten, um die Korrosion gering zu halten, macht OH wieder interessant. Es bestehen in diesem Zusammenhang deutliche Unterschiede in der Erhitzungsrate zwischen den Elektrodenmaterialien. Ein geringer Elektrodendurchmesser sowie höhere Frequenzen sollen grundsätzlich vorteilhaft sein (Lee et al., 2013). Für die Milchpasteurisation wurden verringerte Materialablagerungen für Elektroden aus Graphit gegenüber Elektroden aus rostfreiem Stahl beobachtet (Stanel & Zitny, 2010). In mit gepulstem OH durch Elektroden aus rostfreiem Stahl behandelten Mahlzeiten soll der Gehalt an Metallionen, die aus Elektroden migrieren, jedenfalls nicht höher als in konventionell sterilisierten Kontrollen sein (Jun et al., 2007). Eine weitere Möglichkeit, die Problematik der Elektrodenmaterialkorrosion zu umgehen, ist die Ausführung als Hochfrequenzerhitzung. Dabei werden nicht, wie beim „herkömmlichen“ OH geringe, sondern hohe Frequenzen (Mikrowellenbereich) genutzt. Damit ist die Durchdringung größer und ein direkter Elektrodenkontakt unnötig. Die Elektroden können beispielsweise an der Außenseite der Durchflussrohre lokalisiert sein.

Sehr ähnliche Lebensmittel können durch diese vielen Einflussparameter durchaus sehr unterschiedliche Erhitzungsverläufe unter OH aufweisen, wie für Orangensaft und Tomatensaft gezeigt wurde (Lee et al., 2012). Dabei wurde in Tomatensaft die Keimzahl von *E.coli* bei einer Feldstärke von 25 V/cm innerhalb von 30 s um 5 log reduziert, wohingegen für denselben Effekt in Orangensaft 30 V/cm eine Dauer von 60 s notwendig war.

Zusammenfassend ergibt sich noch ein erheblicher Forschungsbedarf in der Überwachung (z.B. Crattelet et al., 2013) und der mathematischen Simulation und Modellierung der Behandlungsparameter in Kombination mit den jeweiligen Lebensmittels.

Mögliche Risiken

- Migration von Elektrodenmaterial in die Lebensmittel: Wenngleich es mittlerweile Ansätze zur Vermeidung der Elektrodenkorrosion gibt, ist darauf weiterhin Augenmerk zu legen (Dauer des Einsatzes etc.).

- Gewährleistung ausreichender Dekontamination: Zur Garantie der hygienischen Sicherheit besteht vor dem Hintergrund der komplexen Zusammenwirkung der vorhergehend beschriebenen Parameter grundsätzlich noch Forschungsbedarf. Besonders relevant ist das in Bezug auf hochpathogene Mikroorganismen. Mögliche subletale Schädigungen sind hier in Betracht zu ziehen.
- Risiko durch eine mögliche Elektrolyse (Wasserzerlegung): Grundsätzlich kann eine Durchleitung von Strom durch ein Lebensmittel zur Zerlegung des lebensmitteleigenen Wassers führen, wobei Wasserstoff und Sauerstoff entstehen. Genau das ist das Ziel der Wasserelektrolyse zur Gewinnung von Wasserstoff. Diese mögliche Problematik gilt für OH als untersucht und wird in der wissenschaftlichen Literatur nicht thematisiert, die Möglichkeit der Weiterreaktion von entstehenden Sauerstoffradikalen für Kaltplasma (siehe Kap. 2.8.1.11) dagegen schon. Im Grunde entsteht eine Art elektrolysiertes Wasser (siehe Kap. 2.8.1.12), das sich im Allgemeinen innerhalb einer gewissen Zeitspanne wieder in seinen Ursprungszustand zurückentwickelt.

Kombinationen

In wenigen Einzelstudien wurden folgende synergistische Effekte mit anderen Technologien festgestellt:

- Druckunterstütztes ohmic-heating (POTS): OH in Kombination mit Hochdruck (500 MPa) erwies sich in Versuchen zur Sterilisation von Gemüse bezüglich des Texturerhalts für eine optimale Knackigkeit der OH-Einzelbehandlung leicht überlegen (Park et al., 2014).
- Pulsed ohmic-heating: Wie bereits im Zusammenhang mit der Bedeutung der Wahl des Elektrodenmaterials erwähnt, lässt sich durch Anwendung von OH im gepulsten Modus die Elektrokorrosion senken (z.B. Samaranyake et al., 2005).
- Mikrowellen/OH: Die Kombination MW/OH zeigte Potential zur Verringerung der Temperaturdifferenzen zwischen den einzelnen Komponenten innerhalb eines heterogenen Lebensmittels (Nguyen et al., 2013).

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Für OH wird argumentiert, dass es bereits vor 1995 im Einsatz war und demnach grundsätzlich nicht unter die *Novel Food*-Verordnung fällt. Erforderlich wäre eine diesbezügliche Evaluierung für Produkte, die sich wesentlich von herkömmlich erhitzten unterscheiden. Das ist weder aufgrund der Methodik noch aus Kenntnis der bislang hergestellten Produkte zu erwarten.

OH ist dem Durchschnittsverbraucher momentan kein Begriff, weil es weder in den einschlägigen Medien kursiert noch gekennzeichnet werden muss. Bei Erklärung könnte es vom Konsumenten ähnlich dem bekannteren induktiven Erhitzen eingeordnet werden, aber auch Angst vor mit Elektrizität behandelten Lebensmitteln hervorrufen.

2.8.1.11. Kaltplasma (*cold plasma* - CP)

Kaltplasma (CP) verspricht im Lebensmittelbereich Anwendungsmöglichkeiten zur Modifizierung und Entkeimung von Verpackungsmaterialien, sowie zur Oberflächendekontamination von Lebensmitteln für die Haltbarkeitsverlängerung und Reduktion von pathogenen Keimen.

Prinzip

Plasma ist grundsätzlich bekannt als der 4. Zustand der Materie (neben fest, flüssig und gasförmig), welcher 99% des Weltalls ausmacht, aber auch in Blitzen, Energiesparlampen und PlasmaTV-Geräten vorkommt. Plasma entsteht durch Energiezufuhr zu einem Gas, wodurch dieses in seine Einzelbestandteile „zerlegt“ wird. Es entsteht ein Mix aus freien Elektronen, Ionen und vielen an-

deren geladenen und/oder hochreaktiven Teilchen wie Ozon, Singulett-Sauerstoff, Stickoxiden, Hydrogenperoxiden etc. und UV-Strahlung. Die detaillierte letale Wirkung bzw. der Beitrag der einzelnen „Teile“ des Plasmas dazu ist nicht vollständig entschlüsselt. Eine „Ätzwirkung“ durch die hochreaktiven Teilchen, ein Zusammenbruch des Membranpotentials durch die Ladungsträger (Elektroporation ähnlich PEF) und die bekannte Dimerbindung in der DNA durch UV-Strahlung (siehe Kapitel 2.8.1.4.) werden als Hypothese genannt.

Plasmen im Weltall sind thermische Plasmen, die dadurch definiert sind, dass ausreichend Energie zugeführt wurde, um das Gas in seiner Gesamtheit zu ionisieren, womit alle Teile des Plasmas extrem hohe Temperaturen (etwa 5.000 – 6.000° C) aufweisen. Im Gegensatz dazu ist das erst seit den 1990er Jahren als solches erkannte, bei Atmosphärendruck erzeugbare, nichtthermische oder „Kaltplasma“ nur teilweise ionisiert. Das bedeutet, dass lediglich die winzigen Elektronen des Plasmas in Bewegung versetzt und dabei einige Tausend Grad heiß werden, wohingegen größere Teilchen unbeeinflusst bleiben. Die Gesamtheit des Gases behält dabei annähernd Raumtemperatur, eine Wirkung ist aber durch die in Kettenionisierungsreaktionen entstehenden reaktiven Teilchen dennoch gegeben. Die Energiezufuhr zur Plasmaerzeugung kann in Form von Hitze, Elektrizität oder Strahlung (u.a. Mikrowellen und *radio-frequency*-Strahlung) erfolgen. Für Anwendungen in Medizin- und Lebensmittelbereich sind folgende Plasmaerzeugungsarten gängig:

- Dielektrisch behinderte Entladung (DBD) (= Entladung zwischen zwei durch eine Isolierschicht getrennte Elektroden);
- *radio-frequency*-Strahlung;
- Korona-Entladung (= „kranzförmige“ Entladung an einer Elektrodenspitze Richtung einer langgestreckten Elektrodenplatte)
- und der am meisten verwendete Plasmajet (= Entladung zwischen zwei konzentrischen Elektroden, wobei die innere häufig an eine RF-Quelle gekoppelt ist.). Das generierte Plasma wird zur Spitze des Jets beschleunigt (siehe Abb. 4.2.14).

Als Trägergase, welche durch Energiezufuhr letztlich zu entsprechenden Plasmen werden, sind im Wesentlichen Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Helium und Argon, sowie deren Mischungen in Verwendung.

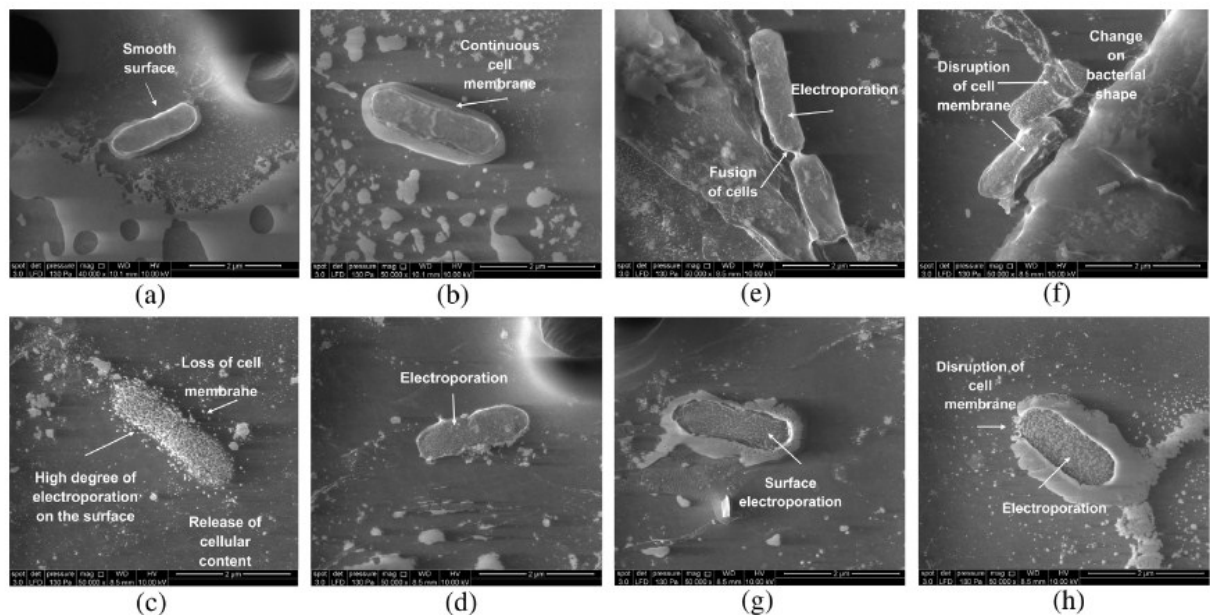


Abb. 4.2.13: Diverse inaktivierende Effekte von Kaltplasma auf *E.coli*-Zellen (a und b-Kontrolle, c-h: diverse Auswirkungen einer Behandlung mit CP für 10 min, 12,83 kV) (Bermudez-Aguirre et al., 2013)

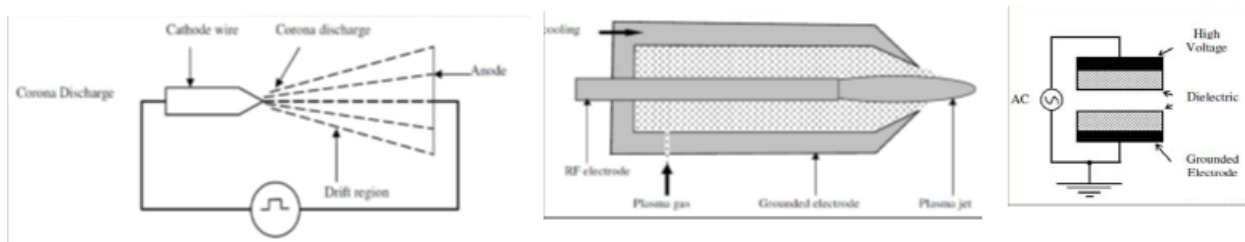


Abb. 4.2.14: Diverse Arten zur Erzeugung von Kaltplasma (von links nach rechts: Korona-Entladung, Plasmajet, dielektrisch behinderte Entladung (Sarghini, 2013))

Nutzungsrelevanz und Einsatzmöglichkeiten

Die bedeutendste Anwendung von Kaltplasma ist die Abtötung von Keimen auf thermolabilen Oberflächen. Im Medizinbereich wurden CP-Plasma-Pens zur Keimabtötung hartnäckiger, antibiotikaresistenter Keime in chronischen Wunden entwickelt. Für die Handdesinfektion von Krankenhauspersonal sind Plasmaanwendungen erforscht. Zudem wurden Plasmadeos zum Abtöten der schweißbildenden Bakterien und Anti-Pickelanwendungen etc. getestet. Im Lebensmittelbereich führt CP zu Haltbarkeitsverlängerung durch Abtötung von Verderbniserregern und Bräunungsreaktionen- und *off-flavour* induzierenden Enzymen sowie zur Gewährleistung der Lebensmittelsicherheit durch Abtötung von pathogenen Mikroorganismen. Die Vorteile gegenüber herkömmlichen Entkeimungsverfahren sind u.a. die qualitätsschonende, nicht-thermische und rasche (Sekunden bis Minuten) rückstandsfreie Prozessierung.

In zahlreichen wissenschaftlichen Studien wurden vielversprechende Mikroorganismen - Inaktivierungsraten aufgezeigt: Innerhalb von 60 s konnte *E. coli* auf Salat, Gurke, Apfel und Tomate gleichermaßen zuverlässig (um 4,1/4,7/4,7 bzw. 3,3 log) reduziert werden (Baier et al., 2014). Die Möglichkeit zur Salatentkeimung ohne Qualitätsverluste wurde ebenso durch Jahid (2015) bestätigt. Für die äußerst Verderb anfälligen, in Thailand verbreiteten Riegel aus braunem Reis konnte die Haltbarkeit durch 20-minütige Plasmabehandlung von 5 Tagen auf 20 Tage bei Raumtemperatur erhöht werden, wobei das Wachstum des maßgeblichen Schimmelpilzes *Aspergillus flavus* klar verzögert wurde (Suem et al., 2013). CP mit dem Hauptzweck der Mehilentkeimung resultierte in verbesserten allgemeinen Teigeigenschaften, u.a. in einer erhöhten Viskoelastizität der aus dem behandelten Mehl bereiteten Teige. Als möglicher Hintergrund wurde die bewiesene Verringerung von α -Helices bei gleichzeitiger Erhöhung der β -Faltblätter in der sekundären Proteinstruktur des Gluten identifiziert (Misra et al., 2015).

Die Inaktivierung der die Haltbarkeit verringernden Enzyme Peroxidase (POD) und Polyphenoloxylase (PPO) gelang innerhalb von 180 s um 90% für PPO, und innerhalb von 240 s zu 85% für POD (Surowsky et al., 2013). Bei verpackten Tomaten konnte POD ebenfalls zerstört werden (Pan-kaj et al., 2013).

Der Vergleich diverser, oberflächenwirksamer Entkeimungsverfahren weist auf eine relativ hohe Universalität der Plasmaanwendung hin. Im Vergleich zwischen Ultraschall, UV-C-Strahlung, Zitronensäure-, Malonsäure- und Chlorbehandlung zeigte CP gleichauf mit UV-C die besten Inaktivierungsergebnisse für Listerien auf Salat und Kohl (Srey et al., 2014). Selbiges wurde für die universelle Wirkung auf Bakterienporen zweier Bacillusarten, sowie *G. stearoothermophilus* in einer vergleichenden Studie mit Hitze, Hydrogenperoxid, Hypochlorit, UV, Stickstoff und Stickstoff-CP untermauert. Dabei war die CP die einzige Methode, die insignifikante Unterschiede in den Inaktivierungsraten der drei Testsporen zeigte (Bockhorst van den Veen et al., 2015).

Wenngleich Plasma methodisch als Oberflächendekontaminationsverfahren gilt, wurde auch seine Wirkung in flüssigen Medien belegt. In Apfelsaft konnte *Citrobacter freundii* um die durch die FDA geforderten 5 log innerhalb von 7 min. mittels Argonplasma (0,1% O₂-Zusatz) inaktiviert werden, was die Autoren u.a. auf die Bildung von Wasserstoffperoxid und Hydroxyperoxidradikalen zurückführten (Surowsky et al., 2014). Als alternative Milchpasteurisationsmethode könnte sich Plasma ebenfalls eignen. Es konnte eine Absenkung der Gesamtkeimzahl von 7,78 log um 3,63 log unter 20-minütiger Behandlung ohne signifikante Qualitäts-Farb- und pH-Änderung gezeigt werden (Gurol et al., 2012).

Mittlerweile wurde auch die Anwendung von Kaltplasmen für verpackte Lebensmittel (= *inpack*-Anwendung) erschlossen. Das bietet den Vorteil, dass eine üblicherweise an Sterilisationsmaßnahmen anschließende, zeit- und kostenaufwendige, aseptische Abfüllung entfallen kann. So konnten etwa Cherrytomaten *inpack* ohne signifikante Qualitätseinbußen mit CP behandelt werden (Misra et al., 2014). Die Eignung gängiger Verpackungsmaterialien wird momentan getestet, wobei sich auf biologisch abbaubarem Casein und Zein basierende Folien bereits als plasmastabil erwiesen haben. Für Caseinfilme wurde eine erhöhte Oberflächenrauheit und gesteigerte Hydrophilität bei gleichbleibender Wasserdampf- und Sauerstoffdurchlässigkeit beobachtet (Pankaj et al., 2014) (Abb. 4.2.16).



Abb. 4.2.15: Plasmaanwendungen (Von links nach rechts: Plasma-Pen zur Wundheilung der Firma neoplas; Plasmajet auf Lebensmitteln; CP-*inpack*-Anwendung) (neoplas tools GmbH, 2011; ATB, 2011; Astley, 2011)

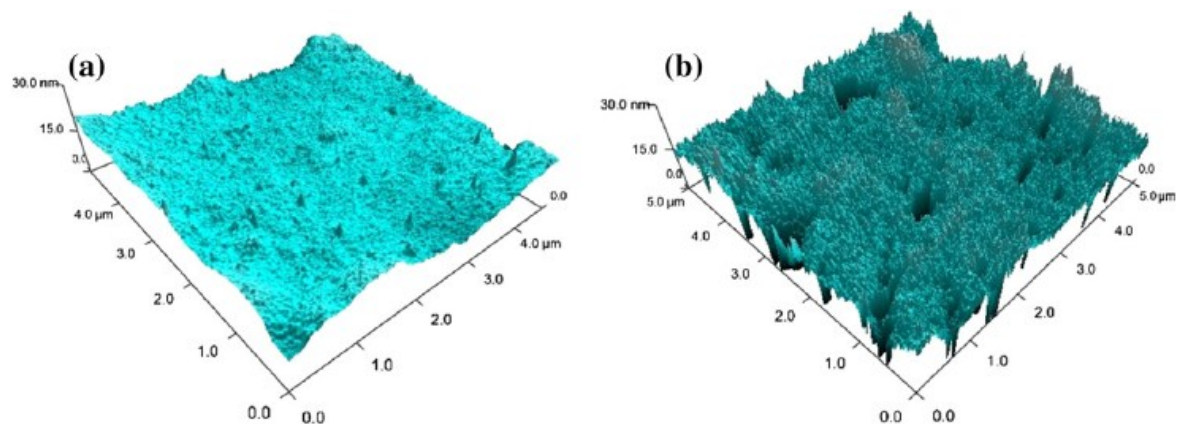


Abb. 4.2.16: Strukturmodifizierung einer Caseinverpackung nach CP-Behandlung (Pankaj et al., 2014)

Ein weiterer Anwendungszweck von Kaltplasmen ist die Behandlung von Verpackungsmaterialien. Damit können diese nicht nur vor Gebrauch entkeimt, sondern auch in ihrer Struktur modifiziert werden. Konkret lässt sich mittels CP die Bedruckbarkeit verbessern, die Gasdurchlässigkeit regeln (z.B. Ankopplung von Siliciumoxidbeschichtung durch Plasma), sowie die chemische und mikrobiologische Sicherheit, z.B. durch Aufbringen antimikrobieller Gruppen mittels Reaktion im Plasma, erhöhen (siehe dazu Teil 5 – Lebensmittelverpackung und -kennzeichnung).

Kritische Parameter und Beschränkungen

Unbestritten ist eine Effizienzsteigerung mit steigender Plasma-Behandlungsdauer, erhöhtem Energieeintrag und sinkendem Abstand des Lebensmittels zur Plasmaquelle. Folgende, bislang identifizierte Einflüsse sind noch Gegenstand der Forschung:

- Art des Trägergases: Die Art des Trägergases bestimmt wesentlich die Zusammensetzung des entstehenden Plasmas. In einer vergleichenden Studie mit Erdbeeren unter Behandlung mit Plasmen unterschiedlicher Trägergasgemische (*high oxygen*: 65% O₂, 16% N₂ und 19% CO₂; *low oxygen*: 90% N₂ und 10% O₂) wurden ein höherer Qualitätserhalt, höhere Festigkeit und eine erhöhte Atmungsrate für die *high-oxygen*-Variante bei vergleichbarer MO-Inaktivierung beobachtet (Misra et al., 2014). In mit reinem Stickstoff Argon- bzw. Heliumplasma behandeltem Fleisch wurde mit Helium eine Inaktivierung psychotroper Bakterien von 3 log, und mit Argon von etwa 2 log erzielt, während mit stickstoffbasiertem Plasma die Wirkung auf oberflächlich inokulierte psychotrope MO völlig ausblieb (Ulbin-Figlewic et al., 2013). Weiter lassen sich *Bacillus subtilis* Sporen durch Plasmen mit geringem UV-Anteil nur unzureichend inaktivieren (SKLM, 2012). Luftplasma erwies sich gegenüber N₂-Plasma zur Inaktivierung von *E.coli* auf Mandeln als überlegen (Niemira, 2012). Die Inaktivierung von *Listeria innocua* scheint mit einem gewissen Sauerstoffanteil im Gas erfolgreicher (Noriega et al., 2011).
- Eigenschaften der zu behandelnden Lebensmittel: Während in einigen Versuchen die Inaktivierungsraten auf diversen Matrices keine wesentlichen Unterschiede aufwiesen, gibt es dazu auch ebenso viele Gegenstudien. Bei identen Behandlungsparametern konnten die Ausgangs-keimzahlen der pathogenen Bakterien *Salmonella* (3,5 log), *E. coli* (6,3 log) und *Listeria monocytogenes* (6,7 log) auf Tomaten innerhalb von 10 bis 120 min unter die Nachweisgrenze gesenkt werden, wohingegen für Erdbeeren eine auf 300 s erhöhte Behandlungszeit lediglich eine Absenkung um 3,5 bzw. 3,8 bzw. 4,2 log ergab (Ziuzina et al., 2014). Identische CP-Bedingungen führten unter 15-minütiger CP-Behandlung zur Verringerung von *Listeria monocytogenes* von 2,72 log für Salat, geringeren 1,76 log für Erdbeeren und stark verringerten 0,91 log für Kartoffeln (Fernandez et al., 2015). In identem Argonplasma zeigte sich eine Keiminaktivierungseffizienz in der Reihenfolge Tomate > Salat > Karotte (Bermudez-Aguirre et al., 2013). Optimierte CP-Bedingungen resultierten bei der Behandlung von enthäutetem Hühnerfleisch in einer ~3 log Listerienreduktion innerhalb von 4 min, währenddessen sich Hühnerhaut mit einer log-Reduktion von lediglich ~1 nach 8-minütiger Behandlung als deutlich resistenter gegenüber CP erwies (Noriega et al., 2011). Außerdem gibt es Hinweise darauf, dass für den Erhalt der produktspezifischen Qualitätseigenschaften die Art des Lebensmittels ebenfalls eine Rolle spielt. Während für Fleisch und Salat (z.B. Ulbin-Figlewic et al., 2013, Jahid et al., 2015) keine wesentlichen Änderungen in Festigkeit und Farbe festgestellt wurden, ergab eine Studie bei Heidelbeeren eine geringere Festigkeit und verringerten Anthocyangehalt und damit einhergehend, einen schlechteren Farberhalt (Lacombe et al., 2015). Die Vergleichbarkeit solcher Einzelstudien ist jedoch durch Unterschiede in der Versuchsanordnung nur bedingt gegeben. Eine vergleichende Studie zur Dekontamination von Kräutern und Gewürzen ergab bei identen Bedingungen für alle getesteten Korngrößen für roten Paprika einen deutlichen Farbverlust, wohingegen die Farbe für schwarzen Pfeffer sowie Oregano unbeeinflusst blieb (Hertwig et al., 2015). Eine gewisse Plasmasensibilität für rötliche Pflanzenfarbstoffe könnte demnach gegeben sein.

Derzeitiger praktischer Einsatz

Der Einsatz der Kaltplasmatechnologie gilt gegenwärtig im Lebensmittelbereich als nicht marktreif. Das ist vor allem darin begründet, dass die optimalen Anwendungsparameter noch nicht gefunden und die Gewährleistung von zuverlässigen, reproduzierbaren Behandlungsergebnisse noch nicht gegeben sind (Stellungnahme SKLM, 2012). Die Gerätetechnik ist nicht ausgereift und nicht *in-line*-fähig. Das Interesse der Industrie ist allerdings als relativ hoch einzustufen, was in der Anzahl an beteiligten Firmen in themenrelevanten Forschungskooperationsprojekten abzulesen ist. Laufende bzw. kürzlich abgeschlossene Großprojekte (vor allem auf EU-Ebene) sind beispielsweise NOVEL-Q, SAFE-BAG, RECAPT, FriPLas und GreenFooDec, wobei im deutschsprachigen Raum das Leibniz-Institut für Agrartechnik („ATB“, Potsdam-Bornim, D), das Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie („INP“, Greifswald D), sowie das Max-Planck Institut für extraterrestrische Physik (Garching bei München, D) maßgeblich an der Erforschung von CP beteiligt sind.

Mögliche Risiken, Konsumentenakzeptanz und rechtliche Aspekte

Die Tatsache, dass Plasmaanwendungen auch zur Wundheilung, also direkt am Menschen, genutzt werden, und die Eindringtiefe in Lebensmittel gering ist könnte auf ein geringes Risiko und eine hohe Akzeptanz hindeuten. Mediale Darstellungen, wie „aus der Raumfahrtforschung auf den Teller“, sollen insbesondere die Bewertung durch technikbegeisterte Personen positiv beeinflussen. Die mediale Präsenz der Entwicklung von Heimanwendungsplasmajets in der Größe einer Taschenlampe zur Inaktivierung von EHEC (*E.coli* O104:H4) in heimischen Küchen (Max Plack Gesellschaft, 2011), könnte ebenfalls zu einem positiven Image beitragen.

Ein Risiko besteht derzeit noch in der Unkenntnis der Reaktionen in Plasmen, deren Auswirkungen, sowie der noch nicht steuerbaren Zeitspanne bis zur Rückentwicklung in den Ausgangsgaszustand. Da selbst die (Aus)Wirkungen von reinen Strahlungsmethoden (z.B. UV, RF), rein elektrischen (z.B. PEF) und rein chemischen Methoden noch unzureichend geklärt sind, ist das für diesen „Mix aus allem“ nicht besser. Der bisher einzige konkrete Hinweis auf mögliche nachteilige Wirkungen ist die Beeinflussung der Photosynthese durch CP (Schlüter, 2015).

Rechtlich ist die Einstufung der Kaltplasmabehandlung als neues Verfahren nach der Novel Food-Verordnung sehr wahrscheinlich. Das beruht darauf, dass die Bildung und Wirkung noch weitgehend unerforscht sind, aber entsprechende Stellungnahmen den hohen Forschungsbedarf vor allem bezüglich der oxidativen Veränderungen von Lebensmittelbestandteilen herausstreichen. Neben der Novel Food Verordnung könnte die VO über Lebensmittelkontaktmaterialien (siehe auch Teil 5) zur Anwendung kommen, da man dazu übergeht, die Anwendung von Plasma auch in der Verpackung (*in-pack*-Behandlung) zu erschließen. Dabei wird die Oberfläche von dem generierten Gas gestreift bzw. eine Art „Schutzgas aus Kaltplasma“ in der Verpackung integriert.

2.8.1.12. Aktiviertes, elektrolysiertes Wasser (*activated & electrolyzed water*)

Die Anwendung von teilweise elektrolysiertem Wasser dient zur Hygienisierung bis zur Desinfektion von Lebensmittelkontaktflächen und -materialien und Prozesswasser, sowie zur Senkung der Ausgangskeimzahl in diversen Lebensmitteln.

Prinzip

Wenn durch Wasser Gleichstrom geleitet wird, spaltet sich dieses in Wasserstoff und Sauerstoff auf. Dieser Vorgang wird als Elektrolyse bezeichnet. Im Wesentlichen gibt es zwei Stufen dieser Anwendung, die sich methodisch durch zusätzliche Nutzung/Nichtnutzung von NaCl und letztlich wesentlich in ihrer Wirkungseffizienz unterscheiden:

- **Activated water:** Hierbei wird dem Wasser eine geringe Menge an elektrischer Energie zugeführt, wobei durch Elektrolyse negativ und positiv geladene Wasserionen, sowie geladene

Gasbläschen im Nanomaßstab entstehen. Diese geladenen Teilchen heften sich an Schmutzpartikel an, verleihen ihnen eine Ladung und erleichtern ihre Entfernung von Oberflächen durch nachfolgendes „Wegwischen“. Daneben werden Bakterien durch auftretende Elektroporation eliminiert. Dabei generiert das elektrisch geladene (meist aufgesprühte) Wasser Löcher in den Zellwänden der Bakterien, wodurch diese abgetötet werden. Laut Herstellern soll das aktivierte Wasser innerhalb von 30 – 45 s wieder in seinen ursprünglichen (ungeladenen) Zustand zurückkehren.

- Electrolyzed water (anolyte): Zur Herstellung von *elektrolyzed water* wird – im Gegensatz zum *activated water* – nicht Wasser sondern eine verdünnte NaCl-Lösung durch eine Elektrolyseeinheit geschleust. Dabei entstehen Ionen, wobei die negativ geladenen Ionen (Chlorid bzw. Hydroxyd) zur Anode wandern und Gase (Sauerstoff und Chlor) und Hypochlorsäure entstehen. Diese Mischung, die durch ein hohes Redoxpotential (steuerbar, aber meist im Bereich zwischen 700 und 800 mV) und je nach Anwendungszweck einen mehr oder weniger geringen pH-Wert charakterisiert ist, nennt man auch Anolyt. Das hohe oxidative Potential öffnet bakterielle Zellwände, womit die geladene Lösung eintreten kann. Die eintretende Lösung führt letztlich zum Platzen der Zellen, wobei einerseits die Menge der eintretenden Flüssigkeit an sich aber auch osmotische Effekte eine Rolle spielen.

Nutzungsrelevanz

Gegenüber der chemischen Desinfektion ist das wesentliche Einsatzargument der Verzicht auf chemische Zusätze mit allen daraus resultierenden Vorteilen, wie z.B. „keine Toxizität zu erwarten“, gutes Image, Einbettung in die „go green“-Nachhaltigkeitsstrategien („aus Wasser wird wieder Wasser“) und keine Entsorgungskosten. Die Anschaffungskosten der nötigen Elektrolyseeinheiten sollen sich laut Herstellern (Viking Pure's) bereits nach einem Jahr amortisieren. Die Erzeugung vor Ort aus den günstigen, überall erhältlichen Rohstoffen Wasser und NaCl vermeidet weiter Transportkosten und Kosten für teurere Chemikalien.

Einsatzgebiete

Activated und *electrolyzed water* ist eine japanische Erfindung und dort seit den 1980er Jahren im Einsatz. Auch in den USA sind Anlagen vor allem an Orten mit „frequently touched materials“, welche als Krankheitsüberträger bekannt sind, wie etwa in Großküchen, Kantinen, Spitälern, Kindergärten etc. zum Zweck der Oberflächendesinfektion bereits weit verbreitet. Für Applikationen in der Lebensmittelindustrie ist *electrolyzed water* derzeit noch Gegenstand der Forschung, wobei die Verringerung der Ausgangskeimzahl für mikrobiologisch besonders kritische Produktgruppen sinnvollerweise im Vordergrund steht:

- Obst, Gemüse, Nüsse: Das Tauchen von Datteln für 4 min. in 3 %-ige Anolytlösung konnte die Keimzahl an mesophilen Bakterien um 99,5% reduzieren, und Hefen/Schimmel vollständig eliminieren. Eine sensorische und chemische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede über sechs Monate nach dieser Behandlung (Bessi et al., 2014). Für Cherrytomaten wurde eine Reduktion der aeroben Bakterien um 1,45 log und der Hefen/Schimmel um 1 log bei simultaner Verzögerung der Atmungsrate und Inhibierung der Spaltung zu *total soluble solids* (TSS – also etwa Gewebszerstörung), bei unveränderter Textur, Säure- und Vitamin-C -Gehalt beobachtet (Ge et al., 2014). Analog konnte der Einsatz von *electrolyzed water* als Nacherntetechnologie in Kombination mit Ultraschall die Haltbarkeit von Ananas durch Verhinderung der Reifung von Fusariumsporen bei gleichbleibenden Produkteigenschaften verlängern (Khayankarn et al., 2013). Aflatoxin B1 (Toxin des *Aspergillus flavus*) wurde in kontaminierten Erdnüssen mittels *electrolyzed water* um 90% reduziert, wobei eine etwas hellere Farbe resultierte (Xiong et al., 2014). Die bislang angeführten Beispiele beschreiben die Oberflächendesinfektion intakter Früchte. In gewissem Rahmen eignet sich *electrolyzed water* auch zur stark nachgefragten Haltbarkeitsverlängerung von *fresh-cut*-Produkten durch Senkung der Ausgangskeimzahl um

bis zu 2,6 log (HATI et al., 2012). *E. coli* und *Salmonella enteritidis* konnten um je 2,6 log auf *fresh-cut* Brokkoli reduziert werden, was einen ähnlichen Effekt wie eine Peroxyessigsäurebehandlung entsprach (Martinez-Hernandez et al., 2015). *In line*-Versuche im industriellen Maßstab erzielten für geraspelten Kohl und Karotten eine Reduktion an Coliformen um ~1 log, wobei bei einer Behandlung ab einer Dauer von 10 min. klare Farbveränderungen sichtbar wurden (Lee et al., 2014). In *fresh-cut*-Salaten konnte eine Behandlung von 5 min. psychotrope Keime um 3,3 log, Milchsäurebakterien um 2,6 log und Enterobakterien um 1,9 log reduzieren (Ongeng et al., 2006). In der Primärproduktion könnte *electrolyzed water* neben einer Keim- (und damit) Pestizidreduktion auch eine erhöhte Biomasse, sowie verbesserte Photosynthese und höhere Resistenz gegenüber Wassermangel bewirken (Zhou et al., 2014).

- **Fisch und Meeresfrüchte:** In Welsen konnte die Behandlung zwar über eine Lagerdauer von 8 Tagen Salmonellen um ~ 1 log reduziert halten, wohingegen auf *Listeria monocytogenes* kein Effekt nachweisbar war (Rajkowski et al., 2012). Wang et al (2014) beobachteten für Shrimps, die auf *electrolyzed water*-Eis dunkel gelagert wurden, während einer Lagerdauer von 6 Tagen eine Inhibierung der bei der Kontrollprobe den Verderb anzeigenden pH-Senkung, der Bildung von TVBN (*total volatile basic nitrogen*) und der Keimvermehrung. Diese Inhibierung des Fischverderbs konnte durch Kombination mit MAP-Verpackung (siehe auch Kap. 5) weiter gesteigert werden. Dabei war beim Öffnen der Packung der Chlorgeruch deutlich wahrnehmbar, welcher sich allerdings durch den anschließenden Kochschritt entfernen ließ (Zhang et al., 2014). Für Lachsfilets konnte die Kombination von *electrolyzed water* und Behandlung mittels essentieller Öle (siehe auch Kap 2- Extrakte) die Haltbarkeit unter Kühlagerung von 5 auf 13 Tage verlängern (Abou-Taleb, 2007).
- **Geflügel:** Neben Sprühen und Tauchen der Fleischteile wurde auch die Zugabe geringer Mengen an *electrolyzed water* zum Trinkwasser des Geflügels untersucht. Dabei konnte erwartungsgemäß eine Senkung der Gesamtkeimzahl und *E. coli* in diesem Trinkwasser nachgewiesen werden, womit auch die geringere Mortalitätsrate in Zusammenhang gebracht wurde (Bügener et al., 2014).
- Eine weitere alternative Applikationsform von *electrolyzed water* in der Lebensmittelindustrie ist der Einsatz in CIP- (*cleaning in place*) Anlagen. Hier wurden bei Melkanlagen gegenüber herkömmlichen Säuren/Laugenprogrammen im Pilotmaßstab vergleichbare Effekte erzielt (Wang et al., 2014).

Beschränkungen und kritische Parameter

Lebensmittelsicherheit und eine hohe Haltbarkeit durch Nutzung von Wasser klingt erstmal perfekt, ist es aber nicht. Die Nutzung von *activated water* funktioniert nur in Kombination mit der effektiven physikalischen Entfernung („Abwischen“) der zu desinfizierenden Oberflächen. Für Lebensmittel ist die ausschließliche Nutzung dieser milden Form von elektrisch geladenem Wasser also ungeeignet (Yang et al., 2013). Weiter ist zu beachten, dass die Wirkung, wie für alle durch Sprühen bzw. Tauchen applizierten Reagenzien, von der Matrix des zu behandelnden Lebensmittels abhängt. Während bei kontaminierten Prozesswassern eine vollständige Abtötung der Bakterien erfolgte, wurden für *fresh-cut*-Salat derselben Linie nur eine 1 – 3 log Keimreduktion erzielt (Ongeng et al. 2006). Ausgehend von dieser in zahlreichen Studien bestätigten Reduzierung der Ausgangskeimzahl um nur etwa 1 – 3 log bei *fresh-cut* -Produkten ist zu hinterfragen, welchen tatsächlichen praktischen Wert diese eher geringe Keimreduktion hat (Martinez-Hernandez et al., 2015). Außerdem ist an dieser Stelle anzumerken, dass *electrolyzed water* als einmalige Behandlung keinen Langzeiteffekt hat, also keinen Schutz vor erneuter Kontamination bietet.

