



Synthese NutriScope 2011 – 2013

Technisch-wissenschaftliche Informationen

Autoren

Pascale Mühlemann
Ueli Bütikofer

Impressum

Herausgeber:	Agroscope Schwarzenburgstrasse 161 3003 Bern, Schweiz www.agroscope.ch
Redaktion:	Pascale Mühlemann, Mühlemann Nutrition GmbH, www.muehlemann-nutrition.ch
Titelbild:	Foodle.ch
Bemerkung:	Die vorliegende Synthese basiert ausschliesslich auf Arbeiten von Agroscope auf dem Gebiet der Lebensmittel und der Ernährung, die in irgendeiner Art und Weise öffentlich gemacht wurden. Die beigezogenen Arbeiten wurden in den Jahren 2011 bis 2013 durchgeführt bzw. veröffentlicht. Das Literaturverzeichnis umfasst insofern ausschliesslich an Agroscope durchgeführte Arbeiten; die darin aufgeführten Originalarbeiten sind im Literaturverzeichnis <i>nicht</i> genannt.
Copyright:	© 2014 Agroscope Nachdruck bei Quellenangabe und Zustellung eines Belegexemplars an die Herausgeberin gestattet.
ISSN:	2296-729X
ISBN:	978-3-905667-86-8

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	6
1.1	Milch und Milchprodukte	6
1.2	Fleisch und Fleischprodukte	6
1.3	Ausgewählte pflanzliche Lebensmittel	7
1.4	Nutrigenomik, Nutrigenetik, Nutriepigenetik.....	7
1.5	Lebensmittelsicherheit und -qualität	8
1.6	Salz	9
1.7	Sensorik und Konsumentenforschung.....	9
1.8	Ökobilanzierung von Lebensmitteln.....	9
2	Ausgewählte Inhaltsstoffe tierischer Produkte	11
2.1	Cholesterin	11
2.2	Proteine und Peptide	11
2.3	Laktose	12
2.4	Ausgewählte Mineralstoffe.....	12
2.4.1	Mengenelemente.....	12
2.4.2	Spurenelemente	12
2.5	Fettlösliche Vitamine	13
2.6	Wasserlösliche Vitamine.....	13
3	Milch und Milchprodukte	15
3.1	Eigenschaften, Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren.....	15
3.1.1	Milch	15
3.1.2	Aromatisierte Milch	15
3.1.3	Käse	15
3.1.4	Molke	17
3.1.5	Buttermilch.....	17
3.1.6	Probiotika.....	18
3.2	Zusammensetzung	19
3.2.1	Milch	19
3.2.2	Milchprodukte	20
3.3	Ausgewählte gesundheitliche Aspekte	21
4	Fleisch und Fleischprodukte	26
4.1	Ausgewählte technologische Aspekte	26
4.1.1	Roh- und Kochpökelfleisch	26
4.1.2	Strukturfehler in Kochschinken	26
4.1.3	Herstellung einer fettreduzierten Salami.....	26
4.1.4	Erhitzung von Brühwürsten.....	26

4.2	Zusammensetzung	27
4.2.1	Frischfleisch.....	27
4.2.2	Fleischprodukte	27
4.3	Ausgewählte gesundheitliche Aspekte	29
4.3.1	Rotes Fleisch.....	29
4.3.2	Gesundheitliche Aspekte von Fleischfett.....	29
5	Pflanzliche Lebensmittel.....	31
5.1	Ausgewählte sekundäre Pflanzenstoffe.....	31
5.1.1	Polyphenole.....	31
5.1.2	Carotinoide	31
5.2	Ausgewählte pflanzliche Lebensmittel.....	32
5.2.1	Blattsalate und Gemüse	32
5.2.2	Äpfel	32
5.2.3	Aprikosen.....	33
5.2.4	Erdbeeren.....	33
5.2.5	Raps	34
5.2.6	Wein	34
6	Nutrigenomik, Nutrigenetik, Nutriepigenetik.....	36
6.1	Nutrigenomik und Milchprodukte	37
6.2	Projekt NutriChip	37
6.2.1	Charakterisierung von Milchprodukten	38
6.2.2	<i>In vitro</i> Verdauungsmodell	38
6.2.3	Biomarker	39
7	Lebensmittelsicherheit und -qualität	40
7.1	Qualität landwirtschaftlicher Produkte	40
7.2	Qualität von Milch und Milchprodukten.....	40
7.3	Mikrobiologische Sicherheit frischer Früchte und Gemüse.....	43
7.4	Qualität von Kernobst: Reifebestimmung	44
7.5	Priorisierung von Gefahren aus Lebens- und Futtermitteln: Generisches Programm.....	44
8	Salz	45
8.1	Hintergründe.....	45
8.2	Salz in der Fleischproduktion.....	45
8.3	Salz in der Käseherstellung	46
9	Sensorik und Konsumentenforschung.....	47
9.1	Hintergründe.....	47
9.2	Joghurt.....	48
9.3	Äpfel	49
9.4	Geschmackspräferenzen älterer Menschen	49
10	Ökobilanzierung von Lebensmitteln	50

10.1	Ökobilanzen von Schweizer Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch.....	50
10.2	Ökobilanzen von stall- und weidebasierter Milchproduktion	50
10.3	Ökobilanzen ökologischer und integrierter Produktion	50
10.4	Ökobilanzen extensiver und intensiver Produktion	51
11	Diverse Themen.....	52
11.1	Ernährungssituation in der Schweiz	52
11.2	Einfluss von Hefepilzen auf die Aromatik von Spirituosen.....	52
11.3	Honig und Blutzuckerspiegel	53
12	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	54
12.1	Milch und Milchprodukte	54
12.2	Fleisch und Fleischprodukte	55
12.3	Pflanzliche Lebensmittel	55
12.4	Nutrigenomik/Nutrigenetik/ Nutriepigenetik.....	55
12.5	Lebensmittelsicherheit und -qualität	55
12.6	Salz	55
12.7	Sensorik und Konsumentenforschung.....	56
12.8	Ökobilanzierung von Lebensmitteln.....	56
13	Abkürzungsverzeichnis	57
14	Literaturverzeichnis	58

1 Zusammenfassung

In den Jahren 2011-2013 konzentrierten sich die Forschungsarbeiten im Rahmen von NutriScope betreffend Ernährung im Wesentlichen auf Milch und Milchprodukte, Fleisch und Fleischprodukte sowie pflanzliche Lebensmittel. Weitere Forschungsbereiche waren Nutrigenomik/Nutrigenetik/Nutriepigenetik, Lebensmittelsicherheit und -qualität, Salz, Sensorik und Konsumentenforschung sowie die Ökobilanzierung von Lebensmitteln.

Die vorliegende, zweite Synthese fasst die Inhalte der in den Jahren 2011-2013 durchgeführten bzw. publizierten Arbeiten im Rahmen des Agroscope Forschungsprogramms NutriScope auf dem Gebiet der Ernährung zusammen (www.nutriscope.ch). Eine erste Synthese wurde im März 2011 zu den in den Jahren 2008-2010 publizierten Arbeiten im Rahmen von NutriScope veröffentlicht.

Nachfolgend sind die Hauptkenntnisse aus den Arbeiten zusammengefasst, die im Rahmen von NutriScope 2011-2013 auf dem Gebiet der Ernährung durchgeführt bzw. publiziert wurden.

1.1 Milch und Milchprodukte

Eigenschaften, Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren

Käse hat in der menschlichen Ernährung eine lange Tradition. Unterschiedliche Klimata und Traditionen, Milch verschiedener Tierarten, verschiedene Käseherstellungsverfahren und die Verwendung von Lab und verschiedener Starterkulturen ergeben eine grosse Zahl verschiedener Käsevarietäten. Zur Herstellung von Schweizer Käse braucht es qualitativ hochstehende Rohmilch, fundiertes Wissen und Können der Fachleute sowie das Beherrschen der Gärungsvorgänge mit Kulturen. Emmentaler Käse ist die bekannteste Schweizer Käsesorte; charakteristisch sind u.a. seine zylindrische Form und seine 1000-2000 Löcher.

Molke (ein Nebenprodukt der Quark- und Käseherstellung) und Buttermilch (ein Nebenprodukt der Butterherstellung) wurden lange Zeit nur als Abfallprodukte betrachtet. Heute sind sie zunehmend auch in der menschlichen Ernährung von Interesse: Molkenproteine finden in der Lebensmittelindustrie vielfältige Verwendung; Buttermilch hat ein hohes Potential als funktionelle Zutat, Proteinsupplement oder Antioxidans.

Zusammensetzung

Milch setzt sich zusammen aus Wasser (90%), Milchproteinen (α -, β - und κ -Kaseine, β -Laktoglobulin, α -Laktalbumin), Milchfett sowie Laktose (Milchzucker) und enthält viele Vitamine und Mineralstoffe (u.a. Kalzium) sowie Immunglobuline und Hormone.

Ziegen- und Schafmilch sind hochwertige, ernährungsphysiologisch wertvolle Lebensmittel. Ihr Gehalt an Inhaltsstoffen ist je nach Saison, Betrieb, Tierfütterung, Tierhaltung und Rasse sehr unterschiedlich. Schafmilch hat deutlich höhere Fett- und Proteingehalte als Kuh- oder Ziegenmilch; der Laktosegehalt von Schaf- und Ziegenmilch ist ähnlich wie derjenige von Kuhmilch.

Käse liefert qualitativ hochwertige Proteine, bioaktive Peptide, Fette und Fettsäuren, Vitamine sowie Mineralstoffe. Käse ist eine wichtige Quelle essentieller Aminosäuren und eine der wichtigsten Kalziumquellen.

Ausgewählte gesundheitliche Aspekte

Körpergewicht: Als nährstoffdichte Lebensmittel mit einem hohen Kalzium- und Proteingehalt eignen sich (fett-reduzierte) Milchprodukte besonders gut für eine ausgewogene Reduktionsdiät.

Herz-Kreislauf-Gesundheit: Zwischen Milchfett und kardiovaskulären Erkrankungen konnten bisher keine signifikanten Zusammenhänge bestätigt werden – trotz des relativ hohen Anteils an gesättigten Fettsäuren (ca. 60%) und dem Vorkommen von Cholesterin in Milchfett.

Karies: Milch und Milchprodukte sind nicht kariogen und haben darüber hinaus eine präventive und zum Teil sogar regenerative Wirkung auf die Zahngesundheit. Diese Wirkung wird u.a. dem Kalzium und dem Glycomacropeptid zugeschrieben (kommt in Käse vor).

Käse: Trotz grösserer Mengen an Fett, gesättigten und Transfettsäuren sowie Salz gibt es keine wissenschaftliche Evidenz für einen klaren Zusammenhang zwischen Käsekonsument und spezifischen Risikofaktoren und Krankheiten (Übergewicht, kardiovaskuläre Krankheiten, Hirnschlag). Käse spielt eine wichtige Rolle bei der Knochengesundheit, dies aufgrund hoher Kalziumgehalte sowie anderer Komponenten: Magnesium, Vitamin D und bioaktive Peptide wie z.B. Caseinophosphopeptide. Käse ist schliesslich ein geeigneter Träger für probiotische Bakterien.

1.2 Fleisch und Fleischprodukte

Zusammensetzung

Fleisch ist eine wichtige Quelle von hochwertigem Protein, den Vitaminen B1 (Thiamin), B6 (Pyridoxin), B12 (Cobalamin), Pantothensäure (B5) und Niacin (B3) sowie den Spurenelementen Eisen, Selen und Zink. In der Schweiz stellt Fleisch die wichtigste Quelle für die Vitamine A, B1, B12 und Niacin sowie für Natrium und Eisen dar und leistet einen bedeutenden Beitrag zur Versorgung mit den Vitaminen B2 (Riboflavin), B6 und Pantothensäure sowie Phosphor, Selen und Zink.

Der Fettgehalt variiert stark je nach Fleischstück, Zuschnitt des Fleischstücks, Tierart sowie Alter und Aufzucht der Tiere. Die Bandbreite reicht von rund 1-20 g pro 100 g Frischfleisch. Rind- und Lammfleisch hat einen SFA-Gehalt von 40-50 g / 100 g Fett, Schweinefleisch und Poulet von 30-40 g / 100 g Fett. Der MUFA-Gehalt liegt bei allen Tierarten fast durchwegs bei 40-50 g / 100 g Fett. Bei den PUFA ist die Bandbreite sehr gross (ca. 7-35 g / 100 g Fett), wobei Geflügel die höchsten Werte aufweist.

Fleischprodukte liegen häufig höher im Fettgehalt als Frischfleisch, da bei ihrer Herstellung Fettgewebe in Form von Speck oder Schwarte hinzugefügt wird. Es gibt aber auch fettarme Fleischprodukte, z.B. Trockenfleisch oder Kochschinken. Bei den Fleischprodukten liegt der SFA-Gehalt meist bei 40-50 g / 100 g Fett, der MUFA-Gehalt bei 45-52 g / 100 g Fett und der PUFA-Gehalt fast immer unter 10 g / 100 g Fett.

Rohwürste (z.B. Salami) und Rohpökelwaren (z.B. Trockenfleisch) weisen aufgrund ihres geringeren Wassergehalts meist einen höheren Proteinanteil auf als Frischfleisch. Bei den Brühwürsten (z.B. Cervelat) liegt der Proteingehalt hingegen unter dem von Frischfleisch, da bei

deren Herstellung Fettgewebe und Eiswasser zugegeben werden.

Schweizer Rohpökelerwaren weisen hohe Proteingehalte und – je nach Sorte – unterschiedlich hohe Fettgehalte auf. In den Schweinefleischprodukten Rohschinken, Coppa und Bauernspeck sind wertvolle Mengen an Thiamin, Niacin und Phosphor nachweisbar. Bei den Rindfleischprodukten Mostbröckli und Trockenfleisch sind v.a. die Konzentrationen an Vitamin B12, Niacin, Phosphor, Eisen und Zink erwähnenswert. Bei allen untersuchten Produkten findet sich herstellungsbedingt allerdings ein hoher Salzgehalt.

Schweizer Kochpökelerwaren haben generell ebenfalls hohe Salzgehalte. Schweizer Schinkensorten sind aber auch reich an hochwertigen Proteinen, Thiamin (Vitamin B1), Niacin, teilweise Vitamin C und phosphorhaltigen Verbindungen sowie wertvolle Quellen für weitere Vitamine und Mineralstoffe. Schweizer Kochspeck weist aufgrund seines hohen Fettanteils hingegen eine geringere Nährstoffdichte auf.

Ausgewählte gesundheitliche Aspekte von Fleischfett

Nahrungsfett spielt in der menschlichen Ernährung eine wichtige Rolle. Einerseits liefert es Energie, trägt zur Absorption der fettlöslichen Vitamine A, D, E und K bei, fungiert als Strukturelement der Zellwände, schützt innere Organe vor Stößen und Schlägen, übernimmt Isolationsfunktionen und ist schliesslich an der Wärmeregulation beteiligt. Andererseits wird ein hoher Fettkonsum aber mit Adipositas, Typ-2-Diabetes, Krebs und koronaren Herzkrankheiten in Zusammenhang gebracht. Tierische Fette stehen aufgrund ihres hohen Gehalts an gesättigten Fettsäuren in besonderem Fokus. Dabei wird aber vergessen, dass ungesättigte Fettsäuren den Hauptanteil von Fleischfett ausmachen. Auf Basis der wissenschaftlichen Datenlage stellt der Konsum von Fleischfett als solcher kein Gesundheitsrisiko dar.

Koronare Herzkrankheiten: Es gibt keine wissenschaftliche Evidenz, dass sich tierische Fette auf das Risiko für koronare Herzkrankheiten negativ auswirken.

Typ-2-Diabetes: Verschiedene Tierstudien zeigen zwar einen Zusammenhang zwischen einer fettreichen Ernährung und Insulinresistenz; dieser Zusammenhang konnte in Humanstudien allerdings bisher nicht bestätigt werden.

Krebs: Gewisse Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen tierischem Fett (und infolgedessen Fleischfett) und kolorektalem Krebs; die Evidenz ist allerdings beschränkt. Darüber hinaus gibt es keine wissenschaftliche Evidenz dafür, dass tierisches Fett mit einer anderen Krebsart assoziiert ist.

1.3 Ausgewählte pflanzliche Lebensmittel

Blattsalate und Gemüse: Im Rahmen eines umfassenden Screenings wurden 107 in der Schweiz angebaute carotinoidhaltige Gemüse und Salate aus 6 verschiedenen botanischen Familien analysiert und die 6 relevanten Carotinoide (Lutein, Zeaxanthin und β -Cryptoxanthin sowie α -, β -Carotin und Lycopin) sowie Chlorophyll a und b quantifiziert. In dunkelgrünem Blattgemüse der Familien *Brassicaceae*, *Chenopodeaceae* und *Liliaceae* wurden die höchsten Lutein- und β -Carotin-Konzentrationen gefunden. Allgemein lagen die Carotinoidkonzentrationen von gelben, orangen und roten Gemüsesorten unter denjenigen von dunkelgrünem Blattgemüse. Grünblättrige Salate können

damit einen wesentlichen Beitrag zur Aufnahme von sekundären Pflanzenstoffen leisten. Oranges und rotes Gemüse enthält aber ein grösseres Spektrum an Carotinoiden als grünblättrige Salate. In orangen Karotten sind hauptsächlich α - und β -Carotin vertreten; in Spinat hauptsächlich Lutein; in Tomaten hauptsächlich Lycopin; Paprikaschoten liefern zusätzlich Zeaxanthin und β -Cryptoxanthin. Sowohl bei Spinat als auch bei Kohlgemüse hat die Sorte den stärksten Einfluss auf die Carotinoidgehalte; der Einfluss der Anbaubedingungen (Gewächshaus/Freiland/Tunnel, Düngung) ist weniger stark.

Äpfel: Im Rahmen eines umfassenden Screenings wurden 104 Apfelsorten auf ihren Polyphenolgehalt untersucht und die 12 bedeutendsten niedermolekularen Polyphenole quantifiziert. Die Polyphenolgehalte in Äpfeln können durch die Sortenwahl massgeblich beeinflusst werden; der Einfluss des Produktionsjahres ist wesentlich geringer. Der Einfluss der Unterlage, des Standortes, des Behangs und der Produktionsmethode resultierte in kleinen, aber nicht signifikanten Unterschieden.

Aprikosen: Aprikosen sind eine gute Quelle für gelbe bis orangefarbene Carotinoide. Ihr durchschnittlicher Gehalt an β -Carotin beträgt 2.95 mg pro 100 g Fruchtfleisch. In keiner anderen Schweizer Frucht sind vergleichbare Mengen enthalten. Die Nährstoffgehalte sind stark von der Aprikosensorte abhängig. Die grössten Schwankungsbreiten betreffen die Gehalte an Polyphenolen (z.B. Phenolsäuren, Anthocyane).

Erdbeeren: In Bezug auf die Zusammensetzung bioaktiver Komponenten in Erdbeeren sind genetische Einflüsse generell stärker als Umweltfaktoren. Unabhängig von der Erdbeersorte haben Proben aus dem Norden grundsätzlich tiefere Anthocyangehalte als Proben aus dem Süden. Demgegenüber sind der Gehalt an Vitamin C und die antioxidative Kapazität bei Proben aus dem Norden höher – wiederum unabhängig von der Erdbeersorte. Die Hypothese, dass nördliche Standorte zu tieferen Gehalten an bioaktiven Komponenten führen, muss deshalb verworfen werden. Der Ernteertrag wird durch saisonale und Wachstumsbedingungen stärker beeinflusst als durch den Breitengrad.

Raps: Öl von konventionellen Rapsorten mit einem Gehalt von 7-10% α -Linolensäure (C18:3) kann bei starker Erhitzung oxidieren, was zu einem unangenehmen Geruch führt. Es wurden deshalb so genannte HOLL-Sorten (HOLL: high-oleic low-linolenic) gezüchtet mit einem tiefen Gehalt an α -Linolensäure (< 3.5%) und hohem Gehalt an Ölsäure (80 gegenüber 65% in konventionellen Sorten), deren Öle auch fürs Frittieren eingesetzt werden können. HOLL-Sorten bringen tiefere Ernteerträge ein als konventionelle Sorten. Einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf den Gehalt an α -Linolensäure in Ölsaaten ist die Temperatur. Die tiefsten Temperaturen (9.2-17.5°C) korrelieren sowohl bei konventionellen als auch bei HOLL-Sorten negativ mit dem Gehalt an α -Linolensäure in den Samen zum Erntezeitpunkt, wobei HOLL-Rapsorten weniger temperatursensitiv sind als konventionelle Rapsorten.

1.4 Nutrigenomik, Nutrigenetik, Nutriepigenetik

Die Nutrigenomik ermöglicht erstmals die Untersuchung der Interaktion zwischen Genotyp und Ernährung im Hinblick auf den Phänotyp. Sie basiert auf der Erkenntnis, dass Lebensmittel und Nährstoffe das menschliche Genom

beeinflussen, und fokussiert v.a. auf die Regulation von zellulären Stoffwechselwegen durch spezifische Nährstoffe bzw. Lebensmittel unter Berücksichtigung des Ernährungs- und Gesundheitszustandes des Individuums.

Währenddem die Nutrigenomik auf die Interaktion zwischen Lebensmitteln und Nährstoffen mit dem menschlichen Organismus als Spezies fokussiert, befasst sich die Nutrigenetik damit, wie Veränderungen der genetischen Zusammensetzung des menschlichen Organismus diese Interaktion modulieren.

Der Begriff Epigenetik definiert alle vererbaren Veränderungen in der Genexpression, die nicht in der DNA-Sequenz selbst kodiert sind. Bei Zellteilungen verändert sich das Erbgut an und für sich nicht, sondern biochemische Modifikationen führen zu einer abgeänderten Genexpression. Im Gegensatz zu genetischen Polymorphismen, die über viele Generationen hinweg bestehen bleiben und sich auf den ganzen Organismus auswirken, können epigenetische Veränderungen rückgängig gemacht werden und wirken sich innerhalb des Organismus unterschiedlich aus. Die Ernährung kann die Expression des menschlichen Genoms somit über epigenetische Veränderungen über mehrere Generationen hinweg modulieren. Der menschliche Phänotyp ist deshalb das Resultat dynamischer Interaktionen zwischen dem menschlichen Genom und der Umgebung. Mittels funktionellen Genomik-Technologien lassen sich heute biologisch relevante Veränderungen im Zusammenhang mit menschlicher Ernährung messen. Die Nutrigenomik ist aber noch nicht so weit fortgeschritten, dass die heutigen Erkenntnisse bereits in Ernährungsempfehlungen an den Konsumenten transferiert werden können.

Eine Interventionsstudie bei sechs gesunden Männern untersuchte mittels Blutzellentranskriptomik die Genomweiten, postprandialen Effekte auf die Genexpression nach dem Verzehr einer Portion Milch oder Joghurt. Die Studienresultate untermauern die Theorie, dass Milchprodukte antioxidative bzw. entzündungshemmende Eigenschaften haben.

Projekt NutriChip: Das Projekt NutriChip untersucht Milchprodukte (v.a. fermentierte Milchprodukte) auf ihre Fähigkeit hin, Entzündungen zu lindern, und setzt dabei den Fokus auf den postprandialen Stress menschlicher Probanden auf ausgewählte Lebensmittel. Dieser trägt möglicherweise zur Entwicklung chronischer Entzündungskrankheiten bei, wenn er über eine längere Zeitperiode hinweg wiederholt auftritt. Das Kernelement von NutriChip ist ein künstlicher menschlicher Miniatur-Magen-Darm-Trakt, mittels dessen Prozesse untersucht werden können, welche den Weg von Nährstoffen durch den Magen-Darm-Trakt charakterisieren – darunter auch die Antwort von Immunzellen auf entzündungsfördernde Reize.

Biomarker: Biomarker widerspiegeln den Einfluss von Lebensmitteln auf metabolische Prozesse. Menschen mit metabolischen Störungen haben charakteristischerweise chronisch erhöhte Entzündungsparameter: z.B. Interleukin-6 (IL-6) oder hochsensitives C-reaktives Protein (hs-CRP). Zudem löst eine hohe Energieaufnahme sowohl bei gesunden Menschen als auch bei Menschen mit metabolischen Störungen postprandial eine Entzündungsreaktion aus. Die postprandiale Antwort auf unterschiedliche kalorische Dosen ermöglicht es, den Einfluss von Nahrung auf den menschlichen Organismus in Abhängigkeit seines metabolischen Status (z.B. normalgewichtig vs. adipös) quantitativ und qualitativ zu untersuchen. Der Organismus adipöser Menschen scheint seinen Zellschutzmechanismus verloren

zu haben, der dazu führt, dass ihr Organismus auf eine hochkalorisch-fettrreiche Mahlzeit mit einer starken metabolischen Überreaktion reagiert. Adipöse Probanden scheinen ihre Genexpression im Vergleich zu normalgewichtigen Menschen 2 Stunden nach Einnahme einer Mahlzeit zu dem stärker signifikant zu ändern, ohne 6 Stunden nach der Mahlzeit wieder auf die Basiswerte zurückzukehren – was auf eine geringere metabolische Flexibilität hinweist.

1.5 Lebensmittelsicherheit und -qualität

Milchqualität: Die Milchqualität wird im Wesentlichen durch Tierhaltung, Tiergesundheit, Fütterung und Melken geprägt. Zur Definition der Milchqualität werden die Keimzahl, die Zellzahl und die Abwesenheit von Hemmstoffrückständen sowie zunehmend auch die Milchinhaltsstoffe beigezogen.

Qualität von Ziegen- und Schafmilch: Die hygienische Qualität von Ziegen- und Schafmilchkäse schwankt stark. Die Unterschiede sind zum einen saisonal, aber auch betriebs-, fütterungs-, haltungs- und rassebedingt und zum anderen vom Einzeltier abhängig. Die mikrobiologische Qualität der abgelieferten Milch in der Schweiz ist im Allgemeinen aber recht gut. Zur Verbesserung der hygienischen Qualität ist eine sorgfältige Betriebs- und Melkhygiene (u.a. Reinigung der Zitzen vor dem Melken, Vermeiden von Staubbildung während Melken) wichtig und muss die Milch nach dem Melken sofort gekühlt und die Kühlkette konsequent eingehalten werden.

Mikrobiologische Gesundheitsrisiken von Käse: Die häufigsten Pathogene in Käse sind *Staphylococcus aureus*, Verotoxin-produzierende *Escherichia coli* (VTEC), *Listeria monocytogenes* und *Salmonella* spp. Vor allem Rohmilch ist oft Träger verschiedener Krankheitskeime. Bezogen auf die weltweite Käseproduktionsmenge kann Käse aber als mikrobiologisch sicheres Lebensmittel bezeichnet werden.