Die wesentlichen Prozessparameter scheinen die Dauer der Einwirkung auf das Lebensmittel, der pH-Wert der Lösung sowie vor allem der Gehalt an freiem Chlor im Anolyten zu sein. Für *minimally processed*-Gemüseprodukte wurden die MO-Reduktionsraten für drei ausgewählte Keime ge-

steigert (Ongeng et al., 2006). Das Anheben der Einwirkungsdauer führte dabei bei einigen Lebensmitteln zu Farbveränderungen (Xiong et al., 2014, Lee et al., 2014). Das Ausmaß an Generierung von freiem Chlor bei der Elektrolyse ist vor allem für Lebensmittel in der EU relevant, zumal hier gesetzliche Beschränkungen und Bedenken seitens der Verbraucher und Verbraucherinnen vorliegen, wie die gegenwärtige Debatte um das sogenannte „Chlorhuhn“ aus den USA bestätigt. Dies wird in einer britischen *in-line* Studie von Burfoot et al. (2015) am Beispiel von *electrolyzed water*-Behandlung von Hühnern mit dem Ziel der Reduktion von *Campylobacter* aufgezeigt und kritisiert, wobei eine Konzentration von freiem Chlor von nur 20 ppm kaum Effekte (0,3 log Reduktion) zeigte. In einer vergleichenden Studie mit 50 ppm bzw. 200 ppm freiem Chlor enthaltendem Anolyt zur Behandlung von oberflächenkontaminierten Äpfeln (mit in Fruchtsäften problematischen *Alicyclobacillus acidoterrestris*-Sporen) konnten mit 50 ppm keine Effekte, für 200 ppm dagegen eine beachtliche Reduktion um 5 log-Einheiten erzielt werden (Torlak, 2014).

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Elektrolysewasser darf als „Desinfektionsmittel“, also quasi als wirksameres Waschwasser genutzt werden. Im Endprodukt soll es allerdings nicht mehr nachweisbar sein. Ebenso wird durch die EFSA darauf hingewiesen, dass Waschen mit EW nicht als Ersatz für mangelnde Lebensmittelhygiene dienen soll.

Konsumentinnen und Konsumenten werden nach und nach mit der Möglichkeit der Verwendung von aktiviertem Wasser – auch für den Heimgebrauch – konfrontiert werden. Es wäre denkbar, dass der Vorteil einer besseren Hygiene darin gesehen wird, wodurch die Akzeptanz steigen würde.

2.8.2. Nutzung mechanischer Energie

2.8.2.1. Hochdruckbehandlung (*high pressure* - HP) (*Pascalisation*)

Hochdruckbehandlung (HP) wird im Lebensmittelbereich vor allem zur Inaktivierung von Mikroorganismen und Enzymen zum Zwecke der Haltbarkeitsverlängerung genutzt. Daneben bietet HP aber auch Potential für eine gezielte Texturierung von Lebensmitteln, zur Verbesserung von Extraktionen und zum schonenden Gefrieren/Auftauen.

Prinzip und Nutzungsrelevanz

Wie der Name vermuten lässt, versteht man unter HP-Behandlung ein Lebensmittel hohem Druck (bis zu 1.000 MPa = 10.000 bar) auszusetzen. HP kann als nichtthermisches Verfahren bezeichnet werden, weil sich die Temperatur ohne Kühlmaßnahmen um lediglich durchschnittlich 3° C pro 100 MPa erhöht. Bei den oft genutzten 400 – 600 MPa bedeutet das eine Temperaurationsteigerung von nur 12 – 18° C). Mittlerweile lässt sich durch Kühleinrichtungen der Temperaturanstieg in deutlich geringeren Grenzen halten; selbst die Druckbeaufschlagung unter gleichzeitiger Abkühlung auf Gefriertemperaturen ist realisiert.

Die Grundlagen der Effekte einer HP-Behandlung lassen sich im Wesentlichen mittels zweier Gesetze beschreiben. Das erste ist das **„isostatische Prinzip“**, welches besagt, dass Druck gleichmäßig und unmittelbar auf das gesamte zu behandelnde Gut wirkt. Daraus geht der wesentliche Vorteil gegenüber der herkömmlichen Hitzebehandlung hervor, indem kein Wirkungsgradient vom Äußeren ins Innere eines Lebensmittels besteht. Damit kann das Lebensmittel unabhängig von Größe und Form gleichmäßig behandelt werden. Im Gegensatz dazu muss bei der Erhitzung die

Wärme von außen nach innen geleitet werden, wodurch eine ungleichmäßige Einwirkung resultiert.

Das zweite wirksame physikalische Gesetz ist das „Prinzip von Le Chatelier und Braun“, auch als **„Prinzip des kleinsten Zwanges“** bekannt. Danach laufen unter hohem Druck bevorzugt Reaktionen ab, die mit einer Volumenabnahme einhergehen; wohingegen Reaktionen, die mit einer Volumenzunahme assoziiert sind, tendenziell unterdrückt werden. Konkret bedeutet das, dass große Moleküle, die durch relative labile, nichtkovalente Van der Waals-Bindungen zusammengehalten werden (z.B. Proteine), durch Druckeinwirkung stark beeinflusst werden. Kleinere, vor allem durch relative starke, kovalente Atombindungen zusammengehaltene Moleküle (Vitamine, Farb- und Aromastoffe etc.) bleiben dagegen weitgehend unbeeinflusst. Auch Dissoziations-/Protonierungsreaktionen zählen zu den mit einer Verringerung des Volumens einhergehenden und damit beschleunigten Reaktionen. Der pH Wert des Lebensmittels wird demnach während der Behandlung gesenkt. Diese matrixabhängige pH-Reduktion von durchschnittlich 0,2 – 0,3 pH-Einheiten pro 100 MPa leistet ebenfalls einen Beitrag zur Inaktivierung von Mikroorganismen. Weitere Beiträge zur Dekontamination/Haltbarkeitsverlängerung ergeben sich aus der physikalischen Denaturierung vegetativer Zellen unter hohem Druck, sowie der Denaturierung einer Vielzahl überlebenswichtiger MO-Proteine (z.B. Enzyme). Für das Einfrieren bedeutet ein hoher Druck nach dem „Prinzip des kleinsten Zwanges“, dass die gebildeten Eisformen eine höhere Dichte als Wasser besitzen, also kleiner als bei Normaldruck gebildete Eiskristalle sind. Allgemein bekannt ist, dass kleinere Eiskristalle mit einer geringeren Gewebeschädigung, also verbesserter Qualität von Gefriergut, assoziiert sind. Der anschließende Auftauprozess lässt sich unter Druck um ca. das Fünffache beschleunigen und deutlich homogener gestalten. Außerdem werden Verderbsreaktionen, die bei herkömmlich aufgetauten, großen Lebensmitteln auftreten können (Inneres noch gefroren, während äußere Schichten bereits aufgetaut und „besiedelbar“), weitgehend vermieden.

Die **hydrostatische Druckbehandlung** erfolgt bei Drücken zwischen 100 und 1.000 MPa (1.000 – 10.000 bar), wobei Pasteurisierungsaufgaben meist im Bereich 400 – 600 MPa realisiert werden. Der Druck kann dabei direkt im Druckbehälter über einen Kolben aufgebaut oder indirekt in einem Druckerzeuger generiert und über eine Druckleitung übertragen werden. Das Druckübertragungsmedium kann dabei Wasser sein. Sehr oft wird aber eine Frostschutzflüssigkeit eingesetzt, um auch im tieferen Temperaturbereich arbeiten zu können.

Wenig bekannt und erforscht und mit geringerem funktionellen und wirtschaftlichen Potential ist die Nutzung von **„hydrodynamischem Druck“** (HDP). Dabei wird Druck (meist im Bereich 70 – 100 MPa) in Form einer Schockwelle aufgebaut, welche durch eine Unterwasser-Detonation eines Sprengstoffes hervorgerufen und letztlich durch das Lebensmittel geleitet wird. Der Effekt auf MO ist uneinheitlich und grundsätzlich geringer als bei der hydrostatischen Hochdruckbehandlung (Sharma et al., 2008).

Eine weitere interessante Art, um HP anzuwenden, ist *ultra-high pressure water jet*, also HP mit einem Wasserstrahl aufzubringen. Damit ließ sich Bier mit Drücken zwischen 150 und 300 MPa sterilisieren (Liu et al., 2013).

Einsatzmöglichkeiten

Das am besten erforschte Einsatzgebiet der HP-Behandlung ist die Hochdruckpasteurisation (HPP). Für flüssige bis pastöse Obst- und Gemüseprodukte funktioniert diese mittlerweile zuverlässig unter hohem Qualitätserhalt (z.B. Hiremath et al., 2012; Katsaros et al., 2010). Für Obst und Gemüseprodukte ist der wesentliche Vorteil ein verbesserter Erhalt der allgemeinen Sensorik sowie des Gehalts an temperaturlabilen, gesundheitsfördernden Substanzen [wie Vitaminen (insb. Vitamin A, E und C) und sekundären Pflanzeninhaltsstoffen (insb. phenolischer Substanzen wie Anthocyane etc.)] (z.B. Chakraborty et al., 2014; Jung et al., 2013; Wang et al., 2011; Keenan et al.,

2012). Der Erhalt dieser Substanzen wird neben der allgemeinen Schonung durch die nichtthermische Behandlung, die diese kleinen Moleküle weitgehend unbeeinflusst lässt, mit der nachgewiesenen Verringerung der Aktivität von oxidierenden Enzymen [z.B. Polyphenoloxidase (PPO) und Peroxidase (POD)] erklärt (z.B. Jung et al., 2013; Ferrari et al., 2010). Auch Enzyme, die im Verlauf der Lagerung das pflanzliche Zellgewebe bzw. dessen Textur zerstören und damit für Schädigungen durch MO angreifbarer machen [z.B. Pectinmethylesterase (PME)], werden unter Hochdruck zumindest gehemmt (Spilimbergo & Ciola, 2010).

Für Lebensmittel mit strukturgebenden Proteinen, wie Milchprodukte, Fleisch und Fisch ergeben sich komplexere Zusammenhänge, die noch Gegenstand der Forschung sind und für Praxisanwendungen ausgedehnte Einzelfallstudien erfordern. Das gilt für Lebensmittel, deren Qualität wesentlich auf Fetten und Kohlenhydraten basiert ebenso, wobei hier der HP-Einfluss weniger stark und komplex als für proteinreiche Lebensmittel ist. Bei fettreichen Lebensmitteln sind die Parameter, unter denen Oxidationsreaktionen durch HP gefördert werden, zu eruieren.

Proteinhaltige Lebensmittel (z.B. Fleisch, Fisch und Eier) neigen zu „gekochtem“ Aussehen und gummiartiger Textur, weil Proteine und der rote Fleischfarbstoff Myoglobin ab 200 MPa denaturieren. Das Ausmaß ist allerdings stark vom Ausgangs-Lebensmittel und den genutzten Prozessparametern abhängig. Beispielsweise konnten in *ready to eat*-Fleischprodukten unter HP-Behandlung bei Raumtemperatur mit 600 MPa für 180 s keine sensorischen Veränderungen festgestellt werden, wohingegen eine sechsmünütige Behandlung bei 600 MPa von Schinkenaufschnitt eine erhöhte Härte, hellere Farbe, intensiveren Geschmack und einen erhöhten Salzgeschmack ergab (Chen et al., 2012). Letztere Tatsache bringt als weiteren, werbewirksamen Effekt bei der Nutzung der HP-Behandlung zur Haltbarkeitsverlängerung von Fleisch- und Fischprodukten die mögliche Verringerung des Salzgehalts in einigen Produkten mit sich.

Neben der Verbesserung des Texturerhalts während der Lagerung durch Inaktivierung von texturschädigenden Enzymen wie PME etc., lässt sich der starke Einfluss von Hochdruck auf Proteine auch gezielt zur Texturmodifikation in den strukturgebenden Proteinen des Gutes nutzen. Im Fleischbereich lassen sich Saftigkeit, Zähheit und Zartheit gezielt beeinflussen, die Kenntnis der dazu nötigen Parameter im Einzelfall vorausgesetzt. Die dahinterstehenden Vorgänge sind Denaturierung, Aggregation und/oder Gelierung von Fleischproteinen, auf molekularer Ebene das Aufbrechen von kovalenten Bindungen und der Bildung neuer hydrophober und Disulfid-Bindungen (z.B. Sun & Holley, 2010).

Untersuchungen zur Wirkung auf Milchproteine ergaben starke Strukturveränderungen unter HP. Caseine werden unter Zerstörung der Calcium-Phosphat-Bindungen denaturiert. Die beiden Molkeproteine α -Lactalbumin und β -Lactoglobulin gehen mit zunehmendem Druck in den sogenannten „*molten globule*“-Zustand über. Das ist eine aufgelockerte Proteinstruktur, in die umgebendes Produktwasser eindringen kann, was sich texturmäßig, parameterabhängig in der Bildung einer weichen bis festen Gallerte bemerkbar machen kann (Heinrich & Koluzik, 2009). Darin wurde das interessante Anwendungsfeld der Produktion von maßgeschneiderten „Designed“-Desserts ausgehend von reinen Molkeproteinpulvern oder konzentrierter Milch erkannt. Diese können auch fett-/zucker- und damit kalorienreduziert, äußerst gute homogene, stabile Texturen aufweisen, worin traditionell aus Milch hergestellte *light*-Produkte bislang den Vollvarianten hinterherhinken (Orlien, 2010). Fermentierte Produkte, wie z.B. Weichkäse kann man unter Hochdruck ebenfalls maßgeschneidert ohne aufwändige Fällung mittels Säure und/oder Labenzym produzieren (Hongmai et al., 2014).

Eine wichtige Frage im Zusammenhang mit einer Technologie, die Proteinstrukturen maßgeblich beeinflusst, ist diejenige nach dem Einfluss auf die Allergenität. Diese konnte bislang nur exemplarisch für einige Lebensmittel-Allergen-Parameterkombinationen beantwortet werden. Die Allergenität von Tropomyosin Tod p1 in Tintenfischen konnte durch HP Behandlung bei 400 bzw. 600

MPa reduziert werden (JIN et al., 2015). Auch für Sojaallergene soll die Allergenität unter Behandlung bei 200 MPa deutlich gesenkt werden, wobei bei diesen Bedingungen die relevanten Proteine dissoziierten, während sie bei 300 – 500 MPa zu größeren Aggregaten agglomerierten (Yang et al., 2014). Die Konzentration von biogenen Aminen in Rohmilchkäse konnte im Vergleich zur Kontrolle durch HP-Behandlung um bis zu 65% (600 MPa) am Lagertag 60 und um bis zu 76% am Lagertag 240 gemindert werden (Calzada et al., 2013). Demnach könnte sich die Wahrscheinlichkeit einer Reaktion histaminsensitiver Personen mittels HP minimieren lassen.

Während unter Hitzebehandlung der auf dem Vorhandensein von Methylglyoxal beruhende antimikrobielle Effekt von Honig gesenkt wird, wird er unter HP-Behandlung erhöht (Alhabsi & Niranjan, 2012).

Der Gehalt der als Ballaststoff fungierenden, resistenten Stärke wurde durch HP-Behandlung in Weizen- und Quinoastärke gesteigert, wohingegen ihr Gehalt in Amaranthstärke gegenüber der nativen Form reduziert wurde (Linsberger-Martin et al., 2011). Die Modifizierung in Richtung funktioneller Stärken scheint demnach matrixabhängig möglich.

Beschränkungen

Im Lebensmittel selbst erfolgt die Druckübertragung im enthaltenen Wasser, was voraussetzt, dass ausreichend Wasser vorhanden ist. Trockene Lebensmittel sind daher von der HP-Behandlung ausgeschlossen. Ebenso nicht HP-behandelbar sind Lebensmittel mit gasgefüllten Hohlräumen, beim Verpacken sind solche durch z.B. Evakuieren auszuschließen.

Die Inaktivierung von MO ist neben deren Art auch von der Wachstumsphase abhängig. So ist bekannt, dass lebende MO in der exponentiellen Wachstumsphase deutlich empfindlicher als in der *lag*-Phase befindliche MO auf HP reagieren. Die Inaktivierung von Sporen (also eine Sterilisation) erfordert eine ausgeklügelte Kombination aus geringem Druck (~90 MPa) zur „Vorschädigung“, sehr hohem Druck (600 MPa), geringem Druck in mehreren Zyklen. Eine Sterilisation kann aber auch im Rahmen eines Hürdenverfahrens durch die Kombination von HP mit geringer Temperatur von 50 – 70° C erfolgen, also bei weit niedrigeren Temperaturen als bei alleiniger Hitzesterilisation.

Außerdem ist festzuhalten, dass die Erreichung des haltbarkeitsverlängernden Effektes allein nicht immer ausschlaggebend ist. HP-behandelte Avocadopaste etwa wies eine außerordentlich hohe mikrobiologische Stabilität über 49 Tage unter Kühlagerung auf, wobei aber ab dem Tag 19 das Produkt von einem Sensorikpanel als ungenießbar im Sinne von stark sauer und ranzig befunden wurde (Jacobo-Velazquez & Hernandez-Brenes, 2011). Die aromatischen und textuellen Veränderungen in HP-behandelten Muscheln wurden im Test nur von einer sehr kleinen Personengruppe akzeptiert, die breite Masse bevorzugte unbehandelte (Narwankar et al., 2011).

Derzeitiger praktischer Einsatz

Schätzungen zufolge soll der Weltmarkt für HP-behandelte Lebensmittel 2018 auf etwa 12 Milliarden Dollar ansteigen. Dies wird vorwiegend auf das Bedürfnis nach frisch schmeckenden und aussehenden, gesunden Lebensmitteln ohne „chemischen“ Zusätzen, aber dennoch mit langer Haltbarkeit zurückgeführt. Bei der Nutzung herkömmlicher thermischer Verfahren ergibt sich hier ein deutlicher Widerspruch (Spinner, 2014). Die HP-Behandlung als nichtthermisches Verfahren ist dabei eine anerkannte Möglichkeit, Lebensmittel unter hohem Erhalt der natürlich in den Rohstoffen enthaltenen Vitamine, Aroma- und Farbstoffen anzubieten. Daneben eröffnet HP für Hersteller von hitzeempfindlichen Rohstoffen eine zuverlässige Keimabtötung und damit Haltbarkeitsverlängerungsoption für Produkte, für die es bislang keine gab. Der griechische Hersteller von *fresh-cut*-Fleisch und *fresh-cut*-Salaten Ifantis beispielsweise gibt seit Einführung der HP-Behand-

lung eine Verkaufssteigerung um 30 % bei Rückgang der Retourware gegen Null an (Harrington, 2010).

Obleich die Anwendung von HP zur Entkeimung grundsätzlich seit Ende des 19. Jahrhunderts bekannt ist, kam es erst Ende der 1980er Jahren zur Marktreife des Verfahrens. Im Jahr 2000 war im HP-Vorreiterland Japan bereits der Einsatz von 120 industriellen Anlagen vor allem zur Entkeimung von Fruchtprodukten, Milchdesserts und Reisprodukten bekannt. Die USA, wo die HP-Behandlung zur Erreichung der von der FDA geforderten 5-log Reduktion pathogener Keime in Obst- und Gemüseprodukten als geeignet befunden und damit zugelassen wurde, hat mittlerweile ebenfalls nachgezogen. In der EU wird HP für Fruchtzubereitungen unter Kennzeichnung mit „hochdruckpasteurisiert“ seit 2001 ebenfalls legal genutzt. HP-pasteurisierter „*fresh-like*“ Fruchtsaft findet sich auch in Österreich auf dem Markt. Auch Fleischprodukte, wie Aufschnitte und andere Fleisch/Geflügelzubereitungen, aber auch Convenienceprodukte werden in Europa mit HP behandelt. Die spanische Firma NC Hyperbaric etwa produziert Anlagen mit Durchsätzen von stündlich etwa 600 kg Schinkenaufschnitt, welche z.B. die spanische Firma Espuna nutzt um damit die Haltbarkeit von Rohschinken von 3 auf 8 Wochen unter Kühlung zu erhöhen (Byrne, 2000).

Das spezielle Verfahren erfordert auch spezielle Verpackungssysteme. Die Entwicklung von HP-Verpackungen ist ein Produktfeld der deutschen Firma Multivac, welche die HP-Technologie mit Verpackungskonzepten in vollautomatisierte Anlagen integriert. Dabei lassen sich laut Firmenangaben unter optimierten Bedingungen bereits 2 – 4 Tonnen verpacktes Gut/h behandeln (Harrington, 2011) (Multivac-Anlage siehe Abb. 4.2.17). Vakuum- und sogar MAP-Verpackungslösungen in Kombination mit HP sind automatisiert realisiert (Harrington et al., 2011). Mondi-Packaging (Ö) konnte in Zusammenarbeit mit dem DIL (Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.) „*Tray-in Tray*“-Verpackungslösungen entwickeln, die eine irreversible Deformation im Kopfraumbereich der Verpackung am Objekt geräucherte Forellenfilets unter HP verhindern kann, womit die Schutzfunktion derartiger Verpackungen *post*-HP gewährleistet bleibt. Diese Verpackungskombination konnte die Haltbarkeit der geräucherten Forellenfilets von drei auf 36 Wochen unter Lagerung bei 8° C verlängern (Lebensmitteltechnik, 8/2014).

Die Kosten sind mittlerweile produkt- und parameterabhängig mit etwa 0,1 bis 0,5 €/kg Produkt inklusive Investitions- und Betriebskosten in einem akzeptablen Rahmen angelangt. Die Systeme sollen in existierende Produktionslinien bereits gut integrierbar sein (Harrington, 2010). Die hohen Investitionskosten (Hyperbaric gibt etwa 800.000 € für industrielle Anlagen mit etwa 500 kg Durchsatz/h an) schrecken österreichische KMUs derzeit dennoch von der Anschaffung eigener Anlagen ab. Man greift aber zunehmend auf Lohnbehandlung in deutschen und holländischen Anlagen zurück, womit HP-behandelte Lebensmittel längst im österreichischen Markt, auch unter der Flagge inländischer Hersteller, verbreitet sind.

Kombinationen

Synergistische Effekte im Sinne einer Erhöhung der MO- und Enzyminaktivierungseffizienz wurden durch Kombination mit Ultraschall etwa für Karottensaft und Apfelsaft aufgezeigt (Jabbar et al., 2014; Abid et al., 2014). Ebenso ist die Nutzung von Hitze zur Abtötung von Sporen in wenig sauren Hochrisikoprodukten geeignet. Diese Methode wird als PATP (*pressure-assisted thermally processing*) bezeichnet (z.B. Bravo et al., 2012). HP kann ferner die Hydrolyse von Proteinisolaten zusätzlich zur enzymatischen Behandlung unterstützen und Hydrolysate mit erhöhtem antioxidativen Potential produzieren (Zhang et al., 2012).



Abb. 4.1.17: Kommerziell erhältlicher, in eine Produktionslinie integrierbarer HP-Teil der Firma Multivac (D)

Mögliche Risiken, Akzeptanz und rechtliche Aspekte

Ein mögliches Risiko der HP-Behandlung besteht darin, dass zwar die Grundregel des „Prinzips des kleinsten Zwanges“ und eine entsprechende Formel zur Berechnung der theoretischen Reaktionskinetik bekannt ist, jedoch nicht explizit geklärt ist, welche Reaktionen nun tatsächlich praktisch gefördert/beschleunigt bzw. gehemmt werden. Insbesondere im Fall der HP-Hitzekombination sind die Effekte des Zusammenspiels zwischen hohem Druck, dem durch diesen induzierten pH-Abfall und hohen Temperaturen nicht hinreichend geklärt. Die Befürchtung, dass die Acrylamidbildung gefördert werden könnte, gilt als widerlegt. Es wurde sogar eine deutliche Absenkung beobachtet (Bravo et al., 2012). Für diverse andere Maillard-Reaktionsprodukte (etwa PAH, heterocyclische Amine und NOC) fehlen derzeit Ergebnisse praktischer Versuche.

Für Sterilisations- und Pasteurisationsaufgaben ist die HPP-Behandlung bei Obst-/Gemüseprodukten (Fruchtzubereitungen, Fruchtsäfte) zugelassen. Sie wird daneben aber auch im Fleischbereich viel genutzt. Bei Konsumentinnen und Konsumenten gilt die HPP unter allen neuartigen Haltbarkeitsverfahren als bestakzeptiertes Verfahren, deutlich vor der Nanotechnologie, und den „elektrisch-/elektromagnetisch generierten Methoden“, sowie „Strahlungsmethoden“. Die wesentlichen Vorteile, „Natürlichkeit“ und gesundheitlicher Zusatznutzen durch Vitamin-/Aromastoffgehalt („Säfte wie frischgepresst“) werden vom Endverbraucher wahrgenommen. Risiken sind nicht bekannt. Damit ist das Verhältnis der wahrgenommenen Benefits zu möglichen Risiken sehr günstig. Die relativ hohe Präsenz (Produkte werden mit dem Verfahren in Zusammenhang gebracht) und die mit der Markteinführung stattgefundene Erklärung des HP-Prinzips dürften dazu einen wesentlichen Beitrag geleistet haben.

Die Möglichkeiten zur Texturierung können sowohl rechtlich als auch hinsichtlich der Akzeptanz derzeit noch nicht eingeschätzt werden. Ob die damit mögliche Produktion von neuen Designermilchprodukten auf Akzeptanz stoßen würde, bleibt daher abzuwarten (neuer „Analogkäseskandal“?)

2.8.2.2. *Thermosonication* (TS)

Ultraschall kann – neben zahlreichen anderen in der Lebensmittelindustrie nutzbaren Möglichkeiten (siehe dazu Kapitel 1.4) – auch zur Inaktivierung von Mikroorganismen und Enzymen zur Haltbarkeitsverlängerung genutzt werden.

Prinzip

Üblicherweise werden Schallwellen im Frequenzbereich von 20 kHz bis 100 kHz verwendet. Diese akustischen Schallwellen rufen Kavitationen im Lebensmittel hervor, es entstehen Luftbläschen, die rasch abfolgende Zyklen der Expansion und des Kollabierens durchlaufen. Dadurch entstehen lokal äußerst hohe Drücke (bis zu 50.000 kPa) und äußerst hohe Temperaturen (bis zu 500° C), die letztlich zur Inaktivierung der MO und Enzyme führen (Schädigung bis Bersten der Zellmembranen, Denaturierung der Proteine etc.). Ein weiterer Wirkmechanismus resultiert aus der Bildung von freien Radikalen, z.B. Hydroperoxidradikalen, die in folgenden, oxidativen Reaktionen keimaktivierend wirken (z.B. Bilek et al., 2013). Die ausschließliche Nutzung von Ultraschall ist allerdings erwiesenermaßen nicht effektiv genug, um die gewünschte Haltbarkeitsverlängerung zu erzielen (Piyasena et al., 2003). Daher arbeitet man zu diesem Zweck im „Hürdenprinzip“, indem Ultraschall mit erhöhter Temperatur (meist 50 – 70° C = Kompromiss Schädigung/Wirkung) kombiniert wird. Die Kombination mit Hochdruck oder sogar die Dreierkombination Ultraschall/Temperatur/Hochdruck sind ebenfalls möglich. Diese Verfahren werden entsprechend mit *Thermosonication* (TS), *Manosonication* (MS) und *Manothermosonication* (MTS) bezeichnet, wobei *Thermosonication* am einfachsten zu realisieren ist und ihr auch die meiste Aufmerksamkeit der Forschung und Industrie zukommt.

Nutzungsrelevanz und Einsatzmöglichkeiten

Der wesentliche Vorteil der *Thermosonication* ergibt sich aus der Tatsache, dass durchschnittlich 20 – 30° C geringere Temperaturen im Vergleich zur ausschließlichen Hitzebehandlung ausreichen, um den identen Keim- und/oder Enzyminaktivierungseffekt zu erzielen. Folglich können temperaturinduzierte Qualitätsverluste verringert werden. In vergleichenden Studien konnte mittels TS gegenüber reiner Hitzebehandlung bei gleicher Temperatur die nötige Zeit für eine definierte Keimreduktion bzw. Enzyminaktivierung um durchschnittlich das 1,5 – 3-fache gesenkt werden (z.B. Cheng et al., 2013; Xin et al., 2013; Ali et al., 2014; Aadil et al., 2015). Die Inaktivierung der gewebsschädigenden bzw. oxidativen (und damit Vitamine, Farb- und Aromastoffe degradierenden) Enzyme PME, PPO, POD, lassen sich bei Temperaturen von etwa 60 – 85° C Zeit- und Material-abhängig zu 90 – 97%, also praktisch auf „wirkungslos“ inaktivieren (z.B. Aadil et al., 2015; Xin et al., 2013). Durch diesen kombinierten Effekt auf haltbarkeitsvermindernde Mikroorganismen und Enzyme konnte beispielsweise die Haltbarkeit von gekühlt gelagertem Karottensaft mittels TS (für 10 min. bei 58°C) von 4 auf 20 Tage verlängert werden (Martinez-Flores et al., 2015). Auch zur Abtötung der pathogenen Keime *E.coli* O157:H7 und *Salmonella enteritidis* erwies sich TS bei Temperaturen von nur 50 – 60° C in Mangosaft als geeignet (Kiang et al., 2012; Lee et al., 2009; Al-Juboory et al., 2012). Während reine Hitzebehandlung erst ab 60° C eine gewisse Wirksamkeit gegenüber pathogenen Keimen entfaltet, ist mit TS bereits bei 40° C ein deutlicher Effekt zu erzielen, wie für *E.coli* in diversen Medien aufgezeigt wurde (Lee et al., 2009). Der verbesserte Qualitätserhalt zeigte sich unter TS-Pasteurisation (58° C, 10 min) in 100%-igem Vitamin C-Erhalt, 98%-igem Carotinoidgehalt und erhöhtem Phenolgehalt bezogen auf unbehandelten Karottensaft (Martinez-Flores et al., 2015). Ebenso resultierte die Methode in einem 97 %-igem Chlorophyllerhalt beim TS-Blanchieren von Blattgemüse (Xin et al., 2013) und in verbessertem Anthocyanerhalt in Erdbeeren bei TS-Behandlung von 3 – 6 min. bei 10 – 60° C gegenüber der klassischen Hitzebehandlung (Dubrovic et al., 2011). In aus TS-pasteurisierter Milch (45°C, 10 min.) hergestellten Joghurts wurde gegenüber herkömmlich produzierten eine verbesserte Wasserhaltekapazität, also geringere Syneräseigung (Maß für den Wasseraustritt, also Phasentren-

nung), beobachtet (Riener et al., 2010). Der Grad der Verbesserung war dabei bei Magerjoghurts besonders hoch, womit TS eine Möglichkeit zur Herstellung fettreduzierter Joghurts/Milchdesserts etc. mit guten Textureigenschaften eröffnet. Als weiteres Anwendungsgebiet wurde die Verringerung von Membranablagerungen bei Membrantrennverfahren identifiziert, womit der Durchsatz in Membrandurchflussverfahren, wie etwa Reversosmose zur Klärung von Apfelsaft, erhöht werden kann (Al-Juboori et al., 2009).

Derzeitiger praktischer Einsatz

Zur Wasserbehandlung sind bereits kommerzielle Systeme wie „Sonoxide™“ (Ashland Inc., 2014) erhältlich, für die Anwendung bei Lebensmittel selbst sind keine industriellen Anlagen bekannt.

Kombinationen

Neben Hochdruck (*Manothermosonication*) wurde für *pulsed-light*/TS sowie die Kombination mit dem Konservierungsmittel Kaliumsorbat sowie dem natürlichen antimikrobiellen Stoff Vanillin eine synergistische Wirkung festgestellt (Munozi et al., 2011; Munozi et al., 2012; Lopez-Maco et al., 2005).

Rechtliche Aspekte und Konsumentenakzeptanz

Die Thermosonication ist bei Lebensmitteln momentan noch nicht industriereif, weshalb sich die Frage der rechtlichen Einordnung nicht stellt. Konsequenterweise würden Fragen ähnlich der Plasmabehandlung, was die unkontrollierbare Bildung freier Radikale angeht, zu stellen sein. In Sachen Konsumentenakzeptanz ist zu vermuten, dass mangels Hintergrundwissen, Ultraschall grundsätzlich als harmlos betrachtet wird.

3. Literatur zu Teil 4

- Abdanan Mehdizadeh S., Minaei S., Karimi Torshizi M.A. and Mohajerani E. (2014): Effect of UV irradiation, sample thickness and storage temperature on storability, bacterial activity and functional properties of liquid egg. *Journal of Food Science and Technology* (article in press)
- Abou-Taleb M. (2007): Effect of combined treatment with electrolyzed NaCl solutions and essential oil compounds on the quality of salmon fillets during cold storage. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry* 2, 54-62
- Aguilo-Aguayo I., Charles F., Renard C.M.G.C., Page D. and Carlin F. (2013): Pulsed light effects on surface decontamination, physical qualities and nutritional composition of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 86, 29-36
- Alberti F., Quaglia, N.C., Spremulli, L., Dambrosio A., Todaro E., Tamborrino C., Lorusso V. and Celano G.V. (2011): *Italian Journal of Food Science* 23, SUPPL., 146-148
- Ali Juus (2015): <http://www.alijuus.com/pef>; Zugriff 01/2015.
- An H.J. and King M. (2006): Pasting properties of ohmically heated rice starch and rice flours. *Journal of Food Science* 71, C440
- Anonym (2005): Geschmacksexplosion im Schokoladenpulver. (www.chemiereport.at/Geschmacksexplosion-im-Schokoladenpulver, Zugriff 13.02.2015)
- Anonym (2006): Reinraumtechnik bei der Lebensmittelherstellung. *Der Lebensmittelbrief* 11/12, 222-223
- Anonym (2013 a): RECAPT: Retailer and consumer acceptance of promising novel technologies and collaborative innovation management. *New Food* 16, 40-41
- Anonym (2014 a): 3D Printing. (www.explainingthefuture.com/3dprinting.html, last update 30th November 2014)
- Anonym (2014 b): Barilla launches 3d printed pasta contest to find their next product. (www.texturally.org/3DPrinting/2014/08/033043.htm)
- Anonym (2014 c): Ultraschall und bessere Tiefkühlkost. (http://cordis.europa.eu/result/rcn/92367_de.html)
- Anonym (2015 a): Food cutting flow waterjet pure water robotics. (www.flowwaterjet.com/en/waterjet-cutting/applications; Zugriff 16.02.2015)
- Anonym (2015 b): KTM waterjet cutting food – produce meats and much more (www.kmtwaterjet.com/videos-kmt-waterjet-cutting-foodproduce.aspx; Zugriff 16.02.2015)
- Aquanova (2015): www.aquanova.de/Product_Range, Zugriff 08.02.2015
- Artiaga G., Ramos K., Ramos L., Cámara C. and Gómez-Gómez M. (2015): Migration and characterisation of nanosilver from food containers by AF-ICP-MS. *Food Chem.* 166, 76-85
- Artiguez, M.L. and Maranon, I.M. (2015): Improved process for decontamination of whey by a continuous flow-through pulsed light system. *Food Control* 47, 599-605
- Askew K. (2014): US: Hershey in „multi-year“ 3D printing initiative. *Aroq-Just Food.com* (Global News) 6/14, 4
- Astley (2011): Pathogen inactivating plasma can lead to double shelf-life –expert. (<http://www.foodproductiondaily.com>; Zugriff 01.02.2015)
- ATB Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (2011): <http://www.atb-potsdam.de>; Zugriff 02.02.2015 01/2015.
- Awad T.S., Moharram H.A., Shaltout O.E., Asker D. and Youssef M.M. (2012): Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research Int.* 48, 410-427.
- Ayadi, M.A., Bouvier, L., Chopard, M. and Leuliet, J.C. (2003): Heat treatment improvement of dairy products via ohmic heating processes: thermal and hydrodynamic effect on fouling. *ECI Digital Archives*, 2003 (<http://dc.engconfintl.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1018&context=heatexchanger>)
- Aymerich T, Picouet P.A. and Monfort J.M. (2007): Decontamination technologies of meat products. *Meat Sciences* 78, 114-129
- Baier, M., Görgen, M., Ehlbeck, J., Knorr, D., Herppich, W.B. and Schlüter, O. (2014): Non-thermal atmospheric pressure plasma: Screening for gentle process conditions and antibacterial efficiency on perishable

- fresh produce. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 22, 147-157
- Baldwin D.E. (2011): Sous vide cooking: A review. *Int. J. Gastronomy and Food Science* 1, 15-30
- Banobre-Lopez M., Rodrigues D., Espina B., Azeredo J. and Rivas J. (2013): Control of bacterial cells growth by magnetic hyperthermia. *IEEE Transactions on Magnetics* 49, 3508-3511
- Barbieri S., Elustondo M. and Urbicain M. (2004): Retention of aroma compounds in basil dried with low-pressure *superheated steam*. *Journal of food engineering* 65, 109-115
- Barbosa-Canovas G.V., Schaffner D.W., Pierson M.D. and Zhang, Q.H. (1993): Oscillating magnetic fields. *Journal of Food Science - SUPPLEMENT*
- Barbosa-Canovas G.V., Zhang Q.H., Pierson M.D. and Schaffner D.W. (1999): High voltage arc discharge. *JFS Supplement: Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies*, 80-81
- Barnatt, C. (2014): 3D Printing. Published by ExplainingTheFuture.com®, ISBN-10: 1-5028-7979-4
- Basaran-Akgul N. and Rasco B.A. (2013): Effect of marination in gravy on the *radio frequency* and microwave processing properties of beef. *Journal of Food Science and Technology* 52, 1-9
- Baysal A.H. and Icier F. (2010): Inactivation kinetics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in orange juice by ohmic heating: Effects of voltage gradient and temperature on inactivation. *Journal of Food Protection* 73, 299-304
- Behbahani M., Bagheri A., Taghizadeh M., Salarian M., Sadeghi O., Adlnasab L. and Jalali K. (2012): Synthesis and characterization of nano structure lead (II) ion-imprinted polymer as new sorbent for selective extraction and preconcentration of ultra trace amounts of lead ions from vegetables, rice, and fish samples. *Food Chem.* 138, 2050-2056
- Bendik, I. Friedel A., Roos F.F., Weber B. and Eggersdorfer M. (2014): Vitamin D: A critical and essential micronutrient for human health. *Front in Physiology* 5, 248
- Bessi H., Debbabi H., Grissa K. and Bellagha S. (2014): Microbial reduction and quality of stored date fruits treated by electrolyzed water. *Journal of Food Quality* 37, 42-49
- Beyer D.L., Jach T., Jerome, R.A. and Debrincat F.P. (1998): Edible products having inorganic coatings. US-Patent 5.471.505.
- Biosuisse (2013): Nanotechnologie-Anwendungen im Lebensmittelbereich am Beispiel von Siliziumdioxid (SiO₂) als E551, E551a, E551b. (<http://www.bio-suisse.ch/de/nanodossier.php>, Zugriff 8.2.2015)
- BLL (2014): Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V. – Nanotechnologie (www.bll.de/print/de/lebensmittel/nanotechnologie, Zugriff 10.10.2014)
- Bockhorst van de Veen H., Xie H., Esveld E., Abee T., Mastwijk H. and Groot M.N. (2015): Inactivation of chemical and heat resistant spores of *Bacillus* and *Geobacillus* by nitrogen cold atmospheric plasma evokes distinct changes in morphology and integrity of spores. *Food Microbiology* 45, 26-33
- Boluda-Aguilar M., Taboada-Rodríguez A., López-Gómez A., Marin-Iniesta F. and Barbosa-Cánovas G.V. (2013), Quick cooking rice by high hydrostatic pressure processing. *LWT – Food Sci. & Techn.* 51, 196-204
- Bonar A. (2014): 3D printed food for the elderly may hit shelves in 2016. (www.foodnavigator.com/content/view/print/979632, Zugriff 21.10.2014)
- Borison R. (2014): From Oreos to Nutella – The latest 3D printed foods are all 100% edible. Business Insider Inc. (www.businessinsider.com/3d-printed-foods-2014-9?IR=T)
- Bozkurt H. and Icier F. (2010): Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality. *Journal of Food Engineering* 96, 481-490
- Bozkurt H. and Icier F. (2012): Ohmic thawing of frozen beef cuts. *Journal of Food Process Engineering* 35, 16-36
- Buckow R., Ng S. and Töpfl S. (2013): Pulsed electric field processing of orange juice: a review on microbial, enzymatic, nutritional and sensory quality and stability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12, 455-467
- Bügener E., Kump A.W.S., Casteel M. and Klein G. (2014): Benefits of neutral electrolyzed oxidizing water as a drink water additive for broiler chicken. *Poultry Science* 93, 2320-2326
- Buonomenna M.G. (2013): Nano enhanced reverse osmosis membranes. *Desalination* 314, 73-88
- Burfoot D., Mulvey E., Jewell K., Foy E. and Howell M. (2015): Effect of electrolysed water on *Campylobacter* numbers on poultry carcasses under practical operating conditions at processing plants. *Food Control* 50,