Mikrobiologische Sicherheit frischer Früchte und Gemüse: Frische Früchte und Gemüse, die roh gegessen werden, gelten als Risikolebensmittel. Das Vorkommen von Pathogenen in frischen Früchten und Gemüse (Viren, Bakterien, Protozoen, Helminthen) beläuft sich auf 0-10% (teils auf über 20%). Häufig betroffene Früchte und Gemüse sind Sprossen, Spinat, Blattsalate, Paprikaschoten, Tomaten, Melonen und Beeren.

Qualität von Kernobst: Die Qualität von Kernobst hängt stark mit dem optimalen Pflückzeitpunkt zusammen. Zur Bestimmung des optimalen Pflückzeitpunktes muss die Frucht reife korrekt gemessen werden. Zur Reifebestimmung wird der Reifeindex nach Streif verwendet. Er beruht auf der Messung der Fleischfestigkeit, des Zuckergehalts und des Stärkeabbaus.

Priorisierung von Gefahren aus Lebens- und Futtermitteln:

Generisches Programm: Ein neues und anwenderfreundliches Instrument zur Risikosteuerung erlaubt die Priorisierung von Gefahren aus Lebens- und Futtermitteln, indem es die verschiedenen (mikro-)biologischen, chemischen, physikalischen und ernährungsbedingten Gefahren aus Lebens- und Futtermitteln gegeneinander abwägt. Die Relevanz für die Humangesundheit stellt dabei das wichtigste Sicherheitskriterium dar. Neben wissenschaftlichen Kriterien existieren andere Kriterien, die ebenfalls zur Entscheidungsfindung führen können (z.B. Interesse von Medien und Gesellschaft). Entsprechende Kriterien wurden separat in einer Subdivision des Ranking-Systems eingebaut, so dass eine unabhängige Bearbeitung wissenschaft-

licher und anderer Kriterien durch Wissenschaftler und die entsprechenden Risikomanager möglich ist.

1.6 Salz

Salz in der Fleischproduktion: Aus technologischen, mikrobiologischen und sensorischen Gründen wird Fleischprodukten im Verarbeitungsprozess Kochsalz zugegeben. Am salzreichsten sind dabei Rohpökelfleischwaren (z.B. Trockenfleisch, Rohschinken) und Rohwürste (z.B. Salami), die fast doppelt so hohe Salzgehalte aufweisen wie Brühwürste (z.B. Cervelat, Lyoner) und Kochpökelfleischwaren (z.B. Schinken). Aufgrund von unterschiedlichen Verzehrsmengen tragen jedoch nicht unbedingt die Produkte mit dem höchsten Salzgehalt am meisten zur Salzzufuhr bei. Prinzipiell ist bei Fleischprodukten eine Kochsalzreduktion von 10-15% aus technologischer, mikrobiologischer und sensorischer Sicht möglich; sie sollte allerdings schrittweise erfolgen und fallspezifisch müssen zusätzlich allenfalls auch die Rezepturen angepasst werden (Gewürze). Eine Salzreduktion über 15% ist bei Fleischprodukten aus Gründen der Lebensmittelsicherheit und der Verarbeitungstechnologie kaum möglich und nicht zu empfehlen. In Fleischprodukten ist ein teilweiser Ersatz von Kochsalz durch andere Salze (Kalium-, Magnesium- und Kalziumchlorid) möglich, aber v.a. durch geschmackliche Veränderungen limitiert.

Salz in der Käseherstellung: Bei der Käseherstellung spielt Salz eine komplexe Rolle: Es beeinflusst Geschmack und Aroma, die Oberfläche und Rinde, die Teig-Konsistenz und -Struktur, die Zusammensetzung und Aktivität der Mikroflora sowie die Enzymaktivität. Ein partieller Austausch von Salz durch Kaliumchlorid in Käse zwecks Reduktion des Natriumgehaltes ist möglich; allerdings wirkt auch hier der bitter-metallische Geschmack von Kaliumchlorid limitierend. In Raclettekäse ist es möglich, bis zu 30% Natrium ohne grosse negative Nebeneffekte durch Kalium zu ersetzen. Der Einsatz anderer Salze wie Magnesium- und Kalziumchloride scheiterte bisher aber an den negativen Auswirkungen auf den Geschmack, die Textur und die Haltbarkeit der Produkte.

1.7 Sensorik und Konsumentenforschung

Geschmacks- und Aromawahrnehmung: Der Geschmack reflektiert den Eindruck von Süsse, Säure, Bitterkeit, Salzigkeit und „Umami“ im Mund. Als Aroma wird demgegenüber der Eindruck bezeichnet, den flüchtige Aromen verursachen, also z.B. „grün-grasig“, „zitronig“ usw. Aroma und Geschmack voneinander losgelöst wahrzunehmen, ist allerdings nicht immer einfach. Der Eindruck der Adstringenz gehört zu den so genannten chemisch induzierten Reizen und wird von Polyphenolen ausgelöst. Adstringenz wird nur im Mund wahrgenommen (zusammenziehendes und nachhaltig austrocknendes Mundgefühl).

Texturwahrnehmung: Bei der Texturwahrnehmung gilt es wie bei der Geschmacks- und Aromawahrnehmung ebenfalls, Attribute klar zu definieren und voneinander abzugrenzen. Die Beschreibung von Textur ist allerdings wesentlich missverständlicher im Vergleich zu Geschmack und Geruch.

Produktdifferenzierung: Die Produktdifferenzierung erlaubt es, die Präferenzen verschiedener Konsumentengruppen besser zu verstehen und unterscheiden zu können. Sie erfordert allerdings eine klare Definition des Begriffes Qualität und eine objektive Messung der Qualität.

Man unterscheidet zwischen objektiver und subjektiver Produktdifferenzierung. Die objektive Produktdifferenzierung verleiht dem Produkt einen wirklichen, messbaren Unterschied in seinen Eigenschaften. Die subjektive Produktdifferenzierung verändert die Art und Weise, wie die Konsumenten ein Produkt wahrnehmen. Die objektive Produktdifferenzierung wird noch weiter gegliedert in vertikale Differenzierung (falls Konsumenten ein Produkt einem andern vorziehen) und horizontale Differenzierung (falls Konsumenten in Bezug auf zwei Produkte nicht dieselben Präferenzen haben). Die Produktdifferenzierung ist insofern auch eine Marktpositionierungsstrategie.

Konsumentensegmentierung nach dem Ansatz der „Lokalen Einbettung“: Regionalität, regionale Lebensmittel und authentische lokale Produkte sind zunehmend im Trend. Regionale Identität ist stark gekoppelt an lokale Geschichte, Traditionen, Kultur und Folklore – sie ist aber gleichzeitig auch ein soziales Konstrukt. Menschen mit starker Bindung zu ihrer Region tendieren auch öfter dazu, lokale Lebensmittel zu kaufen.

Joghurt: Die Schweizer Bevölkerung akzeptiert Joghurts mit 7 gegenüber 10% Zuckerzusatz; 5% Zuckerzusatz wären aber zu wenig. Joghurts mit 10% Zuckerzusatz – was dem Zuckeranteil von gängigen Joghurts auf dem Schweizer Markt entspricht – wurden generell bevorzugt, oft aber auch als zu süss empfunden. Eine Untersuchung von Joghurts mit 7% Zuckerzusatz ergab, dass generell die Joghurts mit der höchsten Aromakonzentration am wenigsten gemocht wurden. Ein Grossteil der Konsumenten empfanden diese Joghurts als „nicht süss genug“. Die Wahrnehmung der Süsse sinkt bei einer Erhöhung des Aromas offenbar. Die Fettreduktion von Joghurt zieht geschmackliche und texturbezogene Einbussen nach sich. Der Zusatz von 6% Actilight (ein Fructooligosaccharid) und 0.025% Stevia zu einem Magerjoghurt (0.1% Fett) ergibt ein Produkt, das am besten vergleichbar ist mit einem Saccharose-gesüssten Joghurt (bei unverändertem Herstellungsverfahren).

Äpfel: Sensorikexperten beschreiben Äpfel anhand ihrer Harmonie von Süsse und Säure sowie der Qualität ihres Fruchtfleisches. Weitere Kriterien widmen sich der äusseren Qualität wie Grösse, Farbe, Form usw. Das von Brugger entwickelte Aromarad hilft, die mindestens 300 aromagebenden Substanzen nach Aromaähnlichkeit zu ordnen. Es ist über drei Ebenen organisiert und ist damit ein umfassendes Sensorikrad zur Beurteilung von Aroma, Geschmack, Süsse und Säure sowie Textur.

Geschmackspräferenzen älterer Menschen: Bei älteren Menschen (Altersgruppe 50+) zählen Frische, Geschmack, Saisonalität und regionale Herkunft zu den wichtigsten Kriterien beim Lebensmitteleinkauf und im täglichen Leben; Gesundheit folgt erst an fünfter Stelle. Zu den beliebtesten Milchprodukten als Zwischenmahlzeiten zählen bei dieser Altersgruppe Käse, Joghurt und Trinkmilch.

1.8 Ökobilanzierung von Lebensmitteln

Eine Ökobilanzierung der Rind-, Schweine- und Geflügelproduktion in der Schweiz und in ausgewählten Importherkünften zeigt, dass die landwirtschaftliche Produktion in allen untersuchten Systemen die Umweltwirkungen dominiert. Für die Umweltwirkungen des verkaufsfähigen Fleisches ist die Ausgestaltung der Anbau- und Produktionspraxis ausschlaggebend, nicht der Produktionsort. Zentrale

Faktoren für die Umweltwirkung der Tierproduktion auf Stufe Landwirtschaft sind die Systemgestaltung, die Effizienz des Systems (v.a. Futtermittelverwertung) sowie die Fütterung (Zusammensetzung und Produktion).

Bei einem Vergleich der ökologischen Stärken und Schwächen der beiden Systeme saisonale Vollweide (Verfütterung von Belüftungsheu und Stroh im Winter und Weidegras im Sommer) und Stallfütterung (basierend auf Mais- und Grassilage mit einer relativ hohen Kraftfuttergabe) schnitt die Weideherde-SILO in sieben von 13 Wirkungskategorien besser ab; zudem nützte sie die natürlichen Ressourcen und das regionale Potential besser als die Stallherde. Die Schwächen der Weideherde lagen im höheren Methanausstoß und dem höheren Flächenbedarf. Die Milchproduktion im Vollweidesystem weist damit ein grosses ökologisches Potential auf.

Gesamthaft gesehen ist der ökologische Landbau der integrierten Produktion entweder überlegen oder ähnlich in Bezug auf die Umweltwirkungen. Die Stärken des ökologischen Landbaus liegen v.a. in der besseren Ressourcenverwendung. Die gesamthaft positive Beurteilung ist allerdings nicht für alle Produkte des ökologischen Landbaus gültig. Hauptnachteil des ökologischen Landbaus sind zudem die tieferen Ernteerträge. Diese führen dazu, dass gewisse Produktionsfaktoren weniger effizient genutzt werden, womit die Vorteile des ökologischen Landbaus teils zunichte gemacht werden. Die Schweizerischen Landwirtschaftssysteme haben trotz der vielen Anstrengungen in den letzten Jahren nach wie vor ein beträchtliches Potential zur Optimierung ihrer Umweltwirkungen.

Insgesamt kann die Extensivierung eines intensiven Produktionssystems die Umweltwirkungen reduzieren (sowohl pro Flächeneinheit als auch pro Produkteinheit). Es ist aber wichtig, die Wechselwirkungen der verschiedenen Elemente des Produktionssystems zu beachten, damit insgesamt ein gutes Gleichgewicht erreicht wird. Das Produktionssystem muss in seiner Gesamtheit betrachtet werden. In Ackerbausystemen ergaben mittlere Produktionsintensitäten die besten Resultate in Bezug auf die Umweltwirkungen. In der Graslandwirtschaft war eine Kombination von sowohl intensiv als auch extensiv bewirtschafteten Grundstücken gegenüber mittleren Produktionsintensitäten auf der gesamten Fläche hingegen zu bevorzugen.

2 Ausgewählte Inhaltsstoffe tierischer Produkte

2.1 Cholesterin

Cholesterin ist eine fettähnliche Substanz, die in allen tierischen Fetten vorkommt; pflanzliche Lebensmittel enthalten hingegen nur sehr geringe Mengen an Cholesterin [Sieber et al. 2011].

Cholesterin ist als Zellmembranbestandteil unerlässlich und ist die Ausgangssubstanz zur Produktion von Gallensäuren, Steroidhormonen und Vitamin D [Sieber et al. 2011].

Die Entfernung von Cholesterin aus Lebensmitteln ist sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus technischer Sicht möglich. Dazu bestehen verschiedene Methoden [Sieber et al. 2011]:

- Biologische Prozesse: unter Verwendung von Mikroorganismen oder ihrer Enzyme
- Physikalische Prozesse: Kurzwegdestillation, Kristallisation, überkritische Flüssigkeitsextraktion mit Kohlendioxid
- Chemische Prozesse: Fest-Flüssig-Extraktion mit verschiedenen Adsorptionsmitteln, Komplexbildung

Heute ist die Entfernung von Cholesterin aus tierischen Produkten allerdings nicht mehr gerechtfertigt, da Nahrungscholesterin nicht mehr als Risikofaktor für Hypercholesterinämie gilt und man heute weiss, dass der menschliche Körper selbst mehr Cholesterin produziert als er über die Nahrung aufnimmt und dass eine Beschränkung der Cholesterinaufnahme über die Nahrung keine oder nur eine geringe Wirkung auf den Blutcholesterinspiegel hat [Sieber et al. 2011]. Nahrungscholesterin ist deshalb wenig relevant für die Entwicklung von Herz-Kreislauf-Krankheiten [Schmid 2012E].

2.2 Proteine und Peptide

Milchproteine

Die Proteinqualität wird als biologische Wertigkeit angegeben. Die biologische Wertigkeit ist ein Mass für die Eignung eines Nahrungsproteins zum Ersatz von Körperprotein; sie ist v.a. von den im Lebensmittel enthaltenen essentiellen Aminosäuren abhängig. Molkenproteine haben aufgrund ihres hohen Gehalts an essentiellen Aminosäuren (zu denen auch die verzweigt-kettigen Aminosäuren Isoleucin, Valin und Leucin zählen) eine hohe biologische Wertigkeit und sind sehr gute Lieferanten von Cystein und Glutaminsäure [Wehrmüller et al. 2011A]. Die biologische Wertigkeit von Molkenproteinen (104%) ist wesentlich höher als diejenige von Kaseinen (87%) [Gille 2011D].

Molkenproteine bleiben im sauren Magenmilieu im Gegensatz zu Kaseinen löslich und sind deshalb wesentlich schneller verdaubar als Kaseine [Wehrmüller et al. 2011A; Kopf-Bolanz et al. *in press*]. In Lösungen sind Kuhmilchkaseine als Mizellen angeordnet; die Mizellenstruktur der Kaseine hat eine verminderte Verdaulichkeit zur Folge [Gille 2011D]. Gleichzeitig wirken Molkenproteine im Vergleich zu Kasein, Sojaprotein und Eialbumin stärker sättigend. Für die sättigende Wirkung der Molkenproteine werden verschiedene Faktoren verantwortlich gemacht: die Molkenproteinfractionen *per se*, bioaktive Peptide, durch die Verdauung freigesetzte Aminosäuren sowie die kombinierte Wirkung von Molkenproteinen und/oder

Peptiden und/oder Aminosäuren mit anderen Milchbestandteilen [Wehrmüller et al. 2011A].

Zu den Molkenproteinen zählen das β -Laktoglobulin, das α -Laktoglobulin, die Immunglobuline (gehören zu den Antikörpern), die Proteose-Peptide, das Serumalbumin, die Glykomakropeptide, die Glykoproteine (z.B. Laktoferrin und Transferrin), etwa 60 Enzyme sowie die Peptidhormone (z.B. Prolaktin und Somatostatin) [Wehrmüller et al. 2011B].

β -Laktoglobulin ist der häufigste Auslöser von Milchproteinallergien im Kleinkindalter (β -Laktoglobulin kommt in der Muttermilch nicht vor). Immunglobuline sind nicht sehr stabil und überstehen die Verdauung nur teils; die meisten werden dabei deaktiviert. Glykomakropeptid enthält kein Phenylalanin (Aminosäure), so dass dieses Protein für den Verzehr durch Menschen mit Phenylketonurie geeignet und auch interessant ist, da es offenbar ein starkes Sättigungsgefühl auslöst [Wehrmüller et al. 2011A]. Laktoferrin ist ein eisenbindendes bzw. eisenspeicherndes Glykoprotein, das im Gegensatz zur Muttermilch (100-352 mg / 100 g) in der Kuhmilch nur in sehr kleinen Mengen vorkommt (2-10 mg / 100 g) [Gille 2011E; Wehrmüller et al. 2011A].

In isolierter Form haben Molkenproteine antioxidative, immunmodulierende und antimikrobielle Eigenschaften; weiter werden auch antihypertensive, antikanzerogene, hypolipidämische und antivirale Wirkungen erwähnt. Diese funktionellen Eigenschaften von Molkenproteinen können verschiedene Krankheiten günstig beeinflussen bzw. haben einen präventiven Einfluss: Sie wirken positiv auf kardiovaskuläre Erkrankungen, auf den Knochenstoffwechsel, auf die Darmflora und finden Verwendung bei Reduktionsdiäten. Allerdings wurden die meisten Studien mit Molkenproteinkonzentraten oder -isolaten durchgeführt, so dass die Proteinkonzentration in den Studien wahrscheinlich sehr viel höher war als sie in der Realität in einer gemischten Kost vorkommt. Die positiven Resultate implizieren nichtsdestotrotz, dass Molke und Molkenproteine einen Beitrag an eine ausgewogene Ernährung leisten können [Wehrmüller et al. 2011B; Gille 2011D].

Molkenproteine erweisen sich v.a. in Situationen, bei denen der Muskelaufbau bzw. das Verhindern des Muskelabbaus von Bedeutung ist, als nützlich [Wehrmüller et al. 2011B]:

- In der Sporternährung weisen Molkenproteine einen doppelten Nutzen auf: Sie tragen einerseits zur Muskelsynthese bzw. zur Hemmung des Muskelabbaus bei und sind andererseits durch ihre antioxidative und immunmodulierende Wirkung förderlich für die Gesundheit und Erholung des Athleten.
- Im Alter ist eine ausreichende Proteinversorgung von grosser Bedeutung – nicht zuletzt zur Vorbeugung von Sarkopenie, bei der stoffwechselaktive Muskelmasse durch Fettgewebe ersetzt wird. Molkenproteine leisten aufgrund ihrer raschen Verdaubarkeit einen wichtigen Beitrag.
- Molkenproteine spielen auch beim Stressmanagement eine Rolle. Molkenproteine (v.a. α -Laktalbumin) sind reich an der Aminosäure Tryptophan, aus welcher der Neurotransmitter Serotonin entsteht. Serotonin beeinflusst die Stimmungs- und Gemütslage, den Schlaf-Wach-Rhythmus, die Schmerz Wahrnehmung, die Körpertemperatur und die Nahrungsaufnahme. Gemäss einigen Tier- und Humanstudien verbessert die Verabreichung von α -Laktalbumin die kognitive Leistungsfähigkeit wie auch die Schlafqualität.

Bioaktive Proteine

Als bioaktive Proteine werden Nahrungsproteine bezeichnet, die spezielle biologische Aktivitäten mit potentiell positivem Einfluss auf die Gesundheit ausüben. Diese bioaktiven Wirkungen gehen über die ernährungsphysiologische Bedeutung von Proteinen hinaus [Walther & Sieber 2011].

Die meisten Studien betreffend bioaktiver Proteine wurden mit Milchproteinen durchgeführt (Immunglobuline, Kaseine, Molkenproteine) und konzentrierten sich auf folgende Wirkungen [Walther & Sieber 2011]:

- vitamin-/mineralstoffbindende Proteine: Beispielsweise sind Folate und Vitamin B12 aus Kuhmilch an Molkenproteine gebunden, so dass die Absorption dieser Vitamine erleichtert und deren Abbau oder Aufnahme durch die Darmflora verhindert wird.
- antimikrobielle Proteine (z.B. Laktoferrin): Diverse antimikrobielle Proteine schützen den Magen-Darm-Trakt vor pathogenen Bakterien und Viren, indem sie einerseits das Wachstum nützlicher Mikroorganismen im Darm fördern und indem sie andererseits die Andock-Mechanismen der Pathogene neutralisieren.
- immunsuppressive/-modulierende Proteine: Kuhmilch enthält über 25 Proteinkomponenten, die im Menschen die Produktion spezifischer Antikörper induzieren könnten.
- Hormone und Wachstumsfaktoren: Milch enthält diverse Hormone (u.a. Insulin, Melatonin und Prolactin) und Wachstumsfaktoren (u.a. IGF-1).
- enzymhemmende Proteine

Aufgrund seiner Molekulargröße ist die Absorption von Gesamtprotein im menschlichen Magen-Darm-Trakt beschränkt. Die meisten Proteine mit biologischen Funktionen zeigen ihre physiologische Aktivität deshalb im Magen-Darm-Trakt, indem sie die Nährstoffabsorption fördern, Enzyme hemmen oder das Immunsystem modulieren und so gegen Pathogene verteidigen. Beispielsweise fördern α - und β -Kaseine die Kalziumaufnahme, indem sie während der Verdauung lösliche Kasein-Phosphopeptide bilden [Walther & Sieber 2011].

Bioaktive Peptide

Bioaktive Peptide bestehen aus 3-20 Aminosäuren und entstehen beim Verdauungsprozess von Nahrungsproteinen im Magen-Darm-Trakt des Menschen durch die Wirkung von Verdauungsenzymen. Die gleichen Vorgänge erfolgen auch bei Fermentations- oder Lebensmittelverarbeitungsprozessen [Walther & Sieber 2011].

Es gibt bioaktive Peptide mit den verschiedensten physiologischen Wirkungen auf den Organismus: darunter solche mit blutdrucksenkender, mineralstoffbindender, antimikrobieller, immunstimulierender, antioxidativer, opioider und zellmodulierender Wirkung – wobei gewisse bioaktive Peptide multifunktional sind. Generell sind aber noch viele Fragen offen. Di- und Tripeptide scheinen absorbiert werden zu können, so dass sich die biologische Aktivität dieser Peptide möglicherweise auch in anderen Organen entfalten kann als nur im Magen-Darm-Trakt [Walther & Sieber 2011; Wehrmüller et al. 2011A; Wehrmüller et al. 2011B].

Am besten untersucht sind zur Zeit die beiden bioaktiven Tripeptide Valyl-Prolyl-Prolin (VPP) und Isoleucyl-Prolyl-Prolin (IPP). Sie werden u.a. bei der Fermentation von Milch durch *Lactobacillus helveticus* freigesetzt. VPP und IPP können das Angiotensin-converting Enzyme (ACE) hemmen und werden deshalb mit blutdrucksenkenden Wirkungen assoziiert. Die blutdrucksenkende Wirkung von

VPP und IPP konnte in verschiedenen Tierstudien und in Humanstudien mit Patienten mit mildem Bluthochdruck aufgezeigt werden. Drei kürzlich durchgeführte Humanstudien konnten diese Resultate allerdings nicht bestätigen, so dass die blutdrucksenkende Wirkung fermentierter Milch immer noch umstritten ist. Umfangreiche Studien zeigen, dass VPP und IPP kein toxikologisches Risiko darstellen [Walther & Sieber 2011].

Bioaktive Peptide können in Lebensmitteln akkumuliert werden, z.B. indem bei fermentierten Milchprodukten spezifische Mikroorganismen eingesetzt werden. Gesundheitliche Anpreisungen von bioaktiven Peptiden oder Proteinen wurden von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bisher allerdings noch nicht zugelassen [Walther & Sieber 2011].

2.3 Laktose

Laktose ist ein Disaccharid und der Hauptzucker in Säugermilch [Walther 2011A]. Sie hat viele positive Eigenschaften [Wehrmüller et al. 2011A]:

- Aufgrund seiner geringen Süßkraft von 0.2-0.4 (Saccharose = 1) ist Laktose für die Verwendung in Säuglingsnahrungsmitteln geeignet.
- Laktose ist wie auch Galaktose weniger kariogen als andere Mono- und Disaccharide.
- Der Glykämische Index (GI) von Laktose ist mit 46 niedrig verglichen mit der Referenzsubstanz Glukose (GI = 100) oder gegenüber Saccharose (GI = 68).
- Die Mineralstoffabsorption wird durch den gleichzeitigen Verzehr von Laktose begünstigt; v.a. Kalzium und Magnesium werden vermehrt absorbiert.
- Laktose hat eine stuhlregulierende Wirkung, da unverdaute Laktose den Wassergehalt im Stuhl erhöht.

2.4 Ausgewählte Mineralstoffe

2.4.1 Mengenelemente

Natrium

Natrium ist u.a. für die Regulation des Wasserhaushaltes und des osmotischen Druckes in den Zellen verantwortlich, ist für den Säure-Basen-Haushalt von Bedeutung und spielt eine Rolle bei der Erregbarkeit von Muskeln und Nerven [Fröhlich-Wyder 2012].

Der Minimalbedarf an Natrium liegt für Erwachsene bei 550 mg, was 1.4 g Salz entspricht [Fröhlich-Wyder 2012].

Phosphor

Phosphor ist Bestandteil von Knochen und Zähnen und spielt eine Rolle im Energiestoffwechsel und bei der Regulation des Säure-Basen-Haushalts [Schmid 2011A].

2.4.2 Spurenelemente

Eisen

Eisen ist wichtig für den Transport und die Speicherung von Sauerstoff im Körper sowie auch für das Immunsystem, das Wachstum und im Energiestoffwechsel [Schmid 2011A].

Zink

Zink ist notwendig für die Zellteilung und damit wichtig für Wachstum und Wiederherstellung von Gewebe. Ausserdem ist Zink Bestandteil vieler Enzyme [Schmid 2011A].

Selen

Selen ist Bestandteil verschiedener Selenoproteine, die lebenswichtige biologische Funktionen innehaben. Es wirkt u.a. als Co-Faktor-Enzymfamilie der Glutathionperoxidase antioxidativ und spielt eine Rolle im Immunsystem [Schmid 2011A; Schmid 2011E]. Selen ist ferner auch in die Regulation von Entzündungen und in den Jodstoffwechsel involviert [Schmid 2011E].