472-476

Caminti I.M., Noci F., Munoz A., Morgan D.J., Cronin D.A. and Lyng J.G. (2011): Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of an apple and cranberry juice blend. *Food Chemistry* 124, 1387-1392

Can F.O., Demirci A., Puri V. and Gourama H. (2014): Decontamination of hard cheeses by pulsed UV-light. Conference paper, American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual Meeting 2014, 2, 946-961

Cárcel J.A., García-Pérez J.V., Bededito J. and Mulet A. (2012): Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. *J. Food Eng.* 110, 200-2007

Castillo-Santaella T., Sanmartin E., Cabrerizo-Vilchez M.A., Arbolea J.C. and Maldonado-Valderrama J. (2014): Improved digestibility of beta-lactoglobulin by pulsed light processing: a dilational and shear study. *Soft Matter* 10, 9702-9714

Ceigh C.I., Hwang H.J. and Chung M.S. (2013): Intense pulsed light (IPL) and UV-treatments for inactivating *Listeria monocytogenes* on solid medium and seafoods. *Food Research International* 54, 745-752

Cenkowski S., Pronyk C., Zmidzinska D. and Muir W.E. (2007): Decontamination of food products with *superheated steam*. *Journal of Food Engineering* 83, 68-75

Chanamai R. (2007): Microemulsions for use in food and beverage products. WO2007047239 A1

Charcosset C. (2009): Preparation of emulsions and particles by membrane emulsification for the food processing industry. *J. Food Eng.* 92, 241-249

Charles, F., Vidal, V., Olive, F., Filgueiras, H. and Sallanon, H. (2013): Pulsed light treatment as a new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 18, 190-195

Chen C., Michael M., Phebus R.K., Thippareddi H., Subbiah J., Birla S.L. and Schmidt K.A. (2013): Short communication: *Radio frequency* dielectric heating of nonfat dry milk affects solubility and whey protein nitrogen index. *Journal of Dairy Science* 96, 1471-1476

Chiba K. and Takahashi M. (2015): Fantastic properties of nano-bubbles. (<https://staff.aist.go.jp/m.taka/nano-bubble.pdf>; Zugriff 08.02.2015)

Cho K.Y. and Rizvi S.S.H. (2010): New generation of healthy snack food by supercritical fluid extrusion. *J. Food Proc. Preserv.* 34, 191-218

Choudhary R. and Bandla S. (2012): Ultraviolet pasteurization for food industry. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering* 2, 12-15

Chua K.J., Mujumdar A.S. and Chou S.K. (2003): Intermittent drying of bioproducts- an overview. *Bioresource Technology* 90, 285-295

Cooktec (2015): (<http://www.cooktec.com>; Zugriff 03.02.2015)

Craeyveld V. van, Holopainen U., Selinheimo E., Poutanen L., Delcour J.A. and Courtin C.M. (2009): Extensive dry ball milling of wheat and rye bran leads to *in situ* production of arabinoxylan oligosaccharides through nanoscale fragmentation. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 57, 8467-8473

Crattelet J., Ghnimi S., Debreyne P., Zaid I., Boukabache A., Esteve D., Auret L. and Fillaudeau L. (2013): On-line local thermal pulse analysis sensor to monitor fouling and cleaning: Application to dairy product pasteurisation with an ohmic cell jet heater. *Journal of Food Engineering* 119, 72-83

DaRo Ltd (2010): (<http://www.darouv.co.uk>; Zugriff 10.01.2015)

Darvishi H., Hosainpur A., Nargesi F., Khoshtaghaza M.H. and Torang H. (2011): Ohmic processing: Temperature dependent electrical conductivities of lemon juices. *Modern Applied Science* 5, 209-216

Darvishi H., Khoshtaghaza M.H., Zarein M. and Azadbakht M. (2012): Ohmic processing of liquid whole egg, white egg and yolk. *Agricultural Engineering International* 14, 224-230

DATAMONITOR-Consumer (2015): (www.datamonitor.com)

Datta, A.K. and Rakesh, V. (2012): Principles of microwave combination heating. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12, 24-38

De Souza P.M., Müller A., Fernandez A. and Stahl M. (2014): Microbial efficiency in liquid egg products of a UV-C treatment in a coiled reactor. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 21, 90-98

deGroote, Y. (2006): Small Chance. *The World of Food Ingredients*. March, 34-38

DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 1363/2013 DER KOMMISSION vom 12. Dezember 2013 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel im Hinblick auf die Begriffsbestimmung für „technisch hergestellte Nanomaterialien“. EU-Amtsblatt L 275/40, 20.10.2011

Demirdöven A. and Baysal T. (2012): Optimization of ohmic heating applications for pectin methylesterase inactivation in orange juice. *Journal of Food Science and Technology* 49, 1-10

dePaz E., Martin A. and Cocero M.J. (2012): Formulation of β -carotene with soybean lecithin by PGSS. *J. Supercritical Fluids* 72, 125-133

Deutsche Lebensmittelbestrahlungsverordnung (2000): Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen, Neutronen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittelbestrahlungsverordnung - LMBestV) vom 14. Dezember 2000 (BGBl. I S. 1730), geändert zuletzt durch Artikel 7 der Verordnung vom 13. Dezember 2011 (BGBl. I S. 2720)

DFG Senatskommission zur gesundheitlichen Bewertung von Lebensmitteln SKLM (2012): Stellungnahme zum Einsatz von Plasmaverfahren zur Behandlung von Lebensmitteln, 25.05.2012

DIL (2014): <http://www.dil-ev.de>; <http://www.elea-technology.eu>; Zugriff 10.01.2015)

DIL (2015): Forschungsplattform Robotik am Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik, Quakenbrück (www.dil-ev.de/forschung/robotik.html, Zugriff 25.02.2015)

Doymaz I. (2012): Drying of pomegranate seeds using infrared radiation. *Food Science and Technology* 21, 1269-1275

Doymaz I. (2012): Infrared drying of sweet potato slices. *J Food Sci Technology* 49, 760-766

Doymaz I. (2014): Infrared drying of button mushroom slices. *Food Science and Biotechnology* 23, 723-729

Düsmen E., De Almeida I.V., Lucchetta L. and Vicentini V.E.P. (2014): Effect of processing, post-harvest irradiation and production system on the cytotoxicity and mutagenicity of *Vitis labrusca* L. juices in HTC cells. *PLoS ONE* 9(9):e107974

Echegoyen Y. and Nerin C. (2013): Nanoparticle release from nano-silver antimicrobial food containers. *Food Chem. Toxicol.* 62, 16-22

EFSA CEF Panel (2014): Panel on Food Contact Materials, Flavourings and Processing Aids, 2014. Statement on the safety assessment of the substance silicon dioxide, silanated, FCM Substance No 87 for use in food contact materials. *EFSA Journal* 2014;12(6):3712, 7pp. d

EHEDG (2004): Gestaltungskriterien für hygienegerechte Maschinen, Apparate und Komponenten. Doc 8, 2. Auflage, April 2004 (http://www.ehedg.org/uploads/DOC_08_D_2004.pdf)

El-Mesery H.S. and Mwithiga G. (2014): Performance of a convective, infrared and combined infrared-convective heated conveyor-belt dryer. *Journal of Food Science and Technology* (DOI 10.1007/s13197-014-1347-1, 1-10)

Engchuan W., Jittanit W. and Garnjanagoonchorn W. (2014): The ohmic heating of meat ball: Modellig and quality determination. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 23, 121-130

Erfanian A., Mirhosseini H., Abd Manap M. Y., Rasti B. and Bejo, M. (2014): Influence of nano-size reduction on absorption and bioavailability of calcium from fortified milk powder in rats. *Food Research Int.* 66, 1-11

Euromonitor (2013): <http://www.euromonitor.com/microwaves>; Zugriff 10.01.2015)

Euromonitor International (2008-2013): Country report: Microwaves in Austria.

Europäische Kommission (2010): Europeans and Biotechnology in 2010. Winds of change?

Europäische Kommission (2011): Empfehlung der Kommission vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien. Amtsblatt der EU L275/38

Europäische Kommission (2013): Vorschlag für Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über neuartige Lebensmittel. COM (2013) 894 final – 2013/0435 (COD), 18.12.2013

FABCO Technologies (1998): PulsePower disinfects fresh juices, extends shelf-life. *Food Eng.* 10, 47-50

Falguera V., Quintero J.P., Jimenez A., Munoz J.A. and Ibarz A. (2011): Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology* 22, 292-303

FDA (Food and Drug Administration) (1996): Code of Federal Regulations (CFR) Title 21 Part 179. Irradiation in the production, processing and handling of food. Office of the Federal Register, US Government Printing

Office, Washington DC. FDA 21CFR179.41.

FDA (Food and drug Administration) (2014): Safe Practices for food process.

(www.fda.gov/food/foodscienceresearch/safepracticesforfoodprocesses.htm; Zugriff 10.09.2014)

Felke K., Pfeiffer T., Eisner P. and Schweiggert U. (2011): *Radio-frequency* heating: A new method for improved nutritional quality of tomato puree. *Agro Food Industry High-Tech* 22, 29-32

Fernandez A., Noriega E. and Thompson A. (2013): Inactivation of *Salmonella enterica* serovar typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. *Food Microbiology* 33, 24-29

Fernandez M., Ganan M., Guerra C. and Hierro E. (2014): Protein oxidation in processed cheese slices treated with pulsed light technology. *Food Chemistry* 159, 388-390

Ferrentino G., Balzan S., Dorigato A., Pegoretti A. and Spilimbergo S. (2012): Effect of supercritical carbon dioxide pasteurization on natural microbiota, texture, and microstructure of fresh-cut coconut. *J. Food Sci.* 77, 137-143

Fiore A., Di Monaco R., Cavella S., Visconti A., Karneili O., Bernhardt S. and Fogliano V. (2013): Chemical profile and sensory properties of different foods cooked by a new radiofrequency oven. *Food Chemistry* 139, 515-520

Fraunhofer IGB (2012): Überhitzter Dampf trocknet Lebensmittel. Presseinformation Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB.

Fraunhoferinstitut TEG (2015): Mit Wasserdampf trocknen.

<http://www.chemlin.de/news/jul05/2005071801.htm> (2005); Zugriff 12.01.2015)

Fries R., Greßler S., Simkó M., Gázsó A., Fiedeler U. und Nentwich M. (2009): Nanosilber. Nr. 10, April 2009

Gachovska T., Cassada D., Subbiah J., Hanna M., Thippareddi H. and Snow D. (2010): Enhanced anthocyanin extraction from red cabbage using pulsed electric field processing. *Journal of Food Science* 75, 323

Ganan M., Hierro E., Hospital X.F., Barroso E. and Fernandez M. (2013): Use of pulsed light to increase the safety of ready-to-eat cured meat products. *Food Control* 32, 512-517

Garcia-Gonzalez L., Geeraerd A.H., Spilimbergo S., Elst K., Van Ginneken L., Debevere J., Van Impe J.F. and Devlieghere F. (2007): High pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms in foods: The past, the present and the future. *Int. J. Food Microbiology* 117, 1-28

Gaskell G., Stares S., Allansdottir A., Allum N., Castro P., Esmer Y., Fischler C., Jackson J., Kronberger N., Hampel J., Mejlgaard N., Quintanilha A., Rammer A., Revuelta G., Stoneman P., Torgersen H. and Wolfgang Wagner (2010): Europeans and biotechnology in 2010. Winds of change? A report to the European Commission's Directorate-General for Research, October 2010

Gavashian M., Farahnaky A., Majzoobi M., Javidnia K., Saharkhiz M.J. and Mesbahi G. (2011): Ohmic-assisted hydrodistillation of essential oils from *Zataria multiflora* Boiss (Shirazi thyme). *Food Science and Technology* 46, 2619-2627

Gayan E., Garcia-Gonzalo D. and Condon A.S. (2014): Resistance of *Staphylococcus aureus* to UV-light and combined UV-heat treatments at mild treatments. *International Journal of Food Microbiology* 172, 30-39

Gaytan-Martinez M., Figueroa J.D.C., Morales-Sanchez E., Vazquez-Landaverde P.A. and Martinez-Flores H.E. (2011): Physicochemical properties of masa and corn tortilla made by ohmic heating. *African Journal of Biotechnology* 10, 16028-16036

Ge Z., Ding T., Xu Y. and Liu D. (2014): The application of ultrasound, slightly acidic electrolyzed water (SAEW) in the preservation of cherry tomatoes. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology* 14, 149-154

GEA Process Engineering (2015): (www.barrosin/technologies/superheated_steam_drying_ssd.asp; Zugriff 15.01.2015)

Gessner B.D. and Beller M. (1994): Protective effect of conventional cooking versus use of microwave ovens in an outbreak of salmonellosis. *Am J Epidemiol* 139, 903-909

Gomez P.I., Garcia-Loredo A., Nieto A., Salvatori D.M., Guerrero S. and Alzamora S.M. (2012): Effect of pulsed-light combined with an anti-browning pretreatment on quality of fresh apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 16, 102-112

Gomez-Lopez V.M., Ragaert P., Debevere J. and Devlieghere F. (2007): Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends in Food Science and Technology* 18, 464-473

Gouin S. (2004): Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in*

Food Science and Technology 15, 330-347

Gouma M., Alvarez I., Condon S. and Gayan E. (2014): Modelling microbial inactivation kinetics of combined UV-H treatments in apple juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 27, 111-120

Greßler S., Gazsó A., Simkó M., Nentwich M. und Fiedeler U. (2008): Nanopartikel und nanostrukturierte Materialien in der Lebensmittelindustrie. Nano Trust Dossier Nr. 4, Mai 2008.

Grobe A. and Rissanen M.E. (2012): Nanotechnologies in agriculture and food – an overview of different fields of applications, risk assessment and public perception. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture* 4, 176-186

Guo Q., Piyasena P., Mittal G.S., Si W. and Gong J. (2006): Efficiency of *radio frequency* cooking in the reduction of *Escherichia coli* and shelf life stability of ground beef. *Food Microbiology* 23, 112-118

Gurol C., Ekinci F.Y., Aslan N. and Korachi M. (2012): Low temperature plasma for decontamination of *E. coli* in milk. *International Journal of Food Microbiology* 157, 1-5

Gurtler J.B., Bailey R.B., Gevecke D.J. and Zhang H.Q. (2011): Pulsed electric field inactivation of *E. coli* O157:H7 and non-pathogenic surrogate *E. coli* in strawberry juice as influenced by sodium benzoate, potassium sorbate and citric acid. *Food Control* 22, 1689-1694

Ha J. W., Kim S.Y., Ryu S.R. and Kang D.H. (2013): Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and *Escherichia coli* O157: H7 in peanut butter cracker sandwiches by *radio-frequency* heating. *Food Microbiology* 34, 145-150

Ha J.W. and Kang D.H. (2013): Simultaneous near-infrared radiant heating and UV radiation for inactivating *E. coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar typhimurium in powdered red pepper. *Applied and Environmental Microbiology* 79, 6568-6575

Harten U. (2006): Slicing with water jet. *Sugar Industry/Zuckerindustrie* 131, 698-703

Hati S., Mandal S., Minz P.S., Vij S., Khetra Y., Singh B.P. and Yadav D. (2012): Electrolyzed oxidized water: Non-thermal approach for decontamination of food borne microorganisms in food industry. *Food and Nutrition Sciences* 3, 760-768

Hayes J.C., Laffey J.G., McNeil B. and Rowan N.J. (2012): Relationship between growth of food-spoilage yeast in high-sugar environments and sensitivity to high-intensity pulsed UV-light irradiation. *Food Science and Technology* 47, 1925-1934

He X., Liu R., Tatsumi E., Nirasawa S. and Liu H. (2014): Factors affecting the thawing characteristics and energy consumption of frozen pork tenderloin meat using high-voltage electrostatic field. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 22, 110-115

Head D.S., Cenkowski S., Holley R. and Blank G. (2008): Effects of *superheated steam* on *Geobacillus stearothermophilus* spore viability. *Journal of Applied Microbiology* 104, 1213-1220

Heinz V., Töpfl S. and Knorr D. (2003): Impact of temperature on lethality and energy efficiency of apple juice pasteurization by pulsed electric fields treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 4, 167-175

Heinrich V., Zunabovic M., Varzakas T., Bergmair J. and Kneifel W. (2015): Pulsed Light Treatment of Different Food Types with a Special Focus on Meat: A Critical Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, DOI: 10.1080/10408398.2013.826174

Heraeus Noblelights (2015): (http://www.heraeusnoblelight.com/de/products_1/infrarot_1/infrared_products.aspx; Zugriff 13.01.2015)

Hertwig C., Reineke K., Ehlbeck J., Erdogdu B., Rauh C. and Schlüter O. (2015): Impact of remote plasma treatment on natural microbial load and quality parameters of selected herbs and spices. *Journal of Food Engineering* (article in press)

Hicasmaz Z., Dogan E., Chu C. and Rivzi S.S.H. (2003): Leavened dough processing by supercritical fluid extrusion (SCFX). *J. Agric. Food Chem.* 51, 6191-6197

Hierro E., Ganan M., Barroso E. and Fernandez M. (2012): Pulsed light treatment for the inactivation of selected pathogens and the shelf-life extension of beef and tuna carpaccio. *International Journal of Food Microbiology* 158, 42-48.

Hill A. (1997): Microwave ovens. ILSI Europe Concise Monograph Series (ISBN 0-944398-86-3)

Hirth T. (2014): Trocknung mit überhitztem Dampf bei Atmosphärendruck. Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB.

- Hong H.J., Kim A.J., Park H.R. and Shin J.K. (2013): Changes in physicochemical properties of paprika by intense pulsed light treatment. *Korean Journal of Food Science and Technology* 45, 339-344
- Horagai Y., Hung L.H., Kimura Y. and Adachi S. (2008): Decomposition and discoloration kinetics of L-ascorbic acid powders in *superheated steam*. *LWT-Food Science and Technology* 41, 2113-2117
- Hosainpur A., Darvishi H., Nargesi F. and Fadavi A. (2014): Ohmic pre-drying of tomato paste. *Food Science and Technology International* 20, 193-204
- Huang L and Sites J. (2010): New automated microwave heating process for cooking and pasteurization of microwaveable foods containing raw meats. *JFS: Food engineering and physical properties, Journal of Food Science* 75, 110-115
- Huang T.C., Ho C.T. and Fu H.Y. (2004): Inhibition of lipid oxidation in pork bundles processing by *superheated steam* frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 2924-2928
- Huang Y. and Chen H. (2014): A novel water-assisted pulsed light processing for decontamination of blueberries. *Food Microbiology* 40, 1-8
- Hüser T. (2012): Effiziente Lebensmitteltrocknung mit überhitztem Wasserdampf. Prozess Vogel (press release)
- Hüser T. (2012): Heißdampf anstatt heißer Luft. Prozess Vogel (press release)
- Icier F. and Tavman S. (2006): Ohmic heating behaviour and rheological properties of ice cream mixtures. *International Journal of Food Properties* 9, 679-689
- Iyota H., Konishi Y., Yoshida K., Nishimura N., Nomura T. and Yoshida M. (2003): Drying of carbohydrate food in *superheated steam* and hot air – characteristics of coloring of potato slice surfaces. *Kagaku Kogaku Ronbunshu* 29, 94-99
- Jafari S.M., Yinghe H. and Bhandari B. (2007): Production of sub-micron emulsions by ultrasound and microfluidization techniques. *J. Sci. Food Eng.* 82, 478-488
- Jäger H., Schulz A., Karapetkov N. and Knorr D. (2009): Protective effect of milk constituents and sublethal injuries limiting process effectiveness during PEF inactivation of *Lb. rhamnosus*. *International Journal of Food Microbiology* 134, 154-161
- Jahid I.K., Han N., Zhang C.Y. and Ha S.D. (2015): Mixed culture biofilms of *Salmonella typhimurium* and cultivable indigenous microorganisms on lettuce show enhanced resistance of their sessile cells to cold oxygen plasma. *Food Microbiology* 46, 383-394
- Jakob A., Bryjak J., Wojtowicz H., Illeova V., Annus J. and Polakovic M. (2010): Inactivation kinetics of food enzymes during ohmic heating. *Food Chemistry* 123, 369-376
- James C., Reitz B. and James S.J. (2014): The freezing characteristics of garlic bulbs (*Allium sativum* L.) frozen conventionally or with the assistance of an oscillating weak magnetic field. *Food and Bioprocess Technology* 8, 702-708
- Jean J., Morales-Rayas R., Anoman M.N. and Lamhoujeb S. (2011): Inactivation of hepatitis A virus and norovirus surrogate in suspension and on food-contact surfaces using pulsed UV-light. *Food Microbiology* 28, 568-572
- Jeong S.G. and Kang D.H. (2014): Influence of moisture content on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* in powdered red and black pepper spices by *radio-frequency* heating. *International Journal of Food Microbiology* 176, 15-22
- Jiang W., Chen X., Niu Y. and Pan B. (2012): Spherical polystyrene-supported nano Fe₃O₄ of high capacity and low-field separation for arsenate removal from water. *J. Hazardous Material* 243, 319-325
- Jiao Y., Tang J. and Wang S. (2014): A new strategy to improve heating uniformity of low moisture foods in *radio frequency* treatment for pathogen control. *Journal of Food Engineering* 141, 128-138
- Jin Y., Hengl N., Baup S., Pignon F., Gondrexon N., Maguin A., Sztucki M., Naraynan T., Michot L. and Cabane B. (2014): Effects of ultrasound on colloidal organization at nanometer length scale during cross-flow ultrafiltration probed by in-situ SAXS. *J. Membrane Science* 453, 624-635
- Jones P.L. (1985): Dielectric heating in food industry. *IEE colloquium (digest)*, 1985/86, 1.1-1.2
- Jones Soda (2015): (<http://www.jonessoda.com/jones-candy/jones-soda-electric-lemonade-sour-candy.html>, Zugriff 08.02.2015)
- Jumah R. (2005): Modelling and simulation of continuous and intermittent *radio-frequency* assisted fluidized bed drying of grains. *Food and Bioprocess Processing* 83, 203-210

- Jun S., Sastry S. and Samaranayake C. (2007): Migration of electrode components during ohmic heating of foods in retort pouches. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8, 237-243
- Kadoma T., Kishimoto T., Tanaka M. and Takami S. (2005): Development of healthy cooking technology with *superheated steam*. *Shapu Giho/Sharp Technical Journal* 91, 40-44
- Kadoma T., Sakai N., Nakado C., Fukuoka M. and Takami S. (2006): Water and oil transfer in meat during the *superheated steam* cooking. *Shapu Giho/Sharp Technical Journal* 94, 10-15
- Kaiya K., Lapinskas S., Gudelis V. and Luksiene Z. (2012): Effective inactivation of food pathogens *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* by combined treatment of hypericin-based photosensitization and high power pulsed light. *Journal of Applied Microbiology* 112, 1144-1151
- Kalares M.D., Beelman R.B. and Elias R.J. (2011): Effects of postharvest pulsed UV light treatment of white button mushrooms on Vitamin D2 content and quality attributes. *J. Agric. Food Chem.* 60, 220-225
- Kannan S., Dev S.R.S., Gariep Y. and Vijaya Raghavon G.S. (2013): Effect of radiofrequency heating on the dielectric and physical properties of eggs. *Progress in Electromagnetics Research* 51, 201-220
- Kantrong H., Tansakul A. and Mittal G.S. (2012): Drying characteristics and quality of shitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared-drying. *Journal of Food Science and Technology* 49, 1-15.
- Karimi F. (2010): Applications of *superheated steam* for the drying of food products (Review). *International Agrophysics* 24, 195-204
- Khayankarn S., Uthaibutra J., Setha S. and Whangchai K. (2013): Using electrolyzed oxidizing water combined with an ultrasonic wave on the postharvest diseases control of pineapple fruit. *Crop Protection* 54, 43-47
- Kim M.J., Lee J.H. and Lee J.S. (2014): Effect of ultraviolet-B irradiation on antioxidative properties of aqueous extracts from shiitake mushrooms. *International Journal of Food Science and Technology* 49, 2276-2282
- Kintsel (2013): Vielseitig einsetzbar: Mikrowellentechnik in der Lebensmittelindustrie. 3. März, 2013. <http://www.linn-high-therm.de; Zugriff 14.01.2015>
- Kintsel N. (2013): Vielseitig einsetzbar: Mikrowellentechnik in der Lebensmittelindustrie. *Verfahrenstechnik* 3/2013, 2-3
- Kirmaci B. and Singh R.K. (2012): Quality of chicken breast meat cooked in a pilot-scale *radio frequency oven*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 14, 77-84
- Kocabiyik H. and Tezer D. (2009): Drying of carrot slices using infrared-radiation. *International Journal of Food Science and Technology* 44, 953-959
- Kocadagli T., Koray Palazoglu T. and Gökmen V. (2012): Mitigation of acrylamide formation in cookies by using Maillard reaction products as recipe modifier in a combined partial conventional baking and *radio-frequency* post-baking process. *European Food Research and Technology* 235, 711-717
- Koch R.-R. (2009): Designed for cleanability: Hygienic design enclosure meets high demands of the food industry. *Trends in Science and Food Technology* 20, 53-56
- Koutchma T. (2008): UV light processing foods. *IUVA News* 10, 24-29
- Kozanoglu B., Vazquez A.C., Chanes J.W. and Patino J.L. (2006): Drying of seeds in a *superheated steam* vacuum fluidized bed. *Journal of Food Engineering* 75, 383-387
- Kraus S., Rother M., Steimle P., Gaukel V., Schuchmann H.P. and Merk D. (2011): Modularer Trocknungsprozessor zur Anwendung kombinierter Trocknungsverfahren. *Chemie Ingenieur Technik* 83, 888-892
- Krishnamurthy K., Jun S., Irudayaraj J. and Demirci A. (2008): Efficiency of infrared heat treatment for inactivation of *Staphylococcus aureus* in milk. *Journal of Food Process Engineering* 31, 798-816
- Krishnamurthy K., Khurana H.K., Jun S., Irudayaraj J. and Demirci A. (2008): Infrared heating in food processing: An Overview. *Comprehensive reviews in food science and food safety* 7, 2-13
- Kühn J., Schutkowski A., Hirche F., Baur A.C., Mielenz N. and Stangl G.I. (2014): Non-linear increase of vitamin D content in eggs from chicks treated with increasing exposure times of ultraviolet light. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 148, 7-13
- Lack E., Weidner B.Z., Knez C.S., Grüner D.B., Weinreich D.H. and Seidlitz A. (2005): Particle generation with supercritical CO₂. (www.natex.at/download/CPF-PGSS-article.pdf)
- Lacombe A., Niemira B.A., Gurtler J.B., Fan X., Sites J., Boyd G. and Chen H. (2015): Atmospheric cold plas-

- ma inactivation of anaerobic microorganisms on blueberries and effect on quality attributes. *Food Microbiology* 46, 479-484
- Lane K.E., Weilli L., Smith C. and Derbyshire E. (2014): The bioavailability of an omega-3-rich algal oil is improved by nanoemulsion technology using yoghurt as a food vehicle. *Int. J. Food Sci. and Techn.* 49, 1264–1271
- Lasagabaster A. and Maranon I.M. (2014): Survival and growth of *Listeria innocua* treated by pulsed light technology: Impact of post-treatment temperature and illumination conditions. *Food Microbiology* 41, 76–81.
- Lee N.Y., Kim N.H., Jang I.S., Jang S.H., Lee S.H., Hwang I.G. and Rhee M.S. (2014): Decontamination efficiency of neutral electrolyzed water to eliminate indigenous flora on a large-scale of cabbage and carrot both in the laboratory and on a processing line. *Food Research International* 64, 234-240
- Lee S.Y., Ryu S. and Kang D.H. (2013): Effects of frequency and waveform on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar *typhimurium* in salsa by ohmic heating. *Applied and Environmental Microbiology* 79, 10-17
- Lee S.Y., Sagong H.G., Ryu S. and Kang D.H. (2012): Effect of continuous ohmic heating to inactivate *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in orange juice and tomato juice. *Applied Microbiology* 112, 723-731
- Lemmens L., Tibäck E., Svelander C., Smout C., Ahrne L., Langton M., Alminger M., Van Loey A. and Hendricks M. (2009): Thermal pretreatments of carrot pieces using different heating techniques: Effect on quality related aspects. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10, 522-529
- Li X., Pan Z., Atungulu G.G., Zheng X., Wood D., Delwiche M. and McHugh T.H. (2014): Peeling of tomatoes using novel infrared radiation heating technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 21, 123-130
- Li Y., Chen Z. and Mo H. (2007): Effects of pulsed electric fields on physicochemical properties of soybean protein isolates. *LWT - Food Science and Technology* 40, 1167-1175
- Li Y.B., Seyed-Yagoobi J., Moreira R. and Yamasengsung R. (1999): *Superheated steam* impingement drying of tortilla chips. *Drying Technology* 17, 191-213
- Linsberger-Martin, G.; Lukasch, B. and Berghofer, E. (2011): Effects of high hydrostatic pressure on the RS content of amaranth, quinoa and wheat starch. *Starch/Stärke*, 00, p 1-9.
- Lipiec J., Janas P. and Barabasz W. (2004): Effect of oscillating magnetic field pulses on the survival of selected microorganisms. *Int. Agrophysics* 18, 325-328
- Lipson H. and Kurman M. (2013): *Fabricated – The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-1-118-35063-8
- Liu Y., Tang J., Mao Z., Jae-Hyung M. and Wang S. (2009): Comparison between combined *radio frequency* and hot air treatment and hot air treatment on bread fresh-keeping. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 25, 323-328.
- Lloyd D.M., Norton I.T. and Spyropoulos F. (2014): Processing effects during rotating membrane emulsification. *Journal of Membrane Science* 466, 8-17
- Lorca T.A., Claus J.R., Eifert J.D., Marcy J.E. and Sumer S.S. (2003): Penetration of surface-inoculated bacteria as a result of electrically generated hydrodynamic shock wave treatment of boneless skinless chicken breasts. *The Journal of Poultry Science* 82, 1205–1210
- Lorca, T., Claus, J., Eifert, J. and Sumer, S. (2002): Effects of explosively-generated hydrodynamic shock wave treatments on the microbial flora of beef, steaks, ground beef and *Listeria innocua*. *Appl. Environ. Microbiol.* (<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-07292002-153950/unrestricted/applenviro-micro.pdf>)
- Lorca, T.A., Claus, J.R., Eifert, J.D., Marcy, J.E. and Sumer, S.S. (2002): Effects of electrically-generated hydrodynamic shock waves on the microbial flora of ground beef. (<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-07292002-153950/unrestricted/jfoodscience>)
- Lucchesi M.E., Chemat F. and Smadja J. (2004): Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydrodistillation. *Journal of Chromatography A* 1043, 323-327
- Luksiene Z., Buchovec I. and Viskelis P. (2013): Impact of high-power pulsed light on microbial contamination, health promoting components and shelf life of strawberries. *Food Technology and Biotechnology* 51, 284-292

- Luksiene Z., Buchovec I., Kaiyrte K., Paskeviciute E. and Viskelis P. (2012): High-power pulsed-light for microbial decontamination of some fruits and vegetables with different surfaces. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 10, 162-167
- Lyndhurst B. (2009): An evidence review of public attitudes to emerging food technologies. Social Science Research Unit Food Standards Agency (UK), March 2009
- Macias-Rodriguez B., Yang W., Schneider K. and Rock C. (2014): Pulsed UV light as a postprocessing intervention for decontamination of hard-cooked peeled eggs. *International Journal of Food Science and Technology* 49, 2472-2480
- Maftai N.A., Ramos-Villarroel A.Y., Nicolau A.I., Martin-Belloso O. and Soliva-Fortuny R. (2013): Pulsed light inactivation of naturally occurring moulds on wheat grain. *J. Sci. Food Agric.* 94, 721-726
- Manzocco L., Panozzo A. and Nicoli M.C. (2013): Inactivation of polyphenoloxidase by pulsed light. *Journal of Food Science* 78, E1183-E1187
- Marcelo Coelho Studio (2015): Digital Chocolatier Prototype (www.cmarcelo.com/cornucopia, Zugriff 10.02.2015)
- Marra F., Zhang L. and Lyng J.G. (2009): *Radio frequency* treatment of foods: Review of recent advances. *Journal of Food Engineering* 91, 497-508
- Martinez-Hernandez G.B., Navarro-Rico J., Gomez P.A., Oton M., Artes F. and Artes-Hernandez F. (2015): Combined sustainable sanitising treatment to reduce *Escherichia coli* and *Salmonella enteritidis* growth on fresh-cut kailan-hybrid broccoli. *Food Control* 47, 312-317
- Massier S., Bouffartigues E., Rince A., Maillot O., Feuilloley M.G.J., Orange N. and Chevalier S. (2013): Effects of pulsed-light induced stress on *Enterococcus faecalis*. *Journal of Applied Microbiology* 114, 186-195
- Max Planck Gesellschaft (2011): Kaltes Plasma beseitigt EHEC-Bakterien. <http://www.mpg.de>; Zugriff 01/2015.
- Meneses N., Jäger H. and Knorr D. (2011): Minimization of thermal impact by application of electrode cooling in a co-linear PEF treatment chamber. *Journal of Food Science* 76, E536-E543
- Mercali G.D., Jaeschke D.P., Tessaro I.C. and Marczak L.D.F. (2013): Degradation kinetics of anthocyanins in acerola pulp: Comparison between ohmic and conventional heat treatment. *Food Chemistry* 136, 853-857
- MICROFLUIDICS (2015): How It Works: Particle Size Reduction. (<http://www.microfluidicscorp.com/our-technology/how-it-works>, Zugriff 20.02.2015)
- MICROPAST (2015): A new high-speed method revolutionises the world of pasteurisation (<http://www.micropast.com/kaltgasinjektion.html>, Zugriff 22.2.2015)
- Miller B.M., Sauer A. and Moraru C.I. (2012): Inactivation of *Escherichia coli* in milk and concentrated milk using pulsed-light treatment. *Journal of Dairy Science* 95, 5597-5603
- Misra N.N., Kaur S., Tiwari B.K., Kaur A., Singh N. and Cullen P.J. (2015). *Food Hydrocolloids* 44, 115-121
- Misra N.N., Moiseev T., Patil S., Pankaj S.K., Bourke P., Mosnier J.P., Keener K.M. and Cullen P.J. (2014): Cold plasma in modified atmospheres for post-harvest treatment of strawberries. *Food and Bioprocess Technology* 7, 3045-3054
- Misra, N.N., Keener, K.M., Bourke, P., Mosnier, J.P. and Cullen, P.J. (2014): In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 118, 177-182
- Molina B., Saez M.I., Martinez T.F., Guil-Guerrero J.L. and Suarez M.D. (2014): Effect of ultraviolet light treatment on microbial contamination, some textural and organoleptic parameters of cultured sea bass fillets. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (article in press)
- Möller M., Eberle U., Hermann A., Moch K. und Stratmann B. (2009): Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel. VDF Hochschulverlag AG, ETH Zürich
- MONDI (2015): The best of two innovations: Mondi packaging flexibles presents NeoSteam™ MAP (<http://www.mondigroup.com/PortalData/1/Resources/newsroom/NeoSteamMAPEN.pdf>; Zugriff 22.2.2015)
- Moreira R.G. (2001): Impingement drying of foods using hot air and *superheated steam*. *Journal of Food Engineering* 49, 291-295
- Müller N. (2011): Nanoenhanced membranes for improved water treatment. *ObservatoryNANO Briefing* No. 16, June 2011

- Nair G.R., Divya V.R., Prasannan L., Habeeba V., Prince M.V. and Raghavan G.S.V. (2012): Ohmic heating as a pretreatment in solvent extraction of rice bran. *Journal of Food Science and Technology* 51, 1-7
- NANOPINION (2015): Monitoring public opinion on Nanotechnology in Europe (http://results.nanopinion.eu/download/nanopinion_D6_Report_on_comparative_data.pdf; Zugriff 30.05.2015)
- Nasabi M., Labbafi M., Nezhad M.H., Kanmohammadi M. and Garmarudi A.B. (2012): Investigation of TiO₂ nanoparticle efficiency on decolourisation of industrial date syrup. *International Journal of Food Science & Technology* 48, 316–323
- Nedovic V., Kalusevic A., Manojlovic V., Levic S. and Bugarski B. (2011): An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science* 1, 1806-1815
- Nelson S.O. and Trabeisi S. (2009): Influence of water content on RF and microwave dielectric behavior of foods. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 43, 65-70
- Neoplas Tools GmbH (2011): <http://www.neoplas-tools.eu>; Zugriff 01/2015.
- Nesterenko A., Alric I., Silvestre F. and Durrieu V. (2013): Vegetable proteins in microencapsulation: A review of recent interventions and their effectiveness. *Industrial Crops and Products* 42, 469-479
- Nguyen L.T., Choi W., Lee S.H. and Jun S. (2013): Exploring the heating patterns of multiphase foods in a continuous flow, simultaneous microwave and ohmic combination heaters. *Journal of Food Engineering* 116, 65-71
- Niamnuy C., Nachaisin M., Laohavanich J. and Devahastin S. (2011): Evaluation of bioactive compounds and bioactivities of soybean dried by different methods and conditions. *Food Chemistry* 129, 899-906
- Nielsen H., Sonne A.M., Grunert K.G., Banati D., Pollak-Toth A. and Lakner Z. (2009): Consumer perception of the use of high-pressure processing and pulsed-electric-field technologies in food production. *Appetite* 52, 115-126
- Niemira B. A. (2012): Cold plasma reduction of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on almonds using ambient pressure gas. *Journal of Food Science* 77, M171–M175
- Ning X. and Han C. (2013): Drying characteristics and quality of taeguk ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) using far-infrared rays. *Food Science and Technology* 48, 477-483
- Ning X., Han C., Cho S., Lee J. and Yoon S. (2013): Far-infrared drying characteristics and quality assessment of *Ligularia fischeri*. *Food Science and Technology* 22, 281-288
- Nowak D. and Lewicki P.P. (2005): Quality of infrared dried apple slices. *Drying Technology* 23, 831-846
- ÖAW, 2015: Nano-Trust-Dossiers. Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (<http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers>)
- Ochoa-Velasco C.E., Cruz-Gonzalez M. and Guerrero-Beltram J.A. (2014): Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* in coconut milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (article in press)
- Odriozola-Serrano I., Aguilo-Aguayo I., Soliva-Fortuny R. and Martin-Belloso O. (2013): Pulsed electric fields processing effects on quality and health-related constituents of plant-based foods. *Trends in Food Science and Technology* 29, 98-107
- Ohlsson T. (1994): Minimal processing-preservation methods of the future. *Trends in Food Science and Food Technology* 5, 341-344
- Olsen N.V., Grunert K.G. and Sonne A.M. (2010): Consumer acceptance of high-pressure processing and pulsed-electric-field: a review. *Trends in Food Science and Technology* 21, 464-472
- Ongeng D., Devlieghere F., Debevere J., Coosemans J. and Ryckeboer J. (2006): The efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivating spoilage microorganisms in process water and on minimally processed vegetables. *Journal of Food Microbiology* 109, 187-197
- Österr. Bestrahlungsverordnung (2000): 327. Verordnung der Bundesministerin für soziale Sicherheit und Generationen über die Behandlung von Lebensmitteln und Verzehrsprodukten mit ionisierenden Strahlen. BGBl. 2000/237
- Österreichisches Lebensmittelbuch (2007): Codexkapitel B 1 - Trinkwasser, IV. Auflage, Veröffentlicht mit Geschäftszahl: BMGFJ-75210/0009-IV/B/7/2007 vom 15.6.2007
- Österreichisches Lebensmittelbuch (2013): Codexkapitel A 5 - Kennzeichnung, Aufmachung Abschnitt Lagerbedingungen, IV. Auflage, Veröffentlicht mit Geschäftszahl: BMG-75210/0010-II/B/13/2013 vom

10.9.2013

Pan Z., Atungulu G. and Li X. (2013): Infrared heating. Resource: Engineering and Technology for Sustainable World 20, 14-17

Pan Z., Shih C., McHugh T.H. and Hirschberg E. (2008): Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. LWT- Food Science and Technology 41, 1944-1951

Pankaj S.K., Bueno-Ferrer C., Misra N.N., O'Neill L., Tiwari B.K., Bourke P. and Cullen P.J. (2014): Physico-chemical characterization of plasma-treated sodium caseinate film. Food Research International 66, 438-444

Pankaj S.K., Misra N.N. and Cullen P.J. (2013): Kinetics of tomato peroxidase inactivation by atmospheric pressure cold plasma based on dielectric barrier discharge. Innovative Food Science and Emerging Technologies 19, 153-157

Park S.H., Balasubramaniam V.M. and Sastry S.K. (2014): Quality of shelf-stable low-acid vegetables processed using pressure-ohmic thermal sterilization. LWT- Food Science and Technology 57, 243-252

Pascual-Pineda L.A., Flores-Andrade E., Jiménez-Fernández M. and Beristain C.I. (2015): Kinetic and thermodynamic stability of paprika nanomeulsions. Int. J. Food Sci. Techn. doi:10.1111/ijfs.12750

Pataro G., Donsi G. and Ferrari G. (2011): Aseptic processing of apricots in syrup by means of a continuous pilot scale ohmic unit. LWT- Food Science and Technology 44, 1546-1554

Pataro G., Munoz A., Palgan I., Noci F., Ferrari G. and Lyng J.G. (2011): Bacterial inactivation in fruit juices using a continuous flow pulsed light (PL) system. Food Research International 44, 1642-1648

PEN (2015): The Project on Emerging Nanotechnology. Woodrow Wilson Int. Center (www.nanotechproject.org)

Pérez-Esteve E., Bernardos A., Martínez-Máñez R. and Barat J.M. (2013): Nanotechnology in the development of novel functional food or their package. An overview based in patent analysis. Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture 5, 35-43

Perino-Issartier S., Huma Z., Abert-Vian M. and Chemat F. (2011): Solvent free microwave-assisted extraction of antioxidants from sea buckthorn food by-products. Food and Bioprocess Technology 4, 1020-1028

Perrut M. (2015): Supercritical fluid applications: Industrial development and economic issues. (<http://www.futurechemtech.com/data/SCF%20Applications%20and%20Economic%20Issues.pdf>)

Pingret D., Fabiano-Tixier A.-S. and Chemat F. (2013): Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. Food Control 31, 593-606

Pinheiro J., Alegria C., Abreu M., Goncalves E.M. and Silva C.I.M. (2014): Use of UV-C treatment for extending fresh whole tomato shelf-life. Journal of Food Science and Technology (article in press)

Poovarodom N., Junsrisuriyawong K., Sangmahamad R. and Tangmongkollert P. (2014): Effects of microwave heating on the migration of substances from melamine formaldehyde tableware. Food additives and contaminants- part A 31, 1616-1624

Pothakamury U.R., Barbosa-Canovas G.V. and Swanson B.G. (1993): Magnetic-field inactivation of microorganisms and generation of biological changes. Food Technology 47, 85-93

Prachayawarakorn S., Prachayawasin P. and Soponronnarit S. (2006): Heating process of soybean using hot-air and *superheated steam* fluidized bed-dryers. LWT- Food Science and Technology 39, 770-778

Pronyk C., Cenkowski S. and Muir W.E. (2004): Drying foodstuffs with *superheated steam*. Drying Technology 22, 899-916

Pronyk C., Cenkowski S., Muir W.E., Lukow O.M., Wyatt J. and Nicholson D. (2007): Effects of dough resting time and saturated steam pre-treatment on the textural properties of *superheated steam* processed instant asian noodles. 2007 ASABE Annual International Meeting, Technical papers., 13, 12p.

Pszczola E. (2007): Problem-solving with dairy. Food Technology 2, 47-57

Puertolas E., Lopez N., Condon S., Alvarez I. and Raso J. (2010): Potential applications of PEF to improve red wine quality. Trends in Food Science and Technology 21, 247-255

PurePulse (2015): <http://www.purepulse.eu>; Zugriff 01/2015.

QBTEC BV (2015): www.hifri.com; Zugriff 01/2015.

Qian P.J., Yang X.T., Wu X.M., Zhao L., Fan B.L. and Xing B. (2012): A traceability system incorporating 2 D barcode and RFID technology for wheat flour mills. Computers and Electronics in Agriculture 89, 76-85.

- Quintero Ruiz, N.A., Demarchi, S.M. and Giner, S.A. (2014): Effect of hot air, vacuum and infrared drying methods on the quality of rose hip leathers. *International Journal of Food Science and Technology* 49, 1799-1804
- Rajkowski K.T. and Sommers C.H. (2012): Effect of anolyte on background microflora, salmonella and *Listeria monocytogenes* on catfish fillets. *Journal of Food Protection* 75, 765-770
- Ramos-Villarroel A., Aron-Mafte, N., Martin-Belloso O. and Soliva-Fortuny R. (2014): Bacterial inactivation and quality changes of fresh-cut avocados as affected by intense light luses of specific spectra. *Food Science and Technology* 49, 128-136
- Ramos-Villarroel A.Y., Aron-Maftei N., Martin-Belloso O. and Soliva-Fortuny R. (2012): The role of pulsed light spectral distribution in the inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* on fresh-cut mushrooms. *Food Control* 24, 206-2013
- RICHTLINIE 1999/2/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 22. Februar 1999 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über mit ionisierenden Strahlen behandelte Lebensmittel und Lebensmittelbestandteile
- RICHTLINIE 1999/3/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 22. Februar 1999 über die Festlegung einer Gemeinschaftsliste von mit ionisierenden Strahlen behandelten Lebensmitteln und Lebensmittelbestandteilen
- Ringus D.L. and Moraru C.I. (2013): Pulsed light inactivation of *Listeria innocua* on food packaging materials of different surface roughness and reflectivity. *Journal of Food Engineering* 114, 331-337
- Rivzi S.S.H., Mulvaney S.J. and Sokhey S.J. (1995): The combined application of supercritical fluid and extrusion technology. *Trends in Food Science and Technology* 6, 232-240
- Rizotti L., Levav N., Fracchetti F., Felis G.E. and Torriani S. (2015): Effect of UV-C treatment on the microbial population of white and red wines as revealed by conventional platin and PMA-qPCR methods. *Food Control* 47, 407-412
- Rojas-Graü M.A., Soliva-Fortuny R. and Martin-Belloso O. (2009): Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: A Review. *Trends in Food Science and Technology* 20, 438-477
- Roknul A.S.M., Zhang M., Mujumdar A.S. and Wang Y. (2014): A comparative study of four drying methods on drying time and quality characteristics of stem lettuce slices (*Lactuca sativa* L.). *Drying Technology* 32, 657-666
- Rollin F., Kennedy J. and Wills J. (2011): Consumers and new food technology. *Trends in Food Science and Technology* 22, 99-111
- Roohinejad S., Everett D.W. and Oey I. (2014): Effect of pulsed electric field processing on carotenoid extractability of carrot puree. *International Journal of Food Science and Technology* 49, 2120-2127
- Routray W. and Orsat V. (2012): Microwave-assisted extraction of flavonoids: A review. *Food and Bioprocess Technology* 5, 409-424
- Ruan R., Ye X., Chen P. and Doona C.J. (2001): Ohmic heating. Woodhead Publishing.
- Ruiz-Garcia L. and Lunadei L. (2011): The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture* 79, 42-50
- Saengranyap R., Tansakul A. and Mittal G.S. (2014): Effect of far-infrared radiation assisted microwave-vacuum drying on drying characteristics and quality of red chili. *Journal of Food Science and Technology* (article in press)
- Sagalowicz L., Leser M.E., Watzke H.J. and Michel M. (2006): Monoglyceride self-assembly structures as delivery vehicles. *Trends in Food Science and Technology* 17, 204-214
- Sakr M. and Liu S. (2014): A comprehensive review on applications of ohmic heating. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39, 262-269
- Saldana do Carmo C., Nunes A.N., Serra A.T., Ferreira-Diaz S., Nogueira I. and Duarte C.M.M. (2015): A way to prepare a liposoluble natural pink colourant. *Green Chemistry* (DOI: 10.1039/C4GC01801J)
- Salengke S. and Sastry S.K. (2007): Models for ohmic heating of solid-liquid mixtures under worst-case heating scenarios. *Journal of Food Engineering* 83, 347-355
- Sales J.M. and Resurreccion A.V.A. (2010): Phenolic profile, antioxidants and sensory acceptance of bioactive-enhanced peanuts using ultrasound and UV. *Food Chemistry* 122, 795-803
- Samaranayake C.P., Sastry S.K. and Zhang H. (2005): Pulsed ohmic heating- A novel technique for minimiza-

- tion of electrochemical reactions during processing. *Journal of Food Science* 70, E460-E465
- Samsung (2015): <http://www.samsung.com>; Zugriff 02/2015.
- Sangasuri P. and Agustin M.A. (2006): Nanoscale materials development – a food industry perspective. *Trends in Food Science and Technology* 17, 547-556
- Sarang S., Sastry S.K. and Knipe L. (2008): Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering* 87, 351-356
- Sarang S.S. and Sastry S. (2005): Salt diffusion into vegetable tissue as a pretreatment for ohmic heating. *AIChE Annual Meeting, Conference Proceeding*, p 12232
- Sarkar B. (2014): Enhanced cross-flow ultrafiltration of apple juice using electric field. *Journal of Food Processing and Preservation*, DOI: 10.1111/jfpp.12356
- Sastry S.K. and Barach J.T. (2000): Ohmic and inductive heating. *Journal of Food Science, Supplement* 65, 42-46
- Schlisselberg D.B., Kler E., Kalily E., Kisluk G., Karniel O. and Yaron S. (2013): Inactivation of foodborne pathogens in ground beef by cooking with highly controlled *radio frequency* energy. *International Journal of Food Microbiology* 160, 219-226
- Schneider Y., Zahn S., Hofmann J., Wecks M. and Rohm H. (2006): Acoustic cavitation induced by ultrasonic devices. A preliminary study. *Ultrasonics Sonochemistry* 13, 117-120
- Schossler K., Jäger H. and Knorr D. (2012): Novel contact ultrasound system for the accelerated freeze-drying of vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 16, 113-120
- Scott-Thomas C. (2014): Rejected nano labelling law goes back to square one. (www.foodnavigator.com/content/view/print893864)
- Seitz D. (2015): Der simple Trick der Sternköche. *Focus-online* (2015), (http://www.focus.de/panorama/videos/kochen-fuer-angeber-1-der-simple-steak-trick-der-sterne-koeche_vid_36463.html; Zugriff 22.02.2015)
- Sengun I.Y., Yildiz-Turp G., Kendirci P. and Kor G. (2014): Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes. *LWT- Food Science and Technology* 55, 232-239
- Seo M.H. Lee S.Y., Chang Y.H. and Kwak H.S.: Physicochemical, microbial and sensory properties of yoghurt supplemented with nanopowdered chitosan during storage. *Journal of Dairy Science* 92, 5907-5916
- Sepulveda-Ahumada D.R., Ortega-Rivas E. and Barbosa-Canovas G.V. (2000): Quality aspects of cheddar cheese obtained with milk pasteurized by pulsed electric fields. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers* 78, 65-71
- Sharp Corporation (2015): http://sharp-world.com/shs_oven/contents/what_SHS.html; Zugriff 01/2015
- Shivmurti S., Harshit P., Rinkita P. and Smith P. (2014): Comparison of chemical properties of milk when conventionally and ohmically heated. *International food research journal* 21, 1425-1428
- Shriver S., Yang W., Chung S.Y. and Percival S. (2011): Pulsed ultraviolet light reduces immunoglobulin E binding to Atlantic white shrimp extract. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8, 2569-2583
- Shynkaryk M.V., Ji T., Alvarez V.B. and Sastry S.K. (2010): Ohmic heating of peaches in the wide range of frequencies (50 Hz to 1 MHz). *Journal of Food Sciences* 75, E493- E500
- Siegrist M. (2008): Factors influencing public acceptance of innovative food technologies and products. *Trends in Food Science and Technology* 19, 603-608
- Siegrist M., Cousin M.E., Kastenholz H. and Wiek A. (2007): Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. *Appetite* 49, 459-466
- Siegrist M., Stampfli N., Kastenholz H. and Keller C. (2008): Perceived risks and perceived benefits of different nanotechnology foods and nanotechnology food packaging. *Appetite* 51, 283-290
- Simon R.R., Borzelleca J.F., DeLuca H.F. and Weaver C.M. (2013): Safety assessment of the post-harvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light. *Food and Chemical Toxicology* 56, 278-289
- Singkhornart S., Gu B.J. and Ryu G.H. (2012): Physicochemical properties of extrudes germinated wheat and barley as modified by CO₂ injection and difference extrusion conditions. *Int. J. Food Science Technology* 143, 122-131
- Sinhal K., Ghoshdastidar P.S. and Dasgupta B. (2010): Computer simulation of drying of food products with

- superheated steam* in a rotary kiln. 2010 4th International Heat Transfer Conference, IHTC 14
- SKLM DFG Senate Commission on food safety (2008): Statement on the treatment of food using a pulsed electric field.
- Soliva-Fortuny R., Balasa A., Knorr, D. and Martin-Belloso O. (2009): Effects of pulsed electric fields on bio-active compounds in foods: A review. *Trends in Food Science and Technology* 20, 544-556
- Somavat R., Kamonpatana P., Mohamed H.M.H. and Sastry S.K. (2012): Ohmic sterilization inside a multi-layered laminate pouch for long duration space missions. *Journal of Food Engineering* 112, 134-143
- Somavat R., Mohamed H.M.H. and Sastry S. K. (2013): Inactivation kinetics of *Bacillus coagulans* spores under ohmic and conventional heating. *LWT- Food Science and Technology* 54, 194-198
- Sommerergger J. (2010): Flavoring system for low-fat margarine. Master Thesis, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna
- Soria A.C. and Villamiel M. (2010): Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of Food: A review. *Trends in Science and Food Technology* 21, 323-331
- Sotoma I. and Isobe S. (2011): Food processing and cooking with new heating system combining *superheated steam* and hot water spray. *Japan Agricultural Research Quarterly* 45, 69-76
- Sotome I., Suzuki K., Koseki S., Sakamoto K., Takenaka M., Ogasawara Y., Nadachi Y. and Isobe S. (2006): Blanching of potato with *superheated steam* containing micro-droplets of hot water. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 53, 451-458
- Sotome I., Takenaka M., Koseki S., Ogasawara Y., Nadachi Y., Okadome H. and Isobe S. (2009): Blanching of potato with *superheated steam* and hot water spray. *LWT - Food Science and Technology* 42, 1035-1040
- Spyropoulos F., Lloyd D.M., Hancocks R.D. and Pawlil A.K. (2009): Advances in emulsion emulsification. Part A: Recent developments in processing aspects and microstructural design approaches. *J. Sci. Food Agric.* 94, 613-627
- Srey S., Park S.Y., Jahid I.K. and Ha A.D. (2014): Reduction effect of the selected chemical and physical treatments to reduce *L. monocytogenes* biofilms formed on lettuce and cabbage. *Food Research International* 62, 484-491
- Stancl J. and Zitny R. (2010): Milk fouling at direct ohmic heating. *Journal of Food Engineering* 99, 437-444
- Suhem K., Matan N., Nisoa M. and Matan N. (2013): Inhibition of *Aspergillus flavus* on agar media and brown rice cereal bars using cold atmospheric plasma treatment. *International Journal of Food Microbiology* 161, 107-111
- Suhem K., Matan N., Nisoa M. and Matan N. (2013): Low pressure *radio frequency* plasma effects on the mould control, physical quality, nutritional value, mineral content and trace element content of brown rice snack bars. *Journal of Food and Nutrition Research* 52, 87-94
- Surowsky B., Fischer A., Schlüter O. and Knorr D. (2013): Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 19, 146-152
- Surowsky B., Fröhling A., Gottschalk N., Schlüter O. and Knorr D. (2014): Impact of cold plasma on *Citrobacter freundii* in apple juice: Inactivation kinetics and mechanisms. *International Journal of Food Microbiology* 174, 63-71
- TAKIGAWA (2015). DreamSteam (www.takigawa-corp.com/eng/products/dreamsteam.html)
- Thomakapanich O., Suvarnakatu O. and Devahastin S. (2007): Study of intermittent low-pressure *superheated steam* and vacuum drying of heat-sensitive material. *Drying Technology* 25, 205-223
- Tiwari G., Wang S., Tang J. and Birla S.L. (2011): Analysis of *radio frequency* (RF) power distribution in dry food materials. *Journal of Food Engineering* 104, 548-556
- Töpfl S. (2007): Pulsed electric fields - industrielle Anwendungen. Fresenius FoodTech Tagung Frische und Haltbarkeit, Mainz, 23.-24.10.2007
- Töpfl S., Heinz V. and Knorr D. (2007): High intensity pulsed electric fields applied for food preservation. *Chemical Engineering and Processing* 46, 536-546
- Torlak E. (2014): Inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in aqueous suspension and on apples by neutral electrolyzed water. *International Journal of Food Microbiology* 185, 69-72
- Turtoi M. and Nicolau A. (2007): Intense light pulse treatment as alternative method for mould spores destruction on paper-polyethylene packaging material. *Journal of Food Engineering* 83, 47-53

- Uemura K., Takahashi C. and Kobayashi I. (2014): Inactivation of enzymes in packed miso paste by *radio-frequency* heating. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 61, 95-99
- Uesugi A.R. and Moraru C.I. (2009): Reduction of *Listeria* on ready-to-eat sausages after exposure to a combination of pulsed light and nisin. *Journal of Food Protection* 72, 247-353
- Ulbin-Figlewicz, N., Brychcy, E. and Jarmoluk, A. (2013): Effect of low-pressure cold plasma on surface microflora of meat and quality attributes. *Journal of Food Science and Technology* (DOI:10.1007/s13197-013-1108-6)
- Ulbin-Figlewicz, N., Zimoch-Korzycka, A. and Jarmoluk, A. (2014): Antibacterial activity and physical properties of edible chitosan films exposed to low-pressure plasma. *Food and Bioprocess Technology* 7, 3646-3654
- Unluturk S. and Atilgan M.R. (2014): UV-C irradiation of freshly squeezed grape juice and modelling inactivation kinetics. *Journal of Food Process Engineering* 37, 438-449
- Uyar R., Bedane T.F., Erdogan F., Koray Palazoglu T., Farag K.W. and Marra F. (2015): *Radio-frequency* thawing of food products – a computational study. *Journal of Food Engineering* 146, 163-171
- Van Remmen UV Techniek BV (2014): [www.http://:vanremmen.nl](http://www.vanremmen.nl); Zugriff 01/2015.
- Veggi, P.C., Martinez, J. and Meireless, M.A.A. (2013): Fundamentals of microwave extraction. In: *Micro-wave-assisted extraction for bioactive compounds: Theory and Practice*. DOI 10.1007/978-1-4614-4830-3_2.
- VERORDNUNG (EG) Nr. 258/1997 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten vom 27. Januar 1997
- VERORDNUNG (EG) Nr. 1935/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. Oktober 2004 über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen und zur Aufhebung der Richtlinien 80/590/EWG und 89/109/EWG
- VERORDNUNG (EG) Nr. 1333/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über Lebensmittelzusatzstoffe
- VERORDNUNG (EU) Nr. 257/2010 DER KOMMISSION vom 25. März 2010 zur Aufstellung eines Programms zur Neubewertung zugelassener Lebensmittelzusatzstoffe gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008
- VERORDNUNG (EU) Nr. 1169/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Oktober 2011 betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel.....
- Vikram V.B., Ramesh M.N. and Prapulla S.G. (2005): Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of food engineering* 69, 31-40
- Vishwanathan K.H., Hebbar H.U. and Raghavarao K.S.M.S. (2010): Hot air assisted infrared drying of vegetables and its quality. *Food Science and Technology Research* 16, 381-388
- Vishwanthan K.H., Giwari G.K. and Hebbar H.U. (2013): Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. *Food and Bioproducts Processing* 91, 89-94
- Wambura P. and Verghese M. (2011): Effect of pulsed ultraviolet light on quality of sliced ham. *LWT - Food Science and Technology* 44, 2173-2179
- Wan J., Liu C., Liu W., Tu Z., Wu W. and Tan H. (2015): Optimization of instant edible films based on dietary fiber processed with dynamic high pressure microfluidization for barrier properties and water solubility. *LWT - Food Science and Technology* 60, 603
- Wang B., Khir R., Pan Z., El-Mashad H., Atungulu G.G., Ma H., McHugh T.H., Qu W. and Wu B. (2014): Effective disinfection of rough rice using infrared radiation heating. *Journal of Food Protection* 77, 1538-1545
- Wang J., Luechapattaporn K., Wang Y. and Tang J. (2012): *Radio-frequency* heating of heterogenous food-meat lasagna. *Journal of Food Engineering* 108, 183-193
- Wang J.J., Lin T., Li J., Liao C., Pan Y.J. and Zhao Y. (2014): Effect of acidic electrolyzed water ice on quality of shrimp in dark condition. *Food Control* 35, 207-212
- Wang L., Zhang M., Fang Z. and Xu B. (2014): Application of intermediate-wave infrared drying in preparation of mushroom chewing tablets. *Drying Technology* 32, 1820-1827
- Wang R. and Farid M.M. (2015): Corrosion and health aspects in ohmic cooking of beef meat patties. *Journal of Food Engineering* 146, 17-22
- Wang R., Wang T., Zhu M. Zhang S., Ren J. and Li F. (2012): Effect of power supply frequency on electrode adhesion during soybean milk continuous ohmic heating. *Nongye Gongcheng Xuebao* 28, 287-291
- Wang X., Demirci A.M., Puri V.M. and Graves R.E. (2014): Optimization of a blended electrolyzed oxidizing

- water-based cleaning-in-place technique using a pilot scale milking system. American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, 3, 1582-1596
- Wang Y., Zhang L., Johnson J., Gao M., Tang J., Powers J.R. and Wang S. (2014): Developing hot air-assisted *radio frequency* drying for in-shell macadamia nuts. Food and Bioprocess Technology 7, 278-288
- Wang Z., Qi X., Cao S. and Yuan Y. (2013): The effect of pulsed light on the activity of polyphenol oxidase from bayberry. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology 13, 25-30
- Wanga Y., Tanga J., Rascob B., Wanga S., Alshamia A.A. and Kong F. (2009): Using whey protein gel as a model food to study dielectric heating properties of salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) fillets. LWT- Food Science and Technology 42, 1174-1178
- Watson E. (2014): The slow death of the microwave and the rise of the crock-pot: can food be too convenient? Food Navigator (www.foodnavigator-usa.com/Markets/The-slow-death-of-the-microwave-and-the-rise-of-the-Crock-Pot-Can-food-be-too-convenient; Zugriff 02-04-2015)
- Weir A., Westerhoff P., Fabricius L. and von Goetz N. (2012): Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. Environ. Sci. Techn. 46, 2242-2250
- Wendt T., Brandin G., Weidner E. and Petermann M. (2007): PGDD- The innovative production of fluid-filled microcapsules for the food industry. Proc. of European Congress of Chemical Eng. Copenhagen, 16-20 September
- WILD (2015): www.wildflavors.com/NA-EN/innovations/emulsions, Zugriff 8.2.2015
- Williams-Campbell A. and Solomon M. (2001): New non-thermal postharvest technology to improve food safety: Hydrodynamic pressure processing. In: Photonic detection and intervention technologies for safe food. Proc. Int. Soc. Opt. Eng. 4206, 167-173
- Williams-Campbell, A. and Solomon, M. (2002): Reduction of spoilagemicroorganisms in fresh beef using hydrodynamic pressure processing. J. Food Prot., 65, p 571-574.
- Witrowa-Rajchert D., Wiktor A., Sledz M. and Nowacka M. (2014): Selected emerging technologies to enhance the drying process: A review. Drying Technology 32, 1386-1396
- Wu J., Chen J., Liu W., Zhong Y., Luo D., Li Z. and Huang Z. (2014): Selective peroxidase inactivation of lightly milled rice by *superheated steam*. Journal of Cereal Science (article in press)
- Wu L., Zhao W., Yang R. and Yan W. (2015): Pulsed electric field (PEF)-induced aggregation between lysozyme, ovalbumin and ovotransferrin in multi-protein systems. Food Chemistry 175, 115-120
- Xie X., Li X., Zhang C., Wang J., Wang C., Wang Z. and Mu G. (2014): Moisture mobility mechanism of beef jerky during combined mid-infrared and hot air drying. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 30, 322-330
- Xiong K., Li X., Liu H. and Li L. (2014): Studies on the elimination of aflatoxin B1 by electrolyzed oxidizing water. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology 14, 165-173
- Yada R.Y., Buck N., Canady R., DeMerlis C., Duncan T., Janer G., Juneja L., Lin M., McClements J., Noonan G., Oxley J., Sabllov C., Tsytsikova L., Vázquez-Campos S., Yourick J., Zhong Q. and Thurmond S. (2014): Engineered Nanoscale Food Ingredients: Evaluation of Current Knowledge on Material Characteristics Relevant to Uptake from the Gastrointestinal Tract. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 13, 730-743
- Yang H., Feirtag J. and Diez-Gonzalez F. (2013): Sanitizing effectiveness of commercial "active water" technologies on *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes*. Food Control 33, 232-238
- Yang J., Pan Z., Takeoka G., Mackey B., Bingol G., Brandl M.T., Garcin K., McHugh T.H. and Wang H. (2013): Shelf-life of infrared dry roasted almonds. Food Chemistry 138, 671-678
- Yang W.W., Chung S.Y., Ajayi O., Krishnamurthy K., Konan K. and Goodrich-Schneider R. (2010): Use of pulsed ultraviolet light to reduce the allergenic potency of soybean extracts. International Journal of Food Engineering 6, 1-12
- Yang W.W., Mwakatage N.R., Goodrich-Schneider R., Krishnamurthy K. and Rababah T.M. (2012): Mitigation of major peanut allergens by pulsed ultraviolet light. Food and Bioprocess Technology 5, 2728-2738
- Yang Y., Liao X., Hu X., Zhang Y. Chen F. and Wu J. (2011): The contribution of high pressure carbon dioxide in the inactivation kinetics and structural alteration of myrosinase. Int. J. Food Science and Techn. 46, 1545-1553

- Yildiz H., Bozkurt H. and Icier F. (2009): Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: Effects on rheology, color and total phenolics. *Food Science and Technology Journal* 15, 503-512
- Yildiz-Turp G., Sengun L., Kendirci P. and Icier F. (2013): Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Science* 91, 441-448
- Yilmaz N. and Tuncel N.B. (2010): An alternative strategy for corn drying (*Zea mays*) resulted in both energy savings and reduction of fumosin B1 and B2 contamination. *International Journal of Food Science and Technology* 45, 621-628
- Zahn U. (2009): Ultraschallschneiden von Lebensmitteln. Dissertation an der TU Dresden (2009)
- Zaman W. and Yang T.A. (2014): Moisture, color and texture changes in cocoa beans during *superheated steam* roasted. *Journal of Food Processing and Preservation* 38, 1364-1370
- Zell M., Lyng J.G., Cronin D.A. and Morgan D.J. (2009): Ohmic cooking of whole beef muscle- optimisation of meat preparation. *Meat Science* 81, 693-698
- Zell M., Lyng J.G., Morgan D.J. and Cronin D.A. (2011): Minimising heat losses during batch ohmic heating of solid foods. *Food and Bioproducts Processing* 89, 128-134
- Zell M., Lyng J.G., Morgan D.J. and Cronin D.A. (2012): Quality evaluation of an ohmically cooked ham product. *Food and Bioprocess Technology* 5, 265-272
- Zhang B., Ma L.K., Deng S.G., Xie C. and Qiu X.H. (2015): Shelf-life of white pacific shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging. *Food Control* 51, 114-121
- Zhang L., Lyng J.G. and Brunton N.P. (2007): The effect of fat, water and salt on the thermal and dielectric properties of meat batter and its temperature following microwave and *radio frequency* heating. *Journal of Food Engineering* 80, 147-151
- Zhang T. and Darren D. (2013). Removal of arsenic from water using multifunctional micro-/nano-structured MnO₂ spheres and microfiltration. *Chem. Eng. J.* 255, 271-279
- Zhao W., Yang R. and Zhang H.Q. (2012): Recent advances in the action of pulsed electric fields on enzymes and food component proteins. *Trends in Food Science and Technology* 27, 83-96
- Zhao X., Yang W., Chung S.Y., Sims C.A., Otwell S.W. and Rababah T.M. (2014): Reduction of IgE immunoreactivity of whole peanut after pulsed light illumination. *Food and Bioprocess Technology* 7, 2637-2645
- Zhou C., Pei L., Zhao J., Gao W., Qi F., Ye Z. and Zhu S. (2014): Effect of irrigating with slightly acidic electrolyzed water on lettuce photosynthesis under mild water stress. *Applied Engineering in Agriculture* 30, 789-795
- Zhou R., Wang F., Guo Z. and Zhao Y.L. (2012): Preparation and characterization of resveratrol/hydroxypropyl- β -cyclodextrin inclusion complex using supercritical antisolvent technology. *J. Food Proc. Eng.* Volume 35, 505-686
- Zhu X., Guo W. and Wang S. (2014): Dielectric properties of gound hazelnuts at different frequencies, temperatures and moisture contents. *Transactions of ASABE* 57, 161-168
- Zhu, Y., Koutchma, T., Warrimer, K. and Zhou, T. (2014): Reduction of patulin in apple juice products by UV light of different wavelengths in the UVC range. *Journal of Food Protection* 77, 963-971
- Zielinska, M., Blaszcak, W. and Devahastin, S. (2014): Effect of *superheated steam* pre-frying treatment on the quality of potato chips. *International Journal of Food Science and Technology* (DOI: 10.1111/ijfs.12613)
- Zimmer R., Hertel R. und Böhl G.-F. (2008): BfR-Delphi-Studie zur Nanotechnologie. Berlin, 2009, ISBN 3-938163-45-3
- Zimmer R., Hertel R. und Böhl G.-F. (2008): Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung. Bundesinstitut für Risikobewertung. Berlin, 2008, ISBN 3-938163-35-6
- Ziuzina D., Patil S., Cullen P.J., Keener K.M. and Bourke P. (2014): Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. *Food Microbiology* 42, 109-116.

Teil 5

Lebensmittel- verpackung und –kenn- zeichnung

1. Einleitung

Fast alle Lebensmittel, die es im Supermarkt gibt, sind in irgendeiner Form verpackt. Aufgrund dieser großen Bedeutung der Lebensmittelverpackung in der heutigen Form der Ernährungsversorgung wird im Rahmen dieser Studie auch kurz auf dieses Thema eingegangen. Eine umfassende Behandlung dieses Bereiches ist aber hier nicht möglich.

Die Bedeutung der Verpackung geht heutzutage deutlich über den ursprünglich reinen Schutz vor grober Beschädigung beim Transport hinaus. Vielmehr soll sie empfindliche Güter bestmöglich vor dem Verderb schützen und damit auch zur Reduktion von Lebensmittelabfall beitragen. Außerdem soll eine zweckentsprechende Verpackung das Auftreten von Erkrankungen durch Lebensmittel ($\Rightarrow$ *food borne diseases*) verringern.

Die Verpackungsforschung hat zudem die Verpflichtung, als gesundheitsschädlich und/oder umweltschädlich (nicht nachwachsend, nicht abbaubar) erkannte Materialien durch Alternativen so weit als möglich zu ersetzen.

Das Aufkommen neuer Lebensmittelverarbeitungstechniken (siehe Teil 4) bringt neue Herausforderungen an die Verpackungen mit sich. Beispielsweise fordern die Trends zu „*minimally-processed food*“, sowie die Hochdruckbehandlung neue Verpackungslösungen. Deshalb ist der Verpackungsbereich nicht isoliert zu betrachten, sondern als eine notwendige und sinnvolle Ergänzung zu den in Teil 4 beschriebenen, haltbarkeitsverlängernden Techniken anzusehen.

Die Verpackung dient auch immer mehr zur umfassenden Information der Verbraucherinnen und Verbraucher bezüglich des Inhalts, dessen aktuellen Zustandes, der Inhaltsstoffe, des Nähr- und Energiewertes und trägt Warnhinweise. Dazu sollen Verpackungen trotz optimaler Schutzwirkung möglichst transparent sein, Frischheitszustandsinformationen anzeigen und alle relevanten Inhaltsangaben in ausreichender Größe enthalten, sowie zusätzliche Informationen über die Herkunft der Rohstoffe bzw. Lebensmittel liefern.

Darüber hinaus kann die richtige Wahl und das Aussehen der Verpackung ganz wesentlich die Erstkaufentscheidung beeinflussen.

Im Folgenden werden noch weniger bekannte Lösungen kurz beschrieben, aus denen neuartige Verpackungen zusammengesetzt sind bzw. sein könnten, um den oben genannten Anforderungen nachzukommen.

2. Neuartige Verpackungslösungen und Verpackungsmaterialien

2.1. Verpackung unter modifizierter Atmosphäre

Bei pflanzlichen Rohstoffen, die noch eine Stoffwechsellätigkeit aufwiesen, also noch „atmen“, ist eine vollkommen (gas)dichte (Kunststoff-)Verpackung mit dem wesentlichen Nachteil assoziiert, dass die entstehenden Atmungsgase nicht ausreichend abgeföhrt werden können. Das manifestiert sich u.a. in kondensiertem Wasserdampf (beschlagene Folie bis zur „Wasserlake“) in der Verpackung, was an sich einen optischen Makel darstellt. Bedeutender ist aber, dass freies Wasser [= hoher Wasseraktivität (a_w -Wert)] die Vermehrung der Verderbnis erregenden MO-Flora deutlich beschleunigt und das Pflanzengewebe selbst durch Sauerstoffmangel in einen anaeroben Gärungsstoffwechsel übergeht. Das föhrt letztendlich zum beschleunigten Verderb des Inhalts. Um diese Vorgänge zu vermeiden, können grundsätzlich folgende Methoden eingesetzt werden.

A) Variation bzw. Austausch der Anteile der drei Hauptatmosphärenbestandteile (Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxid)

- **MAS (modified atmosphere storage) und MAP (modified atmosphere packaging):** Ersatz einzelner Luftbestandteile eines Lagerhauses bzw. in einer Verpackung durch verschiedene Gasmischungen. Es erfolgt keine weitere Kontrolle der Atmosphäre.
- **EMAP (equilibrium modified atmosphere packaging):** Der Erhalt einer Restsauerstoffkonzentration und die Anhebung des Kohlendioxids in einer Verpackung werden durch die Verwendung semipermeabler Verpackungstoffe erreicht (**PASSIVE METHODE**).
- **CAS (controlled atmosphere storage) und CAP (controlled atmosphere packaging):** Bei dieser Methode wird die Atmosphäre laufend kontrolliert und reguliert (**AKTIVE METHODE**).

B) Entfernung bzw. Zusatz von Reifungsmitteln [z.B. Entfernung bzw. Bindung des Reifungsgases Ethylen in einem Lagerhaus oder in einer Verpackung, damit das Pflanzengewebe nicht so schnell reift; oder der Zusatz von Ethylen in eine Atmosphäre um unreif geerntetes Obst während des Transportes oder der Lagerung zu reifen (z.B. Reifung von grün geernteten Bananen während des Schifftransportes)].

C) Zusatz von Antikeimungsmitteln (z.B. Zugabe von Chlorpropham in die Lageratmosphäre zur Verhinderung der Kartoffelkeimung)

Nicht atmende, also prozessierte bzw. verarbeitete Lebensmittel lassen sich ebenfalls unter modifizierter Atmosphäre lagern beziehungsweise verpacken. In diesem Fall stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

D) Gasaustausch GEPP (gas-exchange preservation packaging) (⇒ SCHUTZ-GASVERPACKUNG)

E) Komplette Entfernung der Atmosphäre (⇒ Vakuum) aus der Verpackung

- Vakuumverpackung (*vacuum packaging*)
- VSP (*vacuum skin packaging*)

F) Bindung des Rest-Sauerstoffs in einer evakuierten Verpackung (⇒ AKTIVE VERPACKUNG)

D) Zusatz bakteriozider (z.B. Ozon) bzw. bakteriostatischer (z.B. Kohlendioxid) Gase oder Stoffe (z.B. Ethanol) vor der Abpackung in die Verpackung, bzw. Freisetzung in der Verpackung während der Lagerung (⇒ AKTIVE VERPACKUNG)

AKTIVE VERPACKUNGEN

sind Verpackungen, die gezielt mit dem Füllgut in Wechselwirkung treten und damit die Haltbarkeit und/oder die Qualität des Füllgutes während der Lagerung verbessern. Aktive Verpackung bedeutet also grundsätzlich folgende Vorgangsweisen:

- 1: Aktive Regelung der Zusammensetzung der Kopfraumatmosphäre
- 2: Aktive Regelung der Verpackungspermeabilität
- 3: Aktive Abgabe qualitätserhaltender Stoffe an das Füllgut (z.B. Ethanol)
- 4: Aktive Aufnahme qualitätsmindernder Stoff aus dem Füllgut oder dem Verpackungskopfraum (z.B. Sauerstoffabsorber)

INTELLIGENTE VERPACKUNGEN

Dieser Begriff taucht immer häufiger in der Fachliteratur auf. Darunter sind Verpackungen zu verstehen, die einen Zusatznutzen aufweisen, der über die reinen Verpackungsaufgaben hinausgeht. Typische Beispiele sind Verpackungen, die einen Funk-Chip (RFID) integriert haben. Diese Verpackungen können berührungslos von einer Station detektiert werden. Damit ist es etwa möglich, dass alle in einen Einkaufswagen befindlichen Produkten beim Durchfahren an der Kassa automatisch erfasst werden, und das mühsame Scannen an der Supermarktkasse entfällt. Dies bringt große Einsparungen (Zeit, Geld) mit sich und kann auch zur Diebstahlsicherung in Supermärkten eingesetzt werden. Ein anderes Beispiel ist eine Geflügelverpackung, die einen Detektor für Salmonellen enthält. Tritt während der Lagerung eine unerwünschte Vermehrung von Salmonellen im Geflügel auf, verfärbt sich ein in die Verpackung eingearbeiteter Chip (z.B. von Grün auf Rot) und zeigt damit an, dass das Lebensmittel nicht mehr genießbar ist (DIALOG-FORUM CHEMIE, 2015).