Der Selengehalt von Lebensmitteln hängt mit dem Selengehalt des Bodens, auf dem Getreide und Gemüse für die menschliche Ernährung wachsen, sowie mit dem Futtermittel der Tiere zusammen. Obwohl Schweizer Böden selenarm sind, ist der Selenstatus der Schweizer Bevölkerung ausreichend, weil einerseits das Tierfutter mit Selen angereichert wird (wodurch tierische Produkte höhere Selenmengen aufweisen) und weil andererseits selenreicher Durum-Weizen aus den USA importiert und in der Schweiz zu Lebensmitteln (u.a. zu Teigwaren) verarbeitet wird [Schmid 2011E].

Milch und Milchprodukte sind nicht die besten Quellen für Selen, tragen aber trotzdem zur Versorgung mit Selen bei (zu ca. 10% der Gesamtseleenaufnahme), weil sie in relativ grossen Mengen verzehrt werden [Schmid 2011E].

2.5 Fettlösliche Vitamine**Vitamin A**

Vitamin A ist wichtig für die Struktur und die Funktion von Haut und Schleimhäuten sowie für das Immunsystem und die Sehkraft [Schmid 2011A].

Vitamin D

Vitamin D umfasst die beiden Formen Ergocalciferol (Vitamin D₂, pflanzlichen Ursprungs) und Cholecalciferol (Vitamin D₃, tierischen Ursprungs); beide Formen entstehen durch UV-Bestrahlung [Schmid & Walther 2013].

Vitamin D agiert als Hormon in der Regelung des Kalzium- und Phosphor-Stoffwechsels und fördert eine normale Knochenmineralisation. Epidemiologische Studien deuten zudem darauf hin, dass Vitamin D sich auch positiv auf die Herz-Kreislauf-Mortalität, Bluthochdruck, Dickdarmkrebs, Multiple Sklerose, Typ-1-Diabetes, Immunabwehr und Entzündungen auswirkt; die diesbezüglichen Daten müssen allerdings in weiteren Studien noch bestätigt werden [Schmid & Walther 2013].

Die Frage nach dem optimalen Vitamin D-Spiegel im Blut kann nicht abschliessend beantwortet werden. Es bestehen länderspezifisch unterschiedliche Empfehlungen für die Vitamin D-Zufuhr über die Nahrung; die deutschsprachigen Gesellschaften für Ernährung empfehlen Kindern und Erwachsenen neu eine Zufuhr von täglich 20 µg (800 IU) [Schmid & Walther 2013].

Über die Bioverfügbarkeit von Vitamin D natürlichen Ursprungs gibt es nur wenige Daten. Gesichert ist jedoch, dass weder der Koch- noch der Verarbeitungsprozess einen wesentlichen Einfluss auf den Vitamin D-Gehalt tierischer Produkte hat, weil Vitamin D relativ hitzestabil und wenig sauerstoffempfindlich ist. Vitamin D ist allerdings sehr lichtempfindlich [Schmid & Walther 2013].

Beim Menschen stammt das meiste Vitamin D aus der hauteigenen Produktion mittels Sonnenbestrahlung. Allerdings reicht die Zeit, die wir unsere Haut heute der Sonne aussetzen, nicht mehr aus für eine ausreichende Vitamin D-Produktion. Die Vitamin D-Aufnahme über die

Nahrung ist deshalb umso wichtiger, wobei nur wenige Lebensmittel – meist tierischen Ursprungs – natürlicherweise Vitamin D enthalten. Hauptquellen für Cholecalciferol (inkl. 25(OH)-D-3) sind Fisch (Gehalte bis 300 µg/kg), aber auch Innereien (Gehalte bis 140 µg/kg), Eigelb (Gehalte bis 57 µg/kg), Fleisch (Gehalte bis 10 µg/kg) sowie Käse und Butter (Gehalte bis 10 µg/kg). Je nach Datenbank schwanken die Gehaltsangaben beträchtlich, was u.a. darauf zurück zu führen ist, dass die Tiere, deren Produkte untersucht wurden, teils mit Vitamin D supplementiert worden waren. Weitere Einflussfaktoren sind der Fettgehalt der Produkte und saisonal unterschiedliche Produktionszeitpunkte. Vor dem Hintergrund dieser Datenlage ist es schwierig, den Vitamin D-Bedarf alleine über die Nahrung zu decken [Schmid & Walther 2013].

Vitamin K

Vitamin K steht in Lebensmitteln in zwei Formen zur Verfügung: hauptsächlich als Phyllochinon (auch Vitamin K₁ genannt, pflanzliche Form) und daneben auch als Menachinone (auch Vitamin K₂ genannt, entstehen meist im Rahmen einer bakteriellen Synthese, z.B. bei Fermentationsprozessen). Menachinone werden allgemein alle unter dem Begriff Vitamin K₂ subsummiert, obwohl heute klar ist, dass die verschiedenen Menachinone unterschiedliche Ursprünge und Funktionen haben. Menachinon-4 ist einzigartig unter den Menachinonen, weil es ein Metabolit von Phyllochinon und vermutlich nicht bakteriellen Ursprungs ist [Walther et al. 2013B].

Vitamin K spielt eine Rolle als enzymatischer Co-Faktor bei der Carboxylierung von Vitamin K-abhängigen Proteinen (Koagulation), scheint aber auch eine einzigartige Bioaktivität aufzuweisen, die über diese Rolle hinausgeht. Beobachtungsstudien zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen Menachinonzufuhr und Knochen- sowie Herzgesundheit [Walther et al. 2013B].

Die gegenwärtigen Empfehlungen zur Vitamin K-Zufuhr basieren auf dem Wissensstand zu Phyllochinonen und unterscheiden nicht zwischen Phyllochinonen und Menachinonen; sie sind deshalb möglicherweise nicht optimal [Walther et al. 2013B].

Quellen von Menachinonen sind Fleisch, Milchprodukte und fermentierte Lebensmittel. Über das Vorkommen und die Verteilung von Menachinonen in Lebensmitteln, über den anteilmässigen Beitrag von Menachinonen zur gesamten Vitamin K-Zufuhr sowie über die Absorption und den Stoffwechsel von Menachinonen ist relativ wenig bekannt; in Nährwertdatenbanken fehlen die Werte für Menachinone bzw. Vitamin K meist. Milchprodukte könnten aber eine wichtige Quelle für Menachinone sein [Walther et al. 2013B].

Die industrielle Anwendung von Menachinon-produzierenden Bakterien in fermentierten Milchprodukten könnte eine wirkungsvolle Möglichkeit sein, um die Menachinonzufuhr zu steigern. Dabei müssen sowohl der Bakterienstamm als auch die Wachstumsbedingungen beachtet werden: z.B. *Lactobacillus* und *Streptococcus* haben die Fähigkeit verloren, Menachinone zu produzieren [Walther et al. 2013B].

2.6 Wasserlösliche Vitamine**Thiamin (Vitamin B1)**

Thiamin (Vitamin B1) spielt eine Rolle im Energie- und Kohlenhydratstoffwechsel und trägt zur Erhaltung des

Herz-Kreislauf- und des Nervensystems bei [Schmid 2011A; Schmid 2011F].

Die deutschsprachigen Gesellschaften für Ernährung empfehlen Jugendlichen und Erwachsenen ab 15 Jahren eine Zufuhr von täglich 1-1.3 mg Thiamin. Die Thiaminspeicher in unserem Körper sind gering (25-30 mg), weshalb eine regelmässige Zufuhr wichtig ist. Ein Mangel an Thiamin – der bei einer ausgewogenen Ernährung allerdings selten vorkommt – äussert sich in der Mangelkrankheit Beriberi, die in verschiedenen Ausprägungen und mit uneinheitlichen Symptomen vorkommt (Wasseransammlungen im Gewebe, Herzvergrösserung, Herzmuskelschwäche sowie Nervenentzündung und Nervenlähmung) [Schmid 2011F].

Gute Quellen für Thiamin sind u.a. Fleisch und Fleischprodukte, v.a. Schweinefleisch und daraus hergestellte Fleischprodukte. Aufgrund ihrer polyphenolischen Inhaltsstoffe verringern Schwarztee und Kaffee die Aufnahme von Thiamin. Thiamin ist zudem empfindlich gegenüber Wärme und Licht; bei der Zubereitung bzw. beim Kochen gehen durchschnittlich ca. 30% verloren [Schmid 2011F].

Niacin (Vitamin B3)

Niacin ist als Coenzym für eine ganze Reihe von Enzymen wichtig und unerlässlich für die Energieproduktion [Schmid 2011A].

Pantothensäure (Vitamin B5)

Pantothensäure spielt im Stoffwechsel und für das Nervensystem eine Rolle [Schmid 2011A].

Vitamin B6 (Pyridoxin)

Vitamin B6 spielt als Coenzym im Aminosäurestoffwechsel eine Rolle und ist für das Nerven- und Immunsystem wichtig [Schmid 2011A].

Vitamin B12 (Cobalamin)

Cobalamine (dazu zählt u.a. Vitamin B12 natürlichen und synthetischen Ursprungs) gehören zu den komplexesten Co-Faktoren der Natur. Entsprechend komplex ist deshalb auch ihr Absorptionsprozess im menschlichen Magen-Darm-Trakt, in den verschiedenste Enzyme und Substanzen involviert sind [Gille & Schmid *submitted*].

Im Gegensatz zu anderen Vitaminen der B-Gruppe wird Vitamin B12 weder von Tieren noch von Pilzen oder Pflanzen produziert, sondern ausschliesslich von (hauptsächlich anaeroben) Mikroorganismen. Das menschliche Mikrobiom ist zwar fähig, Vitamin B12 zu produzieren, kann es aber nicht absorbieren, weil der Produktionsort (Dickdarm) zu weit entfernt ist vom Ort der Absorption (Dünndarm). Der Mensch muss Vitamin B12 deshalb über die Nahrung aufnehmen [Gille & Schmid *submitted*].

Vitamin B12 hat verschiedenste Funktionen: Es ist am Abbau von Cholesterin, Fettsäuren und diverser Aminosäuren beteiligt [Gille & Schmid *submitted*]. Vitamin B12 ist notwendig für die Blutbildung, das Nervensystem und die Regeneration von Schleimhäuten [Schmid 2011A].

Vitamin B12 ist fast ausschliesslich in tierischen Lebensmitteln zu finden [Schmid et al. 2011B]. Die besten Vitamin B12-Quellen sind Fleisch und Milch von Wiederkäuern, da die Mikroorganismen im Pansen von Wiederkäuern natürlicherweise Vitamin B12 produzieren und das Vitamin in den Muskeln und der Leber der Tiere gespeichert oder über die Milch ausgeschieden wird. Fleisch von Wiederkäuern liefert pro 100 g 0.36-4.43 µg Vitamin B12. Die Vitamin B12-Gehalte von Milchprodukten

sind tiefer (Kuhmilch: 0.08-0.49 µg/100 g; Käse: 0.34-3.34 µg/100 g); aufgrund ihrer höheren Konsummengen stellen Milchprodukte aber trotzdem wichtige Vitamin B12-Quellen dar – v.a. auch für Vegetarier. Essbare Algen und fermentierte Sojabohnen enthalten zwar auch Vitamin B12, aber in relativ geringen Mengen. Die Tierart hat interessanterweise keinen signifikanten Einfluss auf die Vitamin B12-Konzentration von rohem Fleisch. Je älter das Tier ist, desto höher scheinen jedoch die Vitamin B12-Gehalte zu sein. Auch das Fleischstück ist in Bezug auf den Vitamin B12-Gehalt relevant [Gille & Schmid *submitted*].

Vitamin B12 ist wasserlöslich und empfindlich gegenüber Licht und oxidierenden oder reduzierenden Substanzen (z.B. Ascorbinsäure). Hitzebehandlungen wie Kochen, Rösten oder Schmoren von frischem Fleisch beeinflussen deshalb den Vitamin B12-Gehalt: einerseits kommt es zu einem konzentrierenden Effekt infolge Feuchtigkeits- und Fettverlust, andererseits kann Vitamin B12 als wasserlösliches Vitamin über das Wasser verloren gehen oder durch Licht oder Oxidation/Reduktion zerstört werden. Die Verluste betragen je nach Erhitzungsmethode (trocken vs. feucht, lang vs. kurz usw.) 10-40%. Aufgrund des konzentrierenden Effektes scheint gekochtes Fleisch pro 100 g aber generell ähnliche oder höhere Vitamin B12-Gehalte aufzuweisen als rohes Fleisch [Gille & Schmid *submitted*].

Die Milchverarbeitung (Hitzebehandlung, Lagerung, Herstellungsprozesse von Käse/Joghurt usw.) hat ebenfalls Vitamin B12-Verluste zur Folge. Milchsäurebakterien sind zudem auf Vitamin B12 angewiesen, um zu wachsen; *Lactobacillus bulgaricus* und *Streptococcus thermophilus* gehören zu den sehr effizienten Vitamin B12-Konsumenten. Umgekehrt gibt es Bakterienstämme, die Vitamin B12 produzieren; dazu gehören die Propionsäurebakterien, welche in der industriellen Produktion von Vitamin B12 eine wichtige Rolle spielen [Gille & Schmid *submitted*].

Generell geht man beim Vitamin B12 bei gesunden Menschen von einer Absorptionsrate von 50% aus. Die Bioverfügbarkeit von Vitamin B12 synthetischen Ursprungs liegt allerdings bei weniger als 4%. Die Bioverfügbarkeit von Vitamin B12 aus Fleisch oder Milch ist prinzipiell relativ hoch; diesbezüglich besteht aber noch Forschungsbedarf [Gille & Schmid *submitted*].

Die deutschsprachigen Gesellschaften für Ernährung empfehlen Jugendlichen und Erwachsenen ab 13 Jahren eine Zufuhr von täglich 3.0 µg Vitamin B12. Dieser Bedarf kann über den Konsum von Fleisch, Milch und Milchprodukten grösstenteils gedeckt werden. In der Schweiz tragen Fleisch und Fleischprodukte zu ca. 58% und Milch und Milchprodukte zu ca. 27% zur Vitamin B12-Zufuhr bei. Die Ernährungsempfehlungen in Industrieländern zielen auf eine Reduktion des Fleischkonsums ab; dies könnte zur Folge haben, dass der Vitamin B12-Bedarf nicht mehr gedeckt wird [Gille & Schmid *submitted*].

3 Milch und Milchprodukte

3.1 Eigenschaften, Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren

3.1.1 Milch

Schweizer Bergmilch

55% der Landwirtschaftsbetriebe in der Schweiz liegen im Hügel- und Berggebiet. Knapp ein Drittel der Schweizer Milch wird im Berggebiet produziert [Bisig 2012].

Aus Bergmilch werden diverse Milchprodukte hergestellt. Im Bergmilchprojekt 2003-2007 der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL in Zusammenarbeit mit Agroscope wurden Strategien erarbeitet, damit die Milchproduktion und -verarbeitung in den Berggebieten effizient erfolgen kann. Eine Empfehlung aus dem Projekt ist, dass Milch mit einem Zusatznutzen produziert und daraus regionale Milchprodukte hergestellt werden sollen. Die Strategie wurde in verschiedenen Projekten erfolgreich umgesetzt (z.B. Produktsortimente Heidi von Migros, ProMontagna von Coop, diverse Projekte von Dorfkäseereien) [Bisig 2012].

Ziegen- und Schafmilch

Ziegen- und Schafmilchprodukte fristen in der Schweiz immer noch ein Nischendasein, erfreuen sich aber wachsender Beliebtheit. Die offiziell erfassten Produktionsmengen von Ziegen- bzw. Schafmilchkäse haben sich zwischen 2000 und 2009 mehr als verdoppelt. Hauptgründe sind laut einer von Agroscope im Jahr 2006 durchgeführten Umfrage der besondere Geschmack, Abwechslung in der Produktauswahl sowie das gesunde und natürliche Image [Gille 2011A; Schaeren et al. 2011].

Ziegen werden in der Schweiz meist in kleinen Herden gehalten (oft als Nebenerwerb). Die Strukturen der Ziegenmilchverarbeitung sind sehr unterschiedlich: von lokaler Hof- bis zu (über-)regionaler Milchverarbeitung [Schaeren et al. 2011].

Milchschafe werden tendenziell in grösseren Herden gehalten (oft als Haupterwerb). Traditionell gibt es in der Schweiz aber keine Schafmilchverarbeitung [Schaeren et al. 2011].

3.1.2 Aromatisierte Milch

Definition und Zusammensetzung

Unter aromatisierter Milch versteht man genussbereite Produkte, die aus unfermentierter Milch hergestellt und mit unterschiedlichen Zutaten wie z.B. Zucker, Süsstoffen, Fruchtsaft, probiotischen Bakterien und/oder Aromastoffen angereichert wurden (z.B. milchbasierte Kaffeegetränke, aromatisierte Milch mit Fruchtpüree). Weitere Inhaltsstoffe sind Verdickungsmittel und Stabilisatoren. Der Anteil der zugesetzten Zutaten ist oft auf 30% begrenzt (z.B. in der EU und der Schweiz). Schokolade und Kaffee sind die wichtigsten Aromen [Bisig 2011].

Aromatisierte Milch ist mit unterschiedlichen Fettgehalten erhältlich (vollfett, teilentrahmt, mager). Der Fettgehalt der Milch beeinflusst die Cremigkeit und Textur des Produktes, hellt dessen Farbe auf (z.B. im Fall von Schokoladenmilch) und nimmt auch Einfluss auf den Flavor des Produktes, indem Milchfett andere Aromen überdeckt [Bisig 2011].

Bedeutung

Der Markt für aromatisierte Milch ist in den letzten Jahren stark gewachsen, mit Wachstumsraten von 4% in Europa und 13% weltweit im Zeitraum zwischen 2000 bis 2002. Der Markt für flüssige Milch – wozu Milch, Milchgetränke, Joghurt und andere fermentierte Produkte zählen – stagniert hingegen bzw. ist sogar leicht rückläufig [Bisig 2011].

Herstellungsprozess

Die grösste Herausforderung bei der Herstellung von aromatisierter Milch ist die Stabilisierung der Milchproteine (insbesondere der Kaseinmizellen) ausserhalb ihres normalen pH- und Ionenstärken-Bereiches, damit das Produkt nicht gerinnt bzw. ausflockt. Zu diesem Zweck werden Stabilisatoren eingesetzt [Bisig 2011]:

- Stabilisierung in saurem Milieu: Aromatisierte Milch mit hohem Fruchtsaftanteil ($\geq 15\%$) wird mit ca. 0.3% hochverestertem Pektin stabilisiert.
- Stabilisierung in neutralem Milieu: Für die Stabilisierung von aromatisierter Milch mit einem pH-Wert von ca. 6.7 werden normalerweise Carrageene eingesetzt, manchmal Guargummi in Kombination mit Carrageenen oder Natrium-Alginate [Bisig 2011].

Wichtig ist ferner, dass keine übermässige Hitzebehandlung stattfindet, weil dies zu einer erhöhten Denaturierung der Molkenproteine und dies wiederum zu einer übermässigen Gelbildung während langer Lagerung von UHT-behandelten Milchgetränken führt [Bisig 2011].

Wichtige Aspekte bei der Herstellung von Schokoladenmilch

Für die Stabilisierung von Schokoladenmilch wird eine Konzentration von κ -Carrageen von 0.01-0.05% empfohlen. In dieser Konzentration wird ein schwaches Gel gebildet, das nötig ist zur Verhinderung der Sedimentation der Kakaopartikel. Bei höherer Konzentration wird ein festeres Gel gebildet, das zu einem inhomogenen Produkt, zu einem Produkt mit puddingähnlicher Textur oder gar zu Phasentrennung führt [Bisig 2011].

Zur Verhinderung der Sedimentation der Kakaopartikel ist es zudem wichtig, dass die Partikelgrösse von Kakaopulver so klein wie möglich ist: empfohlen wird 10-30 μm und weniger als 0.5% mit einer Partikelgrösse über 75 μm [Bisig 2011].

Bei der Herstellung von Schokoladenmilch ist ferner die korrekte Hitzebehandlung und Kühlung von grosser Bedeutung [Bisig 2011].

Wichtige Qualitätskriterien von Schokoladenmilch sind u.a. ein homogenes Erscheinungsbild ohne Phasentrennung oder übermässiger Sedimentation, gutes Auflösen eines allfälligen Sediments, eine ansprechende braune Farbe, ein guter und authentischer Schokoladengeschmack, Cremigkeit, ein angenehmes Mundgefühl ohne zu feste Gelbildung, eine geringe Anzahl Enterobakterien und aerober mesophiler Keime, ein Fettgehalt entsprechend Definition, ein pH-Wert zwischen 6.2-7.0 und Stabilität bis zum definierten Haltbarkeitsdatum [Bisig 2011].

3.1.3 Käse

Käse hat in der menschlichen Ernährung eine lange Tradition. Unterschiedliche Klimata und Traditionen, Milch verschiedener Tierarten, verschiedene Käseherstellungs-

verfahren und die Verwendung von Lab und verschiedener Starterkulturen ergeben eine grosse Zahl verschiedener Käsevarietäten [Walther & Mühlemann 2012; Walther et al. 2013A]. Davon sind über 166 Käsevarietäten als AOP-Produkte¹ registriert, 11 aus der Schweiz [Bachmann et al. 2011A].

In den letzten Jahren konnte eine Zunahme des weltweiten Käsekonsums festgestellt werden [Walther et al. 2013A].

Schweizer Käse

Schweizer Käse sind naturreine, einzigartige Produkte mit langer Tradition. Zu ihrer Herstellung braucht es insbesondere qualitativ hochstehende Rohmilch, fundiertes Wissen und Können der Fachleute sowie das Beherrschen der Gärungsvorgänge mit Kulturen [Bachmann et al. 2011C].

Mikrobielle Kulturen² der Forschungsanstalt Agroscope tragen massgeblich dazu bei, dass Schweizer Käse regelmässig Preisträger bei internationalen Wettbewerben ist. Die Einzigartigkeit dieser Kulturen beruht auf verschiedenen Erfolgsfaktoren: Die Kulturen wurden aus gut produzierenden Käsereien aus der gesamten Schweiz gesammelt und konserviert; heute besteht die Sammlung aus mehr als 12'000 Stämmen. Die Kulturen sind zudem zum grossen Teil so genannte Rohmischkulturen bestehend aus verschiedensten Stämmen. Weiter konnte über die Jahre hinweg ein sehr grosses Wissen rund um die Kulturen erarbeitet werden. Die traditionellen Hart- und Halbhartkäse werden zum grössten Teil mit Kulturen aus Agroscope hergestellt. Über die Kulturen von Agroscope werden zudem auch immaterielle Werte wie Authentizität, Tradition (AOP) und Natürlichkeit gestärkt [Bachmann et al. 2011C].

Heute entwickelt Agroscope für verschiedene AOP-Käsesorten spezifische Kulturen, damit sich ihre Produkte möglichst stark von denen der Konkurrenz differenzieren. Entwicklungsarbeiten laufen zur Zeit für Kulturen, die eine gezielte Wirkung auf das Aroma oder die Produktsicherheit haben oder die ernährungsphysiologische Eigenschaften positiv zu beeinflussen vermögen, z.B. durch probiotische Stämme. Agroscope hat zudem eine Methode patentieren lassen, um mittels Herkunftsnachweis-Kulturen zu bestimmen, ob ein Käse ein Original (d.h. eine traditionelle Schweizer Käsesorte) oder eine Fälschung ist [Bachmann et al. 2011C].

Rohmilchkäse

Rohmilch ist Milch, die weder über 40°C erhitzt noch einer anderen Behandlung mit gleichwertiger Wirkung unterzogen wurde. Unter Pasteurisation versteht man eine Hitzebehandlung von Milch bei mind. 72°C während mind. 15 Sekunden. Ziel der Pasteurisation ist eine Verminderung der Anzahl pathogener Mikroorganismen auf ein Niveau, das keine gesundheitlichen Risiken mehr nach sich zieht. Die Pasteurisation zielt auf die Zerstörung von *Mycobacterium tuberculosis* und *Coxiella burnetii* ab, verändert aber auch die biochemischen und mikrobiologischen Prozesse der Käsereifung sowie den Flavor und die Textur von Käse. Aus Lebensmittelsicherheitsgründen wurde zur Herstellung verschiedener Halbhart- und Weichkäse die Thermisierung von Milch bei 57-68°C während 10-20 Sekunden eingeführt [Bachmann et al. 2011A].

Für die Herstellung von qualitativ hochwertigem Rohmilchkäse sind verschiedene Voraussetzungen wichtig: die Verwendung qualitativ hochwertiger Milch und geeigneter Starterkulturen, die Anwendung angemessener Herstellungs- und Reifungsbedingungen und schliesslich das Know-How des Käseproduzenten. Die Rohmilchqualität wiederum hängt von verschiedenen Faktoren ab: Gesundheit des Tieres, Tierfutter, Melkbedingungen und -verfahren, Sauberkeit der Ausrüstung, Temperaturkontrolle, Dauer der Zwischenlagerung und angemessene Transportbedingungen. Bei der Rohmilchkäseproduktion wird die Milch normalerweise innerhalb 12 Stunden nach dem Melken verarbeitet; wenn die Rohmilch unmittelbar nach dem Melken auf 4-12°C gekühlt wird, kann die Verarbeitung auch erst nach 24-48 Stunden erfolgen [Bachmann et al. 2011A].

Die Rohmilchflora hat einen wesentlichen Einfluss auf den Käseherstellungs- und Käsereifungsprozess. Sie wird als einer der Gründe für die grosse Aromavielfalt von traditionellem Käse betrachtet, da weder die Diversität noch die Gehalte der Rohmilchflora standardisiert sind. Käsevarietäten mit langer Reifungsdauer (mehrere Monate bis 3 Jahre) erfahren während der Reifung eine tiefgehende Proteolyse und Lipolyse, so dass Rohmilchkäse normalerweise höhere Gehalte an freien Aminosäuren, freien Fettsäuren und flüchtigen Komponenten enthalten. Rohmilchkäse hat deshalb einen intensiveren Flavor als Käse aus pasteurisierter Milch, was mit ein Grund ist, dass nach wie vor ein beträchtlicher Teil Käse aus Rohmilch hergestellt wird (z.B. Emmentaler, Gruyère) [Bachmann et al. 2011A].

Verschiedene Käsefehler stehen in direktem Zusammenhang mit ungenügender Milchqualität. Rohmilchkäse ist besonders empfindlich gegenüber Käsefehlern, da die Milch keine korrigierende Behandlung erfährt. Käsefehler wirken sich auf die Textur (z.B. Gas-/Lochbildung, Verfärbungen), den Flavor (z.B. stechender oder ranziger Geschmack) und die Inhaltsstoffe (z.B. Bildung hoher Gehalte an biogenen Aminen) aus [Bachmann et al. 2011A]. Die mikrobiologischen Gesundheitsrisiken von Käse werden im Kapitel 7.2 abgehandelt.