Intelligente Verpackungen können folgende, diagnostische und Indikatorfunktionen haben:

- Gas/Leckage
- Zeit/Temperatur
- Frische

Handel und Verbraucher können so einfach an dem Indikator erkennen, ob im Füllgut ein kritischer Grenzwert bereits überschritten wurde (FRAUNHOFER-INSTITUT, 2015).

Einige der oben angeführten, rot markierten Verpackungsstrategien werden im Folgenden etwas eingehender behandelt.

2.1.1 EMAP-Verpackungen

Im Gegensatz zur gezielten Veränderung der Atmosphäre in einer Verpackung (MAP) erfolgt beim EMAP-Verfahren (*equilibrium modified atmosphere packaging*) die Veränderung passiv durch die Atmung des Gewebes selbst. Der Sauerstoff in der Verpackung wird durch die Atmung reduziert. Die Kunststoffverpackung wird nun so gestaltet, das zwar ein Teil des veratmeten Sauerstoffs in die Verpackung nachdiffundieren kann, aber nicht in dem Ausmaß wie er verbraucht wird. Insgesamt wird sich also während der Lagerung in der Verpackung eine Erniedrigung der Sauerstoffkonzentration einstellen.

Bei der Atmung wird Kohlendioxid gebildet. Dieses kann zwar teilweise durch die Verpackung nach außen diffundieren, aber nicht in dem Ausmaß, wie es gebildet wird. Die Konzentration an Kohlendioxid steigt deshalb in der Verpackung.

Insgesamt gesehen, werden sich also in der Verpackung eine geringere Sauerstoffkonzentration und eine erhöhte Kohlendioxidkonzentration einstellen. Dadurch wird die weitere Atmung des Gewebes zwar gewährleistet, allerdings auf einem geringen Niveau. Die atmenden Lebensmittelrohstoffe, bleiben damit länger im Frischzustand und verderben nicht. Diese Art der Verpackung gewinnt insbesondere mit dem Aufstreben der Gruppe der *fresh-cut*-Obst-/Gemüseprodukte, bei denen die Zellatmungsrate durch die vergrößerte Oberfläche erhöht ist, zunehmend an Bedeutung.

Die verzögerte Nachdiffusion des Sauerstoffs und die verzögerte Hinausdiffusion von Kohlendioxid kann durch Verbundkunststofffolien mit entsprechenden Pemeabilitätseigenschaften erreicht werden. Da jeder pflanzliche Rohstoff (Obst oder Gemüse) andere Atmungsraten aufweist, ist die Einstellung der Permeabilität auf diesem Weg sehr mühsam und aufwändig. Deshalb kommt immer mehr die Methode der Mikroperforation der Kunststoffverpackungsfolien zum Tragen. So werden bereits seit geraumer Zeit mikroperforierte Folien (z.B. „P-Plus®“, Slidlaw Packaging, UK) genutzt, die einen ausreichenden Gasaustausch bei geringer Kontaminationsgefahr ergeben. Die Gaspermeabilität wird dabei über Anzahl und Größe der Mikroporen geregelt.

Voraussetzung für eine optimale Funktion der EMAP-Verpackung ist aber, dass Art und Anzahl der Mikroporen an die jeweilige Atmungsrate des Lebensmittels angepasst sind, die sich je nach Produkt, Oberfläche, Temperatur etc. stark unterscheiden können. Um diese optimale Anpassung an jeden Rohstoff zu gewährleisten, hat die Fa. PerfoTec (PERFOTEC, 2015) ein patentiertes System entwickelt. Dabei wird vorerst rasch die Atmungsrate der zu verpackenden Ware ermittelt. Darauf basierend errechnet eine Software, wie viele Mikroporen für die rasche Einstellung einer modifizierten Atmosphäre erforderlich sind. Mittels eines Lasers werden dann die optimale Anzahl und Größe der Mikroporen in jeder Verpackung erzeugt. Die Funktionsweise dieses Systems kann auch in einem YouTube Video betrachtet werden (<http://youtu.be/kyAtGaZ3jsU>).

2.1.2. Gasaustausch [GEPP (*gas-exchange preservation packaging*)] (SCHUTZ-GASVERPACKUNG)

Mit dieser Verpackungsart werden prozessierte, also verarbeitete Lebensmittel abgepackt. Sie ist zwar mittlerweile schon über die gesamte Lebensmittelbranche sehr weit verbreitet. Dennoch soll sie hier erwähnt werden, um einen umfassenden Einblick über die wesentlichen Verpackungstechnologien zu sichern, und die Basis immer wiederkehrender medialer Diskussion hierüber zu erklären. Bei dieser Methode wird die uns natürlich umgebende Luft, bestehend aus ca. 78 % Stickstoff, ca. 21 % Sauerstoff, etwa 0,037 % Kohlendioxid, sowie vernachlässigbaren Mengen

Edelgasen, durch eine auf die Bedürfnisse des jeweiligen Lebensmittels angepasste Gasatmosphäre ausgetauscht. Technisch passiert das durch Evakuierung der Packung, darauffolgendes Begasen mit der optimierten Gasmischung und dichtes Wiederverschließen. Die bedeutendste Intention dahinter ist es, durch den möglichst vollständigen Ausschluss des Sauerstoffs Oxidationsreaktionen ($\Rightarrow$ Fettverderb, Farbverluste, Vitamin/Aromaverluste), sowie die Entwicklung unerwünschter Mikroorganismen zu verhindern. Die Zugabe bakteriostatischer Gase unterstützt letzteren Punkt noch.

Im Allgemeinen wird also der Sauerstoff durch andere Gaskomponenten ausgetauscht - man spricht von „*low-oxygen MAP*“. Ersetzt wird oft durch den inerten Stickstoff, der mit dem Lebensmittel kaum interagiert, sowie Kohlendioxid. Letzteres hat neben der Verdrängung des Sauerstoffs auch einen gewissen antimikrobiellen (bakteriostatischen) Effekt. Dabei sind allerdings zwei Aspekte zu beachten:

- a) Der Effekt von Kohlendioxid ist nur unter Kühlung deutlich, zumal sich nur unter Kühltemperaturen eine entsprechende Löslichkeit der Kohlensäure ergibt
- b) Der antimikrobielle Effekt von Kohlendioxid beschränkt sich auf aerobe Keime, während das Wachstum anaerober Keime, worunter viele pathogene wie z.B. Clostridien fallen, ab gewissen Konzentrationen sogar gesteigert werden kann.

Für diverse Produktgruppen, Verpackungsmaterialien, Lagertemperaturen etc. sind mittlerweile maßgeschneiderte Konzepte und dazu passende Gasmischungen kommerziell erhältlich. Beispielsweise bietet die Firma Lindegas derartige Konzepte unter der Marke MAPAX© an. Weitere, hierorts bekannte Anbieter von Schutzgasmischungen sind Air Liquide und Messer Gase; in der Verpackungstechnik kommt Multivac (D) eine Vorreiterrolle zu.

Während es im Normalfall das Ziel ist, oxidative Einflüsse, also Sauerstoffeinfluss hintanzuhalten, wird im Fleischbereich die sogenannte *high-oxygen-MAP* zur Verpackung von Frischfleisch benutzt. Der Grund dafür ist, dass unter völlig sauerstofffreier Atmosphäre rohes Fleisch sich in der Verpackung grau verfärbt. Die schlachtfrische, hellrote Färbung ist auf den im Blut und letztlich im Muskelfleisch gelösten Sauerstoff begründet („Durchblutung“), welche natürlicherweise nach dem Tod, also dem Wegfall der Durchblutung, in eine Braun/Graufärbung übergeht. Um die konsumentenseitig mit Frische assoziierte, schlachtfrische Färbung aufrechtzuerhalten, aber sehr wohl pathogene, anaerobe Keime weitgehend zu hemmen (also die Wahrscheinlichkeit von Lebensmittelinfektionen zu reduzieren), wird durch *high-oxygen MAP* der Sauerstoffgehalt auf 60-80 % in der Verpackung erhöht. Der restliche Anteil der Atmosphäre in der Verpackung ist Kohlendioxid. Allerdings wird dabei in Kauf genommen, dass sauerstoffinduzierte Reaktionen [z.B. rasches Zähwerden durch Oxidation des Muskelfleisches und Ranzig werden des Fettes (kurzum: der eigentliche sensorische Verderb)] beschleunigt werden. Diese Tatsache wird u.a. auch von der Organisation Foodwatch (2010) kritisiert. Dieser raschere sensorische Verderb kann dazu führen, dass die sogenannten TBARS-Werte (Maß für die Ranzigkeit) in vielen untersuchten Supermarktfleischproben die geschmacklich wahrnehmbare Grenze von 2 µg/g bereits überschritten haben (Foodwatch, 2010). Obgleich dies allgemein bekannt ist, scheint diese Art der Fleischverpackung seitens des Gesetzgebers, sowie der Konsumentinnen und Konsumenten weitgehend akzeptiert zu sein. Die Kennzeichnung muss lediglich durch „unter Schutzgasatmosphäre verpackt“ erfolgen und selbst wenn „mit Sauerstoff angereichert“ verpflichtend wäre, würde das die Kaufentscheidung kaum beeinflussen, weil das Wort Sauerstoff eher positiv besetzt ist (Foodwatch, 2010). Eine alternative Möglichkeit zu Sauerstoff, um den Rotton von Fleisch zu erhalten, wäre der Zusatz von Kohlenmonoxid (CO). Letzteres ergibt allerdings nicht den frischen Rotton, sondern eine kirschrote Farbnote durch Bildung von Carboxymyoglobin. Der Zusatz von 0,3-0,5 % CO in die Verpackungen für Frischfleisch wurde durch den wissenschaftlichen Ausschuss der EFSA (SCF, 2001) unter Kühlung als unbedenklich eingestuft und somit in die Positivliste der Lebensmittel-

Kontaktmaterialien aufgenommen. Es wurde jedoch im Gutachten darauf hingewiesen, dass bei unsachgemäßer Lagerung der Sichtbeweis für Schimmel verdeckt werden kann (SCF, 2001).

Ein weiteres, relativ neues Schutzgas ist das Edelgas Argon, welches eine ähnliche Molekülgröße wie Sauerstoff aufweist, aber eine besserer Löslichkeit, Geschmacks- und Geruchlosigkeit und ein vollkommen inertes Verhalten besitzt. Es ist jedoch teurer, und seine vereinzelt publizierten Vorzüge sind noch nicht ausreichend bestätigt.

2.1.3. Aktive Verpackungen

Im Fall der aktiven Verpackung kann der Zustand des LM im Wesentlichen durch aktive Abgabe bestimmter Substanzen aus der Verpackung an das Füllgut oder Aufnahme von bestimmten Substanzen durch die Verpackung aus dem Füllgut beeinflusst werden. Die zur Aufnahme/Abgabe fähigen Substanzen können entweder in Form von kleinen Säckchen bzw. Beuteln (*Sachets*) im Innenraum der Verpackung liegen (siehe Kap. 2.1.3.1), direkt im Verpackungsmaterial integriert sein, oder letzteres damit beschichtet sein (siehe Kap. 2.1.3.2). Eine gezielte Anpassungsfähigkeit der Materialeigenschaften an gegebene Umweltbedingungen fällt ebenfalls in diesen Bereich (siehe Kap. 2.3.1.3).

2.1.3.1. Klassische Absorber- oder "Sachet"-Technologie

Absorptionsmittel werden dabei in Form von Pulver enthaltenden Säckchen ("Sachets") innerhalb der Verpackung platziert. Diese Vorgangsweise ist in vielen Ländern (z.B. Japan) sehr weit verbreitet. In Einzelfällen finden sich diese Säckchen auch in europäischen Lebensmittelpackungen. Die Verbreitung dieser Applikationsform ist allerdings in der EU sehr gering. Einerseits wahrscheinlich deshalb, weil die Akzeptanz der Bevölkerung von "Chemiesäckchen" mit der Aufschrift „*do not eat*“ verständlicherweise gering ist. Andererseits ist der Vorteil dieser Beutel viel zu wenig bekannt und ihr Einsatz macht das Produkt teurer. Dieselben Substanzen in die Verpackung zu integrieren oder in sogenannte, aus dem Fleischbereich bereits gut bekannte Kissen (*pads*) einzubringen, ist hier der elegantere Weg.

Sauerstoffabsorber

Sauerstoffabsorber binden den (Rest-)Sauerstoff in der Verpackung durch eine chemische Reaktion, um oxidationsempfindliche Lebensmittelbestandteile dadurch zu schützen. Bei den gängigen Sauerstoffabsorbern handelt sich meist um Eisenpulver oder zweiwertige Eisenverbindungen [z.B. Eisen(II)oxid], die bei Sauerstoffkontakt zu einer dreiwertigen Eisenverbindung [z.B. Eisen(III)oxid] oxidiert werden. Zusätzlich kann eine Enzymmischung beigesetzt werden, welche die chemische Reaktion einleitet (BERGMAIR et al., 2010). Beispiele für kommerziell verfügbare Sauerstoffabsorber sind:

- O-Buster® (Dessicare Ltd., US) – Sachets mit Eisenpulver
- FreshMax™ (Multisorb technologies Inc., US) - Aufkleber (Labels), die Eisenpulver enthalten
- SHELFPLUS® O₂ (Albis Plastic GmbH, D) - Eisenpulver in Verpackungsfolie integriert

Ethylenabsorber

Ethylen-Absorptionsmittel können entweder in Form von Sachets, die Kaliumpermanganat (KMnO_4) enthalten, oder in Form von Zeolithen, die in die Verpackungsfolie eingearbeitet sind, eingesetzt werden. Ethylenabsorber sind im Wesentlichen für Obst- und Gemüseprodukte interessant, weil durch die Bindung des entstehenden Reifungsgases Ethylen alle Reifungsprozesse verlangsamt und dadurch Verderbsprozesse unterdrückt werden können. Kaliumpermanganat etwa oxidiert Ethylen zu Acetat und Ethanol. Bei dieser Reaktion ändert sich die Farbe des Absorptionsmittels von violett zu braun.

Beispiele für kommerzielle verfügbare Ethylenabsorber sind:

- Evert-Fresh® (Evert-Fresh Co., USA) - LDPE-Folie mit einem Gas-absorbierenden Mineral namens oya (ähnlich Zeolithe) imprägniert
 - Orega plastic film® (Cho Yang Heung San Co., Korea)
 - Peakfresh® (Peakfresh Products, Australia)
-

Feuchtigkeitsabsorber

Eine zu hohe Feuchtigkeit im Inneren von Verpackungen - etwa durch schlechte Wasserhaltekapazität bei Fleisch und/oder zu hohe Atmungsaktivität von Obst/Gemüse - assoziiert mit kondensierendem Wasserdampf ist eine bedeutende Verderbsursache im Lebensmittelbereich. Feuchtigkeitsabsorber binden, meist mittels Silicagel in Säckchen, überschüssige Feuchtigkeit. Eine weitere Applikationsform sind Pad-Einlagen aus vernetzten Polyacrylaten, welche in der Lage sind, bis zum 500-fachen ihres Gewichts an Feuchtigkeit aufzunehmen (z.B. Luquasorb® FP800, BASF).

Kohlendioxidabsorber

Kohlendioxidabsorber werden eingesetzt, um eine Gasdruckbildung innerhalb der Verpackung durch Entfernung von Kohlendioxid zu verhindern. Ein CO_2 -Absorptionsmittel kann entweder aus physikalischen Absorbenten, wie z.B. Zeolithen oder alternativ aus chemischen Absorbenten [z.B. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$] aufgebaut sein. Hierbei reagiert beispielsweise Calciumhydroxid mit Kohlendioxid zu Calciumcarbonat. Im Prinzip kommt diese Methode nur bei einem Produkt zum Tragen, nämlich bei vakuumverpackten Röstkaffee. Beim Rösten der Kaffeebohnen entsteht Kohlendioxid, welches in den Bohnen verbleibt und erst während der Lagerung ausgast. Das Vakuum in der Verpackung wird dabei aufgehoben.

2.1.3.2 Funktionelle Beschichtungen – „going natural nano“

Bereits seit geraumer Zeit bekannt und viel genutzt ist die grundsätzliche Möglichkeit der Beschichtung herkömmlicher Verpackungsmaterialien. Dabei werden hydrophobe Materialien bzw. Schichten auf das Verpackungsmaterial aufgebracht, um ein Beschlagen zu verhindern (sogenannte *anti-fog* Folien).

Um den Sauerstoffeinfluss zu reduzieren, und damit oxidative Qualitätsminderungen (wie Bräunungsreaktionen oder der Abbau von Vitaminen) zu verhindern, werden oftmals teurere Polymere wie Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH) als Barrierematerial eingesetzt. Neuer ist in diesem Zusammenhang der Trend in Richtung aktiver Beschichtungen zur Erfüllung antimikrobieller und antioxidativer Funktionen beim Verpackungsinhalt, wobei vermehrt natürliche Substanzen dafür verwendet werden. So wurde beispielsweise am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV (Freising, D) im Rahmen des EU-Projektes „Wheylayer“ eine Mehrschicht-Sauerstoff-Barriere aus dem Reststoff Molke entwickelt, womit sich Umweltschutz mit Wirtschaftlichkeit verbinden lässt (WHEYLAYER, 2015).

Daneben wurde die Sinnhaftigkeit des Einsatzes der Partikel in Nanoform zur Verbesserung der Funktionalität, Stabilität und Transparenz erkannt (siehe Kap. 2.3). Aufgrund ihrer Reaktivität benötigt man bei Nanopartikeln keine ganze Schicht, sondern es genügt diese in eine Schicht einzubringen, bzw. diese damit zu überziehen ($\Rightarrow$ *coat*). (siehe dazu auch Kap. 2.2.3 und Kap. 2.3.)

Daneben ist ein relativ neuer kreativer Ansatz die Beschichtung mit den als „natürlich geltenden“, weil von Milchsäurebakterien produzierten Antibiotika Nisin und Lacticin, sowie dem aus Eiern gewinnbaren Enzym Lysozym (zugelassenes als Konservierungsmittel für Käse - E 1105).

2.1.3.3. Anpassungsfähige Verpackungsmaterialien

Neben den Trends Richtung Natur und Nano wird auch die Weiterentwicklung der „konventionellen“ Kunststoffverpackungsmaterialien betrieben. Ein Beispiel dafür sind Spezialfolien der Firma Landec Corporation, welche Materialien unter dem Markennamen Intelimer Polymers® entwickelt hat. Diese Polymere sind durch die Fähigkeit gekennzeichnet, Eigenschaften wie Durchlässigkeit, Adhäsion, Viskosität oder spezifisches Volumen als sinnvolle Reaktion auf Temperaturänderungen anzupassen. Eine Temperaturerhöhung kann beispielsweise für *fresh-cut*-Gemüseprodukte eine deutliche Steigerung der Zellatmungsaktivität bewirken, welche mit entsprechender Gas- und Wasserdampfbildung einhergeht. Der Einfluss der Spezial-Verpackung auf das Füllgut kann nun durch die Erhöhung der Durchlässigkeit der Folie erfolgen. Das trägt nämlich zur Abfuhr des Wasserdampfes bei, um letztlich eine Feuchtigkeitsbildung durch Kondensation in der Verpackung und einen damit verbunden rascheren mikrobiellen Verderb zu verhindern. Chemisch gesehen bestehen diese Materialien aus langkettigen, auf einem Fettalkohol basierenden Polymerketten, deren Basiszustand kristallin ist. Eine erhöhte Temperatur induziert ein Aufschmelzen der Seitenketten, was in einem gasdurchlässigeren, amorphen Zustand resultiert (siehe Abb. 5.2.1). In der *Breathe-way-Technologie*® nutzt Landec diesen Intelimer-Mechanismus in einem Verpackungskonzept, das genau diese Gasdurchlässigkeit bei Temperatursteigerung zum Thema hat. Damit lässt sich in gewissen Grenzen eine optimale Regelung der Gaszusammensetzung innerhalb von Verpackungen bewerkstelligen.

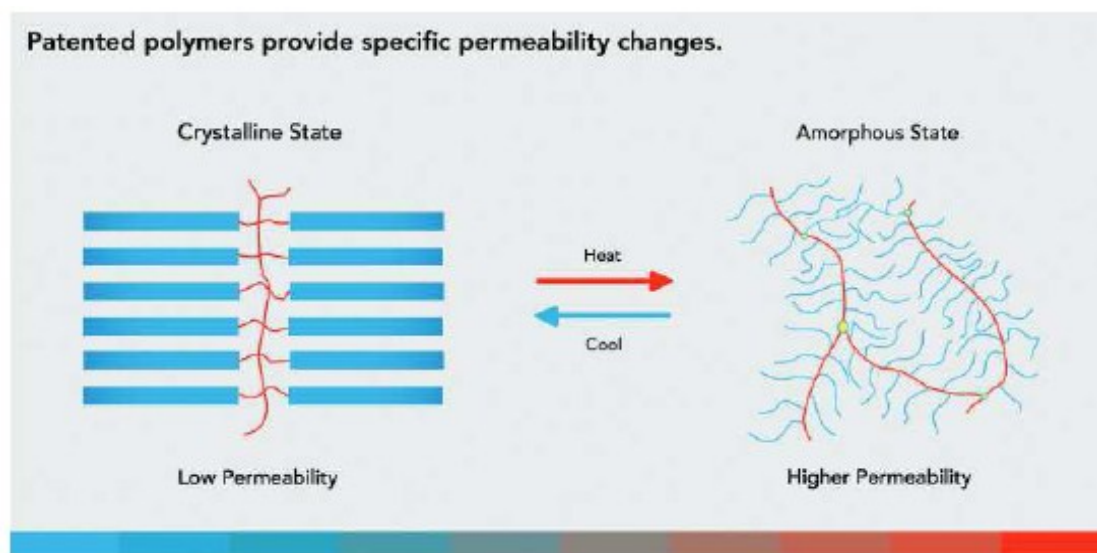


Abb. 5.2.1: Schematische Darstellung der Funktion eines Intelimer Polymers® (Landec Corporation, 2009)

2.1.4 Intelligente Verpackungen

Unter intelligenten Verpackungen versteht man Verpackungen, welche mit Indikatoren bzw. Sensoren versehen sind, welche Information über die Qualität des Inhalts bzw. über qualitätsbeeinflussende Faktoren liefern. Diese Indikatoren bzw. Sensoren können alternativ in der Verpackung integriert sein, an der Außenseite platziert werden oder sich im Verpackungsinnen befinden. Die „Intelligenz“ ergibt sich im Wesentlichen aus der „Kommunikation“ mit der Außenwelt.

Im Bereich der Indikatoren unterscheidet man grundsätzlich zwischen indirekten und direkten Indikatoren. Erstere sind beispielsweise Gasindikatoren. Diese sind dazu bestimmt, die Atmosphäre um das Lebensmittel zu messen, also etwa den Sauerstoff- bzw. Kohlendioxidgehalt. Damit lassen sich beschädigte Packungen erkennen, oder Schlüsse über die Intensität der Atmung des Lebensmittels (etwa für Gemüse) ziehen. Die Sichtbarmachung erfolgt für sämtliche Indikatorsysteme im Allgemeinen durch Farbänderungen. So reagiert z.B. in einem Sauerstoffindikator der enthaltene Redoxfarbstoff Methylenblau mit Sauerstoff, was mit einer Farbänderung einhergeht. Auch sogenannte TTIs (*time-temperature-indicators*), welche Rückschlüsse über eine etwaige Unterbrechung der Kühlkette zulassen, fallen in die Kategorie der indirekten Indikatoren. Beispiele für kommerziell erhältliche TTIs sind MonitorMark™ (3MTM (DE), Timestrip®, TimestripPic (UK), Fresh-Check® (LifeLines (USA), Checkpoint® (Vitsab (S), OnVu™ (Freshpoint BASF (CH). Obwohl es diese Temperaturindikatoren schon seit vielen Jahren gibt, werden sie in der Praxis kaum eingesetzt. Das mag einerseits auf Kostengründe zurückzuführen sein, oder weil keine Interesse besteht gesicherte Informationen über die Einhaltung der Kühlkette zu erhalten.

Direkte Indikatoren sind sinngemäß mit „Frischeindikatoren“ gleichzusetzen. Sie sollen nicht –wie indirekte Indikatoren– Auskunft darüber geben, „was dem Lebensmittel bislang passiert ist“, sondern anzeigen, „wie es um dessen aktuellen Zustand bestellt ist“. Frischeindikatoren geben Informationen über die Anwesenheit von Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Aminen, Ammoniak, organischen Säuren, Ethanol, Toxinen oder gar Enzymen. Aus diesen Daten der mikrobiologischen Stoffwechselprodukte lassen sich wiederum Rückschlüsse auf das Ausmaß einer mikrobiologischen Tätigkeit ziehen. Solche Indikatoren müssen nach aktuellem Stand der Technik nicht mehr „wie Thermometer“ außen an den Verpackungen angebracht werden, sondern sie lassen sich elegant in Verpackungsmaterialien, auch bereits in Nanoform, einbauen.

Es gibt auch einen Trend in der Indikatorforschung zu „natürlichen Indikatoren“, wobei etwa die gängigen chemischen Farbindikatoren wie Methylenblau durch natürliche, pflanzeigene Anthocyane (z.B. aus Rotkohl) ersetzt werden. Anthocyane haben die Eigenschaft, bei pH-Änderung ihre Farbe zu ändern (im sauren Bereich rötlich, im basischen bläulich). Somit bieten sie sich für die Überwachung von Verderbsreaktionen an, die mit einer pH-Wertänderung assoziiert sind. Beispielsweise geht der Anstieg von Verderbnis erregenden *Lactobacillen* mit der Bildung von Milchsäure einher, und verdorbener Fisch wird durch die Bildung freier basischer Stickstoffverbindungen während der Lagerung basisch. Der Milchverderb wurde bereits mithilfe eines Sensors aus Rotkohl erfolgreich nachvollzogen (Pereira et al., 2015).

Die mittels solcher Indikatoren erhaltenen Informationen können den Verbraucherinnen und Verbrauchern den aktuellen Zustand der Genussuntauglichkeit eines Lebensmittels erklären, und/oder ihnen die Möglichkeit verschaffen „dem Lebensmittel qualifizierter beim Verderb zuzuschauen“. Gekoppelt mit Sensortechnik können allerdings die gewonnenen Informationen dazu genutzt werden, um adäquate Gegenmaßnahmen auszulösen. So kann etwa bei erhöhtem Sauerstoffgehalt ein Sauerstoffabsorber den überflüssigen Sauerstoff binden. Eine Detektion erhöhter Konzentrationen an mikrobiellen Atmungsgasen könnte eine antimikrobielle Substanz aus dem Verpackungsmaterial freisetzen usw. Ein Forschungsprojekt an der Universität Basel (unter Leitung von Prof. Palivan) hat in diesem Zusammenhang eine Art Nanokonservierung zum Inhalt. Ziel

ist die Entwicklung von „Nanoreaktoren“ in Lebensmittelverpackungen, die Antioxidantien (wie Vitamin C) enthalten. Diese Antioxidantien werden über die regulierbare Proteinmembran der Nanoreaktoren freigesetzt, wenn sie detektieren, dass die Frische des verpackten Gutes abnimmt (Anonym, 2015).

Noch in den Kinderschuhen, aber künftig wohl möglich, ist die sensorgestützte Bestimmung von Fehleraromen in Lebensmitteln, die wiederum Aufschluss über Qualität/Frischezustand des Lebensmittels geben können. Daran arbeitet z.B. ein namhafter deutscher Hersteller von Gewürzmischungen für die Fleisch-, Fisch- und Backwarenindustrie, nämlich die Firma Kahler Gewürze. Hierzu ist es erforderlich, entsprechenden intelligenten Sensoren („elektronischen Nasen“) beizubringen, „wie jedes einzelne Gewürz riecht“, also zu erklären „exakt diese Mischung aus aromagebenden Molekülen ist typisch für guten Pfeffer, Basilikum etc.“, damit diese in der Routineanalytik Fehleraromen als Abweichungen von diesem definierten Idealzustand erkennen können (Thompson, 2013).

Ein weiteres Einsatzgebiet für eine derartige, in Entwicklung befindliche Sensortechnik ist die Bestimmung des „echten Ablaufdatums“ von Lebensmitteln, was Potential zur Lebensmittelabfallvermeidung haben könnte (179 kg Lebensmittel landen pro EU-Bürger jährlich im Müll). Mindesthaltbarkeitsdaten der Hersteller beruhen nämlich auf Erfahrungswerten inklusive einem hohen Sicherheitsfaktor, damit Hersteller und Handel mit großer Wahrscheinlichkeit nicht für gesundheitliche Schäden durch verdorbene Lebensmittel haftbar gemacht werden können. Nun ist bekannt, dass viele Lebensmittel noch lange nach ihrem offiziellen MHD genießbar sind, viele Konsumentinnen und Konsumenten jedoch ihren Sinnen bei der Entscheidung, diese noch zu verzehren, wenig vertrauen. Mithilfe von Sensoren, die auf Basis von Echtzeitdaten von beispielsweise mikrobiellen Stoffwechselprodukten (wie Aldehyden) Aufschluss über das individuelle voraussichtliche Ablaufdatum des Lebensmittels geben, könnte diese Problematik minimiert werden. Forschungsgruppen im EU-Projekt ToxDtect beschäftigen sich mit der Entwicklung solcher Sensoren (vorerst für Rindfleisch), die als dünne flexible Chips im Miniaturformat in Verpackungen integriert werden und deren Daten mittels externer Lesegeräte/Software auswertbar sein sollen, woraufhin letztlich ein entsprechender individueller MHD-Sticker gedruckt werden kann (Standard, 2014).

Das US-amerikanische Unternehmen Lapka electronics soll ein Sensorbündel zur Ermittlung der Bioqualität von Lebensmitteln entwickelt haben. Dabei wird durch einen Sensor im Wesentlichen die Nitratbelastung gemessen, welche wiederum Rückschlüsse auf für Bio-Lebensmittel unzulässige Düngung geben soll. Die Daten können durch Gratis-Apps auf privaten Smartphones ausgelesen werden. Der dabei förderliche kabellose Datentransfer (meist über RFID bewerkstelligt) wird im Kapitel 3.3 näher beschrieben.

Auch bei den Sensoren geht der Trend Richtung Nano, zumal Nanomaterialien reaktiver und damit sensibler sind (siehe dazu Teil 6 - Kap. 3.1.). Es lassen sich demnach sehr geringe Mengen einer Substanz nachweisen. Beispiele für solche Nanosensoren sind z.B. Kohlenstoff-Nanotubes mit gecoateten Antigenen/Antikörpern, an die entsprechende toxische Moleküle andocken können, beispielsweise zum Nachweis von Allergenen etc. Sozusagen eine „schnelle molekularbiologische Analysenmethode für jedermann“. Auch Bakterien, Pilze, Viren und Prionen lassen sich durch fluoreszierende Halbleiternanopartikel rasch nachweisen (Vinayaka et al., 2010).

2.2 “Natürliche” & bioabbaubare Verpackungen

Eines soll vorweg betont werden, natürlich und recycelt bedeutet nicht, wie häufig angenommen wird, automatisch gesundheitlich unbedenklich. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist die Migrationsproblematik bei recycelten Kartons. Konkret gelangen hier vor allem lösungsmittelhaltige Druckfarben aus Zeitungen, welche sich nicht vollständig im Recyclingprozess entfernen lassen, insbesondere in trockene oder fetthaltige Lebensmittel wie Reis, Nudeln, Schokoladeprodukte, Müsli, Kartoffelknödel und auch Babynahrung. Diese petrochemischen Rückstände können sich in weiterer Folge im menschlichen Körper anreichern und stehen unter Verdacht, krebserregend zu sein. Darauf reagierten etwa die Firmen Sappi Fine Europe zusammen mit BASF mit der Entwicklung von Packungsbeschichtungen mit Mineralölbarriere, abgekürzt MOB (*mineral oil barrier*). So lässt sich weiterhin umweltfreundliches Recyclingpapier bei Sicherstellung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit einsetzen. Bei diesem Verpackungsmaterial handelt es sich um eine engmaschige Polymerschicht kombiniert mit speziellem Dispersionsmittel, womit eine Barriere geschaffen wird, die nur für sehr kleine Moleküle wie Wasserdampf, jedoch nicht für große Moleküle wie Mineralölrückstände durchlässig ist (Sappi Fine, 2014).

2.2.1. Basismaterialien für bioabbaubare Verpackungsmaterialien

Derzeit genutzte Lebensmittelverpackungsgrundmaterialien umfassen (noch?) vorwiegend die petrochemischen und damit nicht nachwachsenden, nicht abbaubaren Verbindungen Polyethylen, Polyester, Polypropylen, Polyamid etc. in Verbindung mit entsprechende Stabilisatoren, Weichmachern, und Barrierschichten (z.B. aus Polyvinylchlorid, Phtalsäureestern, ESBO), was sich allein in den USA jährlich in etwa 31 Mio. Tonnen Plastikmüll, also 12% des Gesamtmülls niederschlägt.

Der unwahrscheinliche, aber im Zusammenhang mit bestimmten Verpackungsinhalten und Lagerbedingungen mögliche Übergang einiger Vertreter bzw. Teile dieser Verbindungen in Lebensmitteln („Migration“) und daraus resultierender, gesundheitlicher Auswirkungen sind zumindest umstritten. Vinylchlorid, Bestandteil von PVC, etwa steht im Verdacht eine schwach teratogene und cancerogene Wirkung zu haben, für Phthalate wird eine schwach östrogene Wirkung vermutet. Aus diesem kombinierten Umwelt- und Gesundheitsaspekt, gaben in einer Umfrage mit 1.000 Personen zum Thema „Verpackungsfreie Lebensmittel“ der Wirtschaftsprüfungs- und Beratungsgesellschaft PwC, 82% der Deutschen an, sich prinzipiell vorstellen zu können, Lebensmittel verpackungsfrei einzukaufen. Also quasi die Verpackung selbst beizustellen, etwa in Form von mitgebrachten Kunststoffboxen. Dabei differenzierten die Verbraucherinnen und Verbraucher sinnvollerweise klar nach Kategorien: Obst und Gemüse (71%), Backwaren (62%), Trockenprodukte wie Reis, Linsen, Teigwaren, Bohnen (37%), Milchprodukte (15%), Essig, Öl und Säfte (14%) (PwC, 2015). Dabei bleiben aber viele nicht erfasste, wichtige Kategorien über (z.B. Fleisch, Convenienceprodukte, *fresh-cut*-Produkte). Die Praxistauglichkeit in Sachen Hygiene und die Diskrepanz zwischen dem in Umfragen geäußerten Umweltaspekt und der tatsächlichen Bereitschaft, den Mehraufwand in Kauf zu nehmen, gilt es erst zu beweisen und darf bezweifelt werden.

Das Bewusstsein in der Bevölkerung für die Problematik ist jedenfalls vorhanden, was den Markt für biologisch abbaubare Verpackungsmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen eröffnet. Bereits viel genutzte, alternative, bioabbaubare Verpackungsbasismaterialien sind Cellulose, Methylcellulose (MC), Carboxymethylcellulose (CMC) und PLA (Polymilchsäure) sowie Stärkepolymere.

Unter den biologisch abbaubaren Materialien gelten im Allgemeinen Cellulosederivate wie CMC und MC aufgrund ihrer guten filmbildenden Eigenschaften und Transparenz als besonders vielver-

sprechend (z.B. Minami et al., 2006). Daneben bieten auch die bekannten proteinbasierten Vertreter Gelatine, Soja- und Molkeprotein ausreichende Filmbildungseignung bei relativ geringer Sauerstoffdurchlässigkeit (OTR) (Miller und Krochta, 1997). Das viel genutzte PLA weist zwar sehr gute mechanische und Barriere-Eigenschaften auf, ist aber vergleichsweise teuer.

Zein (Maisprotein), ein Nebenprodukt der Maisstärkegewinnung, fällt in großen Mengen an. Es zeigte eine gute elektrische Spinnbarkeit, was die Herstellung einer Vielfalt definierter fester Strukturen ermöglicht. So konnten äußerst homogene dicke Röhren, Nanofasern, tropfenförmige Strukturen, sowie maschenartiges Gewebe daraus geformt werden (Torres-Giner et al., 2008). Zein weist außerdem eine hohe Viskoelastizität auf und ist thermisch bis zu 280° C stabil (Corradini et al., 2014). Die stabile Integration diverser Wirkstoffe in Zeinstrukturen und deren kontrollierte Wiederfreisetzung (*controlled release*) scheint möglich (Corradini et al., 2014).

Einige weitere, in wissenschaftlichen Studien für interessant befundene Rohstoffe sind beispielsweise Bambus, Gelatine, Sojabohnenprotein und Gerstenprotein (z.B. Song et al., 2015; Shin et al., 2013). In einem Kompositfilm, bestehend aus Cellulose und Bambus, soll Bambus die Oberflächenhydrophobizität, die Wasserresistenz sowie die thermische Stabilität positiv beeinflussen und ein Material mit ausgezeichneten Sauerstoffbarriereigenschaften ergeben (Song et al., 2015).

Praktischerweise lassen sich auch Nebenprodukte, also sozusagen die „Abfälle“ der Lebensmittelindustrie, ökologisch und ökonomisch sinnvoll als Verpackungsmaterial nutzen. So werden etwa Molkenproteine, sowie Sesamsamenmehlproteine, ein Reststoff der Sesamölherstellung, als vielversprechende Basismaterialien in der Forschung beschrieben (z.B. Lee et al., 2014). Unter vorangehender Hochdruckhomogenisation ließen sich bereits relativ stabile Nanokomposite aus Carboxymethylcellulose und dem Reststoff Apfelschale herstellen (Shin et al., 2014).

Natürliche, bioabbaubare Materialien müssen nicht der Natur entnommen werden, wie für die durch genetisch umprogrammierte Mikroorganismen herstellbare PLA bekannt ist. Auch Cellulose lässt sich durch bakterielle Fermentation unter Nutzung des Bakteriums *Acetobacter xylinum* erzeugen (Stoica-Guzun et al., 2012).

2.2.2. Zusätze zu bioabbaubaren Verpackungsmaterialien

Bei aller Umweltfreundlichkeit weisen bioabbaubare Materialien jedoch mehr oder weniger noch stark ausgeprägte Nachteile gegenüber den bewährten erdölbasierten Kunststoffen auf (z.B. geringere mechanische Stabilität, schlechtere Thermostabilität, unzureichende Barrierefunktion). Die geringere mechanische Stabilität zeigt sich dabei konkret in einer geringeren Elastizität und Bruchresistenz, die Barriere gegenüber Wasserdampf ist häufig unzureichend, die Sauerstoffdurchlässigkeitsrate (OTR) ist suboptimal.

Diese Mankos lassen sich auf folgende Arten und deren Kombination zumindest abschwächen:

- - Kombinationen diverser, mit unterschiedlichen Eigenschaften behafteter Materialien („Bio-komposite“)
- - Schaffung spezieller Strukturen im Material etwa durch geeignete Prozessierung (Kap. 2.4)
- - Einbringen stabilisierender Substanzen, u.a. im Nanomaßstab („bionanocomposites“; Kap. 2.3)
- - Einsatz antioxidativer Moleküle, die vorzugsweise kontrolliert über die Lagerdauer freigesetzt werden („controlled release“).

Um nun die ursprünglich treibende Idee der Umweltfreundlichkeit nicht *ad absurdum* zu führen, sollten diese Zusätze ebenfalls aus dem Kreis der bioverträglichen, idealerweise biologisch abbaubaren Materialien gewählt werden. Der positive Einfluss des Einsatzes der Bioausgangsmaterialien

(Cellulose, Stärke etc.) im Nanomaßstab, sowie des Zusatzes von diversen Tonarten im Nanomaßstab („*nanoclays*“) auf die mechanische Stabilität der Materialien ist wissenschaftlich unbestritten.