Die Textur von Rohmilchkäse und diejenige von Käse aus pasteurisierter Milch unterscheiden sich nicht merklich voneinander, was wenig erstaunlich ist, da die Textur nicht primär von der Aktivität der Rohmilchflora abhängt, sondern von der Wasserretention und -bindung, vom Kalziumgleichgewicht und von der Primärproteolyse aufgrund nicht-mikrobieller Enzyme [Bachmann et al. 2011A].

Emmentaler Käse

Emmentaler Käse ist die bekannteste Schweizer Käsesorte und wird im Ausland oft einfach als „Schweizer Käse“ bezeichnet. Emmentaler Käse wird heute aber nicht nur in der Schweiz hergestellt, so dass es sogar einen international anerkannten Codex Standard für Emmentaler gibt, der vom Codex Alimentarius entwickelt wurde [Bachmann et al. 2011B].

Charakteristisch für Schweizer Emmentaler Käse sind seine zylindrische Form, seine feste, trockene Rinde (welche den Verlust von Kohlendioxid vermindert), sein Gewicht von 60-130 kg, seine 1000-2000 Löcher mit einem Durchmesser von 1-4 cm, sein milder und nussiger Flavor, seine hellgelbe Farbe und seine leicht elastische Textur [Bachmann et al. 2011B]. Die Löcher im Emmentaler Käse sind v.a. im Zentrum angesiedelt und vorwiegend kugelförmig [Schuetz et al. 2013].

¹ AOP = Appellation d'Origine Protégée (kontrollierte Herkunftsbezeichnung)

² Kulturen bzw. Starterkulturen sind spezielle, aufgrund spezifischer Eigenschaften selektierte vermehrungsfähige Mikroorganismen, die bei fermentativen Prozessen der Lebensmittelherstellung verwendet werden, um das Aussehen, den Geschmack oder die Haltbarkeit des Lebensmittels zu verbessern (z.B. Käse, Sauermilchprodukte, Backwaren, Bier). Meist handelt es sich um Milchsäurebakterien oder Hefen.

Emmentaler Käse muss in der Schweiz aus Rohmilch hergestellt werden, weshalb die bakteriologischen Bedingungen besonders streng sind. Die Verfütterung von Silage geringer mikrobiologischer Qualität ist der Hauptgrund für die Kontamination von Rohmilch mit Clostridien-Sporen, so dass Schweizer Emmentaler Käse nur aus Rohmilch von Kühen hergestellt werden darf, denen keine Silage verfüttert wurde [Bachmann et al. 2011B].

Die bei der Herstellung von Emmentaler Käse eingesetzten Starterkulturen (gemischte Kulturen von Lactobacillen und Streptokokken) bauen Laktose innerhalb von 24 Stunden zu über 90% zu Milchsäure ab. Die Milchsäure verhindert einerseits, dass sich unerwünschte Mikroorganismen entwickeln können, und beeinflusst andererseits die Textur von Käse und die Proteolyse im Käse. Die Milchsäure wird danach durch ausgewählte Kulturen von *Propionibacterium* sp. zu Propionsäure, Acetat und Kohlendioxid abgebaut. Die Propionsäuregärung ist essentiell für die charakteristische Lochbildung (aufgrund des Kohlendioxids) und den nussigen Flavor. Die lipolytische Aktivität der Propionsäurebakterien beeinflusst die Flavor-Entwicklung während der Käsereifung [Bachmann et al. 2011B].

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Herstellung von Emmentaler Käse ist die Zugabe von 12-18% Wasser zur Milch bzw. zum Käsebruch. Die daraus resultierende Erhöhung des pH-Wertes beschleunigt die Propionsäuregärung. Dadurch bleibt die Käsetextur aufgrund des hohen Kalziumgehaltes weich und elastisch, was wiederum entscheidend ist für die Bildung regelmässiger Löcher [Bachmann et al. 2011B].

Der Salzgehalt von Emmentaler Käse ist sehr tief, weil Propionsäurebakterien salzempfindlich sind. Aufgrund seines tiefen Wassergehaltes schmilzt Emmentaler Käse bei relativ hohen Temperaturen (ca. 74°C) [Bachmann et al. 2011B].

Emmentaler Käse ist in verschiedenen Reifestadien erhältlich; von sehr jungem Käse (Reifungsdauer mind. 4 Monate) bis zu extrareifem Käse (Reifungsdauer über 1 Jahr). Für die Reifung und Entwicklung des Flavors sind die Proteolyse, die Propionsäuregärung und die Lipolyse entscheidend. Weitere wichtige Faktoren für die Entwicklung des Flavors sind die hohen Temperaturen zu Beginn des Herstellungsprozesses sowie die Grösse und Form des Käses. Die wichtigsten flüchtigen Flavor-Komponenten von Emmentaler Käse sind Methional, Essigsäure und Propionsäure; Peptide und freie Aminosäuren tragen als Hintergrund-Flavor des Käses bei [Bachmann et al. 2011B].

Die nachfolgenden technologischen Schritte führen zu einem hygienisch sicheren Emmentaler Käse: sehr gute Milchqualität, kurze Milchlagerung, antagonistische Starterkulturen, schnelle Säuerung, vollständige Verwandlung von Laktose zu Milchsäure, antimikrobielle Wirkung der Milchsäure, hohe Brenntemperaturen, Salzbad, Reifung bei erhöhten Temperaturen, lange Reifungsdauer (mind. 120 Tage) [Bachmann et al. 2011B].

Fehler beim Emmentaler Käse sind u.a. auf eine übermässige Proteolyse zurückzuführen (so genannte Sekundärfermentation, die Risse zur Folge hat). Auch Buttersäuregärung ist unerwünscht und kann dazu führen, dass der Käselaub zerplatzt [Bachmann et al. 2011B].

Lochbildung in Käse

Die Lochbildung (Grösse, Form, Anzahl und Verteilung der Löcher im Käse) ist in der Schweiz ein wichtiger Qualitätsparameter für Hart- und Halbhartkäse. Sie kann u.a. mittels Radiographie oder (neu) Computertomographie (CT) untersucht werden [Schuetz et al. 2013].

Schuetz et al. haben zwei Qualitätsindikatoren (Anzahl Löcher und Total-Lochvolumen) mittels Radiographie berechnet und sie mit den Ergebnissen der CT verglichen. Die Resultate zeigen, dass die Radiographie sowohl die Anzahl Löcher als auch das Lochvolumen systematisch unterschätzt und dass die Abweichung mit der Anzahl Löcher zunimmt. Im Gegensatz zu Daten der Radiographie ist es mit Daten der CT möglich, sowohl die Verteilung des Lochvolumens und die Positionierung der Löcher als auch deren geometrische Form zu berechnen. CT-Analysen können zudem automatisiert werden. Die CT hat gegenüber der Radiographie somit klare Vorteile, ist allerdings auch die teurere Technologie. Sowohl die CT als auch die Radiographie sind nach wie vor zu teuer, um damit die Lochbildung in der kommerziellen Käseproduktion routinemässig zu untersuchen. Die CT ist aber ein sehr nützliches Hilfsmittel, um lochbildende Kulturen zu entwickeln und zu beurteilen, um die Wirkung verschiedener technologischer Faktoren auf die Lochbildung zu untersuchen und schliesslich auch, um den Mechanismus besser zu verstehen, der während der Lochbildung zu Käsefehlern führt [Schuetz et al. 2013].

3.1.4 Molke

Molke ist ein Nebenprodukt der Quark- und Käseherstellung. Wird die Milch mit Milchsäurebakterien gesäuert (z.B. bei der Quarkherstellung), entsteht Sauermolke, wird sie mit Lab dick gelegt, resultiert Süssmolke daraus. Zum Verzehr gelangt hauptsächlich Sauermolke oder mit Milchsäure gesäuerte Süssmolke. Aufgrund ihres säuerlichen Geschmacks und ihres negativen Images als so genanntes Abfallprodukt hat Molke in der täglichen Ernährung allerdings nur eine geringe Bedeutung. Ein Grossteil der Molke wird heute an Schweine verfüttert, weiterverarbeitet bzw. entsorgt (als Dünger, Biogas, Kompost usw.) oder zu Molkenpulver verarbeitet. Für die Lebensmittelindustrie sind v.a. die Molkenproteine aufgrund ihrer schäumenden, emulgierenden und gelbildenden Eigenschaften sowie aufgrund ihrer ausgezeichneten Löslichkeit und Bindungsfähigkeit von Aromastoffen von Interesse [Wehrmüller et al. 2011A; Wehrmüller et al. 2011B].

3.1.5 Buttermilch

Buttermilch fällt als Nebenprodukt bei der Butterherstellung an. Aufgrund ihrer geringen oxidativen Stabilität wird sie oft als Tierfutter eingesetzt. Buttermilch wurde lange Zeit unterschätzt und als unerwünscht und unnützlich betrachtet. Sie wird aber zunehmend auch in der menschlichen Ernährung thematisiert, da sie aufgrund ihrer wasserlöslichen Komponenten (u.a. Fragmente der Milchfettkügelchenmembran MFGM) ein hohes funktionelles Potential hat [Gille 2011D; Guggisberg et al. 2012]. Die funktionellen Inhaltsstoffe der Buttermilch könnten in Lebensmitteln als Emulgatoren, als Stabilisatoren oder als gesundheitsförderliche Zutaten eingesetzt werden [Guggisberg et al. 2012].

Die MFGM agiert als Emulgator, indem sie ein Triglyzerid umhüllt und so verhindert, dass sich das Fettkügelchen mit der wässrigen Milchlösung verbindet [Gille 2011D]. Die MFGM-Fraktion ist allerdings ein schlechter Emulgator im Vergleich zu Buttermilch als Ganzes [Guggisberg et al. 2012].

Hitzebehandlungen vor und während der Butterherstellung beeinflussen die Eigenschaften der MFGM. Guggisberg et al. untersuchten die Wirkungen einer Hitzebehandlung von Rahm auf die physikochemischen Eigenschaften von Oel-in-Buttermilch-Emulsionen. Dazu wurden Rohrahm (35% Milchfett) und vorerhitzter Rahm (15 Sekunden bei 60°C, 75°C oder 90°C) zu Butter oder Buttermilch gerührt und die daraus entstehenden Buttermilch-Varianten mit 10% Sonnenblumenöl zu Emulsionen weiterverarbeitet. Die physikochemischen Analysen zeigten weder signifikante Unterschiede in Bezug auf Fett-, Protein- oder Phospholipidgehalte, noch auf die Partikelgrößenverteilung oder die Oberflächenspannung (gemessen gegenüber Sonnenblumenöl). Die Buttermilch, die zu 90°C erhitzt worden war, hatte jedoch einen tieferen Gehalt an natürlichen Molkenproteinen, die daraus hergestellte Emulsion wies eine signifikant höhere Stabilität auf und die Tröpfchengröße war kleiner als in den anderen Emulsionen. Die Hypothese der Autoren wurde damit bestätigt, dass Kasein und Molkenproteine hauptverantwortlich sind für die Oberflächenspannung der untersuchten Emulsionen (nicht Phospholipide oder andere MFGM-Komponenten). Somit haben sowohl die Hitzebehandlung (mit der resultierenden Denaturierung der Molkenproteine) als auch die Bedingungen der Homogenisierung einen wesentlichen Einfluss auf die Stabilität der Emulsionen. Die Studie lässt darauf schliessen, dass die Denaturierung von Molkenproteinen vor der Homogenisierung die Stabilität der resultierenden Oel-in-Buttermilch-Emulsionen stark beeinflusst [Guggisberg et al. 2012].

3.1.6 Probiotika

Mikrobiom

Mikroorganismen, die wir über die Nahrung, Haut und Schleimhaut aufnehmen, scheinen zu verschiedenen Phasen unseres Lebens einen wesentlichen Einfluss darauf zu haben, wie wir auf Krankheitserreger reagieren. Die bisherige Bezeichnung „Darmflora“ wird der vielschichtigen Bedeutung der Mikroorganismen in unserem Darm nicht gerecht; international beginnt sich deshalb der Begriff „Mikrobiom“ bzw. „Microbiome“ durchzusetzen. Im Jahr 2008 startete das „Human Microbiome Project“, das alle noch unbekanntenen Mikroorganismen des Darmes erfassen und erforschen will [Zehntner 2012].

Definition Probiotika

Gemäss WHO/FAO sind Probiotika „lebende Mikroorganismen, die bei mengenmässig ausreichender Zufuhr einen gesundheitlichen Nutzen auf den Organismus ausüben“ [Zehntner et al. 2011]. Mit dem Hinweis auf gesundheitsfördernde Aspekte umfasst also bereits die Definition von Probiotika einen Health Claim (gesundheitsfördernde Auslobung) [Guggenbühl & Zehntner 2012]. Die Anforderungen an probiotische Stämme umfassen heute neben der Resistenz gegenüber Magensäure und Gallenzymen, der Einnistung in die Darmschleimhaut und antagonistischen Effekten gegenüber Krankheitserregern auch Sicherheitsaspekte wie das Fehlen von Antibiotikaresistenz-Faktoren und die Ausdehnung auf Wirkungen bei gewissen Autoimmunerkrankungen [Zehntner 2012].

Die Ära der Probiotika begann bereits anfangs des 20. Jahrhunderts; für die Lebensmittelindustrie attraktiv wurden Probiotika allerdings erst, als Japans Gesundheitsbehörde in den 80er Jahren das FOSHU-Label (Food for Specified Health Uses) einführte, das in beschränktem Mass Gesundheitsanpreisungen für Lebensmittel zulies, wenn entsprechende wissenschaftliche Daten vorgelegt

werden konnten [Zehntner 2012]. Das japanische FOSHU-System, das ein strenges und aufwändiges Bewilligungsverfahren umfasst, hat sich in Japan inzwischen etabliert und offenbar bewährt [Zehntner et al. 2011].

Gesundheitsfördernde Auslobung von Probiotika

Wenn Hersteller die speziellen probiotischen Eigenschaften ihrer Produkte heute thematisieren wollen, verursacht die juristische Trennung von Lebensmitteln und Medikamenten meist Schwierigkeiten. Auch wenn probiotische Lebensmittel häufig zu therapeutischen Zwecken eingesetzt werden, dürfen Unternehmen bei der Beschriftung und Bewerbung solcher Produkte weder eine Heilanspruch erheben noch auf die präventive Wirkung gegen eine Krankheit hinweisen [Guggenbühl & Zehntner 2012]. Es gibt aber trotzdem gute Gründe, Probiotika auch weiterhin als Lebensmittel anzusehen [Zehntner 2012]:

- Probiotika sollten über längere Zeit bzw. lebenslang eingenommen werden, um wirksam zu werden und zu bleiben.
- So individuell das Mikrobiom und die darmassoziierte Immunabwehr gestaltet sind, so individuell zeigen sich auch die Reaktion des Körpers und seines Mikrobioms auf die Einnahme von Probiotika und ihre nachfolgende Wirkung. Bei der klassischen Medikamenteneinnahme erwarten wir eine schnelle direkte Hilfe, tolerieren gewisse unangenehme Nebenwirkungen, setzen das Medikament nach der Genesung aber gern wieder ab.
- Werden die zukünftigen Probiotika noch besser der individuellen Entwicklung des Mikrobioms angepasst, drängen sich Vielstammkulturen auf, die dem jeweiligen Lebensalter des Mikrobioms und des Individuums optimal angepasst sind.

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) prüft zur Zeit basierend auf der EU-Verordnung Nr. 1924/2006 verschiedene Anträge für Health Claims [Zehntner et al. 2011; Guggenbühl & Zehntner 2012]; unter den bisher bewilligten Aussagen befinden sich allerdings keine zu probiotischen Produkten [Zehntner et al. 2011; Guggenbühl & Zehntner 2012; Walther et al. 2013A]. Hauptgrund für die bisher ablehnende Haltung der EFSA gegenüber Probiotika ist, dass die in den Anträgen aufgeführten probiotischen Stämme in vielen der klinischen Studien in einer Form getestet wurden, die nicht dem endgültigen Marktprodukt entsprach [Zehntner et al. 2011; Guggenbühl & Zehntner 2012].

Die EU-Verordnung Nr. 1924/2006 verfolgt den Grundsatz „Alles, was nicht explizit erlaubt ist, ist verboten“. Die Verordnung ist allerdings nur eine Rahmenverordnung, in der noch Vieles unklar ist und die noch mit konkreten Inhalten gefüllt werden muss. Sie hat zu einer völlig unerwarteten Flut von Anträgen für Health Claims geführt; die EU-Behörde operiert aktuell mit begleitenden Wegleitungen, um die Anforderungen der Bewilligungspraxis verständlich zu machen [Zehntner et al. 2011].

Der amerikanische Vollzug der Health-Claims-Verordnung hat bei den Herstellern von probiotischen Lebensmitteln zu grosser Unsicherheit und Unzufriedenheit geführt; die Anforderungen an die Hersteller sind sehr hoch. Aktuell gibt es auf dem US-Markt keine probiotischen Produkte, die von der Food and Drug Administration (FDA) bewilligte spezifische Gesundheitsanpreisungen tragen dürfen. Die Betriebe loten die juristischen Möglichkeiten zur Zeit über Gerichtsentscheide mit Präjudizcharakter aus [Zehntner et al. 2011].

In der Schweiz präsentiert sich die gesetzliche Situation zur Zeit so (Stand im Jahr 2011), dass nährwert- oder gesund-

heitsbezogene Angaben für Lebensmittel nur verwendet werden dürfen, wenn sie die Kriterien des Abschnitts 11a der Verordnung des EDI vom 23. November 2005 über die Kennzeichnung und Anpreisung von Lebensmitteln (LKV SR 817.022.21) erfüllen, wissenschaftlich nachgewiesen und nicht täuschend sind. Es ist davon auszugehen, dass das Bundesamt für Gesundheit (BAG) in Zukunft die gleichen Anforderungskriterien wie die EU verwenden wird [Zehntner et al. 2011].

Aktuell zulässige Auslobungen von Probiotika wie „unterstützt die Verdauung“ zeigen, dass unter der momentan geltenden, gesetzlichen Regelung spezifische und aussagekräftige Health Claims zu Probiotika nicht möglich sind. Auch wenn für Health Claims für Probiotika weniger strikte Kriterien angewendet würden, dürfte es allerdings sowieso kaum möglich sein, die komplexen Wirkungsmechanismen von Probiotika und die daraus abgeleitete gesunderhaltende Wirkung in einem kurzen und prägnanten Claim ausdrücken zu können. Ein sinnvoller Ansatz für die Lösung dieses Dilemmas liegt deshalb nicht in werbemässigen Health Claims, sondern in einem verständlichen Wissenstransfer wissenschaftlicher Informationen an die breite Öffentlichkeit [Guggenbühl & Zehntner 2012].

3.2 Zusammensetzung

3.2.1 Milch

Die Milch von Säugetieren besteht grundsätzlich aus Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten; ihre Anteile variieren aber stark je nach Säugetierart. So besteht die Muttermilch von Robben aus mehr als 60% Fett. Die Zusammensetzung verändert sich zudem auch während der Entwicklungsphase des Jungtieres und bietet so immer die Nährstoffe, Antikörper und andere Immunstoffe, die es gerade braucht [Walther & Schmid 2012].

Milch enthält einzigartige Proteine (α -, β - und κ -Kaseine, β -Laktoglobulin, α -Laktalbumin) und Zucker (Laktose, Milch-oligosaccharide) sowie die einmalige Struktur der von einer Membran umschlossenen Fettkügelchen. Milch liefert auch Mineralstoffe, Vitamine, Immunglobuline, Hormone und Bakterien, welche alle zur gesunden Entwicklung des Nachwuchses beitragen [Walther & Schmid 2012].

Inhaltsstoffe von Kuhmilch

Milch setzt sich zusammen aus Wasser (90%), Milchprotein, Milchfett sowie Laktose (Milchzucker) und enthält viele Vitamine und Mineralstoffe (u.a. Kalzium) [Walther & Wechsler 2011; Schmid 2012B; Sieber 2012]. Milch enthält 120-126 mg Kalzium pro 100 g [Sieber 2012].

Vollmilch liefert pro 100 g ca. 68 kcal, fettreduzierter Milchdrink ca. 57 kcal und Magermilch ca. 34 kcal [Sieber 2012].

Kuhmilch enthält ca. 3.2-3.4 g Protein pro 100 g [Sieber 2012]. Die Hauptproteinfraktionen in der Milch sind Kaseine (80% aller Milchproteine) und Molkenproteine (17% aller Milchproteine) [Kopf-Bolanz et al. 2012].

Vollmilch enthält ca. 4.1 g Fett pro 100 g, fettreduzierter Milchdrink enthält 2.8 g Fett pro 100 g und Magermilch enthält 0.08 g Fett pro 100 g. Milchfett enthält im Sommer ca. 5.9 g und im Winter ca. 3.2 g Transfettsäuren (ohne konjugierte Linolsäuren CLA) pro 100 g. 1 g Milchfett enthält ca. 2.6-3.0 mg Cholesterin [Sieber et al. 2011; Sieber 2012]. Bis heute wurden aus Milchfett fast 400 verschiedene Fettsäuren isoliert. Pro 100 g sind rund 60 g gesättigte Fettsäuren, 24 g einfach ungesättigte Fettsäuren

und 4.6 g mehrfach ungesättigte Fettsäuren [Goy et al. 2011; Walther & Mühlemann 2012; Walther et al. 2013A]. 10-11% sind kurzkettige Fettsäuren (C4-C6), 12-16% sind mittelkettige gesättigte Fettsäuren (C12-C14), 35-45% sind langkettige gesättigte Fettsäuren (C16-C20) und 25-35% sind langkettige ungesättigte Fettsäuren (C16-C20) [Goy et al. 2011].

Einfluss von Tierfütterung und -haltung auf die Zusammensetzung von Milch

Die Zusammensetzung von Milchfett hängt von der Fütterung der Tiere ab [Goy et al. 2011; Walther & Mühlemann 2012; Walther et al. 2013A]. Bei einem Vergleich von zwei Milchproduktionssystemen (weidebetontes System vs. Stallfütterung mit Gras- und Maissilagen) über drei Jahre hinweg zeigte sich der Einfluss von Tierhaltung und Fütterung auf die Zusammensetzung der Milch – v.a. was das Fettsäurenmuster der Milch betraf. Während der Weideperiode wies die Milch der Weidekühe weniger gesättigte sowie mehr einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren auf (v.a. Omega-3-Fettsäuren und konjugierte Linolsäuren CLA). Die Milch der Stallkühe wies im Vergleich zur Milch der Weideherde einen leicht höheren Fettgehalt auf. Die durchschnittlichen Proteingehalte waren hingegen in beiden Herden vergleichbar [Schmid 2012A].

Schweizer Bergmilch

Im Berggebiet wird den Kühen anteilmässig mehr Gras, Grassilage und Heu und weniger Maissilage und Krafffutter verfüttert als im Flachland. Dies hat zur Folge, dass Bergmilch tiefere Gehalte an gesättigten Fettsäuren und höhere Gehalte an mehrfach ungesättigten Fettsäuren und insbesondere an Omega-3-Fettsäuren (u.a. α -Linolensäure) aufweist. Bergkäse könnte damit laut der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) als „reich an Omega-3-Fettsäuren“ bezeichnet werden [Bisig 2012].

Ziegen- und Schafmilch

Ziegen- und Schafmilch sind hochwertige, ernährungsphysiologisch wertvolle Lebensmittel. Ihr Gehalt an Inhaltsstoffen ist je nach Saison, Betrieb, Tierfütterung, Tierhaltung und Rasse sehr unterschiedlich [Gille 2011A; Schaeren et al. 2011]. Die Zusammensetzung von Schafmilch ist stark rassenabhängig; die Rassenabhängigkeit ist bei der Ziegenmilchzusammensetzung geringer. Ziegen-, Schaf- und Kuhmilch sind zwar unterschiedlich zusammengesetzt, sind aber alle drei gute Lieferanten von Protein, Fett, Vitamin A, Vitamin B2, Natrium, Kalzium, Kalium, Phosphor und Zink [Schaeren et al. 2011].

Schafmilch hat deutlich höhere Fett- und Proteingehalte als Kuh- oder Ziegenmilch; der Laktosegehalt ist bei allen drei Spezies ähnlich. In der Milch aller drei Spezies dominieren unter den Fettsäuren die Palmitin-, Öl- und Stearinsäure. Im Ziegen- und Schafmilchfett dominieren – wie auch im Kuhmilchfett – die langkettigen Fettsäuren vor den mittel- und den kurzkettigen Fettsäuren. Der Anteil an ungesättigten Fettsäuren ist in Schaf- und Ziegenmilch höher als in Kuhmilch. Die Milch aller drei Spezies enthält schliesslich verschiedene Transfettsäuren, u.a. auch konjugierte Linolsäuren (CLA). Ziegen- und Schafmilch haben deutlich höhere Anteile an den gesättigten Fettsäuren Caprin- und Caprylsäure sowie an der einfach ungesättigten Fettsäure Ölsäure als Kuhmilch [Gille 2011A; Schaeren et al. 2011]. Der hohe Gehalt an Caprinsäure ist der Grund für den typischen Geruch und Geschmack von Ziegenmilchprodukten [Gille 2011A].

Schafmilch enthält höhere Gehalte an den Vitaminen A, E, B1 und B2 als Ziegen- und Kuhmilch. In Schafmilch sind

die Gehalte an Natrium, Kalzium, Magnesium und Phosphor höher und der Gehalt an Kalium tiefer als in Ziegen- und Kuhmilch. Im Vergleich zu Ziegen- und Kuhmilch ist die Schafmilch reicher an den Spurenelementen Zink, Eisen, Kupfer und Mangan, was mit dem höheren Proteingehalt der Schafmilch zusammenhängt [Schaeren et al. 2011].

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Ziegen- und Kuhmilch liegt darin, dass Ziegenmilch je nach Genotyp kein oder nur einen sehr tiefen Gehalt an α_{s1} -Kasein besitzt. Dies ist vermutlich der Grund dafür, dass die Kaseinkoagulationszeiten von Ziegenmilch im Magen-Darm-Trakt kürzer sind, dass die Ziegenmilch weniger hitzeresistent ist, ihr pH-Wert höher ist und die Ausbeute bei der Käseproduktion geringer ausfällt [Gille 2011A]. Bisher existieren noch keine international akzeptierten Empfehlungen für die routinemässige Analytik von Ziegen- und Schafmilch. Die Gehaltsanalytik von Ziegen- und Schafmilch ist deshalb mit ungenauen Ergebnissen behaftet [Schaeren et al. 2011].

3.2.2 Milchprodukte

In einer umfassenden Arbeit wurde die Zusammensetzung von Milch und Milchprodukten schweizerischer Herkunft untersucht: Milch (Kuh-, Schaf-, Ziegenmilch), Joghurt, Sauermilch, Rahm, Butter, Käse; jeweils unterschiedlich hitzebehandelt (Past, UHT usw.), unterschiedlicher Fettgehalte (vollfett, fettreduziert), unterschiedlicher Geschmacksrichtungen (nature, Erdbeer usw.), unterschiedlicher Jahreszeiten (Sommer, Winter). Die Analysen umfassten Wasser, Protein, Fett, Laktose, Cholesterin (Werte fehlen teils), Energie, Saccharose, Glukose, Galaktose, Milchsäure, diverse Vitamine (A, D, E, B1, B2, B6, B12, C, Biotin, Folsäure, Niacin, Pantothenensäure), Jod, Selen, Aluminium, Kalzium, Natrium, Kalium, Magnesium, Phosphor, Zink, Eisen, Kupfer, Mangan, diverse Aminosäuren, diverse Fettsäuren, bioaktive Peptide (VPP, IPP). Neben den absoluten Gehalten dieser Nährstoffe in den untersuchten Proben legt die Arbeit für Kuh-, Ziegen- und Schafmilch auch die entsprechenden Nährwertprofile dar, welche zeigen, wie der empfohlene tägliche Bedarf des Menschen durch den Verzehr einer vorgegebenen Menge der entsprechenden Milch erreicht werden kann [Sieber 2012].

Joghurt

Ein Vollmilchjoghurt liefert pro 100 g je nach Zuckergehalt 70-115 kcal, ca. 3.5-4.0 g Proteine und 113-132 mg Kalzium [Sieber 2012].

Käse

Käse liefert je nach Sorte ca. 130-420 kcal pro 100 g [Sieber 2012].

Käse liefert qualitativ hochwertige Proteine (20-30 g / 100 g), bioaktive Peptide, Fette (20-35% der Trockenmasse) und Fettsäuren, Vitamine sowie Mineralstoffe. Käse ist eine wichtige Quelle essentieller Aminosäuren und eine der wichtigsten Kalziumquellen. Harter und halbharter Käse liefert pro kg 6-11 g Kalzium; Weichkäse liefert pro kg 2-4 g Kalzium. Käse ist auch eine gute Quelle für Magnesium, Phosphor, Zink und Kupfer sowie für die Vitamine A, B2, B6, B12 und D [Walther & Mühlemann 2012; Walther et al. 2013A].

Käse hat je nach Sorte einen unterschiedlich hohen Wasseranteil. Der Wassergehalt bestimmt nicht nur die Festigkeitsstufe, sondern hat auch einen grossen Einfluss auf den Kalziumgehalt des Käses. Zwei Drittel des in der Milch enthaltenen Kalziums sind an die Kaseinmizellen

gebunden; nur ein Drittel liegt in echt gelöster Form vor. Der Kalziumgehalt im Käse hängt hauptsächlich vom Proteingehalt ab. Weichkäse enthalten mehr Wasser und somit weniger Eiweiss, weshalb diese Sorten einen tieferen Kalziumgehalt aufweisen als Hartkäse. Daneben hat aber auch die Herstellungstechnologie einen Einfluss auf den Kalziumgehalt. Bei der Herstellung von gewissen Sorten (z.B. Emmentaler, siehe Kapitel 3.1.3) wird Wasser zugegeben, um die nötigen Teigeigenschaften zu erhalten. Dadurch wird die Laktose-Konzentration in der Verarbeitungsmilch bzw. im Käsebruch verdünnt. Käse mit Wasserzusatz weisen daher eine etwas weniger intensive Säuerung auf als Käse ohne Wasserzusatz, da weniger Milchsäure gebildet werden kann. Dies hat wiederum zur Folge, dass weniger Kalzium aus dem Kasein gelöst wird und damit verloren geht. Daher ist der Kalziumgehalt in Emmentaler etwas höher als in Käse, dem bei der Herstellung kein Wasser zugegeben wurde [Walther & Wechsler 2011].

Der Salzgehalt von Käse schwankt stark [Walther & Mühlemann 2012; Walther et al. 2013A], wobei Emmentaler den geringsten Salzgehalt unter Schweizer Käsesorten aufweist (4.3 g/kg). Tête de Moine enthält demgegenüber 23.6 g/kg. Bedeutende ausländische Käsesorten weisen generell höhere Salzgehalte auf als Schweizer Käsesorten: z.B. Feta mit 45 g/kg [Fröhlich-Wyder 2012].

Gruyère AOP

Der Gruyère AOP ist der in der Schweiz am meisten verkaufte traditionelle Käse. Damit garantiert ist, dass er seine Authentizität und Charakteristiken beibehält, wird er von Agroscope regelmässig chemisch und sensorisch analysiert. Goy et al. untersuchten unterschiedlich lange gereifte Gruyère-Käse aus 16 verschiedenen Käseereien: milden Gruyère (doux, nach 8 Monaten Reifungsdauer), rezenten Gruyère (mûrs, nach 11 Monaten Reifungsdauer) und extrareifen Gruyère (extra-mûrs, nach 13 Monaten Reifungsdauer). Abgesehen von den chemischen und sensorischen Analysen wurden auch die Herstellungscharakteristiken erfasst. Die untersuchten Käse waren repräsentativ für die gewünschte Qualität. Analysiert wurden die Gehalte an Wasser (tief), Salz (zu hoch), freien Aminosäuren (starke Zunahme zwischen 8 und 11 Monaten) (innerhalb der Normen) und flüchtigen Carbonsäuren (innerhalb der Normen). Die freien Aminosäuren tragen zur Geschmacksverstärkung bei, sind aber nicht verantwortlich für den spezifischen Geschmack von Gruyère-Käse; ganz im Gegensatz zu deren Abbauprodukten. Die Milchfette sind während der Käsereifung im Vergleich zu den Proteinen wesentlich stabiler; nur ein geringer Anteil unterliegt der Lipolyse und resultiert in freien Fettsäuren. Diese sind an der Entwicklung des Flavors von Gruyère-Käse beteiligt. In den sensorischen Analysen wurden die Gruyère-Käse schliesslich in Bezug auf Aussehen, Geruch, Flavor und Textur charakterisiert [Goy et al. 2011].

Molke

Die Zusammensetzung von Molke wird durch ihren Herstellungsprozess geprägt, wobei sich Sauer- und Süssmolke in ihrer Zusammensetzung nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Bei der Käse- und Quarkherstellung gehen die Molkenproteine in die Molke über, währenddem die Kaseine ausfallen. Molke enthält verschiedene Molkenproteine: β -Laktoglobulin, α -Laktalbumin, Immunglobuline (v.a. IgG1), Proteose-Peptide, Serumalbumin, Glykomakropeptide, Glykoproteine (z.B. Laktoferrin), verschiedene Enzyme und die Peptidhormone Prolaktin und Somatostatin. Neben Molkenproteinen enthält die Molke v.a. Wasser und Laktose (4.7 g / 100 g Süss-

molke bzw. 4.2 g / 100 g Sauermolke). Molke ist praktisch fettfrei und enthält dementsprechend keine fettlöslichen Vitamine, sondern nur wasserlösliche Vitamine. Die Vitamine B2, B6, B12, Thiamin und Pantothensäure liegen in der Molke in ernährungsphysiologisch relevanten Konzentrationen vor. Die in der Molke hauptsächlich vorhandenen Mineralstoffe sind Kalzium, Phosphor und Kalium; in geringen Mengen kommen auch Magnesium, Zink, Eisen, Kupfer und Jod vor. Sauermolke hat einen Milchsäuregehalt von 400-500 mg pro 100 g; Süsmolke von 50-200 mg pro 100 g [Wehrmüller et al. 2011A].

Buttermilch

Der hohe Gehalt an zerstörter Milchfettkugelchenmembran (MFGM) unterscheidet Buttermilch von anderen Milchprodukten [Gille 2011D].

Kaseine machen in Buttermilch ca. 77-81% aller Proteine aus: α -Kasein (50-55%), β -Kasein (30-35%), κ -Kasein (15%) und γ -Kasein (5%). Molkenproteine machen in Buttermilch ca. 20% aller Proteine aus: β -Lactoglobulin (48%), α -Lactalbumin (18%), Immunoglobuline (11%), Proteose-Peptide (11%), Serumalbumin (6%), Laktoferrin (1%) und andere (4%) [Gille 2011D].

Weitere wichtige Bestandteile von Buttermilch sind Vitamine und Mineralstoffe [Gille 2011D].

Transfettsäuren

Milchprodukte enthalten natürliche Transfettsäuren (TFA), die allerdings nicht die gleiche Wirkung auf den Organismus zu haben scheinen wie die TFA industrieller Herkunft. In einer Studie von Agroscope in Zusammenarbeit mit dem Inselspital Bern wurde dies untersucht. In dieser Studie assen gesunde Männer und Frauen im Alter zwischen 45-69 Jahren (Nichtraucher, mit Normalgewicht oder leichtem Übergewicht) über sechs Wochen hinweg nach einem vorgegebenen Ernährungsplan. Das Nahrungsfett stammte hauptsächlich aus Butter mit TFA, Margarine mit der gleichen Menge TFA oder Margarine ohne TFA. Untersucht wurde der Einfluss von Butter bzw. Margarine auf die klassischen klinischen Parameter und auf die Elastizität der Blutgefäße (Endothelfunktion), ein wichtiger Indikator für die Herz-Kreislauf-Gesundheit [Schmid 2012B]. Die Auswertung der Studie lag zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Synthese noch nicht vor.

3.3 Ausgewählte gesundheitliche Aspekte

Körpergewicht

Als nährstoffdichte Lebensmittel mit einem hohen Kalzium- und Proteingehalt eignen sich (fettreduzierte) Milchprodukte besonders gut für eine ausgewogene Reduktionsdiät [Gille & Walther 2011].

Eine hohe Aufnahme an Kalzium und/oder Milchprodukten ist mit einer geringeren Körperfettmasse assoziiert und führt kontinuierlich zu einer stärkeren Abnahme des Körpergewichts. Zu diesen Zusammenhängen bestehen verschiedene Hypothesen [Gille & Walther 2011]:

- „Kalzium-Hypothese“: Laut der Kalzium-Hypothese reguliert Nahrungskalzium die Kalziumkonzentrationen in den Adipozyten (Fettzellen) und beeinflusst so den Fettstoffwechsel. Zu wenig Kalzium verhindert demnach den Fettabbau und fördert den Fettaufbau. Die Resultate der verschiedenen Studien sind bisher allerdings inkonsistent.

- Kalzium und Fettsäureausscheidung: Studien zeigen, dass Nahrungskalzium mit Fettsäuren, Gallensäuren, Phosphor und anderen unlöslichen Komponenten Komplexe bildet, die der Körper nicht aufspalten kann und die folglich ausgeschieden werden. Eine erhöhte Aufnahme an Kalzium erhöht nach dieser Hypothese die Ausscheidung von Fett über den Stuhl.
- „Kalzium-Appetit-Konzept“: Laut dieser Hypothese löst ein Defizit an Nahrungskalzium ein starkes Verlangen nach kalziumreichen Lebensmitteln aus („Kalzium-Appetit“) und könnte eine adäquate Kalziumaufnahme zu einer besseren Appetitkontrolle führen – insbesondere während eines Gewichtsverlustprogrammes.
- Milchproteine spielen eine weitere wichtige Rolle bei der Appetitregulation, der Energieaufnahme und Gewichtsregulierung. Sie tragen u.a. zu einer schnelleren Sättigung bei als Kohlenhydrate oder Fette.

Herz-Kreislauf-Gesundheit

Rauchen, Bewegungsarmut, (abdominales) Übergewicht, veränderte Blutfettwerte (Dyslipidämie) und Bluthochdruck (Hypertonie) gehören zu den wichtigsten Ursachen und Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Krankheiten. Übergewicht, Blutfettwerte und Bluthochdruck können u.a. durch die Ernährung beeinflusst werden [Walther 2012A; Walther 2012B].

Milchfett mit seinem relativ hohen Anteil an gesättigten Fettsäuren (ca. 60%) und dem Vorkommen von Cholesterin ist als Förderer kardiovaskulärer Erkrankungen in Verruf geraten. Metaanalysen konnten aber keine signifikanten Zusammenhänge bestätigen – dies aufgrund folgender Hypothesen: Milchfett ist aus bis zu 400 verschiedenen Fettsäuren zusammengesetzt, darunter auch eine Vielzahl einfach und mehrfach ungesättigter Fettsäuren. Die Fraktion des gesättigten Fetts besteht vorwiegend aus kurz- und mittelkettigen Fettsäuren (C4-C20), die den Cholesterinspiegel nicht negativ verändern. Nur Laurinsäure (C12:0), Myristinsäure (C14:0) und Palmitinsäure (C16:0) gelten als hypercholesterolemisch. Milchfett steigert zudem die Konzentration des kardioprotektiven HDL-Cholesterins [Walther 2012A; Walther 2012B].

Die aktuelle Schweizer Lebensmittelpyramide aus dem Jahr 2011 empfiehlt denn auch nach wie vor den täglichen Konsum von drei Portionen Milch und Milchprodukten, aber ohne die frühere Einschränkung der Bevorzugung fettarmer Varianten [Walther 2012A].

Bluthochdruck

Milchprodukte haben einen positiven Einfluss auf den Blutdruck. Kalzium gilt als der dafür hauptverantwortliche Inhaltsstoff, aber auch andere Mineralstoffe wie Magnesium und Kalium sowie bioaktive Peptide spielen eine Rolle [Walther 2012A; Walther 2012B].

Osteoporose

Knochengesundheit zeichnet sich u.a. durch ausgewogene Aktivitäten der Osteoblasten (knochenaufbauende Zellen) und der Osteoklasten (knochenzersetzende Zellen) aus. Verschiedene Faktoren beeinflussen die Aktivität dieser Zellen, u.a. auch gesättigte Fettsäuren und Laktoferrin [Gille 2011E].

Eine Zellstudie zeigte, dass v.a. gesättigte Fettsäuren der Kettenlänge C14-C18 die Bildung von Osteoklasten hemmen und gleichzeitig das Wachstum sowie die Vermehrung von Osteoblasten fördern. Die stärkste Wirkung rief Palmitinsäure (C16:0) hervor, welche die am häufigsten vorkommende Fettsäure in Milch ist. Teilweise

gegenteilige Effekte erzielen einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren [Gille 2011E].

Das Molkenprotein Laktoferrin gilt als wichtiger Wachstumsfaktor im Knochengewebe, indem es das Wachstum junger Osteoblasten anregt und die Anzahl an Osteoblasten erhöht [Gille 2011E].

Karies

Die Kariesprävalenz beträgt heute trotz stark verbesserter Prophylaxe (Schulzahnpflege, fluoridierte Mundhygieneartikel, fluoridiertes Salz) je nach Bevölkerungsgruppe immer noch bis zu 45% [Walther 2013].

Karies ist eine Erkrankung von Zahnschmelz und Dentin. So genannte Plaquebakterien bauen den Zucker zu Säuren ab, die den Zahnschmelz und/oder das Dentin entkalken, was wiederum zu Läsionen, Löchern und schliesslich zur Fäulnis des Zahns führt. Der Zahnschmelz wird bei pH-Werten unter 5.5 angegriffen. Saccharose lässt den pH-Wert im Mund unter 5.0 fallen und wirkt somit kariogen; nach dem Konsum von Laktose bleibt der pH-Wert um 6.0, so dass Laktose bzw. Milch nicht kariogen wirkt [Walther 2013].

Milch und Milchprodukte sind nicht nur nicht kariogen, sondern haben darüber hinaus eine präventive und zum Teil sogar regenerative Wirkung auf die Zahngesundheit. Dies liegt einerseits daran, dass Milch und Milchprodukte bedeutende Mengen an leicht verfügbarem Kalzium enthalten, das zusammen mit Caseinophosphopeptiden bei der Fermentation von Milch zu einem Komplex wird, der die Kalziumkonzentration im Speichel sowie im Biofilm der Plaquebakterien erhöht. Dies beugt einer Entmineralisierung des Zahns vor und bewirkt sogar eine Remineralisierung von bestehenden Läsionen. Der Gehalt dieser Komplexe ist v.a. in Käse hoch, wobei zwischen den Käsesorten grosse Unterschiede bestehen und v.a. gereifter Käse diese puffernde Wirkung hat [Walther & Mühlemann 2012; Walther 2013; Walther et al. 2013A].

Die karieshemmende Wirkung von Käse wird zusätzlich auch einem Peptid zugeschrieben, das in Käse vorkommt: Glycomacropeptid. *In vitro* Studien zeigen, dass Glycomacropeptid das Anhaften von kariogenen Bakterien (z.B. *Streptococcus mutans*) an der Zahnoberfläche hemmt [Walther & Mühlemann 2012; Walther 2013; Walther et al. 2013A]. Zudem regt das Kauen von Käse den Speichelfluss an, was eine verbesserte Reinigung der Zähne von Essensresten bewirkt. Sogar Milchlaktose wird eine schützende Wirkung zugesprochen, die entweder physikalisch durch eine geringere Anhaftung von Speisen am Zahn oder mikrobiologisch durch einen bakterio-statischen Effekt der mittelkettigen Fettsäuren (C8-C12) hervorgerufen wird [Walther 2013].

Allerdings fehlen bis heute Studien, die den kausalen Zusammenhang zwischen dem Konsum von Milch und Milchprodukten und einer verbesserten Zahngesundheit nachweisen [Walther 2013].

Antioxidative Eigenschaften von Milch und Milchbestandteilen

Oxidationen sind wichtige Prozesse im menschlichen Körper, besonders zur Energiegewinnung. Ein Übermass solcher Reaktionen führt jedoch zu einem vermehrten Auftreten von „Radikalen Sauerstoffspezies“ (ROS) und somit zur Schädigung verschiedenster Moleküle im Organismus. Koronare Herzkrankheiten, Krebs oder Diabetes sind die schwerwiegendsten Folgen. Gesunde Menschen besitzen eine Vielzahl an Substanzen, um das

Auftreten von ROS zu verhindern (z.B. Enzyme oder Glutathion). Auch antioxidative Komponenten aus Lebensmitteln haben das Potential, oxidative Schäden im Menschen zu reduzieren (z.B. Vitamine, Mineralstoffe und sekundäre Pflanzenstoffe) [Gille 2011C].

Milch besitzt antioxidativ wirkende Komponenten bzw. Bestandteile zur Bildung von Antioxidantien und schützt den menschlichen Körper damit vor einem Übermass an ROS. Dazu zählen z.B. die Kaseine. Diese verbinden sich mit Eisen aus der Nahrung und verhindern damit allzu hohe Absorptionsraten von Eisen. Eisen in zu hohen Mengen gilt im menschlichen Organismus als Auslöser für die Bildung von ROS. Kaseine und aus Kaseinen abgespaltene Peptide hemmen darüber hinaus auch die enzymatische und nicht-enzymatische Lipidoxidation in Lebensmitteln. Auch Molkenproteine zeigen antioxidative Eigenschaften; diese sind hauptsächlich auf deren Aminosäuren Cystein und Glutaminsäure zurückzuführen – die Bestandteile des wichtigsten körpereigenen Antioxidans Glutathion. Weiter können Molkenproteine auch Schwermetalle binden. Schliesslich konnten auch weitere Milchinhaltsstoffe als Radikalfänger identifiziert werden: z.B. Vitamin A bzw. seine Vorstufe β -Carotin sowie Selen [Gille 2011C].

Milch scheint allerdings die Absorption antioxidativer Substanzen, die *nicht* aus der Milch stammen, zu hemmen. Dies konnte in einer Studie gezeigt werden, bei der die Aufnahme von Flavonoiden aus Bitterschokolade durch Milch (z.B. in Milkschokolade) gehemmt wurde [Gille 2011C].

Entzündliche rheumatische Erkrankungen

Rheuma ist ein Überbegriff für Erkrankungen der Bewegungsorgane, meist in Verbindung mit Schmerzen und häufig auch Bewegungseinschränkungen. Beispiele für entzündliche rheumatische Erkrankungen sind die Rheumatoide Arthritis oder die Gicht [Langenegger & Walther 2013].

Arachidonsäure, die hauptsächlich über fettreiche tierische Lebensmittel zugeführt wird, gilt als entzündungsfördernd. Der Konsum von Butter, Käse und Rahm sollte bei entzündlichen rheumatischen Erkrankungen deshalb eingeschränkt werden (neben anderen Lebensmitteln). Bei der Behandlung entzündlicher Erkrankungen wird häufig Kortison eingesetzt, das sich aber negativ auf die Knochenmineralisation auswirkt und dadurch das Osteoporoserisiko erhöht. Deshalb sollen auch Patienten mit Rheumatoider Arthritis täglich 3-4 Portionen Milch oder Milchprodukte konsumieren, jedoch die fettreduzierten Varianten bevorzugen [Langenegger & Walther 2013].

Studien zeigen zudem, dass der tägliche Konsum von 3-4 Portionen Milch und Milchprodukte das Risiko senkt, an Gicht zu erkranken. Unklar ist, ob die konjugierten Linolsäuren (CLA), die entzündungshemmend wirken und in Milch und Milchprodukten prominent vertreten sind, möglicherweise eine Rolle spielen. Auch Omega-3-Fettsäuren, die v.a. in Sommermilch vorkommen, beeinflussen Entzündungsprozesse günstig [Langenegger & Walther 2013].

Schluckstörungen

Ein Teil der Bevölkerung glaubt, dass Milch und Milchprodukte zu einer verstärkten Schleimproduktion führen und dies gewisse Symptome auslöst, wie sie bei Schluckstörungen typisch sind. Wissenschaftliche Untersuchungen konnten bisher aber keine speziell durch Milch ausgelöste Schluckstörung nachweisen [Cajacob & Schmid 2013].

Eine Studie beschreibt jedoch ein Phänomen, welches eine mögliche Erklärung dafür liefert, warum Milch und Milchprodukte ein Gefühl der stärkeren Schleimproduktion bewirken und Schluckbeschwerden auslösen können. Bei dieser Studie nahmen Testpersonen entweder Milch (1.5% und 3% Fett) oder Schlagrahm (40% Fett) in den Mund, vermischten diese Flüssigkeiten mit ihrem eigenen Speichel und spuckten das entstandene Gemisch nach einer Minute wieder aus. Dabei konnte festgestellt werden, dass das ausgespuckte Gemisch schleimig war und umso schleimiger wurde, je höher der Fettgehalt der eingenommenen Flüssigkeit war. Zurückgeführt wird dies auf eine Tröpfchenaggregation, die durch das Glykoprotein Mucin herbeigeführt wird [Cajacob & Schmid 2013].

Laktoseintoleranz

Laktose wird während des Verdauungsvorgangs durch das Enzym Laktase in Glukose und Galaktose aufgespalten, da nur diese absorbiert werden können [Walther 2011A].

Primärer Laktasemangel beschreibt eine genetisch festgelegte, aber normale Entwicklungserscheinung, welche durch eine Abnahme der Laktase-Aktivität charakterisiert ist und meist im Laufe der Adoleszenz auftritt. Beim sekundären Laktasemangel ist die Laktase-Aktivität durch eine Erkrankung und/oder Schädigung der Darmschleimhaut reduziert. Bei der Laktose-Maldigestion, die auch unabhängig von einer Laktoseintoleranz vorkommen kann, gelangt die Laktose intakt in den Dickdarm, wo sie durch die dort angesiedelten Bakterien abgebaut und in Milchsäure, Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid umgewandelt wird. Treten bei einer Laktose-Maldigestion durch die entstehenden Säuren und Gase klinische Symptome wie Bauchschmerzen, Blähungen und Durchfall auf, spricht man von Laktoseintoleranz. Die Ausprägung dieser Symptome ist individuell unterschiedlich und hängt von mehreren Faktoren ab (z.B. zugeführte Laktosemenge, Beschaffenheit der Dickdarmflora) [Walther 2011A; Gille 2013].

Laktoseintoleranz ist keine Krankheit, sondern ein normaler körperlicher Prozess, der mit dem Altern einhergeht. Als Erwachsene sind wir im Gegensatz zu Säuglingen nicht ausschliesslich auf Milch als Energie- und Nährstoffquelle angewiesen, so dass wir im Laufe unseres Lebens das Vermögen verlieren, Laktose zu verdauen. Noch vor einigen Tausend Jahren waren alle Erwachsenen auf der Welt laktoseintolerant. Heute sind es noch ungefähr 70% weltweit bzw. 17% in der Schweiz. Die Veränderung eines spezifischen Gens (Genmutation) ermöglicht es uns heute, Laktose bis ins hohe Alter verdauen zu können [Walther 2011A; Gille 2013].

Fermentierte Milchprodukte wie Käse (abgesehen von gewissen Frisch- und Weichkäsesorten) oder Joghurt können trotz einer diagnostizierten Laktoseintoleranz meist symptomfrei gegessen werden. Grund ist, dass Hart- und Halbhartkäse aufgrund ihres Herstellungsprozesses keinerlei Laktose mehr enthalten [Walther & Mühlemann 2012; Gille 2013; Walther et al. 2013A]. Wie bei der Käseherstellung kommt es auch im Joghurt durch die Wirkung von Bakterien zu einer Senkung des Laktosegehaltes. Zudem begünstigt der pH-Wert des Joghurts das Überleben der Bakterien im ersten Abschnitt des menschlichen Verdauungsapparates, so dass die Laktose auch im Darm weiter gespalten werden kann [Gille 2013].

Normalerweise werden bis zu 12 g Laktose (entspricht ca. 250 ml Milch) auch von laktoseintoleranten Menschen symptomfrei oder mit einer schwachen Symptomausprägung vertragen (insbesondere, wenn diese in Form von Lebensmitteln und innerhalb einer Mahlzeit aufgenommen

werden), da bei den meisten Menschen eine Restaktivität der Laktase ein Leben lang vorhanden bleibt [Walther 2011A; Gille 2013]. Allerdings kann kein allgemeingültiger Grenzwert für eine tolerierbare Laktosemenge für intolerante Personen abgegeben werden, da grosse individuelle Unterschiede bestehen [Walther 2011A].