Ein aufstrebender Trend in diesem Zusammenhang ist der Einsatz ätherischer pflanzlicher Öle (Beispiele in Kap. 2.2.3), von denen viele eine antimikrobielle und/oder antioxidative Funktion erfüllen. Diese werden oftmals im Zusammenhang mit Nanomaterialien bzw. Nanokompositen erforscht, zumal diese Kombination eine stabile, homogene Integration in die Verpackung ermöglicht. Eine kontrollierte Freisetzung über die Lagerdauer mithilfe dieser Einkapselung in die Verpackung ist vorstellbar. In einem Verpackungsmaterial aus PLA und nanokristalliner Cellulose ließ sich etwa das antibakterielle Oreganoöl stabilisieren und verzögert freisetzen (Salmieri et al., 2014). Das lässt auf die Möglichkeit hoffen, mittels natürlicher ausgeklügelter Verpackungskombinationen die Entwicklung von Bakterien (in dem Fall Listerien) langanhaltend zu unterbinden.

2.2.3. Essbare Überzüge auf Lebensmitteln (*edible films/coatings*)

Ein Spezialfall von „bioabbaubaren Verpackungen“ sind essbaren Überzüge, besser bekannt als „*edible coatings*“. Wie der Name vermuten lässt, bestehen diese aus einer das gesamte Lebensmittel umschließenden Schutzschicht, die als Teil des Produktes unbedenklich mitverzehrt werden kann. Sie soll mehr oder weniger die wichtigsten Funktionen einer Verpackung übernehmen, wie die Vermeidung von Feuchtigkeits- und Aromaverlusten bei Erhalt der jeweils förderlichen Gasdiffusion, oder die Verhinderung eines mikrobiellen Befalls. Das jeweilige Basismaterial wird nach der gewünschten Hauptfunktion ausgewählt. Die meist erforschten und genutzten Vertreter dieser Substanzklassen als Basis für Überzugsmaterialien sind:

- Lipide (Fette, Wachse, Öle): Sie dienen vor allem zur Reduktion von Wasserverlusten
- Polysaccharide (Stärke, Cellulose, *Gummi arabicum*, Chitosan/Chitin usw.): Kontrolle bzw. Regelung der Permeation von Atmungs gasen
- Proteine (Casein, Collagen, Gelatine, Zein, Gluten, Sojaprotein usw.): Erhöhung der mechanischen Stabilität

Dabei gilt das, innerhalb der EU für diesen Zweck nicht zugelassene Chitosan, neben Cellulose das meist verbreitete Polysaccharid in der Natur, als besonders vielversprechend. Es ist nicht toxisch, nicht allergen (im Gegensatz zu Proteinüberzügen), bewirkt eine Reduktion der Atmungsraten und Reifungsprozesse für Obst und Gemüse und eine Inhibierung des Mikroorganismenwachstums (z.B. folgender Arten: *Bacillus cereus*, *Brochothrix thermosphacta*, *Lactobacillus curvatus*, *Listeria monocytogenes*, *Pediococcus acidilactici*, *Candida lambica*, *Botrytis cinerea*, *Pseudomonas fluorescens*, *Cryptococcus humiculus* - also quasi alle pathogenen und haltbarkeitsmindernden Mikroorganismenklassen). Außerdem weist es eine hohe Hitzestabilität und Hochdruckstabilität auf, womit es mit thermischen und hydrostatischen Verfahren kombiniert werden kann. Auch synergistische Effekte mit MAP und organischen antimikrobiellen Säuren, ätherischen Ölen sowie Metallionen und Nanomaterialien (ZnO, Nano-CaCO₃) sind bekannt.

Die angeführten Grundmaterialien für Schutzüberzüge lassen sich mit diversen funktionellen, Nährstoff- und/oder Geschmack gebenden Zutaten weiter aufrüsten. Dabei kann es sich um folgende Stoffe handeln: Antibräunungsmittel (*antibrowning agents*) (z.B. Ascorbinsäure); antimikrobielle Substanzen (z.B. Kaliumsorbat); Textur verbessernde Stoffe (z.B. Calciumchlorid); Nährstoffe und Antioxidantien (z.B. Vitamin E); Aromavorstufen (z.B. Linolensäure); Probiotika (z.B. *Lactobacillus lactis*); Aroma- und Farb gebende Substanzen (z.B. Apfelmus). Der Kreativität sind technologisch kaum Grenzen gesetzt. Mit Silber-Montmorillonit-Nanopartikeln (Ag-MMT) angereicherten Calciumalginatüberzügen konnte die Haltbarkeit von *fresh-cut*-Karotten erheblich erhöhen (Costa et al., 2012). Im Obstbereich ist ein Überzug mit 1-MCP (1-Methylcyclopropan) zur

Verlangsamung der Reifung bereits kommerziell erhältlich (SmartFresh™, Agrofresh Inc., USA). Mit Nature Seal™ ist ein Vitamin- und Mineralstoff hältiges Überzugsmittel mit dem Hauptbestandteil Calciumascorbat auf dem Markt. In Studien erwies sich dieses als förderlich für die Optik von Karottenscheiben in Kühllagertests (Arvanitoyannis, 2012) und in Kombination mit Vanillin als geeignet zur Wachstumshemmung aerophiler Bakterien auf Apfelspalten (Rupasinghe et al., 2006).

Analog zu „richtigen Verpackungen“ ist auch für Schutzüberzüge ein Trend hin zu natürlichen bzw. positiv assoziierten Substanzen merkbar. Dabei bieten sich vor allem ätherische Öle an, deren antimikrobielle und antioxidative Effekte mittlerweile wissenschaftlich anerkannt sind (z.B. Extrakte aus Basilikum, Majoran, Thymian, Oregano, Rosmarin, Kreuzkümmel, Salbei, Melisse, Liebstöckl, Sellerie, Dille und Basilikum) (z.B. Elgayyar et al., 2001; Busatta, 2008; Gutierrez et al., 2008; Shan et al., 2007; Gachkar et al., 2001; Longaray Delmare et al., 2005; Mirjalili et al., 2010). Weitere Wirkungen der genannten Gewürzpflanzen, die synergistisch genutzt werden könnten, sowie rechtliche Probleme damit sind dem Kapitel Gewürzextrakte (Teil 2 – Kap. 1.4.) zu entnehmen. Das höchste Potential bieten die, in vielen Gewürzextrakten vorkommenden Inhaltsstoffe Cavacrol und Thymol, beides in z.B. Thymian, Oregano und Bohnenkraut vorkommende Phenole. Sie wirken, indem sie die Permeabilität von gram-negativen Bakterien herabsetzen, womit überlebenswichtige Zelltransportprozesse gestört werden. Dem Einsatz dieser pflanzlichen antimikrobiellen Öle sind allerdings auch gewisse Grenzen gesetzt. Ihre Wirkung ist im Allgemeinen geringer als die der echten chemischen Konservierungsmittel; und sie weisen charakteristische, organoleptische Eigenschaften auf (ihre Geschmacksnote muss zum zu schützenden Produkt passen). Einige sind nicht oder nur eingeschränkt wasser- bzw. öllöslich, womit man je nach Anwendungszweck Emulsionen herstellen muss, was wiederum dem „Naturimage“ entgegensteht. Außerdem sind sie nur gegen einzelne Bakterienarten effektiv. Das erfordert demnach meist die synergistische Wirkung von Kräuterkombinationen. Oregano und Thymian in Kombination etwa erzielen einen größeren Einfluss auf die Inhibierung von *Bacillus cereus* und *Pseudomonas aeruginosa* im Vergleich zu den Einzelsubstanzen, die Kombination Oregano/Majoran/Thymian/Salbei inaktiviert *E.coli* und *L. monocytogenes* besonders effektiv (Gutierrez et al., 2008).

2.3 Nanostrukturierte Verpackungsmaterialien

Aufgrund der Präsenz und der Brisanz des Themas wurde mehrmals in dieser Studie angeführt, was unter Nanomaterialien zu verstehen ist, nämlich alle Materialien (also aus allen denkbaren Stoffen aufgebaute Materialien), welche in mindestens einer Dimension eine Größe im Bereich von 1-100 nm aufweisen. Demnach fallen nicht nur kugelförmige Nanomaterialien in diese Kategorie, sondern auch Fasern und Filme bei denen eine Dimension im Nanobereich liegt.

Die Allgegenwärtigkeit von „Nano“ ergibt sich weiter aus der Empfehlung der Kommission vom 18. 10. 2011 zur Definition von Nanomaterialien (2011/696/EU), die besagt, dass „auch größere Strukturen, Agglomerate und Aggregate aus nanoskaligen Ausgangsmaterialien, die größer als 100 nm sein können, deren durch die Nanoskaligkeit bedingte Eigenschaften aber erhalten bleiben“ hinzuzählen. Im Grunde versteht man darunter die nanobedingte Funktionalität, also das, was „nano“ interessant macht. Etwas eingeschränkt wurde der Begriff Nanomaterial in der Empfehlung 2011/696/EU dadurch, dass zumindest 50 % des Materials aus Nanopartikeln bestehen muss, um als Nanomaterial zu gelten. Eine verbindliche Definition für Nanomaterialien liegt auf EU-Ebene jedoch bis heute nicht vor.

Nanostrukturen sind keine Erfindung der Wissenschaften, sondern in der Natur und damit auch in Lebensmitteln ubiquitär verbreitet ist. β -Lactoglobulin, ein Protein der Milch, weist beispielsweise Einzelpartikel einer Größe von $\sim 3,6$ nm auf, die zu größeren Gelen aggregieren (Perez-Estevé et al., 2013). Daraus resultiert die Unterscheidung zwischen „natürlichen“ Nanomaterialien und technisch produzierten, also bewusst durch den Menschen hergestellten Nanomaterialien, mit welchen sich dieses Kapitel auseinandersetzt. Die Herstellung letzterer kann auf zwei wesentliche Arten erfolgen, nämlich dem

- - „*bottom-up*“-Ansatz, wobei Moleküle gezielt aneinandergelagert werden, um daraus Nanostrukturen aufzubauen
- - und dem im Verpackungsbereich häufiger genutzten „*top-down*“-Ansatz, wobei durch gezielte, intensive Zerkleinerung (oft in Hochdruckhomogenisatoren) aus den großen Ausgangsmaterialpartikeln kleine Nanopartikeln entstehen.

2.3.1. Warum Nanostrukturen in Verpackungsmaterialien?

Materialien im Nanomaßstab sind aufgrund ihrer großen Oberfläche allgemein reaktiver, fungieren demnach in ihren Funktionen (z.B. antioxidativ, antimikrobiell, auch) besser. Man braucht also weniger Material, um denselben Effekt wie im Großmaßstab zu erzielen. Typische antimikrobielle Nanosubstanzen sind dabei Zinkoxid (ZnO), Magnesiumoxid (MgO) und Silber (Ag). Die Hintergründe der antimikrobiellen Funktion von Nanometallteilchen sind nicht endgültig geklärt. Im Wesentlichen soll unvorteilhafter Ionenaustausch bakterielle Zelltransportsysteme und damit deren Stoffwechsel und Zellteilung stören.

Partikel im Nanomaßstab sind transparenter. Nichtsdestotrotz können ausgewählte Vertreter eine außerordentlich gute Barriere gegenüber UV-Strahlung und/oder Sauerstoff darstellen. Transparenz ist auch bei Verpackungen von Konsumentenseite gewünscht, zumal der mündige Konsument „wissen möchte, was drin ist“. Typische Barriereeigenschaften verbessernde Nanopartikel sind Titandioxid zur Abschirmung von UV-Strahlung (kommerziell erhältlich z.B. im DuPontTM Light Stabilizer 210) und Siliziumoxide als Sauerstoffbarriere (kommerzielle erhältlich z.B. in Durethan[®]-Folie).

Materialien mit Nanopartikeln zeigen auf Nanoebene eine raue Struktur, die wiederum mit einer gewissen Selbstreinigungsfunktion einhergeht („Lotuseffekt“): Die raue Oberfläche lässt Wassertropfen abperlen, wobei diese beim Abrollen Schmutzpartikel mitreißen können. Raue Oberfläche bedeutet weiter eine Art der Vielschichtigkeit, womit man sich herkömmliche Mehrschichtfolien ersparen kann.

Partikel im Nanomaßstab sind von definierter Größe und lassen sich aufgrund ihrer geringen Größe gut homogen verteilen. Dies macht die aus ihnen bestehenden Materialien sehr definiert, gleichmäßig und letztlich stabil. Auch die Vernetzung (Verweben) im Nanomaßstab trägt zu hoher mechanischer Belastbarkeit bei.

Kleinere Partikel sind stabiler, was sie für die Verkapselung von aktiven Substanzen interessant macht. Diese Stabilisierung und den verbesserten *controlled release* nutzt man bereits in der Pharma- und Aromenindustrie.

Die durch Nanostrukturen erzielbare bessere Stabilität in allen relevanten Bereichen bietet Potential zur Verbesserung der an sich mangelhaften Eigenschaften von bioabbaubaren Materialien aus erneuerbaren Substanzen, wie Stärke, Sojaprotein, Milchsäure, Chitosan etc.

Die Umweltrelevanz ergibt sich – neben der Nutzbarmachung von Biomaterialien durch deren Stabilisierung – etwa durch die Möglichkeit der Substitution der Aluminiumdosen durch PET-

Materialien, welche mit Nanostrukturen beschichtet sind (z.B. SiO_x, Schichtsilikate - optimierte O₂/CO₂-Barriere für Softdrinks). Eine orientierende, ökobilanzierende Untersuchung für die Schweiz ergab dabei bei Komplettsubstitution der Aluminiumdosen eine Entlastung von jährlich etwa 10.000 Tonnen CO₂-Äquivalenten (Eberle, 2010).

Um nun die oben genannten Vorteile zu kombinieren, werden auch Materialien in Form von sogenannten (Bio)-Nanokompositen kombiniert. Potentielle Möglichkeiten werden durch ein Auszug aus der aktuellen Literatur im Folgenden verdeutlicht:

- Basismaterial aus dem Reststoff Apfelschalen und Carboxymethylcellulose (CMC) wird mit Nano-Ton stabilisiert (Shin et al., 2014)
- Das erneuerbare, biologisch abbaubare Basismaterial Gerstenprotein wird mit einem Nano-Ton stabilisiert und mit dem natürlichen Antioxidans Grapefruitsamenextrakt versehen, wobei die Mischung als essbarer Überzug für Speisepilze nutzbar ist (Lee et al., 2014)
- Eine Basis aus bioabbaubarer PLA (Polymilchsäure) wird mit bioabbaubarer, nanokristalliner Cellulose stabilisiert und in seinen Barriereigenschaften verbessert und mit hochwirksamen antimikrobiellen Nanosilberpartikel versetzt (Fortunati et al., 2013).
- Eine Basis aus bioabbaubarer Methylcellulose wird mit dem gegen Listerien wirksamen Antibiotikum Pediocin und dem antibakteriellen Nanozinkoxid versetzt, wodurch auch die mechanischen Eigenschaften verbessert wurden, und die Transparenz-Weißfärbung durch den Zusatz von Nanozinkoxid trotz dem milchig gelb-färbenden Pediocin erhalten blieb (Perez-Espitia et al., 2013)
- Der Ölpresrückstand Sesamsamenmehlprotein wird mit einem Nano-Ton stabilisiert (Lee et al., 2014)
- In auf Poly-ε-caprolacton (ein biologisch abbaubarer Kunststoff) basierenden Nanokompositen wird das natürliche Antioxidans Hydroxystyrol stabil eingebracht (Beltran et al., 2014)
- In dem biologisch abbaubaren Nano-PLA wird das natürliche Antioxidans Thymol stabil gehalten (Ramos et al., 2014).
- In nanokristalline PLA-Cellulosekomposite wird die natürliche antioxidativ und antimikrobiell wirkende Substanz Oreganoöl stabil gebunden und kontrolliert freigesetzt, wobei das Öl zusätzlich als Plastifizierungsmittel zu verbesserten elastischen Eigenschaften beitrug (Salmieri et al., 2014)
- Polyethylen wird mit dem natürlichen Antioxidans Thymol versetzt, dessen an sich geringe thermische Stabilität durch Nano-Ton verbessert wurde (Efrati et al., 2014)
- Ein Nanokomposit aus dem bioabbaubaren Chitosan und den antioxidativen und antimikrobiellen Substanzen Neemöl und Zinkoxid wurde als stabiles, transparentes Material mit guten Barriereigenschaften, antimikrobieller Effektivität gegenüber *E.coli* und geringer Quellung (also ausreichender Hydrophobizität) identifiziert (Sanoja et al., 2015).
- Ein Bio-Nanokompositmaterial aus PLA, Thymol und Nano-Ton verbindet gute mechanische Eigenschaften, antioxidative Wirkung und geringe OTR (Sauerstofftransferrate) (Ramos et al., 2014)
- Die Charakterisierung von Bionanokompositen aus Agar und Papier-Maulbeerpulpe-Nanocellulose ergab verbesserte mechanische Eigenschaften und verringerter WTR (Wassertransferrate) gegenüber der Referenzmuster (Redda and Rhim, 2014).
- Ein Chitosan-Magnesiumoxid-Nanokomposit mit eingebrachtem Gewürznelkenöl zeigte Wirkung gegenüber den pathogenen Keimen von *Staphylococcus aureus* durch Stabilisierung des sauerstoffempfindlichen Öls durch MgO sowie verbesserte mechanische und Barriereigenschaften (Sanuja et al., 2014).

Mit Sicherheit auf dem europäischen Markt befinden sich bereits PET-Flaschen mit optimierter O₂/CO₂ Barriere aus Nanokohlenstoff (Ruß) sowie Nano-Siliciumoxiden. Verbundfolien mit optimierten Sperreigenschaften gegenüber O₂, H₂O und Aromen mit dem Nanomaterial Siliciumoxid und PET-Flaschen mit UV-Schutz durch Titannitrid werden ebenfalls bereits eingesetzt. Auf dem

Weltmarkt befinden sich weiter zumindest antimikrobielle Nanoverpackungen mit Silber und Zinkoxiden, und UV-protective Verpackungen aus den Nanomaterialien mit enthaltenem ZnO, MgO und Titandioxid, sowie Verpackungen mit Nano-Reifesensoren (Eberle et al., 2010).

Darüber, was wirklich wo eingesetzt wird, darf spekuliert werden, zumal weder Optik noch simple Analytik über den Nanoaufbau von Verpackungen Aufschluss geben können.

2.3.2. Konsumentenakzeptanz

Im Prinzip gelten für die Akzeptanz der Nanotechnologie im Verpackungsbereich die gleichen Ausführungen, wie sie bereits generell für den Lebensmittelbereich dargelegt wurden (siehe Teil 4, Kap. 1.1.1.5.). Es scheint eine gewisse Skepsis zu entstehen, zumal kaum mehr aktiv mit dem Begriff „Nano“ geworben wird, andererseits existieren zahlreiche Patente, die darin beschriebenen Produkte sind aber nicht auf dem Markt zu finden (Oehlke und Greiner, 2013). Die Anzahl an Nanopatenten im Lebensmittelbereich ist aber nach dem steilem Anstieg in den Jahren 2001-2009 (von ~100/Jahr auf ~2500/Jahr) wieder auf etwa 1100 im Jahr 2011 gesunken (Perez-Estevé et al., 2013).

2.3.3 Risiken

Ein Grund um Nanopartikel in Lebensmitteln (*nano-inside*) zu nutzen, ist die bessere Bioverfügbarkeit, was aber im Verpackungsbereich eine mögliche Gefahr darstellen könnte. Über das Verhalten von Nanopartikel im Magen-Darm-Trakt ist wenig bekannt, aber theoretisch ist eben die Resorbierbarkeit größenbedingt erhöht. Mögliche Wechselwirkungen mit dem Darmepithel könnten dazu führen, dass Substanzen, die bei Normalgröße nicht in den Körper gelangen, in den Blutkreislauf oder das lymphatische System kommen und möglicherweise auch die natürliche Barriere der Blut-Hirnschranke überwinden („*Trojan Horse Effect*“) (Oehlke und Greiner, 2013). Zur Sicherstellung der Unbedenklichkeit von Nanoverpackungen hat demnach die Migrationsprüfung entscheidende Bedeutung. Eine derartige Beurteilung für diverse Größen an Nanosilber- und Nanopalladium in PE und PP-Polymeren unter Simulation von mechanischer und thermischer Beanspruchung führten 2012 Experten der AGES durch. Dazu wurde eine Bestimmungsmethode über sp-ICP-MS (spezielle Art der Massenspektrometrie) entwickelt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Migrationsraten beider NM derart gering waren, dass gesundheitliche Auswirkungen unwahrscheinlich sind. Während eine thermische und mechanische Beanspruchung keinen signifikanten Einfluss auf die Migrationsraten zeigten, erwies sich die Partikelgröße als entscheidender Faktor. Je kleiner die Partikelgröße, desto höher die Gesamtkonzentration im Modelllebensmittel (Keckeis et al., 2014).

2.4 Spezielle Verfahren für spezielle Verpackungsmaterialien

Ein relativ simples Beispiel für die Nutzung neuer Technologien zur Schaffung spezieller Verpackungsmaterialstrukturen ist die Produktion von mikroperforierten Folien unter Durchlöcherung mittels Laserstrahlen (z.B. P-Plus® der Firma Slidlaw Packaging, UK- siehe Kap. 2.1.2).

Eine herkömmliche Möglichkeit, um die Barriereigenschaften von Verpackungen zu verbessern, ist die Nutzung von Mehrschichtmaterialien (Verbundfolien). Ihre Herstellung erfordert einen hohen Materialaufwand. Eine Möglichkeit, dies zu umgehen, ist die Behandlung mit gezielten elektrischen Entladungen, die eine Oberflächenmodifikation im Sinne einer „erhöhter Rauigkeit“ hervorrufen, also sozusagen das Material unregelmäßiger und „vielschichtiger“ machen. Damit lassen sich ähnliche Strukturen und strukturell basierte Eigenschaften schaffen, wie durch die in Kap.2.3 beschriebene Nutzung von Nanomaterialien bzw. Nanobeschichtungen. Grundsätzlich könnte sich dieser Trick auch bei Biomaterialien anwenden lassen. Pankaj et al. (2014) zeigten hierzu positive Auswirkungen bei Zeinpackungen, bei welchen dielektrische Entladungen die Proteinstruktur derart modifizierte, dass eine erhöhte Rauigkeit und eine verbesserte Gleichgewichtsfeuchte resultierte. Diese Verdickung des Packungsmaterials zu einer Art „Hügellandschaft“ kann in weiterer Folge dazu genutzt werden, um die Haftung eingebrachter funktioneller Nanopartikel zu ermöglichen, woran glatte Oberflächen desselben Materials naturgemäß scheitern. So ließ sich beispielsweise ein Nanosilber-Coating in mittels Corona-Entladungen aufgerautem Polyethylen einbringen, womit die Haftung des antimikrobiellen Coatings verbessert wurde (Sadeghnejad et al., 2014).

2.5 Spezielle Verpackungsmaterialien für spezielle Verfahren

Neuartige Verarbeitungsverfahren für Lebensmittel können neuartige Anforderungen an Verpackungen stellen. Dies beruht unter anderem darauf, dass man dazu übergeht, die teure und dennoch mit Rekontaminationsrisiken behaftete aseptische Abfüllung zu umgehen und stattdessen direkt in geeigneten Verpackungen zu prozessieren.

Dazu müssen die Materialien beispielsweise hohem Druck standhalten, leitfähig sein, Plasma halten können etc. Da sich die bisherigen bekannten prozessbedingten Anforderungen (z.B. Hitzestabilität) nicht auf diese, auf anderen Mechanismen beruhenden, Methoden übertragen lassen, müssen hierfür Prozess-/Verpackungsmaterial-Kombinationen individuell evaluiert werden. Während etwa für UV-behandeltes Polypropylen keine wesentlichen Veränderungen im Vergleich zum Ursprungszustand feststellbar waren (Keklik et al., 2009), erwies sich das Kompositmaterial aus Polyvinylalkohol und bakterieller Cellulose als äußerst instabil gegenüber einer UV-Behandlung (Stoica-Guzun et al., 2012). Im Test verschiedener Kunststoffe zeigte sich eine Abhängigkeit der Dekontaminationseffizienz für das neuartige Haltbarkeitsverfahren mit gepulsten Lichtblitzen (*pulsed-light*) von den Parametern Rauigkeit und Reflektivität (Ringus und Moraru, 2013). Für das neuartige Oberflächenentkeimungsverfahren mit kaltem Plasma peilt die Forschung derzeit ebenfalls *inpack-Anwendungen* an (z.B. Misra et al., 2014), was voraussetzt, dass die Packung das „aktive Gasgemisch“ zuverlässig hält. Selbiges gilt für MAP-Gase, für welche sogar versucht wird, Synergien mit anpassungsfähigen mikroperforierten Materialien zu generieren, um optimale Atmung von Obst und Gemüse zu ermöglichen.

Mehrschichtige, wiederverwendbare Laminatbeutel mit integrierten Elektroden sollen die Zubereitung von warmen Speisen in der Raumfahrt via Ohm'sche Erhitzung ermöglichen (Somavat et al., 2012). Hochdruckgeeignete Verpackungslösungen werden von der deutschen Firma Multivac entwickelt, aus deren Forschung bereits kommerziell erhältliche hochdruckstabile MAP-Verpackungen hervorgingen. Forschungsprojekte der Partner DIL (Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik) und der Firma Mondi Packaging resultierten ebenfalls in patentierten, hochdruckstabilen Kopfraumverpackungen. Das entwickelte System basiert auf einem „Tray-in-

tray“-Konzept, dessen Funktionsprinzip in Abb. 5.2.2 bildlich dargestellt ist (Töpfl und Bader, 2012).

HPP Tray-in-Tray Konzept

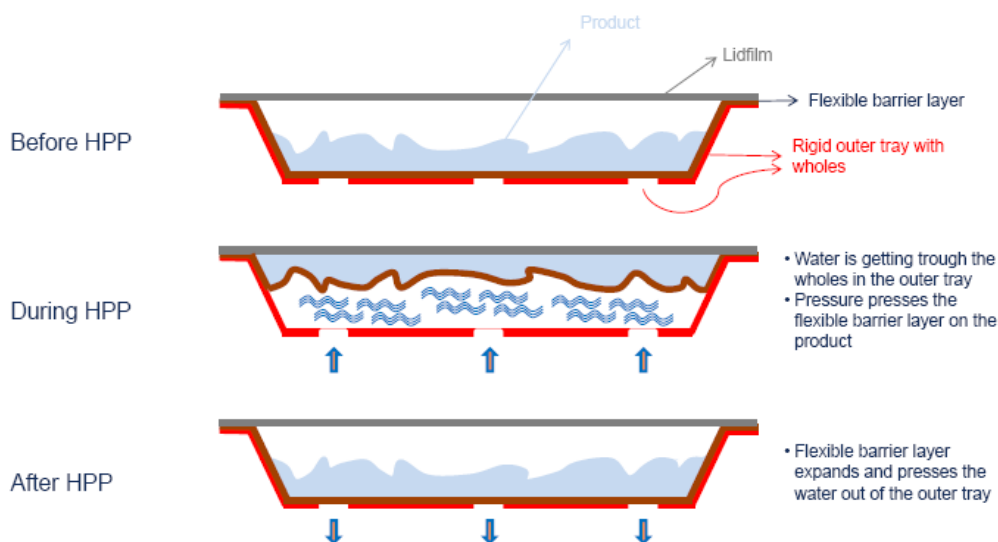


Abb. 5.2.2: Tray-in tray-Konzept einer hochdruckstabilen Verpackung der Fa. Mondi Packaging (Töpfl und Bader, 2013)

Im Bereich EMAP-Verpackung gibt es ebenfalls neue Lösungs- und Verbesserungsansätze. Die Firma Cellresin Technologies (USA) hat einen Weg gefunden, den Ethylen-Inhibitor 1-MCP (1-Methylcyclopropen) auf Verpackungsoberflächen zu drucken. Der bei der Atmung freigesetzte Wasserdampf aktiviert dessen Freisetzung während der Lagerung, womit letztlich die Reifung verzögert wird. Über die Dicke der aufgedruckten Schicht und der Größe der bedruckten Fläche und der 1-MCP Konzentration lässt sich die gewünschte Wirkung regeln (Arthur, 2014). Ebenso wurden nanostrukturierte Calciumsilikate erfolgreich zur Absorption von Ethylen und CO₂ und damit zur Reifungsverzögerung eingesetzt (Iyengar et al., 2009).

2.6 Rechtliche Aspekte von Lebensmittelkontaktmaterialien

Die allgemeinen Anforderungen an sämtliche Lebensmittelkontaktmaterialien sind in der Rahmenverordnung (EG) Nr. 1935/2004 festgelegt.

Die Regeln guter Herstellungspraxis für Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen, werden in Verordnung (EG) Nr. 2023/2006 beschrieben.

Für bestimmte Materialien – wie Keramik, regenerierte Zellulose-Folie, (wiederverwertete) Kunststoffe sowie aktive und intelligente Materialien – gibt es spezifische EU-Verordnungen. Außerdem existieren Richtlinien zu einzelnen Stoffen bzw. Stoffgruppen, die bei der Herstellung von Lebensmittelkontaktmaterialien verwendet werden.

- Die Verordnung (EU) Nr. 10/2011 über das Inverkehrbringen von Materialien und Gegenständen aus Kunststoff („Plastic implementation measure“, PIM) legt fest:

- o Eine Positivliste der Monomere, Zusatzstoffe und anderer Ausgangsstoffe, die bei der Herstellung von Kunststoffen für den Lebensmittelkontakt verwendet werden können

- o Anforderungen, z.B. den Gesamtmigrationsgrenzwert, den spezifischen Migrationswert usw., die das Fertigerzeugnis einhalten muss, wenn es mit entsprechenden Lebensmittelsimulanzien geprüft wird.

- Die Verordnung (EG) Nr. 450/2009 legt spezifische Anforderungen für die Verwendung und Zulassung aktiver und intelligenter Materialien fest, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Durch diese Verordnung wurde auch eine Liste von Stoffen eingeführt, die bei der Herstellung dieser Materialien eingesetzt werden können: Substanzen dürfen in diese Liste aufgenommen werden, nachdem ihre Sicherheit durch die EFSA bewertet wurde.

Bezüglich Nanomaterialien wird auf das EFSA-Dokument „Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain“ verwiesen (EFSA, 2011).

3. Technische Neuerungen in der Lebensmittelkennzeichnung

3.1. Anforderungen der Lebensmittelinformationsverordnung (LMIV)

Die allgemeinen Kennzeichnungsbestimmungen der EU-Lebensmittelinformationsverordnung VERORDNUNG (EU) Nr. 1169/2011 müssen seit dem 13.12. 2014 angewendet werden. Sie gilt auf allen Stufen der Lebensmittelverarbeitung für alle Lebensmittel im Detailhandel und in der Gemeinschaftsverpflegung. Die wesentlichen Neuerungen sind die Mindestschriftgröße von 1,2 mm (ausgenommen Verpackungen < 80 cm², hier reichen 0,9 mm), die Verpflichtung zur bisher freiwilligen Nährwertkennzeichnung (*Big 7*: Energiegehalt, Fettgehalt, gesättigte Fettsäuren, Kohlenhydrate, Zucker, Eiweiß und Salz), die Allergenkennzeichnung auch für unverpackte Lebensmittel, die Verpflichtung zur Angabe der Herkunftsbezeichnung für eine erweiterte Gruppe an Lebensmitteln, die Angabe des Einfrierdatums für Tiefkühlware und die Kennzeichnung von Nanomaterialien (nach Zutat muss das Wort „Nano“ in Klammer gesetzt werden). Zudem gilt ein erweiterter Schutz vor Täuschung und Irreführung, womit falschen Erwartungen vorgebeugt werden soll. Bei Fleischstücken etwa, die der Konsument für aus einem Stück gewachsen halten könnte, ist der Hinweis „aus Fleischstücken zusammengefügt“ anzubringen, Bilder etc. dürfen keine nicht vorhandenen Zutaten vortäuschen, und wenn eine bestimmte Eigenschaft an einer Stelle beworben wird, muss deren tatsächliches Vorhandensein auch in der Nährwerttabelle „bewiesen“ sein (z.B. ballaststoffreich).

Zusammen mit den bislang bereits verpflichtenden Angaben, wie Füllmengen, Hersteller, Allergenkennzeichnung, Barcodes zur Sicherung der Rückverfolgbarkeit, müssen demnach heutzutage sehr viele Informationen auf eine Lebensmittelverpackung gedruckt werden, sie ist sozusagen u.a. zu einer „Informationsplattform“ gewachsen.

3.2. Laser etching (*Laser engraving*)

Die Verpflichtung zur Weitergabe ausreichender Informationen, Rückverfolgbarkeit, Werbung und Preiskennzeichnung kann für einige Produktgruppen durch Ätzen oder Gravieren mit einem Laserstrahl (*laser-etching*) erfüllt werden. *Laser etching* ist das Aufbringen einer Art abriebfester Kennzeichnung direkt auf der Lebensmitteloberfläche („branding“/„tattoo“) meist unter Nutzung der „Farbstoffe“ Eisenoxid oder Eisenhydroxid, um die Laserwirkung zu verstärken.

Mit dieser Methode werden z.B. in Neuseeland und Australien bereits viele Früchte legal eindeutig identifizierbar gemacht (Aufdruck eines Logos, einer Seriennummer, eines Barcodes etc.). Innerhalb der EU wurde die Nutzung von *Laser-etching* für Früchte 2013 ebenfalls zugelassen (Ho, 2013), die amerikanische FDA prüft noch. Der Ätzung erfolgt im Allgemeinen in den äußersten 2-3 Zellschichten der Schale. Es lassen sich allerdings nahezu alle Lebensmitteloberflächen (z.B. Kekse, Toastbrot, Schokodrops - ausgenommen sind Blattgemüse und Mais) mittels Laserstrahl ätzen.

Die dem Zulassungsverfahren vorangegangenen Sicherheitsbedenken umfassten dabei weniger mögliche Oxidationen von Lebensmittelinhaltsstoffen. Da lediglich die Schale oder ein kleiner Bereich des Lebensmittels betroffen ist, sollte das zu keinen wesentlichen Änderungen im Nähr-

wertprofil führen [Zitat: „*The pigment penetrates 2-3 cell layer, a tomato has 100 cell layers deep so it doesn't affect the product*“ said Greg Drouillard, researcher at Sunkist (Spinner, 2014)]. Auch das Einbringen von Eisenoxid wird als unbedenklich gesehen, zumal dieses auch als Zusatzstoff zugelassen ist und in nicht relevanten Mengen zum Einsatz kommt. Bedenken gab es vielmehr, dass die entstehenden Kavitäten eine Eintrittspforte für etwaige den Verderb erregende oder gar pathogene Mikroorganismen darstellen könnten. Die University of Florida und das US-Department of Agricultural Research Service (USDA-ARC) führten diesbezüglich eine Studie in Kooperation mit der Zitrusbauernvereinigung von Sunkist am Objekt Grapefruit durch. Die Ergebnisse zeigten keine wesentliche Veränderung über die Lagerdauer für Früchte, die *laser-etching* durchliefen, gegenüber der Kontrolle. Theoretisch sollten auch Früchte mit wenig ausgeprägter Schale/Haut zerstörungsfrei behandelt werden können. Die Technologie vorerst aber auf Objekte mit stark ausgeprägter Schalendicke wie Citrusfrüchte (Studie: Grapefruit) zu beschränken bis weitere Studien vorliegen, macht dennoch methodisch Sinn. Im Lebensmitteleinzelhandel würde man sich für diese Produktkategorie unter anderem die üblichen Markensticker und Barcode-Sticker sparen. Obgleich Früchte mit *Laser-etching branding* innerhalb der EU vertrieben werden dürfen und europäische Firmen entsprechende Lasertechnik kommerziell vertreiben (z.B. Eurolaser GmbH, D), sieht man sie in heimischen Supermärkten noch nicht. Möglicherweise vermutet der Handel, dass die Akzeptanz der Konsumentinnen und Konsumenten dafür (noch) nicht gegeben ist.



Abb. 5.3.1: Apfel mit *laser-etching* versehen (Eurolaser, 2015)

3.3. Weiterentwicklung des Bar-Codes, QR- Codes etc.

Die Fülle an verpflichtenden und weiterführenden Informationen passt immer weniger auf die Verpackungsflächen der Lebensmittel. Deshalb wurde eine Technologie entwickelt, welche die Weitergabe aller vom Lebensmittelunternehmer zur Verfügung gestellten Daten über den Barcode auf der Verpackung auf ein Smartphone der Käufer ermöglicht. Dabei wird mit unsichtbarer, leitfähiger Tinte ein Code auf die Verpackung gedruckt (sog. *Aircode*), der bei Kontakt mit einem Smartphone-Display dessen elektrisches Feld derart verändert, sodass die hinterlegten Informationen abgerufen und durch eine gekoppelte Software ausgewertet werden können.

Ein weiterer Dateninformationsfluss kann über die Nutzung des Mediums Radiowelle gewonnen werden. Die sogenannte **Radio-frequency Identification** (RFID) arbeitet mit wenigen Millimeter

großen Funkchips, die Daten über mehrere Meter an geeignete Funkempfänger senden können. Die prinzipielle Eignung dieses Systems wurde bereits in einem Testsupermarkt der Kette Metro anhand von mit Funkchips ausgestattetem Fleisch getestet, womit Inhalt und Haltbarkeit der Produkte in den Kühltruhen überwacht werden konnten. Diese Daten lassen sich grundsätzlich auch mit Smartphones der Verbraucherinnen und Verbraucher auslesen. Es könnte einem also „der Kühlschrank sagen, welche Lebensmittel als nächstes verbraucht bzw. verzehrt werden sollte“.

Ein weiterer Trick, um „Platz zu sparen“ und dennoch die für die Lebensmittelsicherheit (sowie auch Fälschungssicherheit) notwendige Rückverfolgbarkeit zu garantieren, ist die mittlerweile technisch mögliche Nutzung sogenannter „*nano-barcodes*“. Diese bestehen aus Nanopartikeln, welche ausschließlich unter UV-Lampen sichtbar werden.