Säure-Basen-Hypothese

Die Säure-Basen-Hypothese postuliert, dass eine an säurebildenden Lebensmitteln reiche Ernährung zu einer chronischen latenten Azidose (Übersäuerung des Blutes) und einer erhöhten Säureexkretion über den Urin führt. Da der Körper darauf bedacht ist, den pH-Wert des Blutes stabil zu halten, reguliert er den Säure-Basen-Haushalt laufend. Ein Säureüberschuss wird abgepuffert, indem Kalzium aus den Knochen gelöst wird, was zu einer Verminderung der Knochendichte und zu Osteoporose führt. Laut Säure-Basen-Hypothese könnten auch Nierensteine, Muskelabbau, Gicht und ein verzögertes Wachstum bei Kindern ihre Ursache in einer säurelastigen Ernährung haben [Walther 2011B].

Schwefel, Phosphor, Chlor, Fluor, Jod und Silizium sowie die schwefelhaltigen Aminosäuren Cystein und Methionin gelten als Säurebildner, so dass proteinreiche Lebensmittel wie Fleisch, Fisch und Milchprodukte sowie Getreideprodukte zu den sauer wirkenden Lebensmitteln gezählt werden. Kalzium, Natrium, Kalium, Magnesium und Eisen sowie die Aminosäuren Glutamat und Aspartat, wie sie in Gemüse und Früchte häufig vorkommen, werden dagegen zu den Basenbildnern gezählt. Die Einteilung erfolgt anhand des so genannten PRAL-Wertes („potential renal acid load“), der anhand des Säuregrades des Urins berechnet wird. Milchprodukte haben einen leicht (Milch, Joghurt) bis stark sauren (Käse) Wert; nur die Molke wirkt schwach basisch [Walther 2011B].

Es wird deshalb empfohlen, den Anteil an tierischen Proteinen und damit den Konsum von Fleisch, Fisch und Milchprodukten zu begrenzen und möglichst viele Früchte und Gemüse zu verzehren – wie es auch die Lebensmittelpyramide empfiehlt. Eine Supplementierung mit basischen Zusatzpräparaten ist nicht nötig [Walther 2011B].

Die Säure-Basen-Hypothese gerät allerdings zunehmend ins Wanken. Einzig zum Einfluss einer säurereichen Ernährung auf die Knochen wurden bisher klinische Studien durchgeführt; zu allen übrigen Auswirkungen in anderen Geweben gibt es keine oder nur ungenügende Untersuchungen. Im 2009 wurden 4 Metaanalysen publiziert, welche die Studien zur Säure-Basen-Hypothese zusammenfassen. Die Resultate dieser Metaanalysen widersprechen verschiedenen Behauptungen der Hypothese. Zwar zeigt sich mit zunehmender Säureausscheidung im Urin auch eine lineare Zunahme der Kalziumausscheidung, doch gilt dies sowohl im sauren wie im basischen Harn. Dies verändert aber weder das Kalziumgleichgewicht noch die Marker für den Knochenstoffwechsel. Die Behauptung, eine säurereiche Ernährung würde Kalzium aus den Knochen herauslösen und Osteoporose fördern, ist aufgrund dieser Metaanalysen deshalb nicht haltbar [Walther 2011B].

Milch als Brainfood

Verschiedene Inhaltsstoffe von Milchprodukten weisen positive Wirkungen auf die geistige Leistungsfähigkeit auf, u.a. die Vitamine B6 und B12, die für die Bildung einiger Neurotransmitter wichtig sind. Neurotransmitter sind Botenstoffe, die zwischen den Nervenzellen Informationen weitergeben. Eine erhöhte Aufnahme von fettreduzierten Milchprodukten ist zudem assoziiert mit einer generell verbesserten geistigen Funktion sowie mit einer

verminderten Wahrscheinlichkeit, Demenz oder kognitive Störungen zu entwickeln. Ein hoher Milchproduktekonsum scheint schliesslich die kognitive Leistungsfähigkeit zu fördern. Milch und Milchprodukte könnten den Menschen deshalb wahrscheinlich darin unterstützen, geistig fit ein hohes Alter zu erreichen [Gille 2012].

Milch als Sportgetränk

Nach körperlicher Aktivität ist es wichtig, dass sich der Körper ausreichend regenerieren kann, um Verletzungen und Erkrankungen zu verhindern. Besonders die Wiederauffüllung der Flüssigkeitsspeicher und die rasche Erholung der Muskeln sind entscheidend. Bei beidem kann die Milch (v.a. fettfreie Milch) punkten, indem sie nach der körperlichen Aktivität einerseits als effektives Rehydrationsgetränk wirkt und indem sie andererseits die Bildung von Muskelproteinen stark anregt (v.a. aufgrund der in der Milch enthaltenen Molkenproteine und Kaseine). Milch unterstützt den Regenerationsprozess nach körperlicher Aktivität also nachweislich und hat damit ein grosses Potential als Sportgetränk [Gille 2011B].

Gesundheitliche Aspekte von Ziegen- und Schafmilch

Generell sind über die gesundheitlichen Wirkungen von Ziegen- und Schafmilch nur wenige Daten und Informationen vorhanden [Gille 2011A]. Man weiss aber, dass die Verdaulichkeit von Ziegen- und Schafmilch besser ist als diejenige von Kuhmilch, weil die Fettkügelchen in Ziegen- und Schafmilch kleiner sind als diejenigen in Kuhmilch und fettspaltende Enzyme dadurch besser angreifen können. Zudem enthält Ziegen- und Schafmilch insgesamt mehr kurz- und mittelkettige Fettsäuren als Kuhmilch. Der menschliche Körper kann kurz- und mittelkettige Fettsäuren leichter absorbieren als langkettige Fettsäuren [Gille 2011A; Schaeren et al. 2011].

Gewisse Menschen, die auf Kuhmilch allergisch reagieren, vertragen Ziegen- und/oder Schafmilch. Dies muss allerdings im Einzelfall geprüft werden [Gille 2011A; Schaeren et al. 2011].

Gesundheitliche Aspekte von Käse

Trotz grösserer Mengen an Fett, gesättigten und Transfettsäuren sowie Salz gibt es keine wissenschaftliche Evidenz für einen klaren Zusammenhang zwischen Käsekonsument und spezifischen Risikofaktoren und Krankheiten (Übergewicht, kardiovaskuläre Krankheiten, Hirnschlag). Mit ein Grund dürfte sein, dass Milchfett 13% kurz- und mittelkettige Fettsäuren enthält. Studien zeigen zudem, dass der Zusammenhang zwischen Käsekonsument und kardiovaskulären Risikofaktoren genderspezifisch ist (bei Frauen wirkt sich der Käsekonsument positiver aus als bei Männern). Weitere Studien zeigen, dass Käse aufgrund verschiedener Inhaltsstoffe (Kalzium, Kalium, Magnesium, bioaktive Peptide wie VPP und IPP) blutdrucksenkend wirkt; die Studienresultate sind allerdings widersprüchlich und nicht abschliessend. Käse enthält schliesslich Peptide, von denen einige biologisch aktiv sind und nicht nur blutdrucksenkend wirken, sondern auch opiatähnlich, mineralstoffbindend, antioxidativ, antimikrobiell, immunmodulierend oder zellmodulierend [Walther & Mühlemann 2012; Walther et al. 2013A].

Käse spielt auch eine wichtige Rolle bei der Knochengesundheit, weil Käse hohe Kalziumgehalte aufweist sowie andere Komponenten enthält, die für die Knochengesundheit ebenfalls von Bedeutung sind: Magnesium, Vitamin D und bioaktive Peptide wie z.B. Caseinophosphopeptide [Walther & Mühlemann 2012; Walther et al. 2013A].

Der Zusatz verschiedener Milchsäurebakterien kann je nach Bakterienstamm und -spezies zu verschiedenen potentiell gesundheitsförderlichen Eigenschaften beitragen. Käse ist ein geeigneter Träger für probiotische Bakterien. Probiotika sind lebende Mikroorganismen, die ihrem Konsumenten einen gesundheitlichen Nutzen bringen (siehe Kapitel 3.1.6). Probiotischer Käse macht zwar erst einen kleinen Anteil aller probiotischen Lebensmittel aus; allerdings zeigen die vielen Pilotversuche der letzten Jahre, dass ein zunehmendes Interesse an Käse als funktionelle Lebensmittel besteht. Bei der Käseherstellung mit probiotischen Stämmen müssen aber verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Unter anderem müssen die probiotischen Stämme sowohl den Käseherstellungsprozess (hohe Temperaturen, hohe pH-Werte, relativ tiefe Wasseraktivität) als auch die gesamte Haltbarkeitsdauer überleben. Bei Käse mit langer Reifungszeit müssen Probiotika neben anderen Milchsäurebakterien sowie Schimmel- und Hefepilzen gemeinsam überleben, die bei der Käseherstellung eingesetzt werden. Schliesslich dürfen die Probiotika keine Metaboliten produzieren, die sich auf die Käsequalität negativ auswirken [Walther et al. 2013A].

Gesundheitliche Aspekte von Molke

Die meisten gesundheitsfördernden Eigenschaften von Molke werden auf die Molkenproteine zurückgeführt. Molke trägt daneben auch zur Versorgung mit wichtigen Vitaminen und Mineralstoffen bei [Wehrmüller et al. 2011A].

Der Glykämische Index (GI) beschreibt die Wirkung von kohlenhydrathaltigen Lebensmitteln auf den Blutzuckerspiegel. Je höher der Wert ist, desto schneller steigt der Blutzuckerspiegel an, was zu einer starken Ausschüttung des Hormons Insulin führt. Eine Studie zeigte, dass die Verabreichung von Molkenprotein vor oder gleichzeitig mit einer kohlenhydratreichen Mahlzeit bei Typ-2-Diabetikern unmittelbar nach der Mahlzeit zu einem reduzierten Blutzuckerspiegel und zu einer erhöhten Freisetzung von Insulin führte [Wehrmüller et al. 2011A].

Gesundheitliche Aspekte von Buttermilch

Buttermilch hat das Potential als funktionelle Zutat, Proteinsupplement oder Antioxidans. Bisher gibt es aber noch keine Studien über den Einfluss von Buttermilch in ihrer Gesamtheit auf den menschlichen Stoffwechsel. Bisherige Studien konzentrierten sich auf einzelne Bestandteile von Buttermilch, so dass die Studienresultate nicht einfach auf Buttermilch übertragen werden können. Die verfügbaren Studien sind zudem teils widersprüchlich; weiter handelt es sich häufig um Tier- und nicht um Humanstudien [Gille 2011D].

Buttermilch beinhaltet diverse hochwertige und gesundheitsförderliche Komponenten [Gille 2011D]:

- Milchfettkügelchenmembran (MFGM): Die MFGM wird beim Rührprozess zur Butterherstellung zerstört, so dass ihre Komponenten frei werden: z.B. Proteine, Phospholipide (u.a. Glycerolphospholipide, Sphingolipide), Mineralstoffe. Einige dieser Komponenten scheinen gesundheitsförderlich zu sein:
 - Buttermilch ist eine ausgezeichnete Quelle für Glycerolphospholipide. Diese spielen eine wichtige Rolle bei der Signalübermittlung zwischen Zellen und haben einen starken Einfluss auf die Entwicklung der Hirnfunktion. Glycerolphospholipide wirken sich auch auf den Cholesterinstoffwechsel aus, aber die genauen Wirkungen sind widersprüchlich.
 - Es gibt zwar keine wissenschaftliche Evidenz, dass Sphingolipide wie z.B. Sphingomyelin für normale physiologische Prozesse nötig sind; Forscher gehen

aber davon aus, dass sie für die menschliche Gesundheit unerlässlich sind. Sie scheinen eine Rolle zu spielen bei der Verhinderung von Dickdarmkrebs sowie bei der Regulierung des Cholesterinstoffwechsels und der Transmitter-Freisetzung im Nervensystem.

- Die MFGM besteht zu 25-70% aus MFGM-spezifischen Proteinen. Deren Eigenschaften im menschlichen Organismus sind aber grösstenteils unbekannt. Umstritten diskutiert werden krebs-hemmende und antibakterielle Wirkungen sowie ein Effekt auf Herz-Kreislauf-Krankheiten und Multiple Sklerose.
- Kaseine: Kaseine zeigen antioxidative Aktivitäten. Sie haben zudem das Potential, den Blutdruck zu senken, stehen aber auch im Verdacht, Herz-Kreislauf-Krankheiten und Typ-1-Diabetes auszulösen; die wissenschaftliche Evidenz ist aber widersprüchlich.
- Molkenproteine: Auch die Molkenproteine zeigen antioxidative Aktivitäten. Die Wirkung von Molkenproteinen auf den Blutdruck ist noch zu wenig gut untersucht. Auch Molkenproteine werden verdächtigt, zur Entwicklung von Diabetes beizutragen. Aber auch hier ist die wissenschaftliche Datenlage noch ungenügend.
- Vitamine und Mineralstoffe

4 Fleisch und Fleischprodukte

4.1 Ausgewählte technologische Aspekte

4.1.1 Roh- und Kochpökelfleisch

Bei Rohpökelfleisch handelt es sich um rohes Fleisch, welches gesalzen (Zugabe von Natriumchlorid) oder gepökelt (Zugabe von Nitritpökelsalz und/oder Salpeter zusammen mit Natriumchlorid) und anschliessend getrocknet und/oder geräuchert wird. Rohpökelfleisch zeichnet sich durch eine stabile Farbe, ein typisches Aroma sowie eine zarte aber schnittfeste Konsistenz aus und können ohne Kühlung gelagert werden. Verschiedene Rohpökelfleischsorten gehören zum kulinarischen Erbe der Schweiz, so u.a. Bauernspeck, Appenzeller Mostbröckli, Bündnerfleisch, Walliser Trockenfleisch und Coppa [Schmid et al. 2011A].

Bei Kochpökelfleisch handelt es sich um nass gepökelte Produkte (Zusatz von Pökellake bestehend aus Nitritpökelsalz, Phosphaten und eventuell einer betriebs-eigenen Gewürzmischung). Die Fleischstücke werden durch Einspritzen der Lake (Injektionspökung) oder Einlegen in Lake (Lakenpökung) gepökelt, teilweise getumbelt und eventuell kurz heiss geräuchert. Anschliessend werden sie zwecks Hygienisierung, Bildung und Stabilisierung der Farbe sowie Bildung von Aroma und Struktur gekocht und danach abgekühlt. Beispiele für Kochpökelfleisch sind Kochspeck, Schinken oder Cotto [Schmid 2011B; Schmid et al. 2011B].

4.1.2 Strukturfehler in Kochschinken

Müller et al. untersuchten die Gründe für Strukturfehler in Schweineschinken. Die Herkunft (Rasse, Betrieb), der Schlachthof und v.a. die Betäubungsmethode hatten alle einen Einfluss auf das Rohmaterial. Die Elektrobetäubung erzeugte im Vergleich zur CO₂-Betäubung deutlich mehr Destrukturierungen. Die Schlachtkörperkühlung zeigte auch bei extremen Temperaturen (minus 30°C) keinen Einfluss auf die Destrukturierungen im rohen Muskel *Semimembranosus*, hatte aber einen negativen Einfluss auf die Qualität des Muskels *Longissimus Dorsi*. Die Nüchternungsdauer vor der Schlachtung hatte kaum einen Einfluss auf das Rohmaterial. Die Untersuchungen zeigten schliesslich, dass die Verarbeitung eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Destrukturierungen im Kochschinken spielt und dass diese unabhängig von der Qualität des Rohmaterials auftreten können [Müller et al. 2011].

Beim Problem von destrukturiertem Kochschinken handelt es sich insofern um ein multifaktorielles Problem, für das keine einheitliche Ursache und daher auch keine einfache Vermeidungsstrategie angegeben werden kann. Eine Rolle spielen sowohl das Rohmaterial (tierindividuelle Einflüsse, Betäubungsmethode) als auch die Verarbeitungstechnologie [Müller et al. 2011].

4.1.3 Herstellung einer fettreduzierten Salami

Der Wunsch von Konsumenten nach fettreduzierten Fleischprodukten und Salami ohne Schweinespeck – allerdings unter Bewahrung des für Salami typischen Erscheinungsbildes (im roten Fleisch eingelagerte weisse Partikel) – führt dazu, dass immer wieder nach Speckalternativen gesucht wird. Bisherige Lösungen erzielten aber keine befriedigenden Ergebnisse [Eberhard 2013].

Der Speckersatz Emulsan ACP FF ist ein Gemisch aus Stärke, Natriumalginat, Kalziumphosphat und Wasser mit einem Fettgehalt von 0.1% (gegenüber ca. 86% bei Rückenspeck). Die Einarbeitung dieses Speckersatzes in Rohwurst verfolgt zwei Ziele: eine Fettreduktion und die Herstellung von Geflügel-, Wild- und Rindersalami aus tierartenreiner Fleischfraktion. Der Herstellungsprozess muss nicht wesentlich verändert werden. Die hergestellten Produkte sind zudem mit Referenzen vergleichbar: Es tritt weder ein „trockenes Mundgefühl“ auf wie bei vielen anderen mageren Produkten noch kommt es zu Verfärbungen aufgrund der eingesetzten Gewürze. Trotzdem scheint der Einsatz von Emulsan ACP FF nur für Nischenprodukte geeignet, da es kaum möglich ist, das Fett als erstklassigen Geschmacksträger durch diese Substanz angemessen zu ersetzen. Zudem sind Probleme bei der Deklaration zu erwarten [Eberhard 2013].

4.1.4 Erhitzung von Brühwürsten

Die Erhitzung von Brühwürsten hat zwei Hauptziele: die Schnittfestigkeit durch die Gerinnung von Protein und die Haltbarkeit durch die Abtötung der meisten Mikroorganismen. Die Kerntemperatur bei Brühwürsten (= Temperatur an der Stelle, die am weitesten entfernt ist von der Oberfläche) ist dabei ein wichtiger Kontrollpunkt, um die genügende Erhitzung zu dokumentieren. Sie muss mindestens 68°C bzw. besser 70°C betragen. Die Haltbarkeit von Brühwürsten wird allerdings nicht nur durch eine genügende Erhitzung gewährleistet, sondern bedingt auch eine gute Qualität des Rohmaterials (keimarm) und die Einhaltung einer geschlossenen Kühlkette (< 5°C) [Stoll & Eberhard 2012].

Untersuchungen zeigen, dass ein zuverlässiger Nachweis einer sicheren Erhitzung von Brühwürsten nur durch die Bestimmung der Kerntemperatur gewährleistet ist. Eine Festlegung der Erhitzungsbedingungen nur über die Zeit reicht nicht – zumindest nicht bei der Erwärmung im Kochkessel [Stoll & Eberhard 2012].

Vermeidung von Verfärbungen bei Brühwürsten

Brühwürste verfügen normalerweise über eine rosa bis dunkelrote Farbe. Randverfärbungen aufgrund einer Zerstörung der farbgebenden Komponenten durch Sauerstoff- und Lichteinfluss sind bei Brühwürsten ein Problem – v.a. in belichteten Verkaufstheken [Müller et al. 2012].

Müller et al. untersuchten die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Stabilisierung der Farbe von Fleischkäse und legten den Hauptfokus dabei auf die Entfernung von Restsauerstoff in den Verpackungen. Die Verpackung wurde mit Stickstoff gespült, mit der Schutzkultur Bactoform® Rubis (*Lactococcus lactis*-Stamm) versetzt und danach während 24 Stunden belichtet. Bactoform® Rubis sollte dabei den Restsauerstoff in der Verpackung verbrauchen, ohne die sensorischen Qualitäten des Produktes zu beeinflussen. Aus der Studie kann geschlossen werden, dass die Schutzkultur Bactoform® Rubis sowie die Anwendung einer Schutzgasspülung Potential zur Verhinderung von Randverfärbungen von Fleischkäse haben. Die Verfahren müssten allerdings weiter optimiert und speziell für die Produktion von grossen Mengen angepasst werden [Müller et al. 2012].

4.2 Zusammensetzung

4.2.1 Frischfleisch

Fleisch ist eine wichtige Quelle von hochwertigem Protein (ca. 20 g / 100 g, unabhängig von der Tierart), den Vitaminen B1 (Thiamin), B6 (Pyridoxin), B12 (Cobalamin), Pantothenensäure (B5) und Niacin (B3) sowie den Mineralstoffen Eisen, Selen und Zink. Der Kohlenhydratgehalt von Fleisch ist hingegen sehr gering [Schmid 2011A; Schmid 2012C].

In der Schweiz stellt Fleisch die wichtigste Quelle für die Vitamine A, B1, B12 und Niacin sowie für Natrium und Eisen dar und leistet einen bedeutenden Beitrag zur Versorgung mit den Vitaminen B2 (Riboflavin), B6 und Pantothenensäure sowie Phosphor, Selen und Zink [Schmid 2012E].

Das Fleischfett wird eingeteilt in Auflagefett, Fett zwischen den Muskelfasern (intermuskulär) und Fett in den Muskelfasern (intramuskulär, Marmorierung). Der Fettgehalt variiert stark je nach Fleischstück, Zuschnitt des Fleischstücks, Tierart sowie Alter und Aufzucht der Tiere. Die Bandbreite reicht von rund 1-20 g pro 100 g Frischfleisch. Von jeder Tierart gibt es sowohl magere als auch fettreiche Fleischstücke [Schmid 2011A; Schmid 2011D].

Fett von Wiederkäuern hat einen höheren Anteil an gesättigten Fettsäuren und tieferen Anteil an ungesättigten Fettsäuren als Fett von Nichtwiederkäuern. Rind- und Lammfleisch enthält 40-50 g SFA pro 100 g Fett, Schweinefleisch und Poulet 30-40 g SFA pro 100 g Fett. Der MUFA-Gehalt liegt bei allen Tierarten fast durchwegs bei 40-50 g pro 100 g Fett. Bei den PUFA ist die Bandbreite sehr gross (ca. 7-35 g / 100 g Fett), wobei Geflügel die höchsten Werte aufweist. Unter den gesättigten Fettsäuren sind in Fleischfett v.a. Myristinsäure (C14:0), Palmitinsäure (C16:0) und Stearinsäure (C18:0) vertreten; unter den MUFA v.a. Ölsäure, die normalerweise ca. 30-40% aller Fettsäuren in Fleisch ausmacht. Fleisch hat generell relativ bescheidene TFA-Gehalte; Hauptvertreter ist die Vaccensäure (C18:1, *trans*-11). Die Cholesteringehalte von Fleisch liegen bei ca. 40-80 mg pro 100 g [Schmid 2011A; Schmid 2011D].

Magere Fleischstücke sind nährstoffdichte Lebensmittel und wertvolle Vitaminquellen, v.a. im Hinblick auf die wasserlöslichen B-Vitamine. Die Vitamingehalte variieren je nach Tierart und Fleischstück. Thiamin (Vitamin B1) kommt in allen Fleischsorten vor, v.a. jedoch in Schweinefleisch. Vitamin B2 und B6 finden sich in unterschiedlichen Mengen in den verschiedenen Fleischarten. Fleisch ist generell eine gute Quelle für Vitamin B12, wobei das von Wiederkäuern stammende Fleisch (z.B. Rindfleisch) die grösseren Mengen enthält als zum Beispiel Schweinefleisch oder Geflügel [Schmid 2011A]. Dies liegt daran, dass Vitamin B12 von Mikroorganismen produziert wird und es in Wiederkäuerprodukten aufgrund der Bakterienbesiedlung des Pansens deshalb in grösseren Konzentrationen enthalten ist als in Produkten von Monogastern [Schmid et al. 2011B]. Fleisch weist gewisse Mengen an Pantothenensäure auf und ist eine wertvolle Quelle für Niacin [Schmid 2011A].

Fleisch ist eine wertvolle Phosphorquelle, ohne grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Tierarten. Obschon die Eisengehalte von Fleisch auf den ersten Blick nicht sehr hoch scheinen, stellt Fleisch eine sehr gute Eisenquelle dar, da Eisen in Fleisch überwiegend in Form

von Hämeisen vorliegt, das vom Körper besser absorbiert wird als das pflanzliche Nichthämeisen (15-40 vs. 1-15%). Das rote Fleisch von Rind und Lamm enthält grössere Eisenmengen als das hellere Fleisch von Schwein und Poulet. Fleisch enthält weiter teilweise substanzielle Mengen an Zink; Zink liegt im Fleisch ebenfalls in einer sehr gut verfügbaren Form vor. Fleisch enthält schliesslich wertvolle Mengen an Selen, da den Tieren in der Schweiz mit Selen angereichertes Futter verabreicht wird. Frischfleisch weist hingegen vergleichsweise geringe Natriummengen auf [Schmid 2011A].

4.2.2 Fleischprodukte

Fleischprodukte können ebenfalls einen Beitrag an die Versorgung mit Vitaminen und Mineralstoffen leisten. Sie enthalten allerdings häufig auch grössere Mengen an Kochsalz und sind teilweise reich an Fett [Schmid 2012C].

Rohwürste (z.B. Salami) und Rohpökelwaren (z.B. Trockenfleisch) weisen aufgrund ihres geringeren Wassergehalts meist einen höheren Proteinanteil auf als Frischfleisch. Bei den Brühwürsten (z.B. Cervelat) liegt der Proteingehalt hingegen unter dem von Frischfleisch, da bei deren Herstellung Fettgewebe und Eiswasser zugegeben werden [Schmid 2011A].

Fleischprodukte liegen häufig höher im Fettgehalt als Frischfleisch, da bei ihrer Herstellung Fettgewebe in Form von Speck oder Schwarte hinzugefügt wird. Es gibt aber auch fettarme Fleischprodukte, z.B. Trockenfleisch oder Kochschinken [Schmid 2011A].

Bei den Fleischprodukten sind die Variationen in der Fettsäurezusammensetzung technologisch bedingt geringer als beim Frischfleisch. Hier liegt der SFA-Anteil meist bei 40-50%, der MUFA-Anteil bei 45-52% und der PUFA-Anteil fast immer unter 10%. Fleischprodukte haben generell relativ bescheidene TFA-Gehalte; die Cholesteringehalte liegen bei ca. 40-80 mg pro 100 g [Schmid 2011A; Schmid 2011D; Schmid 2012C].

Fleischprodukte können unerwartet grosse Mengen an Vitamin C enthalten, da es bei der Produktion gerne als Antioxidans zugegeben wird [Schmid 2011A; Schmid 2012D].

Fleischprodukte haben bedingt durch den Einsatz von Kochsalz bei ihrer Herstellung hohe Natriumgehalte, v.a. Rohwürste (z.B. Salami) und Rohpökelwaren (z.B. Trockenfleisch) [Schmid 2011A; Schmid 2012C; Schmid 2012D].

Fleischprodukte Schweizerischer Herkunft

Agroscope hat in den letzten Jahren die wichtigsten kommerziell erhältlichen Fleischprodukte Schweizerischer Herkunft auf ihre Gehalte an Makronährstoffen (Proteine, Fette, Kohlenhydrate), Vitaminen und Mineralstoffen sowie Fett- und Aminosäuren hin analysiert [Schmid 2012D]:

- Brühwürste: Kalbsbratwurst, Cervelat, Wienerli, Lyoner, Fleischkäse, Schweinsbratwurst, Schweinswurst, Geflügellyoner
- Kochpökelwaren: Vorderschinken, Hinterschinken, Rollschinken, Fleischerzeugnis gekocht, Kochspeck
- Rohwürste: Salami (2 Sorten), Landjäger, Salsiz, Saucisson vaudois, Minipic
- Rohpökelwaren: Rohschinken, Coppa, Bauernspeck, Appenzeller Mostbröckli, Trockenfleisch

Die untersuchten Fleischprodukte sind generell arm an Kohlenhydraten (unter 1.5 g / 100 g) und weisen einen Proteingehalt von über 10 g pro 100 g auf. Die höchsten

Proteinmengen weist das Trockenfleisch auf (40 g / 100 g). Die untersuchten Fleischprodukte enthalten alle essentiellen Aminosäuren. Allgemein dominiert Glutaminsäure/ Glutamin, gefolgt von Asparaginsäure/Asparagin, Lysin und Leucin. Die tiefsten Konzentrationen finden sich für Cystein, Tryptophan und Methionin [Schmid 2012E].

Der Fettgehalt ist je nach Art der Fleischprodukte sehr unterschiedlich (1.9-42.7 g / 100 g): Die verschiedenen Salamitypen und der Speck liefern am meisten Fett (meist über 30 g / 100 g). Brühwürste (Bratwürste, Cervelat, Lyoner, Fleischkäse, Wienerli usw.) enthalten ca. 20 g pro 100 g. Von den untersuchten Produkten sind Hinter- und Vorderschinken, Trockenfleisch und Mostbröckli mit weniger als 4 g pro 100 g am fettärmsten [Schmid 2012D; Schmid 2012E]. Der SFA-Anteil liegt in den untersuchten Fleischprodukten bei 40-50%, der MUFA-Anteil bei 45-52% und der PUFA-Anteil bei bis zu 10%. Die Ölsäure (C18:1 c9) ist bei allen Fleischprodukten mengenmässig die dominierende Fettsäure; darauf folgen die Palmitinsäure (C16:0), die Stearinsäure (C18:0) und die Linolsäure (C18:2 c9c12) [Schmid 2012E].

Die höchsten Salzgehalte weisen Rohwürste (z.B. Salami: 40 g/kg) und Rohpökkelwaren (z.B. Mostbröckli: 48 g/kg) auf [Eberhard & Schmid 2011; Stoffers 2012; Schmid 2012E].

Die untersuchten Fleischprodukte liefern die Spurenelemente Eisen, Zink und Selen. Fleischprodukte auf Basis von Schweinefleisch sind meist gute Quellen für Thiamin (Vitamin B1), diejenigen auf Basis von Rindfleisch liefern grössere Mengen an Vitamin B12 [Schmid 2012D; Schmid 2012E]. Teils wurden substanzielle Mengen an Vitamin C gefunden. Auch in Bezug auf Niacin können Fleischprodukte als wertvolle Quellen angesehen werden. Die Gehalte an den Vitaminen A und E liegen hingegen fast durchwegs unter der Nachweisgrenze [Schmid 2012E].

Rohpökkelwaren Schweizerischer Herkunft

Im Jahr 2009 wurden fünf verschiedene Schweizer Rohpökkelwaren analysiert (jeweils fünf pro Sorte): Rohschinken, Coppa, Bauernspeck (Rohessspeck), Appenzeller Mostbröckli, Trockenfleisch (Oberbegriff für Bündnerfleisch, Walliser Trockenfleisch und Carne secca). Folgende Nährstoffe und Nahrungsbestandteile wurden gemessen: Wasser, Gesamtstickstoff (zur Berechnung des Gesamtproteins), Fett, Cholesterin, Zucker, Vitamine A, E, B2, B6, B12, C, D3, K2 (Menachinon), Thiamin, Niacin, Pantothen-säure, Biotin, Natrium, Kalium, Magnesium, Kalzium, Phosphor, Chlorid (zur Berechnung des Salzgehaltes), Kupfer, Selen, Eisen, Zink, Mangan [Schmid et al. 2011A].

Der Wassergehalt der analysierten Rohpökkelwaren liegt bei 39.0-58.4 g pro 100 g, der Kohlenhydratgehalt bei unter 1 g pro 100 g und der Cholesteringehalt bei 61.5-83.9 mg pro 100 g. Die Rohpökkelwaren weisen hohe Proteingehalte (31.0-39.3 g / 100 g) und generell tiefe Fettgehalte (1.9-11.5 g / 100 g) auf – mit Ausnahme von Bauernspeck (enthält 22.1 g Protein und 34.3 g Fett / 100 g) und Coppa (enthält 28.8 g Protein und 22.5 g Fett / 100 g). Der Energiegehalt liegt pro 100 g bei 152-395 kcal bzw. bei 634-1654 kJ. Rohpökkelwaren, die auf Schweinefleisch basieren (Coppa, Rohschinken, Bauernspeck), weisen relativ hohe Thiamingehalte von 0.6-1.0 mg pro 100 g auf. Rohpökkelwaren, die auf Rindfleisch basieren (Trockenfleisch, Mostbröckli), weisen dafür relativ hohe Vitamin B12-Gehalte von 1.4-1.6 µg pro 100 g auf. Die Vitamin B6-Gehalte der Rohpökkelwaren liegen bei 0.3-0.6 mg pro 100 g und die Niacingehalte bei 6.9-10.2 mg pro 100 g. Bauernspeck ist aufgrund seines Fettgehaltes eine gute

Quelle für Vitamin D (1.7 µg / 100 g); die anderen analysierten Rohpökkelwaren weisen nur Spuren von Vitamin D auf. Coppa ist dafür eine gute Quelle für Pantothen-säure (2.4 mg / 100 g). Die analysierten Rohpökkelwaren sind keine guten Quellen für die Vitamine A, B2, C, E, K und Biotin. Rohpökkelwaren enthalten aber wertvolle Mengen an Phosphor (0.21-0.33 g / 100 g), Kalium (0.40-0.64 g / 100 g), Zink (bis zu 6.5 mg / 100 g), Eisen (bis zu 4.0 mg / 100 g), Selen (ca. 14 µg / 100 g; Ausnahme Bauernspeck: 9.6 µg / 100 g). Sie enthalten jedoch nur geringe Mengen an Magnesium, Kalzium, Kupfer und Mangan. Der Salzgehalt der analysierten Rohpökkelwaren liegt bei 3.9-4.7 g pro 100 g, womit Rohpökkelwaren wie die Rohwürste zu den sehr salzreichen Lebensmitteln gehören. Die Analyse der Fettsäure-zusammensetzung von Rohpökkelwaren ergab 42-49% SFA (v.a. Palmitin- und Stearinsäure), 45-51% MUFA (v.a. Ölsäure) und 6-9% PUFA (v.a. Linolsäure). Das Verhältnis zwischen Omega-6- und Omega-3-Fettsäuren liegt nur bei den rindfleischbasierten Sorten Mostbröckli und Trockenfleisch im Rahmen der Empfehlungen (unter 5:1) [Schmid et al. 2011A].

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Schweizer Rohpökkelwaren hohe Proteingehalte und – je nach Sorte – unterschiedlich hohe Fettgehalte aufweisen. In den Schweinefleischprodukten Rohschinken, Coppa und Bauernspeck wurden wertvolle Mengen an Thiamin, Niacin und Phosphor nachgewiesen. Bei den Rindfleischprodukten Mostbröckli und Trockenfleisch sind v.a. die Konzentrationen an Vitamin B12, Niacin, Phosphor, Eisen und Zink erwähnenswert. Bei allen untersuchten Produkten fand sich herstellungsbedingt allerdings ein hoher Salzgehalt [Schmid et al. 2011A].

Kochpökkelwaren Schweizerischer Herkunft

Im Jahr 2010 wurden fünf verschiedene Schweizer Kochpökkelwaren analysiert (jeweils fünf pro Sorte – ausser Rollschinken, von dem nur drei verschiedene Produkte analysiert wurden): Vorderschinken, Hinterschinken, Rollschinken, Cotto (gekochtes Fleischprodukt, das wie Schinken aussieht, jedoch nicht dessen gesetzliche Vorschriften erfüllt) und Kochspeck. Folgende Nährstoffe und Nahrungsbestandteile wurden gemessen: Wasser, Gesamtstickstoff (zur Berechnung des Gesamtproteins), Fett, Cholesterin, Kohlenhydrate, Vitamine A, E, B2, B6, B12, C, D3, K2 (Menachinon), Thiamin, Niacin, Pantothen-säure, Biotin, Natrium, Kalium, Magnesium, Kalzium, Phosphor, Chlorid (zur Berechnung des Salzgehaltes), Kupfer, Selen, Eisen, Zink, Mangan [Schmid 2011B; Schmid 2011C; Schmid et al. 2011B].

Generell unterscheidet sich der Kochspeck von den verschiedenen Schinkensorten: Mit ca. 319 kcal bzw. 1336 kJ pro 100 g weist er den höchsten Energiegehalt und mit 27.6 g pro 100 g den höchsten Fettgehalt auf. Die vier verschiedenen Schinken liegen pro 100 g bei 93-182 kcal bzw. 391-759 kJ sowie 2.3-10.6 g Fett. Alle untersuchten Sorten enthalten pro 100 g 15.7-20.3 g Protein und weisen einen tiefen Kohlenhydratgehalt auf (durchschnittlich unter 1.3 g). Kochpökkelwaren enthalten alle essentiellen Aminosäuren. Der Wassergehalt der analysierten Kochpökkelwaren liegt bei 50.5-77.0 g pro 100 g (Ausreisser war Kochspeck mit 50.5 g / 100 g) und der Cholesteringehalt bei 35.2-49.6 mg pro 100 g. Die analysierten Kochpökkelwaren sind wertvolle Quellen für Thiamin (0.43-0.67 mg / 100 g), Vitamin B6 (0.23-0.39 mg / 100 g), Vitamin C (10.8-63.8 mg / 100 g) und Niacin (4.2-6.1 mg / 100 g), wobei die teils hohen Vitamin C-Gehalte auf den Einsatz von Ascorbinsäure als Antioxidans hinweisen. Die Phosphorgehalte liegen bei 0.15-0.33 g pro 100 g. Die

analysierten Produkte sind hingegen weder gute Quellen für die Vitamine A, E und B12 noch für Kalium, Kalzium, Magnesium, Eisen, Zink und Selen. Der Salzgehalt der analysierten Kochpökelwaren liegt bei 2.0-2.9 g pro 100 g, womit Kochpökelwaren zu den salzreichen Lebensmitteln gehören, aber dennoch salzärmer sind als Rohpökelwaren (3.9-4.7 g / 100 g). Die Analyse der Fettsäurezusammensetzung von Kochpökelwaren ergab 40-42% SFA (v.a. Palmitin- und Stearinsäure), 50-52% MUFA (v.a. Ölsäure) und 6-9% PUFA (v.a. Linolsäure). Das Verhältnis zwischen Omega-6- und Omega-3-Fettsäuren liegt bei 7.5-10.5 [Schmid 2011B; Schmid 2011C; Schmid et al. 2011B].

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die verschiedenen Schinkensorten reich sind an hochwertigen Proteinen, Thiamin (Vitamin B1), Niacin, teilweise Vitamin C und phosphorhaltigen Verbindungen sowie wertvolle Quellen für weitere Vitamine und Mineralstoffe sind [Schmid 2011B; Schmid 2011C; Schmid et al. 2011B]. Kochspeck weist aufgrund seines hohen Fettanteils hingegen eine geringere Nährstoffdichte auf. Kochpökelwaren haben generell hohe Salzgehalte [Schmid 2011C; Schmid et al. 2011B].

4.3 Ausgewählte gesundheitliche Aspekte

4.3.1 Rotes Fleisch

Einer umfangreichen amerikanischen Beobachtungsstudie zufolge soll der Konsum von rotem Fleisch zu einem früheren Tod führen. Der gefundene Effekt auf das Sterberisiko ist jedoch wenig beeindruckend. Zudem gibt es viele Vorbehalte, so dass die Ergebnisse der Studie relativiert werden müssen und insgesamt wenig relevant sind [Schmid 2012F].

4.3.2 Gesundheitliche Aspekte von Fleischfett

Nahrungsfett spielt in der menschlichen Ernährung eine wichtige Rolle. Einerseits liefert es Energie, trägt zur Absorption der fettlöslichen Vitamine A, D, E und K bei, fungiert als Strukturelement der Zellwände, schützt innere Organe vor Stößen und Schlägen, übernimmt Isolationsfunktionen und ist schliesslich an der Wärmeregulation beteiligt. Andererseits wird ein hoher Fettkonsum aber mit Adipositas, Typ-2-Diabetes, Krebs und koronaren Herzkrankheiten in Zusammenhang gebracht. Tierische Fette stehen aufgrund ihres hohen Gehalts an gesättigten Fettsäuren in besonderem Fokus. Dabei wird aber vergessen, dass ungesättigte Fettsäuren den Hauptanteil von Fleischfett ausmachen. Auf Basis der wissenschaftlichen Datenlage stellt der Konsum von Fleischfett als solcher kein Gesundheitsrisiko dar. Allerdings ist der Konsum von Fleischfett mit dem Konsum von Fleisch und Fleischprodukten verknüpft, welche sich *per se* sowie als Teil der Ernährung ebenfalls auf die Gesundheit auswirken [Schmid 2011D].

Adipositas

Adipositas ist die Folge eines unausgewogenen Energiegleichgewichtes (zu hohe Energiezufuhr bei zu geringem Energieverbrauch); dies ist unbestritten. Ob allerdings die einzelnen Makronährstoffe und dabei insbesondere Kohlenhydrate und Fette hierbei eine entscheidende Rolle spielen, ist umstritten. Klar ist aber, dass Individuen eine Ernährungsweise – sei sie nun fettarm und kohlenhydratreich oder fettreich und kohlenhydratarm – nur langfristig aufrechterhalten können, wenn sie mit ihren individuellen Vorlieben und ihrem Lebensstil übereinstimmt. Fleisch und Fleischprodukte haben dabei sowohl in einer

fettarmen als auch in einer kohlenhydratarmen Ernährung Platz [Schmid 2011D].

Herz-Kreislauf-Krankheiten

Die Fett-Theorie besagt, dass eine Ernährung mit hohem Gehalt an tierischen Fetten und Cholesterin den Blutcholesterinspiegel erhöht, damit zu Atherosklerose führt und letzten Endes das Risiko für einen Herzinfarkt erhöht. Die davon abgeleitete Empfehlung lautete demnach lange Zeit, die Fettaufnahme und insbesondere die Aufnahme an gesättigten Fettsäuren und Cholesterin einzuschränken [Schmid 2011D].

Heute werden die Zusammenhänge differenzierter betrachtet. Als Hauptrisikofaktor für koronare Herzkrankheiten gilt ein hoher LDL-Cholesterinspiegel; ein hoher HDL-Cholesterinspiegel gilt hingegen als vorteilhaft. Entscheidend ist insofern das Verhältnis zwischen Gesamtcholesterinspiegel zu HDL-Cholesterinspiegel. PUFA wirken sich auf dieses Verhältnis positiv aus; SFA haben insgesamt keinen Einfluss darauf; TFA wirken sich dagegen negativ aus [Schmid 2011D].

Allerdings müssen auch die einzelnen Fettsäuren differenziert betrachtet werden: Unter den SFA zeigte sich, dass die Laurinsäure (C12:0) einen leicht positiven Effekt auf das Verhältnis zwischen Gesamtcholesterinspiegel zu HDL-Cholesterinspiegel hat. Bei den TFA muss zwischen solchen aus industriell gehärteten Fetten und solchen tierischen Ursprungs unterschieden werden. Bei den TFA aus industriell gehärteten Fetten dominieren die Elaidinsäure und die C18:1 trans-10, währenddem bei den TFA tierischen Ursprungs die Vaccensäure dominiert. Es konnte bisher noch keine wissenschaftliche Evidenz gefunden werden, dass sich TFA aus Fleisch und Fleischprodukten auf das Risiko für koronare Herzkrankheiten negativ auswirken. Eher im Gegenteil: Die im Fleisch hauptsächlich auftretende Transfettsäure (Vaccensäure) kann im menschlichen Körper nämlich zu einer konjugierten Linolsäure (CLA) umgewandelt werden (C18:2 cis-9, trans-11). In Tierstudien zeigten CLA positive Wirkungen auf Atherosklerose; der Nachweis in Humanstudien fehlt allerdings noch [Schmid 2011D].

Sowohl Interventionsstudien als auch epidemiologische Studien kommen zum Schluss, dass weder die Gesamtfettaufnahme noch die Aufnahme von gesättigten Fettsäuren einen Einfluss hat auf das Risiko für koronare Herzkrankheiten bzw. auf die Gesamt mortalität. Wichtiger scheint eine genügend hohe Aufnahme von Omega-3-Fettsäuren zu sein, d.h. ein genügend hoher Fischkonsum [Schmid 2011D].

Es gibt somit keine wissenschaftliche Evidenz, dass sich tierische Fette auf das Risiko für koronare Herzkrankheiten negativ auswirken. Das Augenmerk sollte stattdessen auf den PUFA-Gehalt von Fleisch gelegt werden (der bis zu 30 g / 100 g Fett betragen kann) sowie auf das generell vorteilhafte Verhältnis zwischen Omega-6- und Omega-3-Fettsäuren (v.a. bei Tieren mit Weidefütterung) [Schmid 2011D].

Typ-2-Diabetes

Verschiedene Tierstudien zeigen einen Zusammenhang zwischen einer fettreichen Ernährung und Insulinresistenz. Dieser Zusammenhang konnte in Humanstudien allerdings bisher nicht bestätigt werden. Keine der diesbezüglichen Kohortenstudien konnte einen Zusammenhang zwischen tierischen Fetten und der Inzidenz von Typ-2-Diabetes feststellen. Man kann deshalb davon ausgehen, dass der

Konsum von Fleischfett das Risiko für Typ-2-Diabetes nicht erhöht [Schmid 2011D].

Krebs

Gewisse Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen tierischem Fett (und infolgedessen Fleischfett) und kolorektalem Krebs; die Evidenz ist allerdings beschränkt. Der zugrundeliegende Mechanismus für die mögliche Verursachung von kolorektalem Krebs durch rotes Fleisch und Fleischprodukte schliesst die Bildung von N-nitroso-Verbindungen durch die Magen- und Darmflora mit ein, welche durch den hohen Eisengehalt von Fleisch gefördert werden könnte. Zudem führt die Erhitzung von rotem Fleisch bei hohen Temperaturen zur Produktion karzinogener Amine und Kohlenwasserstoffverbindungen. Diese Mechanismen stehen allerdings nicht in direktem Zusammenhang zu Fleischfett. Darüber hinaus gibt es keine wissenschaftliche Evidenz dafür, dass tierisches Fett mit einer anderen Krebsart assoziiert ist [Schmid 2011D].

5 Pflanzliche Lebensmittel

5.1 Ausgewählte sekundäre Pflanzenstoffe

Sekundäre Pflanzenstoffe fungieren in Pflanzen als Abwehrstoffe gegen Schädlinge und Krankheiten, als Schutzstoffe vor UV-Strahlen, als Wachstumsregulatoren sowie als Farb- oder Lockstoffe. Es sind ca. 100'000 verschiedene Verbindungen bekannt, von denen ca. 10'000 in der Nahrung vorkommen. Laut Schätzungen werden täglich ca. 1.5 g aufgenommen. Sekundären Pflanzenstoffen werden vielfältige gesundheitliche Wirkungen zugesprochen [Arrigoni et al. 2012].

5.1.1 Polyphenole

Polyphenole gehören zu den sekundären Pflanzenstoffen und kommen in allen pflanzlichen Lebensmitteln vor [Ceymann 2013]. In essbaren Pflanzen sind schätzungsweise Tausende verschiedener Polyphenole enthalten [Strauch et al. 2011; Strauch et al. 2012]. Die Gehalte sind stark sortenabhängig; als weitere Einflussfaktoren gelten Vorerntefaktoren wie Licht, Unterlage, Behang, Produktionsmethode und Produktionsjahr [Ceymann 2013].

Polyphenole sind bioaktive Substanzen mit antioxidativen Eigenschaften, denen ein schützender Effekt gegen chronische Erkrankungen zugeschrieben wird (z.B. Prävention von Herz-Kreislauf-Krankheiten, verschiedener Krebsarten und Diabetes) [Strauch et al. 2011; Strauch et al. 2012; Ceymann 2013]. Auch bei der Regulierung der Glukoseaufnahme im menschlichen Körper entfalten sie möglicherweise eine positive Wirkung [Ceymann 2013].

Man unterscheidet bei den Polyphenolen zwei Gruppen: phenolische Säuren (z.B. Chlorogensäure) und Flavonoide (z.B. Flavan-3-ole) [Ceymann 2013].

5.1.2 Carotinoide

Carotinoide sind fettlösliche Pigmente, die für die gelbe, orange oder rote Farbe von Früchten und Gemüsen verantwortlich sind. In grünblättrigem Gemüse ist deren Farbe allerdings durch die blaue und grüne Farbe der Chlorophylle a und b überdeckt. Carotinoidgehalte und -muster können von verschiedenen Vor- und Nacherntefaktoren beeinflusst werden. Von den ca. 700 identifizierten Carotinoiden konsumiert der Mensch lediglich ca. 50 regelmässig und lediglich 6 spielen aufgrund ihrer gesundheitsfördernden Wirkung eine bedeutende Rolle in der menschlichen Ernährung: die drei Xanthophylle Lutein, Zeaxanthin und β -Cryptoxanthin sowie die drei Carotine α -, β -Carotin und Lycopin. β -Carotin ist v.a. als Provitamin A von Bedeutung, Lutein ist wichtig für die Gesundheit der Augen bzw. die Prävention altersbedingter Augenkrankheiten [Reif 2012; Arrigoni et al. 2012; Reif et al. 2012; Reif et al. 2013A; Reif et al. 2013B; Reif et al. *submitted*; Eriksen *personal communication*].

Eine carotinoidreiche Ernährung steht im Zusammenhang mit einem geringeren Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten, spezifische Krebsarten und altersbedingte Makuladegeneration [Reif 2012; Reif et al. 2012; Reif et al. 2013B; Reif et al. *submitted*; Eriksen *personal communication*].

Carotinoidzugänglichkeit aus rohem und gekochtem Gemüse

Die Freisetzung von Carotinoiden aus der pflanzlichen Matrix während des Verdauungsvorganges wird generell als tief eingeschätzt [Reif 2012; Arrigoni et al. 2012; Reif et

al. 2012; Reif et al. 2013A; Reif et al. 2013B; Reif et al. *submitted*; Eriksen *personal communication*]. Die Carotinoidbioverfügbarkeit ist stark abhängig von der Carotinoidsorte, der chemischen Struktur und der Lebensmittelmatrix [Reif et al. *submitted*].

Reif bestimmte die *in vitro* Carotinoidzugänglichkeit aus rohem und gekochtem Gemüse, indem sie eine *in vitro* Verdauung anwandte, welche die drei Hauptstufen der menschlichen Verdauung simulierte (Speichelflüssigkeit, Magensaft, Zwölffingerdarmsaft). Die Biozugänglichkeit ist dabei definiert als der Lebensmittelanteil, der von der Lebensmittelmatrix in den Magen-Darm-Trakt freigesetzt und so für die Absorption verfügbar wird. Demgegenüber versteht man unter Bioverfügbarkeit den Nährstoffanteil, der für den Körper nutzbar ist (für physiologische Funktionen oder Speicherung) [Reif 2012; Reif et al. *submitted*; Eriksen *personal communication*]. Die *in vitro* Carotinoidzugänglichkeit aus rohem grünblättrigem Gemüse war niedrig und lag bei 4-16% für Lutein, 7-25% für Zeaxanthin und 12-22% für β -Carotin. Die Biozugänglichkeit von Carotinen und Xanthophyllen aus rohem rot-orangem Gemüse lag mit bis zu 57% deutlich höher. Zusätzlich konnte eine erhöhte Carotinoidzugänglichkeit nach Hitzebehandlung der Gemüseproben beobachtet werden. Das Erhitzen schädigt die Gemüsematrix und fördert somit die Freisetzung der Carotinoide. Die Freisetzung aus der Lebensmittelmatrix ist einer der wichtigsten limitierenden Faktoren in Bezug auf die Carotinoidabsorption. Die von Reif et al. entwickelte *in vitro* Verdauungsmethode ist ein viel versprechendes Instrument, um die Carotinoidzugänglichkeit aus Gemüse zu untersuchen [Reif 2012; Reif et al. *submitted*].

Die *in vivo* Beurteilung der Bioverfügbarkeit und Biozugänglichkeit ist kompliziert; einfacher und schneller sind *in vitro* Methoden. Letztere müssen allerdings mit *in vivo* Daten validiert werden. In einer laufenden Dissertation will Eriksen dazu beitragen, *in vitro* Modelle zur Untersuchung der Biozugänglichkeit von Carotinoiden zu verbessern, um damit die potentielle Bioverfügbarkeit im Menschen abschätzen zu können [Eriksen *personal communication*].

Einfluss von Carotinoiden auf die Eisenaufnahme

Reif et al. überprüften mittels stabiler Isotopentechnik in 32 jungen gesunden Frauen die Hypothese, ob Lutein und β -Carotin die Eisenaufnahme beim Menschen beeinflussen können. Die Zugabe von 3 mg Lutein zur Testmahlzeit erhöhte die Eisenabsorption von $2.96 \pm 1.32\%$ moderat, aber statistisch signifikant auf $4.11 \pm 1.93\%$ ($p=0.029$). Hingegen hatte die Zugabe von β -Carotin keine Auswirkungen auf die Eisenabsorption ($p>0.05$) – was im Widerspruch steht zu anderen Studien. Der Widerspruch wird auf methodische Unterschiede und auf unterschiedliche Studienpopulationen zurückgeführt, kann aber nicht belegt werden. Lutein könnte somit ein Potential haben zur Förderung der Eisenabsorption in eisenangereicherten Pflanzen; eine Hürde könnte aber die Freisetzung von Lutein aus der Pflanzenmatrix während der Verdauung sein [Reif 2012; Reif et al. *in preparation*].