4. Literatur zu Teil 5

- Anonym (2015): Gesunde Ernährung und nachhaltige Lebensmittelproduktion. Schweizer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.
(www.nfp69.ch/SiteCollectionDocuments/nfp69_programmbroschuere_d.pdf; Zugriff 20.04.2015)
- Arthur R. (2014): Increasing shelf-life in fruit and vegetables. Foodproductiondaily.com (15.10.2014).
- Beltran A., Valente A.J.M., Jimenez A. and Garrigos M.C. (2014): Characterization of poly (ϵ -caprolactone) based nanocomposites containing hydroxystyrol for active food packaging. Journal of Agricultural and Food Chemistry 62, 2244-2255
- Corradini E., Curti P.S., Meniqueti A.B., Martins A.F., Rubira A.F. and Muniz E.C. (2014): Recent advances in food-packaging, pharmaceutical and biomedical applications of zein and zein-based materials. International Journal of Molecular Sciences 15, 22438-22470
- DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 1363/2013 DER KOMMISSION vom 12. Dezember 2013 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel im Hinblick auf die Begriffsbestimmung für „technisch hergestellte Nanomaterialien“. EU-Amtsblatt L 275/40, 20.10.2011
- DIALOG-FORUM CHEMIE (2015): Was sind aktive bzw. intelligente Verpackungen? (<http://chemie-ist-in.at/DE/dialogforum-chemie/Was+sind+aktive+bzw.+intelligente+Verpackungen.aspx>; Zugriff 10.04.2015)
- Eberle U. (2010): TA Swiss-Studie: Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel. Tagung: Regulierung von Nanomaterialien- Verantwortlicher Umgang mit verbrauchernahen Produkten (18.2.2010).
- Efrati R., Natan M., Pelah A., Haberer A., Banin E., Dotan A. and Ophir A. (2014): The combined effect of additives and processing on the thermal stability and controlled release of essential oils in antimicrobial films. Journal of Applied Polymer Science, DOI: 10.1002/APP.40564
- EFSA (2011): Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain. EFSA Journal 9, 2140 [36 pp]
- Eurolaser (2015): Laserschneiden und Lasermarkieren von Nahrungsmitteln und Pflanzlichem.
(www.eurolaser.com; Zugriff 10.03.2015)
- Fortunati E., Peltzer M., Armentano I., Jimenez A. and Kenny J.M. (2013): Combined effects of cellulose nanocrystals and silver nanoparticles on the barrier and migration properties of PLA nano-biocomposites. Journal of Food Engineering 118, 117-124
- FRAUNHOFER-INSTITUT (2015): Aktive und intelligente Verpackung.
(www.ivv.fraunhofer.de/content/dam/ivv/de/documents/infoblaetter/Lebensmittelqualitaet/Aktive_und_intelligente%20Verpackungen.pdf; Zugriff 09.04.2015)
- Ho, E. (2013): Laser-etched fruit labels will make stickers obsolete- Bye-bye icky food labels. Now food information will be written directly on skin. (www.newsfeed.time.com; Zugriff 03.03.2015)
- Keckeis, A., Hameter, C., von der Kammerer, F., Wagner, S., Hofmann, T., Schalkhammer, T., Schlauf, M., Feldbacher, S. and Steinwider, J. (2014): Nano-Metalle in Lebensmittelkontaktmaterialien – Anwendung, Untersuchung von Lebensmittelsimulanzien und Bewertung. Ernährung aktuell 3/2014, 10-11
- Keklik N.M., Demirci A. and Puri V.M. (2009): Inactivation of *Listeria monocytogenes* on unpackaged and vacuum-packaged chicken frankfurters using pulsed UV-light. Journal of Food Science 74, M431
- Landec Corporation (2009): BreatheWay membrane technology- Intelligent modified atmosphere packaging. (www.breatheway.com; Zugriff 03.03.2015)
- Lee J.H., Song N.B., Jo W.S. and Song K.B. (2014): Effects of nano-clay type and content on the physical properties of sesame seed meal protein composite films. Food Science and Technology 49, 1869-1875
- Misra N.N., Keener K.M., Bourke P., Mosnier J.P. and Cullen P.J. (2014): In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. Journal of Bioscience and Bioengineering 118, 177-18.

- Oehlke K. und Greiner R. (2013): Nanomaterialien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen. AID - Lebensmittel im Fokus 13-03-04/13.
- Pankaj S.K., Bueno-Ferrer C., Misra N.N., Bourke P. and Cullen P.J. (2014): Zein film: Effects of dielectric barrier discharge atmospheric cold plasma. Journal of Applied Polymer Science, DOI: 10.1002/APP.40803.
- Pereira V.A., de Arruda I.N.Q. and Stefani R. (2015): Active chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleracea* (red cabbage) as time-temperature indicators for application in intelligent food packaging. Food Hydrocolloids 43, 180-188
- Perez-Espitia P.J., Ferreira Soares N. F., Teofilo F.F., dos Reis Coimbra J.S., Vitor D.M., Batista R.A., Ferreira S.O., de Andrade N.J. and Alves Medeiros E.A. (2013): Physical-mechanical and antimicrobial properties of nanocomposite films with pediocin and ZnO nanoparticles. Carbohydrate Polymers 94, 199-208
- Perez-Esteve E., Bernardos A., Martinez-Manez R. and Barrat J.M. (2013): Nanotechnology in the development of novel functional foods or their package. An overview based in patent analysis. Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture 5, 35-43
- PERFOTEC (2015): Extending the shelf life of fruit and vegetables. (<http://perfotec.com/>; Zugriff 20.04.2015)
- Pwc (2015): Verpackungsfreie Lebensmittel: Verbraucher setzen beim Einkauf auf Umweltschutz und Müllvermeidung. (www.pwc.com; Zugriff 10.03.2015)
- Ramos M., Jimenez A., Peltzer M. and Garrigos M.C. (2014): Development of novel nano-biocomposite antioxidant films based on poly(lactic acids) and thymol for active packaging. Food Chemistry 162, 149-155
- Reddy J.P. and Rhim J.W. (2014): Characterization of bionanocomposite films prepared with agar and paper-mulberry pulp nanocellulose. Carbohydrate Polymers 110, 480-488
- RICHTLINIE 2002/72/EG DER KOMMISSION vom 6. August 2002 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 220/19, 15.8.2002
- Ringus D. and Moraru C.I. (2013): Pulsed light inactivation of *Listeria innocua* on food packaging materials of different surface roughness and reflectivity. Journal of Food Engineering 114, 331-337
- Sadeghnejad A., Aroujalian A., Raisi A. and Fazel S. (2014): Antibacterial nano silver coating on the surface of polyethylene films using corona discharge. Surface & Coatings Technology 245, 1-8
- Salmieri S., Islam F., Khan R.A., Hossain F.M., Ibrahim H.M.M., Miao C., Hamad W.Y. and Lacroix M. (2014): Antimicrobial nanocomposite films made of poly(lactic acid)-cellulose nanocrystals (PLA-CNC) in food applications. Part B: Effect of oregano essential oil release on the inactivation of *Listeria monocytogenes* in mixed vegetables. Cellulose 21, 4271-4285
- Sanuja, S. Agalya, A. and Umapathy, M.J. (2015): Synthesis and characterization of zinc-oxide-neem oil-chitosan bionanocomposite for food packaging application. International Journal of Biological Macromolecules 74, p 76-84.
- Sanuja S., Agalya A. and Umapathy M.J. (2014): Studies on magnesium oxide reinforced chitosan bionanocomposite for active food packaging application. International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials 63, 733-740
- Sappi Fine (2014): Schluss mit Mineralöl in Lebensmitteln- Neue Papiere mit Barriere bekommen Migrationsproblematik in den Griff. Lebensmitteltechnik 12/2014, 50-51
- SCF (2001): Scientific Committee on Food: Opinion of the Scientific Committee on Food on the use of carbon monoxide as component of packaging gases in modified atmosphere packaging for fresh meat (adopted on 13 December 2001) (www.contactalimentaire.com/fileadmin/ImageFichier_Archive/contact_alimentaire/Fichiers_Documents/Opinions/op_13-12-2001.pdf; Zugriff 10.04.2015)
- Shin S.H., Kim S.J., Lee S.H., Park K.M. and Han J. (2014): Apple peel and carboxymethylcellulose-based nanocomposite films containing different nanoclays. Journal of Food Science, DOI: 10.1111/1750-3841.12356.

Shin Y.J., Song H.Y., Jo W.S., Lee M.J. and Song K.B. (2013): Physical properties of a barley protein/nano-clay composite film containing grapefruit seed extract and antimicrobial benefits for packaging *Agaricus bisporus*. International Journal of Food Science and Technology 48, 1736-1743

Somavat R., Kamonpatana P., Mohamed H.M.H. and Sastry S.K. (2012): Ohmic sterilization inside a multi-layered laminate pouch for long-duration space missions. Journal of Food Engineering 112, 134-143

Song F., Xu C., Bao W.Y., Wang X.L. and Wang Y.Z. (2015): Bamboo (*Neosinocalamus affinis*)-based thin film, a novel biomass material with high performances. Carbohydrate Polymers, 119, 167-172

Spinner, J (2014): FDA sees the light on label-less food marking. FoodProductiondaily.com. 22.05.2014; Zugriff 10.03.2015

Standard (2014): Lebensmittelfrische: Ein Sensor für jedes Steak. 6.5.2014.

Stoica-Gutun A., Stroescu M., Jipa I., Dobre L., Jinga S. and Zaharescu T. (2012): The effect of UV-irradiation on polyvinylalcohol composites with bacterial cellulose. Macromol. Symp. 315, 198-204

Töpfl S. und Bader H. (2013): Automatisierte Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln. Präsentation: (www.fei-bonn.de; Zugriff 10.03.2015

VERORDNUNG (EG) Nr. 1935/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. Oktober 2004 über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen und zur Aufhebung der Richtlinien 80/590/EWG und 89/109/EWG

VERORDNUNG (EU) Nr. 1169/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Oktober 2011 betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1924/2006 und (EG) Nr. 1925/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinie 87/250/EWG der Kommission, der Richtlinie 90/496/EWG des Rates, der Richtlinie 1999/10/EG der Kommission, der Richtlinie 2000/13/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 2002/67/EG und 2008/5/EG der Kommission und der Verordnung (EG) Nr. 608/2004 der Kommission. EU-Amtsblatt L 304/18

WHEYLAYER (2015): Barriere biopolymers for sustainable packaging (www.wheylayer.eu/de/; Zugriff 20.04.2015)

Teil 6

Detektion und

Analyse von

Lebensmitteln

1. Einleitung

Durch die Fortschritte in der Mikroelektronik und der Nanotechnologie ist gegenwärtig eine stille und schleichende Revolution im Gange, welche die Steuerung, Kontrolle und Überwachung der Lebensmittelherstellung, sowie die Kontrolle, Untersuchung und Charakterisierung der Lebensmittel entscheidend verbessern und erleichtern wird. Diese beiden Technikbereiche überschneiden sich immer mehr und verwachsen miteinander. Dadurch eröffnen sich neue Möglichkeiten, deren Potential derzeit gar noch nicht abschätzbar ist.

Beispielsweise kann bei der Lebensmittelherstellung die Qualitätskontrolle verstärkt von den Endprodukten zu den Ausgangsstoffen verlagert werden. Das bedeutet, dass nicht zuerst Lebensmittel produziert werden, und dann deren Qualität bestimmt wird, sondern zuerst die Rohstoffe auf ihr Potential untersucht und selektiert werden. Rohstoffe, aus denen keine Lebensmittel mit den entsprechenden Qualitätsanforderungen erzeugt werden können, gelangen gar nicht in die Produktionslinie (siehe Kap. 2).

Bei der Kontrolle und Analyse von Lebensmitteln ist es vorstellbar, dass diese zukünftig teilweise durch die Konsumenteninnen und Konsumenten selbst erfolgen kann. Am Körper getragene Kleinstgeräte (*wearable devices*¹) erobern unser Leben. Sie können mit entsprechenden Miniaturanalysengeräten und Nanosensoren ausgestattet werden, die alles Mögliche messen können, auch die Qualität von Lebensmitteln. Ein in dieser Hinsicht bereits existierendes Beispiel für tragbare Analysengeräte sind Blutzuckermessgeräte für Diabetiker.

Die Entwicklungen verlaufen so rasch und sind so komplex, dass eine erschöpfende Behandlung hier nicht möglich ist. Es können nur einige Möglichkeiten beispielhaft aufgezeigt werden.

¹ *wearable devives* – Kleinstcomputer mit allen möglichen Funktionen, wie z.B. Mobiltelefone, Computeruhren

2. Neue Detektionsmethoden in der Lebensmittelproduktion

Die Rohstoffeingangskontrolle und Produktausgangskontrolle sind wesentliche Elemente zur Generierung und Einhaltung hoher Qualitätsstandards bei der Lebensmittelproduktion. Bei der Eingangskontrolle an der Produktlinie stehen Verunreinigungen, Rohstoffverarbeitungseigenschaften und die Rohstoffzusammensetzung im Fokus der Untersuchungen. Bei der Ausgangskontrolle an der Produktlinie geht es vor allem um Fremdkörperdetektion in den Lebensmittelverpackungen. Produktsicherheit und Produkthaftung stellen nämlich heute für alle Produzenten eine große Herausforderung dar.

Die früher üblichen Sichtkontrollen und manuelle Aussortierung durch die Beschäftigten an der Produktlinie sind aus Kostengründen heute kaum mehr möglich und üblich. Die Menschen wurden durch maschinelle Detektions- und Selektierungsmethoden ausgetauscht. Das menschliche Auge wurde dabei durch Farbfernsehkameras ersetzt. Die aufgenommenen Bilder werden mit einer Bilderkennungs- und -verarbeitungssoftware ausgewertet ($\Rightarrow$ *computer vision technology*). Die erhaltenen Informationen werden in weiterer Folge in Befehle zur Auslösung bestimmter Aktionen umgesetzt, wie beispielsweise zur Sortierung oder Aussortierung von geprüften Elementen (Rohstoffstücke, Packungen). Auf diese Weise lassen sich beispielsweise geröstete Kaffeebohnen einzeln aufnehmen und je nach Röstgrad (Farbgrad) sortieren. Die Kaffeebohnen fließen dabei über eine breite Rutsche in einer Schicht, wie ein Vorhang, an einer oder mehrerer Farbfernsehkameras vorbei. Von jeder einzelnen Kaffeebohne wird ein Bild aufgenommen und mit einem vorgegebenen Farbgrad verglichen. Entspricht dieser, wird die Bohne weiter fallen. Wenn nicht, erhält eine pneumatische Düse vom Computer einen Befehl und schießt diese Bohne mit einem Luftstrahl aus dem Produktstrom heraus. In ähnlicher Weise kann das bei der Sortierung von fermentierten Tee, bei der Eingangskontrolle von Getreide in der Müllerei (Aussortierung von Fremdsamen, Bruchkörnern etc.), oder bei der Endkontrolle von Kartoffelchips oder Pommes frites erfolgen. Also überall dort, wo sich visuelle Unterschiede in Form, Größe, Farbe und Textur ergeben. Solche Sortiergeräte sind heute Stand der Technik, werden aber noch viel zu wenig von den Lebensmittelproduzenten genutzt, obwohl sie auch für kleine Hersteller sinnvoll und leistbar wären.

Der Nachteil solcher bildgebenden Systeme ist, dass sie nur sichtbare, äußere Merkmale erfassen können. Innere Eigenschaften werden nur dedektiert, wenn sie äußere Veränderungen oder Unterschiede ergeben. Der nächste Schritt war deshalb, statt Normallicht auch andere Bereiche des elektromagnetischen Spektrums zur Beleuchtung der Objekte zu verwenden und spektrale Messmethoden einzusetzen, welche die Reflexion, Transmission, Fluoreszenz oder Raman-Streuung erfassen. Landwirtschaftliche Produkte und Lebensmittel enthalten alle funktionelle Molekülgruppen (C-H-, N-H- und O-H-Gruppen), die eng mit Oberton- und Kombinationsschwingungen der Spektren von nahem Infrarotlicht (NIR) korreliert werden können (Pu et al., 2015). Damit kann ein Zusammenhang zwischen den aufgenommenen Spektren und Inhaltsstoffen hergestellt werden, beziehungsweise letztere sehr rasch und zerstörungsfrei ermittelt werden. Ausgehend von NIR-Laborspektrometern hat diese Technik schon seit längerer Zeit Eingang in die Produktionslinien in Form von *in-line*-Geräten gefunden (z.B. kontinuierliche Erfassung des Proteingehaltes von Getreidekörnern).

Spektrale Einzelpunktmessungen setzen aber ein homogenes Probenmaterial voraus, was aber in der Praxis kaum gegeben ist. Außerdem sind die einzelnen Stücke eines Rohstoffes oder Lebensmittels hinsichtlich der Verteilung von Inhaltsstoffen sehr inhomogen. Dieses Problem kann gelöst werden, indem bildgebende und spektrale Scans kombiniert werden, um spektrale Information in

räumlichen bzw. örtlichen Details von Proben zu erhalten. Diese Vorgangsweise wird als **Bild gebende oder ortsauflösende Spektroskopie (*hyperspectral imaging* - HSI)** bezeichnet (Pu et al., 2015). Solche Systeme kommen aus der Fernaufklärung mit Infrarotkameras aus Flugzeugen oder Satelliten und stehen im Bereich der Lebensmitteltechnik am Beginn ihres Einsatzes.

Mit hyperspektralen Spektrometern wird die 2-D-Information (Intensität gegen Wellenlänge) um die dritte Dimension, den Ort, erweitert. Dazu muss der Messkopf oder das zu messende Objekt definiert bewegt werden (Scannen bzw. rastern mit Zeilenkameras) (Abb. 6.2.1). Spektrale Zeilenkameras liefern für jeden Bildpunkt der Zeile ein komplettes Spektrum, wobei die Größe des Bildpunktes von der Auflösung abhängig ist. Daraus können in der nachfolgenden Datenverarbeitungskette viele relevante Informationen erhoben werden (INSORT, 2015). Die resultierenden Messwerte lassen sich in einem dreidimensionalen Raum darstellen. Es entsteht ein spektrales Bild, welches auf einer Achse die Ortsinformation, auf der zweiten Achse die Wellenlängeninformation und auf der dritten Achse die spektrale Intensitätsinformation enthält.

HSI-Systeme bestehen aus den vier folgenden Komponenten:

- (1) Bildgebende Komponente
- (2) Beleuchtungsquelle bzw. kann auch die Oberfläche selbstleuchtend sein.
- (3) Probentisch (z.B. Förderband)
- (4) Computer mit entsprechender Rechnerkapazität und geeigneter Auswertungssoftware



Abb. 6.2.1: Prinzip der bildgebenden Spektroskopie (*hyperspectral imaging*) (INSORT, 2015)

Mit der bildgebenden Spektroskopie steht eine schnelle, kontinuierliche, zerstörungsfreie Messmethode zur Verfügung, die in Zukunft die Rohstoffeingangs- und Produktausgangskontrolle in der Lebensmitteltechnik revolutionierend in folgender Weise verändern kann:

- a) Die Rohstoffeingangskontrolle kann kontinuierlich hinsichtlich der Zusammensetzung und den daraus resultierenden funktionellen und sensorischen Eigenschaften erfolgen. Durch Kopplung des HSI-Systems mit einer nachgeschalteten Effektorik kann eine (Aus-)Sortierung nach allen möglichen Kriterien erfolgen. Nicht geeignete Rohstoffpartien bzw. einzelne Rohstoffstücke werden ausgeschleust, gelangen gar nicht in die Produktionskette und müssen nicht mühselig und kostenintensiv als fehlerhafte Endprodukte aussortiert werden.
- b) Kontinuierliche Überwachung von Verarbeitungslinien an kritischen Stellen. (Praktisches Beispiel: In Abhängigkeit der mittels bildgebender Spektroskopie kontinuierlich ermittelten Tro-

ckensubstanz von geschnitten Kartoffeln werden die Durchsatzzeiten der Fritteuse und der Trocknung gesteuert. Die gewünschte Endtrockensubstanz kann dadurch präzise eingehalten werden, ohne, wie derzeit, aus Sicherheitsgründen eine Über Trocknung vorzunehmen.)

c) Kontinuierliche Qualitätskontrolle der Endprodukte

Laut Pu et al. (2015) ist die HSI eine Messmethode mit großem Potential, wobei aber nach Ansicht dieser Autoren noch einige Hindernisse für einen praktischen Echtzeit-Einsatz überwunden werden müssen. Die Autoren sind mit ihrer Ansicht zu pessimistisch, weil der technische Einsatz der HSI schon verwirklicht wurde. Erfreulicherweise ist eine österreichische Firma auf diesem Gebiet führend. Die Fa. Insort GmbH (INSORT, 2015) hat ihre Kenntnisse und Erfahrungen bei der Klassifizierung und Sortierung von Kunststoffabfällen erfolgreich auf Lebensmittel und Lebensmittelrohstoffe übertragen und in Anlagen umgesetzt. Abb. 6.2.2 zeigt ein bereits in der Praxis verwirklichtes Beispiel, wo Kartoffel schon vor der Verarbeitung ausgeschleust werden können, welche später fehlerhafte Pommes frites ergeben. Es handelt sich um sogenannte „sugar ends“-Kartoffel (Synonymbezeichnungen: „trans-lucent ends“, „jelly ends“ und „glassy ends“). In diesen Knollen tritt eine durch diverse Umweltfaktoren hervorgerufene Anreicherung von reduzierenden Zuckern am Stammende ein, die verstärkt bei den bevorzugt zur Pommes frites-Herstellung verwendeten, langknolligen Kartoffelsorten auftritt. Die Erscheinung ist von großer ökonomischer Bedeutung, weil die lokal akkumulierten reduzierenden Zucker mit Aminosäuren durch Maillardreaktionen Pommes frites mit dunkel verfärbten Stellen ergeben. Diese Stücke sind stark qualitätsbeeinträchtigend und müssen aufwändig aussortiert werden. Das Problem ist, dass die Bräunung erst unter Erhitzung, also beim Kunden oder bestenfalls in späteren Prozessschritten im verarbeitenden Betrieb auftritt, wodurch große Probleme mit Reklamationsware entstehen können. Mit der HSI können Kartoffelknollen, die Bereiche mit erhöhter Zuckerkonzentration haben, erkannt und vor der Weiterverarbeitung ausgeschleust werden. Der Fa. Insort ist damit eine großindustrielle Lösung dieses Problems gelungen.

Abb. 6.2.3. zeigt Beispiele der Fremdkörperidentifikation mit dem HSA-System der Firma Insort GmbH.

Diese beiden praktischen Beispiele zeigen schon das große Potential dieser zukunftsweisenden Technik. Im Folgenden werden weitere, mögliche Einsatzbeispiele dazu angeführt:

- Detektion von Parasiten in Rohstoffen
- Eine Detektion und Quantifizierung von Stücken, die mit Mycotoxinen belastet sind, erscheint prinzipiell möglich. Mycotoxine sind nie gleichmäßig über Rohstoffpartien verteilt, sondern es sind jeweils nur einige Körner, Samen oder Früchte befallen. Mit herkömmlichen Analysetechniken sind diese nur schwer zu identifizieren. Wenn es gelingt, diese schon vor der Verarbeitung zu ermitteln und auszusortieren, wäre das ein immenser Vorteil hinsichtlich der Reduzierung der Mycotoxinbelastung.
- Klassierung jedes einzelnen Getreidekorns nach dessen Proteingehalt und -qualität. Jedes Getreidekorn könnte damit der optimalen Bestimmung zugeführt werden.
- Klassierung von einzelnen Obststücken nach deren Reifegrad, Zuckergehalt und Festigkeit
- Identifizierung von an der Oberfläche bzw. knapp unterhalb der Oberfläche befindlichen Fehlstellen (z.B. Druckstellen)
- Lokalisierung von Defekten von Obst (z.B. dem „brown-heart“-Defekt in Birnen)
- Ermittlung des Zuckergehalts von Zuckerrüben
- Klassierung von Ganzfischen nach Frische, Größe, Defekten, Textur und Fettgehalt

- Identifizierung von Krankheiten, Verschmutzungen und Frische von Hühnern
- Klassifizierung von Steaks, Filets, Faschiertem nach Textur, Fettgehalt usw.

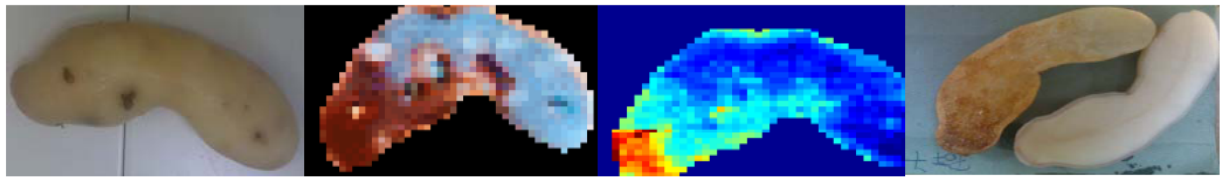


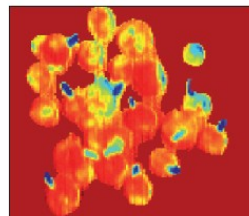
Bild einer Farbkamera
Kein Sugarend Defekt
sichtbar

Chemisches Abbild durch eine Chemical Imaging Camera:
Aufgrund der unterschiedlichen chemischen
Zusammensetzung werden Sugarende sichtbar

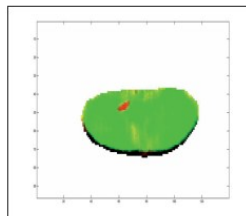
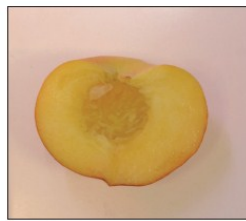
Der Sugarend Defekt sichtbar
nach dem Frittieren und
unsichtbar vor dem Frittieren

Abb. 6.2.2: Inhaltsstoffbestimmung und –verteilung mittels bildgebender Spektroskopie (*hyperspectral imaging*) am Beispiel von Kartoffeln (INSORT, 2015)

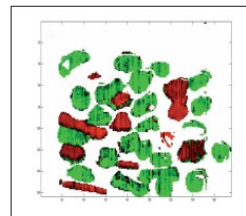
Anwendungsbeispiele: Farbkamerabild obere Reihe; „Chemical Imaging“ untere Reihe:



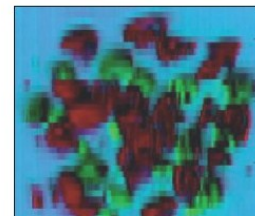
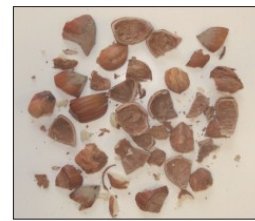
Heidelbeeren gefroren
Heidelbeeren (rot)
Stängel, Blätter (hier in blau) und
Heidelbeerkäfer sind detektierbar



Pfirsich
Kernsplitter (rot eingefärbt) klar
abgegrenzt zum Fruchtfleisch
(grün).



Champignons getrocknet
Fremdkörper wie z.B. Holz,
Papier und Kunststoffolie sind in
rot eindeutig sichtbar gemacht



Haselnüsse
Haselusschalen in rot und
Nüsse in grün – das chemische
Abbild zeigt eine eindeutige
Trennung

Abb. 6.2.3: Fremdkörperdetektion mittels bildgebender Spektroskopie (*hyperspectral imaging*) (INSORT, 2015)

Es kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass sich die HSI-Technik mit ihrer weiteren Entwicklung und Optimierung in Zukunft in der Lebensmittelverarbeitung auf breiter Front durchsetzen wird. Die daraus resultierenden Vorteile ergeben für alle Player in der Lebensmittelversorgungskette große Vorteile, auch für die Konsumentinnen und Konsumenten.

3. Neue Lebensmittel-Analysetechniken

Kuhlmeier et al. (2012) fassen die grundlegenden Entwicklungen auf diesem Gebiet sehr gut zusammen. Demnach gehören mikro-elektromechanische Systeme (*micro-electro-mechanical systems – MEMS*) zum Stand der Technik in vielen Bereichen, wie der Kommunikations- und Automobilindustrie. MEMS sind miniaturisierte Geräte, die aus mechanischen und elektronischen Bauteilen bestehen und in Massenfertigung erzeugt werden. Der naheliegende Schritt war es nun, MEMS auch zur Konstruktion von Diagnosegeräten, bzw. miniaturisierten Labors oder Laborfunktionen einzusetzen. Der Begriff **Lab-on-a-chip** charakterisiert diese Entwicklung sehr treffend. Diese miniaturisierten, automatisierten Geräte ersetzen große Labor(geräte), sind überall und jederzeit einsetzbar und können auch von Laien bedient werden.

Ein Lab-on-chip besteht aus einer miniaturisierten Plattform, bei der die zu untersuchende Probe (Flüssigkeit, Gas) in Mikrokanälen mittels eines Antriebelementes ($\Rightarrow$ *Actuator*)² zu den funktionellen Bereichen transportiert wird. Die funktionellen Bereiche sind integrierte Mikrosensoren, an denen Moleküle selektiv binden oder eine (bio)chemische Reaktion auslösen. Dieses Ereignis wird durch den Sensor in ein elektrisches Signal umgewandelt, welches aufgezeichnet wird, ausgelesen oder anderweitig nutzbar ist.

Nach Kuhlmeier et al. (2012) werden MEMS durch Nanotechnologie teilweise oder komplett neu gestaltet und die Miniaturisierung in den Nanobereich fortgesetzt. Es entstehen Nanokanäle, Nanoactuatoren, Nanosensoren usw. Die erforderlichen Probenmengen werden ebenfalls immer kleiner und könnten im Biobereich zur Analyse einer einzelnen Zelle führen.

3.1. Sensortechnik im Bereich Lebensmittel

Ein Sensor für Lebensmittelqualität ist ein Gerät, das auf eine oder mehrere Eigenschaften der Umgebung oder des Analyts (= die zu analysierende Substanz) anspricht und die Reaktionen in ein Signal umwandeln kann. Das Signal kann direkt über den gewünschten Qualitätsfaktor Informationen liefern, oder eine bekannte Relation zu diesem aufweisen. Die Informationen müssen oft erst durch komplexe Datenverarbeitungen extrahiert werden (Holm, 2003).

Sensoren lassen sich aufgrund ihrer Funktion in folgende Klassen einteilen (Holm, 2013):

- Biosensoren, zu denen ein biologischer Stoff, wie Enzyme oder Antikörper gehören.
- Sensoren, die auf einem elektrischen Signal basieren [z.B. potentiometrisch-chemische Sensoren, Metalloxyd-Halbleiter (MOS), Feldeffekttransistoren (FET) oder leitende Polymer-Sensoren (CPS)]
- Sensoren, die auf Interaktion mit elektromagnetische Wellen basieren; insbesondere Sensoren, die sichtbare, ultraviolette und Infrarotwellen (NIR, NIT, FTIR, Thermographie), Mikrowellen, Radiowellen, Röntgenstrahlen oder Hochfrequenzwellen (nukleare oder elektronische magnetische Resonanz) verwenden,
- Sensoren, die auf der Interaktion mit Ultraschallwellen basieren (100 kHz – 1 MHz)

² Aktuator – z. B. Mikropumpe, piezoelektrischer Motor, deren Antrieb elektrisch, durch Licht, pH- oder Temperaturunterschiede erfolgt.)

- Sensoren, die auf Frequenzvariationen basieren [z.B. Quartz Crystal Microbalance (QCM) und Surface Acoustic Waves (SAW)]
- Sensoren, zu denen selektive Mittel gehören, wie z.B. molekulare Filme oder komplexbildende Filme.

3.1.1 Integrierte Sensoren in der Verpackung (⇒ intelligente Verpackung)

Zeit-Temperaturindikatoren gibt es schon seit mehreren Jahrzehnten. Solche *Smart-labels* können auf Lebensmittelverpackungen angebracht oder integriert werden und zeigen den Frischzustand oder die Haltbarkeit des Lebensmittels an. Im Prinzip beruhen diese Indikatoren auf temperatur- und/oder zeitabhängigen physikalischen, chemischen, enzymatischen oder mikrobiologischen Reaktionen.

Eine breitere Anwendung ist aber bis jetzt ausgeblieben. Das kann auf erhöhte Verpackungskosten zurückzuführen sein, oder auf mangelnde Akzeptanz seitens der Produzenten, des Handels oder der Verbraucher. Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes IQ-freshlabel wurde in mehreren EU-Ländern die Akzeptanz solcher Indikatoren erhoben (IQ-freshlabel, 2014). Sowohl Hersteller als auch der Handel sehen darin Vorteile; und die Konsumentinnen und Konsumenten wären angeblich sogar bereit bis zu 20 Cent mehr dafür zu bezahlen.

Derzeit laufen weltweit intensive Forschungen um *Smart labels* und elektronische Etiketten weiter zu entwickeln. Die Indikatoren werden durch Sensoren ersetzt, die nicht nur Zeit und Temperatur, sondern auch andere Parameter aufzeichnen und speichern können.

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat eine Sensorfolie entwickelt, die in die Innenseite der Verpackung integriert werden kann und auf biogene Amine reagiert (Trupp, 2011). Letzteres sind chemische Verbindungen, die bei den Zersetzungsprozessen von Fleisch und Fisch während der Lagerung entstehen. Werden diese nun in der Verpackung freigesetzt, reagiert der Indikatorfarbstoff der Sensorfolie ab einer bestimmten Konzentration mit ihnen und verfärbt sich von gelb zu blau.

An der TU-München (Anonym, 2013) wird an Gassensoren auf der Basis von Kohlenstoff-Nanoröhrchen gearbeitet, die kleinste Veränderungen der Konzentration von Ammoniak, Kohlendioxid und Stickstoffdioxid registrieren können. Sie arbeiten bei Raumtemperatur und benötigen kaum Energie. Solche Sensoren lassen sich kostengünstig auf flexible Materialien applizieren. Es ist leicht vorstellbar, solche flexiblen Einwegsensoren in Lebensmittel-Kunststoffverpackungen zu integrieren. Die gemessenen Gaskonzentrationen wären ein viel genauerer Indikator für den aktuellen Frischzustand eines Lebensmittels als ein routinemäßig aufgedrucktes Haltbarkeitsdatum.

Im laufenden EU Forschungsprojekt TOXDTEXT sollen dünne flexible Chips entwickelt werden, die in jede Verpackung integrierbar sind (TOXDTECT, 2015). Völlig berührungslos sollen Sensoren die Schutzgasatmosphäre in den Fleischverpackungen analysieren. Gemessen werden flüchtige Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen (z. B. Aldehyde), die an der Sensoroberfläche andocken. Ein externes Lesegerät, das auch den erforderlichen Strom für die Chips liefert, kann dann die Konzentration dieser Stoffe in Echtzeit feststellen. Eine Software errechnet aus den Daten, wie lange das Fleisch noch haltbar ist.

Sensoren können mit RFID-Chips³ verbunden werden, die ein berührungsloses Auslesen oder Anzeigen der Daten ermöglichen. RFID-Systeme bestehen aus einem sehr kleinen Transponder (Sender) und einem externen Lesegerät und sind heute in vielen Handelsbranchen üblich und als Funketiketten bekannt. Mit Kunststoffelektronik lassen sich wahrscheinlich Systeme aus Sensor/Signalkonverter/RFID-Chip zu einem Preis unter einem Cent herstellen (Pichler, 2013). Damit sind sie theoretisch für einzelne Lebensmittelkleinpackungen anwendbar. Das Auslesen der gesammelten Informationen (z.B. Frischeszustand des Lebensmittels) wäre durch die Endkunden auch mit dem Smartphone möglich.

Die nächste Stufe bzw. der nächste logische Schritt wäre, dass in der Verpackung integrierte Sensoren nicht nur die sensorische und/oder hygienische Qualität messen und anzeigen (⇒ passive Methode), sondern steuern (⇒ aktive Methode). Beispielsweise könnten sie die kontrollierte, sukzessive Freisetzung von Antioxidantien in Abhängigkeit vom gemessenen Sauerstoffgehalt, sowie die von Konservierungsmitteln je nach Keimgehalt regeln.

Noch viel leichter als in Lebensmittel-Kleinpackungen lassen sich solche Sensoren in größere Gebinde, Lagerbehälter oder auch im Haushaltskühlschrank integrieren. Die elektronische Etikette macht die lückenlose gesamte Geschichte und den Zustand des Inhaltes jederzeit und durch Funk überall verfügbar.

Kommt diese Technik, wenn alle Kostenprobleme gelöst sind, irgendwann einmal zum Einsatz, entstehen „**gläserne Lebensmittel**“. Jede Lebensmittelverpackung oder der Kühlschrank „spricht mit uns“. Können die Konsumentinnen und Konsumenten mit dieser Fülle an Informationen umgehen? Ist es nützlich, wenn der Kühlschrank unserem Smartphone meldet, dass ein Lebensmittel abgelaufen ist, oder gleich über das Internet automatisch eine Nachbestellung macht? Ist weniger mehr? Möchte der Handel wirklich, dass die Konsumentinnen und Konsumenten alle Informationen erhalten? Viele offene Fragen, die wahrscheinlich nur durch eine intelligente Nutzung dieser Technik in den intelligenten Verpackungen zu lösen sind.

3.1.2 Externe Sensortechnik

Miniaturisierte Sensoren und Sonden in „*wearable devices*“ werden es in Zukunft ermöglichen, den Frischeszustand oder die Qualität von Lebensmitteln sehr rasch zu erfassen. Auch auf diesem Gebiet gibt es schon praktische Beispiele.

Auf dem Fischmarkt in der Hafenstadt La Rochelle, Frankreich ist ein an der dortigen Universität entwickeltes mit Geruchssensoren bestücktes, tragbares Messgerät (e.fish) im Einsatz, welches die Resthaltbarkeit der angebotenen Fische misst.

Ein an der UNI Bremen entwickeltes, auf einem Hochfrequenzverfahren basierendes Handgerät kann herausfinden, ob ein Fisch während der Lagerung einfach oder doppelt gefroren wurde. Diese elektronische Spektroskopie ermittelt den Abbaugrad von Proteinen aus den Änderungen der Impulssignale. Es ist damit möglich innerhalb von Sekunden die mögliche Lagerdauer auf ein bis zwei Tage genau zu bestimmen (Anonym, 2015 a).

Mit einem taschenbuchgroßen Scanner, der farbiges Laserlicht aussendet, kann der Frischeszustand von Fleisch ermittelt werden. Je nach Frische des Fleisches wird das Laserlicht unterschiedlich gestreut (Raman- und Fluoreszenz-Spektroskopie). Die ermittelten Informationen werden

³ RFID = *radio-frequency identification*

über einen Funkchip an eine integrierte Etikette gesendet und gespeichert und lassen sich von dort jederzeit wieder auslesen (Anonym 2015 b).

An der Universität Innsbruck arbeitet man daran, mittels eines tragbaren Messgerätes, welches auf der Nah-Infrarotspektroskopie basiert, die Qualität von Äpfeln (z.B. Reifegrad, Herkunft) und anderen Lebensmitteln zu messen. Ziel der Forscher ist es, ein für den Alltagsgebrauch durch die Konsumentinnen und Konsumenten nutzbares Gerät zu entwickeln (Anonym, 2014).

3.2. Künstliche Sinne für die Ermittlung der Lebensmittelqualität

Wir nutzen zur Erkennung und zum Genuss von Lebensmitteln alle unsere Sinne. Der Ersatz unserer Sinne durch Messgeräte ist beim Hörsinn, Tastsinn (Texturmessung) und Farbsinn schon lange und sehr gut möglich. Spektral-Farbmessgeräte können beispielsweise viel exakter und objektiver Farbnuancen und -intensitäten erkennen und vergleichen.

Aufgrund ihrer Komplexität ist die Nachahmung des Geruchs- und Geschmacksinnes nicht mehr so leicht zu bewältigen. Trotzdem gibt es auch hier schon Messgeräte im Einsatz, mit denen das zumindest teilweise gelingt. Mit den Fortschritten in der Sensortechnik und Mikroelektronik sind hier in Zukunft ebenfalls maßgebliche Verbesserungen zu erwarten.

3.2.1. Elektronische Nase

Unser Geruchssinn ermüdet leicht und ist subjektiv. Eine objektive, reproduzierbare, instrumentelle Messung des Geruchs könnte deshalb in vielen Bereichen, u.a. auch bei der Lebensmittelherstellung zur Qualitätskontrolle von großem Vorteil sein. Solche Instrumente werden als elektronische Nasen (*electronic noses*) bezeichnet, existieren schon seit den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts und sind kommerziell verfügbar (Loutfi, 2015).

Eine elektronische Nase besteht aus einer Reihe von Sensoren, die auf unterschiedliche Stoffe und Merkmale ansprechen, und einem Musterkennungssystem. Die ersten Systeme basierten auf massenspektrometrischen und gaschromatographischen Methoden. Dabei werden die in einer Probe enthaltenen, einzelnen Stoffe aufgetrennt und detektiert.

Die nächste Generation benutzt Gassensoren, die jeweils spezifisch auf einen Stoff ansprechen. Mehrere solcher elektrochemischer Gassensoren werden zusammengeschaltet. Das Messprinzip zur Erfassung einzelner Stoffe kann auf allen oben angeführten Sensortechniken beruhen.

Die von den einzelnen Sensoren gelieferten Signale müssen in Daten umgewandelt und diese mit geeigneten Nachbearbeitungsverfahren analysiert und klassifiziert werden. Dabei werden die unterschiedlichsten statistischen Auswertemethoden (Software) verwendet (z.B. Hauptkomponentenanalyse, Diskriminanzanalyse, Fuzzylogik, künstliche neuronale Netzwerke) (Loutfi, 2015).

Hauptanwendungsgebiete für elektronische Nasen sind Fisch-, Fleisch-, Milchprodukte, Wein, Kaffee, Tee und Spirituosen. Seit 1993 finden sich in der Literatur 5.000 Publikationen, die sich mit dem Einsatz von elektronischen Nasen bei Lebensmitteln beschäftigen. Das allein bestätigt, die große Bedeutung dieser Analysetechnik (Loutfi, 2015).

Es ist zu erwarten, dass mit der weiteren Entwicklung der Sensortechnik (stabile, driftfreie Sensoren) und der Auswertetechnik eine Nutzung sensorischer Nasen im breiteren Umfang als derzeit und nicht nur im Labor sondern in der Produktionskontrolle erfolgen wird.

3.2.2. Elektronische Zunge

Etwas anders als bei elektronische Nasen ist das Prinzip bei der elektronischen Zunge. Menschen erfassen zwar den Geschmack eines Lebensmittels über die unterschiedlichen Geschmacksrezeptoren für die Grundgeschmacksrichtungen. Die Rezeptoren lösen Reize aus, die über Nerven an das Gehirn zur Auswertung geleitet werden. Die Untersuchung der Nervenimpulse zeigt aber, dass an den sie einsammelnden Nervenfasern immer eine Pluralität der auslösenden chemischen Reize wirkt (Ahlers & Keil, 2014). Das bedeutet auch, dass unser Gehirn den Geschmack eines Lebensmittels als Muster erfasst und mit angelernten Erfahrungen vergleicht.

Diesen Vorgang versucht man nun bei der elektronischen Zunge nachzuahmen. Es wird nur registriert, wie stark die einzelnen Sensoren ansprechen, statt aufwändig einzelne Geschmacksrichtungen exakt zu verorten. Die Signale werden mit Mustererkennungsverfahren gekoppelt. Für jede Probe wird also eine Art „Fingerabdruck“ gewonnen. Ein Vergleich mit gespeicherten Referenzmustern ermöglicht eine Zuordnung oder stellt Abweichungen vom Referenzmuster fest, wie sie durch Verfälschungen, Alterung, Verderb oder Prozessfehler auftreten (Anonym, 2004).

Die Messsensoren in elektronischen Zungen erfassen elektrochemische Signale beispielsweise durch Messung von Nernst-Spannungen, Potentiometrie oder zyklischer Voltametrie (Anonym, 2004; Ahlers & Keil, 2015).

Praktische Anwendungen einer elektronischen Zunge sind derzeit noch kaum gegeben. Ein häufig angeführtes Beispiel ist die Identifizierung echter thailändischer Tom-Ka-Gai-Suppe, die nicht aus einer vorverarbeiteten Paste sondern aus frischen Ingredienzen hergestellt wird. Diese kommerziell erhältliche Maschine stellt mit zehn Sensoren ein elektro-chemisches Profil einer Suppe her und vergleicht diesen Fingerprint mit dem gespeicherten Profil einer echten Suppe (Anthony, 2014).

3.3. Molekulares Prägen (*molecular imprinting*)

Beim molekularen Prägen werden die später zu identifizierenden Zielmoleküle als Schablone (*template*) verwendet, und um sie herum eine Polymermatrix synthetisiert. Anschließend werden die Zielmoleküle aus der Polymermatrix entfernt bzw. heraus gelöst. Es bleiben Hohlräume zurück, die eine exakte Negativform des Zielmoleküls in räumlicher Hinsicht aber auch bezüglich der Ladungsverteilung darstellen (Abb. 6.3.1). Es entsteht also eine Schlüssel/Schloss-System, ähnlich der Enzym/Substrat- oder der der Antikörper/Antigen-Wechselwirkung (Anonym, 2006).

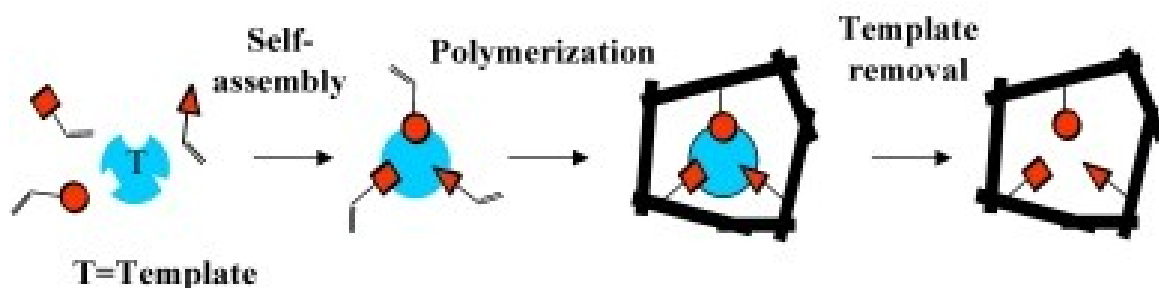


Abb. 6.3.1: Schema der molekularen Imprägnierung (Anonym, 2007)

Die erzeugten imprägnierten Polymere (*MIP – molecular imprinted polymers*) können nun für eine ganz selektive Extraktion von Molekülen bzw. Stoffen aus diversen Matrices verwendet werden (siehe dazu Teil 4, Kap. 1.2.2.).

MIPs lassen sich zur sehr empfindlichen Detektion von Molekülen auch in Lebensmitteln einsetzen. Für diesen Zweck müssen die Polymere mit einem Sensor verbunden werden, der ein verwertbares Signal liefert, wenn die Hohlstellen durch die Zielmoleküle besetzt werden (Lieberzeit, 2011).

Mit dem weiteren Fortschritt dieser Technik, die in den Bereich der Nano(bio)technologie hinein fällt, in Kombination mit der Elektronik sind einige Dinge vorstellbar, die derzeit noch sehr futuristisch klingen. Billige Wegwerfsensoren könnten Produzenten, Verkäufern und Käufern von Lebensmitteln ein rasches und sehr selektives Screening verschiedener Stoffe ermöglichen (Lieberzeit, 2011), wie beispielsweise der Nachweis von Pestiziden, Schwermetallen oder Toxinen. Empfindliche Personen könnten damit Allergene in Lebensmitteln identifizieren.

3.4. Molekulare Typisierung (*molecular typing, microbial fingerprinting*)

Unter molekularer Typisierung werden Methoden verstanden, mit denen Bakterien und Viren aufgrund der Zusammensetzung ihrer Bio-Moleküle (z.B. Proteine, Fettsäuren, Kohlenhydrate, Nukleinsäuren) stammspezifisch charakterisiert und identifiziert werden können. Damit lässt sich verifizieren, ob zwei oder mehr Stämme von einem einzigen Elternteil-Organismus stammen. Solche Untersuchungen werden in der Regel durchgeführt, um abzuklären, ob zwei Isolate (Proben) aus unterschiedlichen Quellen den gleichen Stamm enthalten oder nicht enthalten.

Besonders hilfreich sind Typisierungs-Studien auf dem Gebiet der Epidemiologie, wenn beispielsweise ein plötzlicher Anstieg in der Häufigkeit eines bestimmten Pathogens in einem geografisch begrenzten Bereich bemerkt wird, d.h. der Ausbruch einer Erkrankung. Bei lebensmittelbasierten Infektionskrankheiten kann eine Stammtypisierung bei der Ermittlung der Infektionsquellen sehr hilfreich sein und die weitere Ausbreitung der Infektion begrenzen.

Wie wichtig diese Methoden sind wurde im Jahr 2011 beim Ausbruch von Shiga-Toxin produzierenden *Escherichia coli*-Stämmen (STEC) in Deutschland und in Frankreich eindrucksvoll bewiesen. Relativ rasch wurde erkannt, dass beide Ausbrüche in Deutschland und in Frankreich auf denselben Stamm zurückzuführen sind und als Ausgangsquelle wurden Sprossen identifiziert (EFSA,

2014). Immerhin waren bei diesen beiden Ausbrüchen insgesamt 4.000 Fälle und über 50 Todesfälle (!) zu verzeichnen (EFSA, 2015). Diese hohe Zahl an Todesfällen ist ein deutlicher Hinweis auf die Bedeutung des biologischen Risikos in unserer Ernährung, das nach dem Ernährungsfehlverhalten weit vor allen anderen Risiken liegt. In den Augen der Konsumentinnen und Konsumenten wird diese Risikokategorie aber leider unterschätzt. Im Zeitalter der Globalisierung und der globalisierten Warenströme können auf kontaminierten Rohstoffen und Lebensmitteln basierende Ausbrüche sehr rasch enorme Verbreitung erlangen. Die EFSA widmet deshalb den Methoden der molekularen Typisierung große Aufmerksamkeit (EFSA 2013 & 2014 b).

Es gibt eine breite Palette von phänotypischen und genotypischen Typisierungsverfahren. Erstere basieren auf genetisch determinierten, phänotypischen Eigenschaften (z. B. Antibiotikaresistenz, Antigene). Die weit wichtigeren und exakteren, genotypischen Methoden basieren auf der Analyse des genetischen Materials (DNA und RNA). Diese Verfahren erzeugen eine Sequenz- oder Bandenmuster für jeden mikrobiellen Subtyp, der auch als **molekularer Fingerabdruck** bezeichnet wird.

Genotypische, molekulare Fingerabdrücke können in weiterer Folge zur Taxonomie bei der Interpretation eines Metagenoms verwendet werden (siehe Kap. 3).

4. Metagenomik (*agri-food metagenomics*)

Die Weiterführung des genetischen Fingerabdruckes eines einzelnen Mikroorganismus Stammes ist die Bestimmung der gesamten genetischen Information aller Mikroorganismen aus einem Habitat [z.B. Boden, Meerwasser, Trinkwasser, fermentierte Lebensmittel, Darmflora (⇒ Mikrobiom) des Menschen oder von Tieren]. Die Gesamtheit dieser genetischen Informationen wird als **Metagenom** und die dazugehörige Wissenschaft als **Metagenomik** bezeichnet (Gabor et al., 2012).

Zur Ermittlung eines Metagenoms wird das gesamte DNA-Material aus einer Probe isoliert und sequenziert (= Ablesen der Nukleotidfolge von DNA). In einem nächsten Schritt können die DNA-Fragmente aus den Genomen der verschiedenen Organismen einer mikrobiellen Gemeinschaft bestimmten Mikroorganismen (⇒ Taxonomie) oder bestimmten Funktionen (z.B. Enzymfunktionen) zugeordnet werden.

Zur Umsetzung dieser Methodik stehen heute Hochdurchsatz-Sequenzierungsmethoden zur Verfügung. Die Auswertung der Fülle an gewonnenen Informationen ist nur mittels entsprechender Computertechnik und -programme möglich. Metagenomanalysen und -auswertungen zählen heute aber zum Stand der Technik. In Zukunft können sie für Routineanalysen in Untersuchungslabor anwendbar sein. Damit eröffnen sich viele interessante Anwendungsgebiete, wie beispielsweise die Gewinnung von Erbinformationen von nicht kultivierbaren Mikroorganismen und die Nutzung von neuen Enzymen aus diesen Mikroorganismen (siehe dazu Teil 2, Kap. 3.6.1.).

Im Bereich der menschlichen Ernährung und in der Lebensmitteltechnik wird die Metagenomik ebenfalls eine große Bedeutung erlangen. Abweichungen des Metagenoms vom Mikrobiom⁴ im Dickdarm oder aus der Mundhöhle von gesunden und kranken Menschen können Hinweise auf unterschiedliche Zusammensetzung liefern und diese im Endeffekt mit verschiedenen Erkrankungen in Beziehung setzen. Erkannte, nachteilige Abweichungen des Mikrobioms wären dann durch probiotische Bakterien korrigierbar (Dutton & Turnbaugh, 2012; Gueimonde & Collado, 2012; Serban, 2011; Zittau J., 2011).

Weiter ist zu erwarten, dass die Metagenomik in die mikrobiologische Routinekontrolle bei der Herstellung von fermentierten Lebensmitteln und bei der mikrobiologischen Qualitätskontrolle von Lebensmitteln ebenfalls Eingang findet. In einem einzigen Test können tausende Mikroorganismen in einer Lebensmittelmatrix identifiziert werden. Durch Zeitreihenmessungen lassen sich Veränderungen durch Umwelt- und Prozessfaktoren ermitteln, steuern und optimieren (Ercolini, 2013; Gomez-Alvarez et al., 2012; Nalbantoglu et al., 2014; Yeung, 2012). Die belgisch/französische Firma Quality Partner bietet solche Metagenom-Analysen für den Agrar- und Lebensmittelbereich bereits kommerziell an (QUALITY PARTNER, 2015)

⁴ Mikrobiom: Die Gesamtheit aller nicht-menschlichen DNA am bzw. im menschlichen Körper.
Mikrobiota / Mikroflora: Die Gesamtheit allen nicht-menschlichen Lebens am bzw. im menschlichen Körper.

5. Literatur zu Teil 6

- Ahlers H. und Keil C. (2014): Die Elektronische Zunge als innovatives Mustererkennungsinstrumentarium. *mpa* 10, 22-25
- Anonym (2004): Elektronische Zunge unterscheidet sieben Apfelsäfte. *Scinexx.de Das Wissensmagazin* (www.scinexx.de/wissen-aktuell-817-2004-05-20, html; Zugriff 15.03.2015)
- Anonym (2006): Nanobiotechnologie – Zwerge beherrschen die Umwelt. BioPro GmbH (<http://www.bio-pro.de/magazin/thema/00131/index.html?lang=de&artikelid=/artikel/02739/index.html>; Zugriff 09.03.2015)
- Anonym (2007): Molecular imprinting. Institut für Umweltforschung, TU Dortmund (<http://www.infu.tu-dortmund.de/projekte/MIP>; letzte Änderung 25.05.2007)
- Anonym (2013): Kohlenstoff-Nanoröhrchen als flexible, kostengünstige Sensoren. Mögliche Anwendungen reichen von Sensoren zur Überwachung der Luftqualität bis hin zur künstlichen Haut. (www.tum.de/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/kurz/article/31050; Zugriff 09.03.2015)
- Anonym (2014): CSI für Lebensmittel: Qualität und Herkunft einfach prüfen. (<http://www.uibk.ac.at/ipoint/news/2014/csi-fuer-lebensmittel-qualitaet-und-herkunft-einfach-pruefen.html.de>; Zugriff 08.10.2015)
- Anonym (2015 a): Fischchips & Computer-Chips. (www.freshlabel.net/news/frischfisch-mit-computer-chips.html; Zugriff 09.03.2015)
- Anonym (2015 b): Qualitätskontrolle in der Fleischproduktion durch Laser. (www.freshlabel.net/news/fleischproduktion-und-laser.html; Zugriff 09.03.2015)
- Anthony, S. (2014): Thailand, to combat bad Thai food around the world, creates robot e.delicious tasting machine. (www.extremetech.com/extreme/191047-thailand-to-combat-bad-thai-food-around-the-world-creates-robot-e-delicious-tasting-machine; Zugriff 15.03.2015)
- Dutton R.J. and Turnbaugh P.J. (2012): Taking metagenomic view of human nutrition. *Curr. Opinion Nutr. Metab.* 15, 448-454
- Ercolini D. (2013): High-throughput sequencing and metagenomics: moving forward in the culture-independent analysis of food microbial ecology. *Applied and environmental Microbiology* 79, 3148-3155
- EFSA (2013): Scientific Opinion on the evaluation of molecular typing methods for major food-borne microbiological hazards and their use for attribution modelling, outbreak investigation and scanning surveillance: Part 1 (evaluation of methods and applications). *EFSA Journal* 11, 3502-3586
- EFSA (2014 a): Ausbrüche von Shiga-Toxin produzierenden *E.coli*. (<http://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/ecolioutbreak2011.htm>; Aktualisierung 30.07.2014)
- EFSA (2014 b): Scientific Opinion on the evaluation of molecular typing methods for major food-borne microbiological hazards and their use for attribution modelling, outbreak investigation and scanning surveillance: Part 2 (surveillance and data management activities). *EFSA Journal* 12, 3784-3830
- EFSA (2015): Molecular typing (www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/moleculartyping.htm; Aktualisierung 17.02.2015)
- Gabor E.M., Lorenz G.P., Maurer K.H., Niehaus F. und Eck J. (2012): Metagenomics für die weiße Biotechnologie. (http://www.brain-biotech.de/content/blickwinkel/1112q1_diversity/1112q1_Diversitaet_Gabor.pdf)
- Gomez-Alvarez V., Revetta R.P. and Santo Domingo J.W. (2012): Metgenomic analyses of drinking water receiving different disinfection treatments. *App. Environm. Micobiol.* 78, 6095-6102
- Gueimonde M. and Collado M.C. (2012): Metegenomics and probiotics. *Clin. Microbiol Infect.* 18, 32-44
- Holm F. (2003): Sensoren für die Lebensmittelqualität. Food Group Denmark, Fair Flow – Kleine und mittlere Unternehmen, N°4

- INSERT (2015): Insert Food Analyzer. Insert GmbH, Feldbach, Austria, Firmenunterlagen
- IQ-freshlabel (2014): Intelligent label for better food. (www.freshlabel.eu/6.0.html, Zugriff 09.03.2015)
- Kuhlmeier D., Sandetskaya N and Allelein S. (2012): Application of nanotechnology in minitaurized systems and its use in medical food analysis. Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture 4, 187-199
- Lieberzeit P. (2011): Multiple Sensoren. Forschungsnewsletter der Universität Wien, Nr. 63, Dez. 2011 (http://forschungsnewsletter.univie.ac.at/index.php?id=116824&tx_ttnews%5BbackPid%5D=116823&tx_ttnews%5Btt_news%5D=37482&cHash=220c31a09bfa5334a7a9f81c6b1681a0)
- Loutfi A., Coradeschi S., Mani G.K., Shankar P. and Ryappan J.B.B. (2015): Electronic noses for food quality: A review. Journal of Food Engineering 144, 103-111
- Nalbantoglu U., Cakar A., Dogan H., Abaci N., Ustek D., Sayood K and Can H. (2014): Metagenomic analysis of the microbial community in kefir grains. Food Microbiology 41, 42-51
- Pichler, T. (2013): Verpackung soll Lebensmittel-Frische überwachen. Kunststoffelektronik stellt kostengünstige Lösung in Aussicht. (www.presetext.com/print/201330228030, Zugriff 09.03.2015)
- Pu Y.-Y. Feng Y.-Z. and Sun D.W. (2015): Recent progress of hyperspectral imaging on quality and safety inspection of fruits and vegetables: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 14, 176-188
- QUALITY PARTNER (2015): Metagenomics – A new tool for agri-food industries. (<http://www.agrifood-metagenomics.com/>; Zugriff 17.09.2014)
- Serban D.E. (2011): The gut microbiota in the metagenomics era: Sometimes a friend, sometimes a foe. Ro-um Arch. Microbiol. Immunol. 70, 134-140
- Trupp S. (2011): Keine Chance für Gammelfleisch. Pressinformation der Fraunhofer Gesellschaft (<http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2011/april/keine-chance-fuer-gammelfleisch.html>; Zugriff 09.03.2011)
- Yeung M. (2012): ADSA Foundation Scholar Award: Trends in culture-independent methods for assessing dairy food quality and safety: Emerging metagenomic tools. Journal of Dairy Science 95, 6831-6842
- Zittlau J. (2011): Wie Darmbakterien unser Leben bestimmen. Die Welt 30.05.2011 (www.welt.de/13402307)

Abbildungsverzeichnis

Teil 1: Einleitung

Abb. 1.1.1: Einflüsse und Wechselwirkungen auf die Art und Form der menschlichen Ernährung	6
Abb. 1.1.2: Anteil der Erwachsenen mit Fettleibigkeit in den ersten 14 OECD-Ländern im Zeitraum der Jahre 1990 bis 2012 (STATISTA, 2015)	9
Abb. 1.1.3: Zusammenhang zwischen Energiedichte [kcal/100 g] und Energiekosten [€/100g] von Lebensmitteln in österreichischen Supermärkten (Pichler, 2009)	10
Abb. 1.1.4: Entwicklung des Anteils der Bevölkerung über 65 Jahre in Prozent der Gesamtbevölkerung (Trainar, 2010)	11
Abb. 1.1.5: Zusammenhang zwischen Fleischverzehr (kg/Jahr) und dem Bruttoinlandsprodukt (Gross Domestic Product, GDP), (FAO, 2009)	15
Abb. 1.1.6: Entwicklung des Fleischverbrauchs in Österreich pro Kopf/Jahr in kg (BMLFUW, 2012)	16
Abb. 1.1.7: Globaler Fleischkonsum, dargestellt nach Fleischarten von 1961 bis 2025 (prognostiziert) (Anonym, 2013 a)	16
Abb. 1.1.8: Veränderungen beim globalen Fleischkonsum, innerhalb der einzelnen Fleischarten von 1961 bis 2025 (prognostiziert) (Anonym, 2013).	17
Abb. 1.1.9: Schematische Darstellung der genetischen Erosion im Bereich der Nahrungsmittelpflanzen (mod. nach Gruiemmm & Frey, 2010).	18
Abb. 1.1.10: Veränderung des Verbrauchs von Pflanzenölen in den letzten zwei Jahrzehnten (OVID, 2013)	19
Abb. 1.1.11: Durchschnittliche Veränderung (%) des Kalorienbeitrages von Nutzpflanzen zur globalen Ernährung in den letzten 50 Jahren.[nach Khoury et al. (2014)]	20
Abb. 1.1.12: Weltzuckerproduktion (Südzucker, 2012)	20
Abb. 1.1.13: Schematische Darstellung der Lebensmittelversorgungskette (<i>food supply chain</i>)	22
Abb. 1.1.14: Marktanteile der vier größten Lebensmittelkonzerne in einzelnen Produktbereichen. (vander Stichle & vanderWal, 2006).	23
Abb. 1.1.15: Konzentration im Lebensmitteleinzelhandel in Europa (Mayr, 2014)	24
Abb. 1.1.16: Zukünftige Bedeutung von Lebensmittelgruppen (Mayr, 2014)	25
Abb. 1.1.17: Die vier Stufen der industriellen Entwicklung (Kagermann, 2013)	27

Teil 2: Entwicklungen im Bereich von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen; und bei Stoffen und Maßnahmen, um diese zu ersetzen

Abb. 2.1.1: Antworten der EU-Bürger auf die Frage QF-2 zu Risiken im Lebensmittelbereich allgemein (Eurobarometer, 2010)	35

Abb. 2.1.2: Antworten der EU-Bürger auf die Frage QF-4 zu spezifischen Risiken im Lebensmittelbereich (Eurobarometer, 2010)	36
Abb. 2.1.3: Antworten der EU-Bürger auf die Frage Q4-a zu Einflussfaktoren auf das Kaufverhalten (Eurobarometer, 2005)	37
Abb. 2.1.4: "Clean label" Produkteinführungen in den verschiedenen Regionen (aus Pelofske, 2014)	48
Abb. 2.1.5: Bedeutung des Themas "clean label" in den nächsten 5 Jahren aus der Sicht der einzelnen Branchen (DLG Trendmonitor, 2012)	48
Abb. 2.1.6: Tendenz für Produkte mit dem claim/tag "clean label" weltweit (oben), Europa (Mitte) und North America (unten)	51
Abb. 2.1.7: Tendenz für Produkte mit dem claim/tag "no additives" weltweit (oben), Europa (Mitte) und North America (unten)	52
Abb. 2.1.8: Tendenz für Produkte mit dem claim/tag "natural" weltweit (oben), Europa (Mitte) und North America (unten)	53
Abb. 2.1.9: Tendenz für Produkte mit den claims/tags "No Additives OR No Artificial Color OR No Artificial Flavor OR No Artificial Ingredients OR No Artificial Sweeteners OR No Chemicals OR No MSG OR No Phosphates OR No Preservatives OR No Saccharin OR No Sweeteners" weltweit (oben), Europa (Mitte) und North America (unten)	54
Abb. 2.1.10.: Diverse pharmakologische Effekte von Safran (entnommen aus: Alavizadeh & Hosseinzadeh, 2014)	61
Abb. 2.1.11: Aufstellung über die in der Datenbank „Food Science and Technology Abstracts“ in Fünf-Jahres-Zeiträumen zitierten Patente bezüglich Intensivsüßungsmitteln	68
Abb. 2.1.12: Die zehn größten Märkte für die Konsumation von zuckerreduzierten, alkoholfreien Erfrischungsgetränken (soft drinks) (kg/Kopf) im Jahr 2013 (EUROMONITOR, 2014)	69
Abb. 2.1.13: Zucker und Oligosaccharide, die von Hodoniczky et al. (2012) auf ihre Abbaubarkeit im Verdauungstrakt untersucht wurden.	73
Abb. 2.1.14: Abbaubarkeit von Zucker und Oligosacchariden durch das Mundbakterium Streptococcus mutans und durch Darmenzyme (Fig. 6 aus Hodoniczky et al., 2010)	73
Abb. 2.1.15: Darstellung der in der Natur in welchem Ausmaß vorkommenden Monosaccharide (MATSUTANI, 2014)	74
Abb. 2.1.16: Schematische Darstellung von seltenen Hexosen, die auf enzymatischem Weg aus den vier wichtigsten Hexosen gewonnen werden können (Izumori, 2006).	74
Abb. 2.1.17: Auslösung des Süßgeschmacks durch einzelne Süßungsmittel [Abb. modifiziert nach Fernstrom et al. (2012) und Servant (2011)] [① Venusfliegenfalle-ähnliche Domäne (VFT); ② cysteinreiche Domäne; ③ Transmembran-Domäne]	77
Abb. 2.1.18: Probleme im Einsatz natürlicher Farbstoffe	83
Abb. 2.1.19: Beispiele zur Unterscheidung zwischen „ähnlichen“ Lebensmittelfarbstoffen (links) und färbenden Lebensmittelzutaten (rechts) (Koch, 2002).	84
Abb. 2.1.20: Beispiele von Bacteriocinen (Table 1 in Chen & Hoover, 2003)	91

Abb. 2.1.21: Schematisierte Verteilung von oberflächenaktiven Proteinmolekülsegmenten an Grenzflächen	105
Abb. 2.1.22: Schematische Darstellung der Entwicklung des Kokumi-Gesamtgeschmacks-eindrucks (Ajinomoto, 2014)	109
Abb. 2.2.1: Diverse Kombinationen aus „Abfallsubstraten“ und Basisdiomyceten zur Herstellung diverser komplexer Aromenmischungen (Bosse et al., 2013)	131
Abb. 2.3.1: Zeitschiene für die Umsetzung der Enzymregulierung in der EU	136
Abb. 2.3.2: Entscheidungsbaum zur Einordnung von Enzymen als deklarationspflichtige Zutat oder als nichtdeklarationspflichtiger Verarbeitungshilfsstoff (Guidance Document, 2014)	141

Teil 3: Neue und neuartige Rohstoffe

Abb. 3.2.1: Preisentwicklung für Nahrungsmittel bezogen auf die gesamten Konsumausgaben in den letzten 150 Jahren (Beispiel Deutschland) (Statista, 2015)	170
Abb. 3.2.2: Botanische Einteilung der echten Getreidearten	174
Abb. 3.2.3: Weltweite Produktion von Getreide (FAOStat, 2013)	175
Abb. 3.2.4: Vergleich der ernährungsphysiologischen Zusammensetzung von verschiedenen Getreidearten und Pseudogetreide (Schoenlechner, 2015 - eigene Messdaten, noch unveröffentlicht)	185
Abb. 3.2.5: Folsäuregehalt in Pseudogetreide im Vergleich zu Weizen (Schoenlechner, 2015, - eigene Messdaten, noch unveröffentlicht)	186
Abb. 3.2.6: Neue Produktzulassungen für Lebensmittel mit Amaranth, Quinoa oder Buchweizen (Datamonitor, 2015)	188
Abb. 3.2.7.: Produktzulassungen mit Amaranth, Quinoa oder Buchweizen im Zeitraum 1995-2014 aufgliedert nach Länder (Datamonitor, 2015)	190
Abb. 3.2.8: Marktentwicklung von glutenfreien Produkten (Datamonitor, 2015)	191
Abb. 3.2.9: Produktion von Leguminosen im Jahre 2011 weltweit (FAOstat, 2014) (Angabe für getrocknete Leguminosen)	192
Abb. 3.2.10: Produktion von Ölsaaten im Jahre 2013 weltweit (FAOstat, 2015)	194
Abb. 3.2.11: Produktion von Ölsaaten im Jahre 2013 in Europa (FAOstat, 2015)	194
Abb. 3.2.12: Sacha Inchi Pflanze (links) und Früchte (rechts), Chang Rai University, Thailand (©D'Amico, 2015)	197
Abb. 3.2.13: Marktentwicklung der "Superfrüchte" in den letzten 10 Jahren (Datamonitor, 2015)	200
Abb. 3.2.14: Vergleich der Effizienz der Futterkonversion (van Huis et al., 2013).	204
Abb. 3.3.1: Schematische Darstellung der Fraktionierungsmöglichkeiten von Hauptrohstoffen	215

Abb. 3.4.1: Weltweite Anbauflächen gentechnisch veränderter Pflanzen 1996-2012 in Millionen Hektar (TRANSGEN, 2015 a).	224
Abb. 3.5.1: Variation des Anthocyan- und β -Glucangehaltes in Getreidearten (Berghofer et al., 2006; Siebenhandl et al. 2007).	232
Abb. 3.6.1.: Prinzipielle Vorgangsweise bei der Herstellung und Nutzung pflanzlicher Zellkulturen (Hong Kong Institute of Education, 2015)	233
Abb. 3.7.1: Bilder von Gewächshäusern mit LED-Beleuchtung (Rechtes Bild: Gewächshaus betrieben unter Reinraumbedingungen) (GE REPORTS, 2015 a + b)	239
Abb. 3.8.1: Der Prozess des Klonens mittels Zellkultivierung und Transgenese (mod. nach Then & Tippe, 2010)	242
 Teil 4: Lebensmittelverarbeitung	
Abb. 4.1.1.: Prinzipielle Möglichkeiten zur Anwendung von Nanotechnologie im Lebensmittel- und Ernährungsbereich	256
Abb. 4.1.2: Kreationen aus Zuckerglasur, hergestellt mit dem ChefJetTM 3-D-Drucker (http://the-sugar-lab.com/gallery)	269
Abb. 4.1.3: Schematische Darstellung der Membranemulgierung	273
Abb. 4.1.4: Interaktionskammer eines Microfluidizer (Microfluidics, 2015)	273
Abb. 4.1.5: Wasser in Öl in Wasser-Emulsion (Sommeregger, 2010)	274
Abb. 4.1.6: Typen von Mikrokapseln	276
Abb. 4.2.1: Herstellung von „minimally processed fruits and vegetables“	288
Abb. 4.2.2: Schematische Darstellung des mikrowelleninduzierten Dämpfen (TAKIGAWA, 2015)	292
Abb. 4.2.3: Beispiel für energieeffizientes Anlagendesign eines superheated steam Trockners (Fraunhofer TEG, 2015)	297
Abb. 4.2.4: Diverse Anlagendesigns von Superheated steam-Trocknern der Fa. GEA Barr-Rosin (GEA Process Engineering, 2015)	297
Abb. 4.2.5: Superheated steam Friteuse HiFri© (QBTEC BV, 2015)	298
Abb. 4.2.5: Superheated steam- Haushaltsgerät AX-HC1-R der Fa. Sharp (SHARP Corporation, 2015)	298
Abb. 4.2.6: Vergleich der konventionellen Pasteurisation/Sterilisation mit der aseptischen Abfüllung	302
Abb. 4.2.7: Bereiche des elektromagnetischen Spektrums	308
Abb. 4.2.8 Beispiele industrieller Anwendung der IR-Strahlung (von links nach rechts: Bräunen von Schinken, Bräunen von Käsekuchen, Bräunen des Käsebelages auf TK-Lasagne, Desinfizieren von Schnittbrot) (Heraeus Noblelights, 2015)	

	317
Abb. 4.2.9: UV-Förderbandsystem der Fa. Daro- UV Systems, Hortimax der Fa. Van Remmen UV Technik, diverse Anlagen der DaRo von innen (Van Remmen UV Technik BV, 2014; DaRo UV Systems Ltd, 2010)	
	321
Abb. 4.2.10: PEF-Testanlage PurePulse (Wageningen), Werbung Ali Juus "ultrafresh mit PEF" (Pure Pulse, 2014; Ali Juus, 2015)	
	331
Abb. 4.2.11: von links nach rechts: spezifische Erhitzung des magnetischen Behältnisses, Pizza-warmhaltebags auf IH-Basis der Fa. Cooktek, Induktionsherd der Fa. Samsung (Cooktek, 2014; Samsung, 2015)	
	335
Abb. 4.2.12: OH-System APV Baker (UK)	
	338
Abb. 4.2.13: Diverse inaktivierende Effekte von Kaltplasma auf E.coli-Zellen (a und b-Kontrolle, c-h: diverse Auswirkungen einer Behandlung mit CP für 10 min, 12,83 kV) (Bermudez-Aguirre et al., 2013)	
	341
Abb. 4.2.14: Diverse Arten zur Erzeugung von Kaltplasma (von links nach rechts: Korona-Entladung, Plasmajet, dielektrisch behinderte Entladung (Sarghini, 2013)	
	342
Abb. 4.2.15: Plasmaanwendungen (Von links nach rechts: Plasma-Pen zur Wundheilung der Firma neoplas; Plasmajet auf Lebensmittel; CP-inpack-Anwendung) (neoplas tools GmbH, 2011; ATB, 2011; Astley, 2011)	
	343
Abb. 4.2.16: Strukturmodifizierung einer Caseinverpackung nach CP-Behandlung (Pankaj et al., 2014)	
	343
Abb. 4.1.17: Kommerziell erhältlicher, in eine Produktionslinie integrierbarer HP-Teil der Fa. Multivac (D)	
	353
 Teil 5: Lebensmittelverpackung und -kennzeichnung	
Abb. 5.2.1: Schematische Darstellung der Funktion eines Intelimer Polymers® (Landec Corporation, 2009)	
	382
Abb. 5.2.2: Tray-in tray-Konzept einer hochdruckstabilen Verpackung der Fa. Mondi Packaging (Töpfl und Bader, 2013)	
	393
Abb. 5.3.1: Apfel mit laser-etching versehen (Eurolaser, 2015)	
	396
 Teil 6: Lebensmittelkontrolle und -untersuchung	
Abb. 6.2.1: Prinzip der bildgebenden Spektroskopie (hyperspectral imaging) (INSORT, 2015)	
	404
Abb. 6.2.2: Inhaltsstoffbestimmung und -verteilung mittels bildgebender Spektroskopie (hyperspectral imaging) am Beispiel von Kartoffeln (INSORT, 2015)	
	406
Abb. 6.2.3: Fremdkörperdetektion mittels bildgebender Spektroskopie (hyperspectral imaging) (INSORT, 2015)	
	406
Abb. 6.3.1: Schema der molekularen Imprägnierung (Anonym, 2007)	
	412

Tabellenverzeichnis

Teil 1: Einleitung

Tab. 1.1.1: Die weltweit fünf größten Lebensmittelproduzenten und Lebensmitteleinzelhändler	23

Teil 2: Entwicklungen im Bereich von Zusatzstoffen, Aromen und Enzymen; und bei Stoffen und Maßnahmen, um diese zu ersetzen

Tab. 2.1.1: Anteil der Krebserkrankungen (%) die verschiedenen Faktoren zugeschrieben werden (Omenn, 2014)	38
Tab. 2.1.2: potentielle Farbstoffe, Antioxidantien, Aromen, Konservierungsmittel etc. in Abfällen bei der Verarbeitung tropischer Früchte (Ayala-Zavala, 2011)	62
Tab. 2.1.3: Quoten für Zucker, Isoglukose und Inulinsirup in der EU ab 2013/2014 (ZUCKERVERBÄNDE, 2014)	64
Tab. 2.1.4: Übersicht über die in der Europäischen Union zugelassenen Süßstoffe (SÜSSSTOFFVERBAND, 2014)	66
Tab. 2.1.5: Eigenschaften von Steviolglycosiden und Umrechnungsfaktoren auf Stevioläquivalente	67
Tab. 2.1.6: Als Novel Food zugelassene oder beantragte Saccharide (Novel Food Applications, 2014)	70
Tab. 2.1.7: Natürliche Süßstoffe aus pflanzlichen Extrakten (Zabala, 2013).	76
Tab. 2.1.8: Zuckerkonsum in den USA von 1977-2010 (Powell, 2004)	79
Tab. 2.1.9: Kommerziell erhältliche Antioxidantien pflanzlichen Ursprungs für Fleisch und Fleischprodukte (table 2 aus Shah et al., 2014).	104
Tab. 2.1.10: Beispiele potentieller Rohstoffe zur Gewinnung natürlicher Antioxidantien in den letzten fünf Jahren	104
Tab. 2.1.11: Auswahl von im Handel erhältlichen Zellwandfaserpräparaten (PROSPECTOR-Datenbank, 2015)	116
Tab. 2.1.12: Liste der Hydrokolloide, welche als Zusatzstoffe zugelassen sind [Verordnung (EU) Nr. 1119/2011].	119
Tab 2.2.1: Auszug erforschter Substrat-MO-kombinationen zur Herstellung von „Biovanillin“ (Kaur & Chakraborty, 2013)	130
Tab. 2.3.1: Vorstellbare Möglichkeiten für den Einsatz von Enzymen im Lebensmittelbereich	138

Teil 3: Neue und neuartige Rohstoffe und Lebensmittel

Tab. 3.2.1: Botanische Unterscheidung der Wildweizenformen (Lembacher und Schally, 2009)	182
Tab. 3.2.2: Botanische Klassifizierung von Pseudogetreide	184

Tab. 3.2.3: Chemische Zusammensetzung ausgewählter Getreidearten (Souci et al., 2013)	185
Tab. 3.2.4: Chemische Zusammensetzung von ausgewählten Leguminosen (Souci et al., 2013)	192
Tab. 3.2.5: Anträge auf Zulassung neuartiger Lebensmittel gemäß Artikel 4 der Verordnung (EG) Nr. 258/97, Stand 17.04.2014 (BfR, 2014)	210
Tab. 3.3.1: Häufige Rohstofffraktionen, angeführt nach Rohstoffbasis (UL, 2015)	219
Tab. 3.4.1: Anbauflächen der wichtigsten, gentechnisch veränderten Pflanzen 2013/14 (TRANSGEN, 2015 a)	225
Tab. 3.6.1: Mögliche pflanzliche Metaboliten, die durch Zellkulturtechnik erzeugt werden können (aus Rao et al., 2002 und Davis & Deroles, 2014).	234

www.bmg.gv.at

In vorliegender Studie werden die technischen Neuerungen dargestellt, die in Zukunft die Lebensmittelverarbeitung und Lebensmittelversorgung beeinflussen werden oder könnten. Weiters wird der Frage nachgegangen, welche potentiellen Auswirkungen und Aspekte sich daraus für Konsumentinnen und Konsumenten ergeben.