5.2 Ausgewählte pflanzliche Lebensmittel

Früchte und Gemüse zeichnen sich bei geringer Energiedichte durch eine hohe Nährstoffdichte und einen hohen Gehalt an bioaktiven Substanzen aus (Nahrungsfasern, sekundäre Pflanzenstoffe) [Arrigoni et al. 2012].

5.2.1 Blattsalate und Gemüse

Im Rahmen eines umfassenden Screenings wurden 107 in der Schweiz angebaute carotinoidhaltige Gemüse und Salate aus 6 verschiedenen botanischen Familien analysiert und die 6 relevanten Carotinoide (Lutein, Zeaxanthin und β -Cryptoxanthin sowie α -, β -Carotin und Lycopin) sowie Chlorophyll a und b quantifiziert. In dunkelgrünem Blattgemüse der Familien *Brassicaceae*, *Chenopodeaceae* und *Liliaceae* wurden die höchsten Lutein- und β -Carotin-Konzentrationen gefunden. Allgemein lagen die Carotinoidkonzentrationen von gelben, orangen und roten Gemüsesorten unter denjenigen von dunkelgrünem Blattgemüse. Grünblättrige Salate können damit einen wesentlichen Beitrag zur Aufnahme von sekundären Pflanzenstoffen leisten. Oranges und rotes Gemüse enthält aber ein grösseres Spektrum an Carotinoiden als grünblättrige Salate. In orangen Karotten sind hauptsächlich α - und β -Carotin vertreten; in Spinat hauptsächlich Lutein; in Tomaten hauptsächlich Lycopin; Paprikaschoten liefern zusätzlich Zeaxanthin und β -Cryptoxanthin [Reif 2012; Arrigoni et al. 2012; Reif et al. 2012; Reif et al. 2013A; Reif et al. 2013B].

Der Carotinoidgehalt lässt sich bei Blattsalaten bis zu einem gewissen Grad direkt von der Farbe ableiten: Mit zunehmendem Chlorophyllgehalt und entsprechend intensiverer Grünfärbung der Salate steigen sowohl der Lutein- als auch der β -Carotingehalt; dunkelgrüne Blätter enthalten reichlich Lutein und β -Carotin. Dies liegt darin begründet, dass die Synthese von Lutein und β -Carotin an die Photosynthese geknüpft ist [Reif 2012; Arrigoni et al. 2012; Reif et al. 2012; Reif et al. 2013A; Reif et al. 2013B].

Die geschätzte tägliche Carotinoidzufuhr durch Gemüse in der Schweiz liegt bei 3.3 mg β -Carotin, 2.2 mg Lycopin und 1.8 mg Lutein, wobei die Lycopinzufuhr methodisch bedingt unterschätzt wird. Spinat, Karotten und Tomaten liefern die höchsten Carotinoidgehalte zur geschätzten täglichen Aufnahme. Spinat leistet den grössten Beitrag zur Luteinaufnahme in der Schweiz; klassische Blattsalate wie Eisberg oder Kopfsalat haben deutlich geringere Luteingehalte [Arrigoni et al. 2012; Reif 2012; Reif et al. 2013B].

Dunkelgrünes Blattgemüse ist eine gute Quelle für Lutein (0.2-13 mg / 100 g Frischsubstanz) und β -Carotin (0.2-8 mg / 100 g Frischsubstanz). Es ist aber unwahrscheinlich, dass die Gehalte ausreichen für einen bedeutenden gesundheitlichen Nutzen, weil dunkelgrünes Blattgemüse in der Schweiz zu wenig häufig verzehrt wird – und wenn, dann oft als Salate mit tiefer Carotinoidbioverfügbarkeit [Reif et al. 2013B].

Spinat

Die Synthese von Lutein und β -Carotin in Spinat bedingt eine ausreichende Versorgung mit Schwefel und Stickstoff. Pflanzen assimilieren Schwefel aus dem Boden hauptsächlich in Form von Sulfat und Mikroorganismen sind in die Oxidationsprozesse im Boden involviert, die Schwefeldioxid zu Sulfat umwandeln. Im Winter sinkt der Schwefelgehalt von Böden, weil Mikroorganismen Schwefeldioxid aus der Luft weniger effizient zu Sulfat umwandeln [Reif et al. 2012].

Reif et al. untersuchten den Einfluss von Schwefel- und Stickstoffdüngung auf die Carotinoid- und Chlorophyllgehalte in Sommer- und Winterspinat. Im Sommerspinat waren die Gehalte an Lutein und β -Carotin aufgrund der höheren Sonneneinstrahlung generell 25% höher als im Winterspinat (die Carotinoidsynthese ist ein lichtabhängiger Prozess). Weder die Stickstoffdüngung im Winter noch die Schwefeldüngung im Sommer hatten einen nennenswerten Einfluss auf die Carotinoidgehalte. Im Winter könnte eine Schwefeldüngung von Spinat die Carotinoidgehalte geringfügig erhöhen (in Abhängigkeit von Bodenart, Standort und den atmosphärischen Bedingungen). Die Studie bestätigt, dass eine adäquate Schwefelversorgung für die Carotinoid- und Chlorophyllakkumulation in Spinat essentiell ist. Hohe Carotinoidgehalte werden aber am besten erreicht über die Wahl einer carotinoidreichen Sorte, die im Sommer angebaut wird [Reif 2012; Reif et al. 2012].

Kohlgemüse

Grünblättriges Kohlgemüse (*Brassica*) ist reich an Carotinoiden [Reif et al. 2013A]. Reif et al. untersuchten den Einfluss des Genotyps und der Anbaumethode auf die Lutein- und β -Carotingehalte von zwölf grünblättrigen Kohlgemüsesorten (*Brassica*). Insgesamt lagen die Luteingehalte bei 3.8-10.5 mg pro 100 g Frischsubstanz und die β -Carotingehalte bei 2.1-6.8 mg pro 100 g Frischsubstanz, womit grünblättrige Kohlgemüsesorten als gute Quellen für Lutein und β -Carotin betrachtet werden können. Die Sorte hatte den stärksten Einfluss auf die Carotinoidgehalte; die höchsten Gehalte erreichte *Brassica rapa ssp. chinensis*. Der Einfluss der Anbaubedingungen (Gewächshaus, Tunnel, Freiland) war weniger stark; die β -Carotingehalte waren im Sommer (Freiland, Tunnel) allerdings leicht höher als im Frühling (Gewächshaus) [Reif 2012; Reif et al. 2013A; Reif et al. 2013B].

5.2.2 Äpfel

Äpfel sind mit 62 g pro Kopf und Tag die mit Abstand am häufigsten konsumierten Früchte in der Schweiz [Arrigoni et al. 2012; Ceymann 2013]. Sie enthalten hauptsächlich Wasser (85%) und Kohlenhydrate (13.8%) und liefern pro 100 g 11.6 g Zucker, 2.1 g Nahrungsfasern und 0.1 g Stärke [Ceymann 2013]. Äpfel enthalten neben verschiedenen Vitaminen und Mineralstoffen zudem ein breites Spektrum an Polyphenolen: v.a. phenolische Säuren (hauptsächlich Chlorogensäure) und Flavan-3-ole (hauptsächlich Epicatechin), daneben aber auch Dihydrochalcone und Flavonole. Die Gehalte und das Polyphenolmuster variieren je nach Apfelsorte; je nach Sorte dominieren die phenolischen Säuren oder die Flavan-3-ole [Arrigoni et al. 2012; Ceymann et al. 2012; Ceymann 2013]. Die wichtigsten gesundheitlichen Effekte aufgrund der in Äpfeln in relevanten Mengen vorhandenen Polyphenole sind im Bereich der Prävention von Herz-Kreislauf-Krankheiten zu erwarten [Ceymann 2013].

Die Polyphenole in Äpfeln müssen zuerst aus der Lebensmittelmatrix gelöst werden, bevor sie absorbiert und physiologisch wirksam werden können. Ceymann et al. konnten anhand einer *in vitro* Verdauung zeigen, dass die Zugänglichkeit von Polyphenolen aus frischen Äpfeln und Apfelsäften kein Problem darstellt, wenn es um die Beurteilung der potentiell gesundheitsförderlichen Wirkungen von Äpfeln geht. Die Polyphenole aus Äpfeln werden bei der Verdauung fast vollständig freigesetzt [Ceymann 2013; Ceymann et al. *in preparation B*].

Im Rahmen eines umfassenden Screenings wurden 104 Apfelsorten auf ihren Polyphenolgehalt untersucht und die 12 bedeutendsten niedermolekularen Polyphenole quantifiziert (Catechin, Epicatechin, Procyanidin B1 und B2,

Chlorogensäure, Cumaroylchinasäure, Phloridzin, Phloretinxyloglucosid, Quercetingalactosid/-glucosid, Rutin und Quercetinrhamnosid), um das Potential von Äpfeln zum Schutz vor chronischen Krankheiten zu ermitteln. Die Äpfel wurden im Zeitraum von drei Jahren unter verschiedenen Bedingungen angebaut [Arrigoni et al. 2012; Ceymann et al. 2012; Ceymann 2013]. Zur raschen Identifizierung und Quantifizierung der oben genannten 12 Polyphenole wurde eine UHPLC-MS Methode entwickelt und angewandt [Ceymann et al. 2011; Ceymann 2013].

Es zeigte sich, dass die Polyphenolgehalte in Äpfeln durch die Sortenwahl massgeblich beeinflusst werden können und dass der Einfluss des Produktionsjahres wesentlich geringer ist. Der Einfluss der Unterlage, des Standortes, des Behangs und der Produktionsmethode resultierte in kleinen, aber nicht signifikanten Unterschieden [Arrigoni et al. 2012; Ceymann 2013; Ceymann et al. *in preparation A*]. Bei Äpfeln kann weder vom Aussehen noch von den sensorischen Eigenschaften (z.B. Zucker-Säure-Verhältnis, Knackigkeit) her auf den Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen geschlossen werden. Äpfel können einen wesentlichen Beitrag zur Aufnahme von sekundären Pflanzenstoffen (v.a. Chlorogensäure und/oder Flavan-3-ole) leisten; Tafeläpfel mit ca. 25-40 mg pro 100 g [Arrigoni et al. 2012; Ceymann 2013]. Um das Risiko chronischer Krankheiten zu reduzieren, müssten mindestens zwei Schweizer Äpfel pro Tag konsumiert werden [Ceymann 2013].

5.2.3 Aprikosen

Aprikosen sind nach Äpfeln und Birnen die am dritthäufigsten angebauten Früchte in der Schweiz. Mittlerweile gibt es in der Schweiz ca. 120 Aprikosensorten, von denen jedoch nur wenige kommerziell angebaut werden [Strauch et al. 2011; Strauch et al. 2012].

Aprikosen sind eine gute Quelle für gelbe bis orangefarbene Carotinoide. Ihr durchschnittlicher Gehalt an β -Carotin beträgt 2.95 mg pro 100 g Fruchtfleisch. In keiner anderen Schweizer Frucht sind vergleichbare Mengen enthalten. Neben β -Carotin enthalten Aprikosen auch Spuren von α -Carotin und β -Cryptoxanthin, die ebenfalls als Provitamin A wirken [Strauch et al. 2011; Strauch et al. 2012].

Strauch et al. untersuchten die Sortenvariabilität von Schweizer Aprikosen in Bezug auf verschiedene Nährstoffe und sekundäre Pflanzenstoffe (β -Carotin und Gesamtpolyphenole) und analysierten zu diesem Zweck 15 Aprikosensorten [Strauch et al. 2011; Strauch et al. 2012].

Die Verteilung der Nährstoffe war stark von der Sorte abhängig. Die grössten Schwankungsbreiten resultierten bei den Gehalten an Polyphenolen (z.B. Phenolsäuren, Anthocyane) und Vitamin C, wobei Letzterer vom unterschiedlichen Reifegrad beeinflusst worden sein dürfte. Es wurden Vitamin C-Gehalte bis knapp 12 mg pro 100 g Fruchtfleisch gefunden. Die Resultate lassen allerdings keinen Schluss zu, ob die Unterschiede im Nährstoffprofil auf die Sorte *per se* oder auf unterschiedliche Wachstumsbedingungen bzw. einen unterschiedlichen Reifegrad zurückgeführt werden müssen [Strauch et al. 2011; Strauch et al. 2012].

Aprikosen weisen ungefähr den gleichen Gesamtzuckergehalt (je nach Sorte 6-11 g / 100 g) auf wie Äpfel oder Birnen, aber einen wesentlich geringeren Fruktosegehalt, weshalb Aprikosen für Personen mit Fruchtzuckerunverträglichkeit von Bedeutung sind. Unter den Zuckerarten in Aprikosen dominiert bei allen

Aprikosensorten Saccharose mit durchschnittlich 5.9 g pro 100 g Fruchtfleisch, gefolgt von Glukose mit 1.8 g pro 100 g und Fruktose mit 1.1 g pro 100 g [Strauch et al. 2011; Strauch et al. 2012].

5.2.4 Erdbeeren

Erdbeeren gehören zu den wichtigsten Beeren in Europa. Sie liefern nicht nur viel Ascorbinsäure, sondern auch diverse Polyphenole: u.a. Anthocyane, phenolische Säuren, Flavonole, Flavanole, Ellagitannine und Proanthocyanidine [Josuttis et al. 2012].

Bioaktive Komponenten

Josuttis et al. untersuchten in den Jahren 2008 und 2009 den Einfluss von vier verschiedenen Standorten (Norwegen, Dänemark, Deutschland, Schweiz) auf die Zusammensetzung bioaktiver Komponenten in drei Erdbeersorten (Clery, Elsanta und Korona) in Bezug auf Sorte (Genotyp), Ernteperiode und Jahr. Die Ergebnisse zeigen, dass genetische Einflüsse generell stärker sind als Umweltfaktoren. Der Standort hat allerdings auch einen Einfluss auf die Gehalte an Ascorbinsäure und phenolischen Komponenten. Generell sind die Einflüsse von nördlichen Standorten vs. südlichen Standorten stärker als unterschiedliche Jahre oder die Ernteperiode. Die Temperatur scheint zudem einen stärkeren Einfluss zu haben als Licht [Josuttis et al. 2012].

Unabhängig von der Erdbeersorte haben Proben aus dem Norden grundsätzlich tiefere Anthocyanengehalte als Proben aus dem Süden und die Verteilung individueller Anthocyane ist unterschiedlich. Demgegenüber sind der Gehalt an Vitamin C und die antioxidative Kapazität bei Proben aus dem Norden höher – wiederum unabhängig von der Erdbeersorte. Die Hypothese, dass nördliche Standorte zu tieferen Gehalten an bioaktiven Komponenten führen, muss deshalb verworfen werden [Josuttis et al. 2012].

Ernteertrag und Qualität

Die wichtigsten Einflussfaktoren auf den Ernteertrag von Erdbeeren sind die Temperatur und die Tageslänge, die beide vom Breitengrad beeinflusst werden. Der Erdbeergeschmack wird im Wesentlichen vom Aroma sowie vom Zucker- und Säuregehalt bestimmt. Neben dem Geschmack sind die Farbe und Festigkeit von Erdbeeren entscheidende Qualitätsparameter [Krüger et al. 2012].

Krüger et al. untersuchten den Einfluss von fünf verschiedenen Standorten (Norwegen, Dänemark, Deutschland, Schweiz, Italien) auf verschiedene Erdbeersorten (Clery, Elsanta und Korona) in Bezug auf Ernteertrag, Früchtequalität, Entwicklungsdauer der Früchte von der Blüte bis zur Ernte und Länge der Ernteperiode. Ziel war es, die klimatischen Wachstumsbedingungen vor der Ernte an diesen fünf Standorten zu charakterisieren und die Reaktion der drei Erdbeersorten auf diese unterschiedlichen Standorte und Wachstumsbedingungen zu beurteilen [Krüger et al. 2012].

Der Ernteertrag wird durch saisonale und Wachstumsbedingungen stärker beeinflusst als durch den Breitengrad. Die Blütezeit wird von südlichen bis zu nördlichen Standorten je nach Erdbeersorte bis zu 58 Tage verzögert. Die Entwicklungsdauer der Früchte steht in einem negativen Zusammenhang zur täglichen Durchschnittstemperatur und nimmt mit zunehmendem Breitengrad zu; sie dauert im Norden berechnete 5.2 Tage länger als im Süden. Die GDD-Werte (growing degree days) sind unabhängig vom Breitengrad. Die Fruchtqualitätsstandards (Trockenmasse, lösliche Feststoffe, titrierbare Säure) wer-

den durch den Breitengrad beeinflusst; nördliche Standorte haben normalerweise die höchsten Werte. Früchte an südlichen Standorten haben einen stärkeren Rotton als Früchte an nördlichen Standorten [Krüger et al. 2012].

5.2.5 Raps

Rapsöl besteht hauptsächlich aus Öl-, Linol- und α -Linolensäure. Linolsäure entsteht aus der Desaturierung von Ölsäure und α -Linolensäure aus der Desaturierung von Linolsäure [Baux et al. 2013].

Öl von konventionellen Rapsorten mit einem Gehalt von 7-10% α -Linolensäure (C18:3) kann bei starker Erhitzung oxidieren, was zu einem unangenehmen Geruch führt. Es wurden deshalb so genannte HOLL-Sorten (HOLL: high-oleic low-linolenic) gezüchtet mit einem tiefen Gehalt an α -Linolensäure (< 3.5%) und hohem Gehalt an Ölsäure (80% gegenüber 65% in konventionellen Sorten), deren Öle auch fürs Frittieren eingesetzt werden können. HOLL-Sorten bringen tiefere Ernteerträge ein als konventionelle Sorten und werden hauptsächlich für die Lebensmittelindustrie gezüchtet, weshalb eine stärkere Kontrolle der Qualität und insbesondere des Gehalts an α -Linolensäure nötig sind [Baux et al. 2011; Baux et al. 2013].

Bewirtschaftung von HOLL-Raps

Die Qualität von HOLL-Raps kann durch Pollen oder Durchwuchs konventioneller Rapsorten beeinträchtigt werden – nahe gelegene Felder konventioneller Rapsorten können beim HOLL-Raps deshalb Qualitätseinbußen zur Folge haben. Die Bewirtschaftungstechniken wie z.B. regionale Feldmuster, Fruchtwechsel (v.a. genügende Wartedauer zwischen Anbau von konventionellem Raps und Anbau von HOLL-Sorten), Unkrautkontrolle und Bodenbearbeitung könnten deshalb entscheidend sein [Baux et al. 2011].

Genstransfer ist ein räumlich-zeitlicher Prozess, der von vielen interagierenden und variablen Faktoren abhängt; ein Genstransfer kann deshalb nicht durch Feldversuche alleine untersucht werden, sondern muss mit Simulationen ergänzt werden. Baux et al. verbesserten zu diesem Zweck das bestehende GeneSys-Modell und benutzten es, um den Gehalt an α -Linolensäure von Rapserten (v.a. von HOLL-Rapserten) in verschiedenen Situationen (z.B. bei kurzer Fruchtfolge) vorauszusagen. Feldversuche zeigten, dass der Gehalt an α -Linolensäure durch zwei additive quantitative Gene kontrolliert wird. Wenn ein HOLL-Raps also unbeabsichtigt mit konventionellem Raps bestäubt wird, ist die resultierende Erhöhung des Gehalts an α -Linolensäure im HOLL-Raps weniger bedeutend, als wenn der Gehalt an α -Linolensäure von dominanten Allelen abhängig wäre. Da die Verbreitung von Pollen aus Nachbarfeldern somit heterozygote Samen ergibt, sollte dieser Genstransfer einen geringeren Einfluss auf die Erntequalität haben als ein entsprechender Anteil an konventionellem Durchwuchs innerhalb eines HOLL-Rapsfeldes; dies wurde durch die Feldversuche tatsächlich bestätigt. Die Feldversuche zeigten zudem, dass ein Feld mit konventionellem Raps bei einer Distanz von über 20 Metern nur eine geringfügige Erhöhung des Gehalts an α -Linolensäure im benachbarten HOLL-Rapsfeld verursachte [Baux et al. 2011].

Die Daten der Feldversuche wurden auch benutzt, um die Prognosequalität des GeneSys-Modells zu beurteilen: Die Gehalte an α -Linolensäure wurden durch das Modell leicht unterschätzt, mit einer durchschnittlichen Fehlerquote von 0.35%. Die Prognosequalität des GeneSys-Modells kann deshalb als akzeptabel bezeichnet werden. Sowohl die Feldversuche als auch das Modell zeigten, dass die

Anwesenheit von Durchwuchs konventioneller Rapsorten den stärksten Effekt auf das HOLL-Rapsfeld hat (verglichen zu Pollenflug benachbarter Felder). Bei einer kurzen Fruchtfolge erhöht eine bedeutende Menge an Durchwuchs den Gehalt an α -Linolensäure signifikant – dies kann durch angemessene Bodenbearbeitung (z.B. Pflügen) und Unkrautkontrolle in den anderen Feldfrüchten der Fruchtfolge kontrolliert werden. In der Schweiz wird Raps normalerweise in Fruchtfolge-Intervallen von mindestens 4 Jahren angebaut, was im Normalfall ausreicht, um eine bedeutende Verunreinigung durch Durchwuchs zu verhindern, wenn dieser angemessen gehandhabt wird [Baux et al. 2011].

Einfluss der Temperatur auf den Gehalt an α -Linolensäure von Rapsöl

Einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf den Gehalt an α -Linolensäure in Ölsaaten ist die Temperatur. Baux et al. bestätigten dies, indem sie die Temperatursensitivität von konventionellen und von HOLL-Rapsorten über 10 Jahre hinweg untersuchten. Bei beiden wurde eine hohe Variabilität im Gehalt an α -Linolensäure in Abhängigkeit von Standort und Jahr festgestellt (6.3-11.4% bei konventionellen und 2.1-4.6% bei HOLL-Rapsorten). Die tiefsten Temperaturen (9.2-17.5°C) korrelierten sowohl bei konventionellen als auch bei HOLL-Sorten negativ mit dem Gehalt an α -Linolensäure in den Samen zum Erntezeitpunkt [Baux et al. 2013].

HOLL-Rapsorten reagierten weniger stark auf die Temperatur als konventionelle Rapsorten. Innerhalb der einzelnen Sorten wurden kleine, aber signifikante Unterschiede festgestellt. Bei den konventionellen Sorten betrafen die Unterschiede nur die Desaturierung von Ölsäure. Bei HOLL-Sorten wurde die Desaturierung von Linolsäure durch Mutationen reduziert (nicht aber durch die Temperatur), woraus tiefere Gehalte an α -Linolensäure und eine tiefere Temperatursensitivität resultierten. Dies erklärt, warum der Gehalt an α -Linolensäure in HOLL-Sorten kaum schwankt – im Gegensatz zu konventionellen Sorten [Baux et al. 2013].

Für jede Rapsorte wurde ein einfaches Modell auf Basis von Saatzeitpunkt, Blütezeitpunkt und meteorologischen Daten erstellt, um den Gehalt an α -Linolensäure zum Erntezeitpunkt vorauszusagen. Die Studienergebnisse zeigen, dass der Gehalt an α -Linolensäure vorausgesagt werden kann, obwohl der Blütezeitpunkt nur mit einer Genauigkeit von 3 Tagen abgeschätzt wurde. Trotz unterschiedlichen Temperatursensitivitäten der verschiedenen Rapsorten kann bei konventionellen Rapsorten innerhalb der beobachteten Temperaturschwankungen eine zufriedenstellende Prognose gemacht werden (bei HOLL-Sorten war die Prognosequalität allerdings enttäuschend). Das Modell könnte somit eingesetzt werden, um das Potential eines neuen Produktionsstandortes zu untersuchen oder um die Qualitätsschwankungen über eine gewisse Zeit oder bei verschiedenen Standorten zu beurteilen. Das Modell könnte durch zusätzliche Informationen zu individuellen Rapsorten und durch die Beurteilung des Einflusses anderer Umweltfaktoren (z.B. Lichteinfluss) verbessert werden [Baux et al. 2013].

5.2.6 Wein

Schweflige Säure (SO₂) ist die einzige Substanz, die Wein qualitativ nachhaltig stabilisiert. Sie schützt vor Oxidation und verleiht mikrobiologische Stabilität. Neben Wein wird schweflige Säure auch weiteren Lebensmitteln zur Haltbarmachung zugesetzt: z.B. Dörrfrüchten, Mayonnaise, Fertigsalatsaucen oder Ketchup [Gafner 2011].

Schweizer Wein enthält im Durchschnitt 35 mg freie schweflige Säure pro Liter und meistens unter 100 mg Gesamt-SO₂ pro Liter. Man forscht seit Jahren daran, die Menge an schwefliger Säure möglichst tief zu halten, dabei aber gleichzeitig sicher zu stellen, dass ihre Wirkung auch noch bei der Alterung der Weine gewährleistet bleibt [Gafner 2011].

Traubengut enthält bereits eine reiche Population an Mikroorganismen (v.a. Schimmelpilze, Hefen, Bakterien), die zum Teil Substanzen bilden können, welche die schweflige Säure binden (z.B. Sprosshefe *Hanseniaspora uvarum*). Da aber nur die freie schweflige Säure antioxidativ wirkt, gelten Weine mit SO₂-bindenden Substanzen als „Schwefelfresser“. Um „Schwefelfresser“ zu vermeiden, kann der Wein pasteurisiert werden oder man kann die unerwünschte Hefeart durch Zugabe von 50 mg SO₂ pro Liter reduzieren, ohne dass die erwünschten *Saccharomyces cerevisiae*-Stämme Schaden nehmen. Schliesslich bauen auch Milchsäurebakterien beim biologischen Säureabbau Substanzen ab, die schweflige Säure binden [Gafner 2011].

6 Nutrigenomik, Nutrigenetik, Nutriepigenetik

Nutrigenomik

Als Nutrigenomik bzw. „nutrigenomics“ (abgeleitet von „nutritional genomics“) bezeichnet man ein junges Forschungsgebiet, das verschiedenste wissenschaftliche Disziplinen miteinander vereint (Molekularbiologie, Genetik, Bioinformatik, Medizin, Ernährungsforschung) [Walther et al. 2012; Vergères *submitted*]. Nutrigenomik basiert auf der Erkenntnis, dass Lebensmittel und Nährstoffe das menschliche Genom beeinflussen. Die Nutrigenomik ermöglicht erstmals die Untersuchung der Interaktion zwischen Genotyp und Ernährung im Hinblick auf den Phänotyp [Sagaya 2011; Walther et al. 2012]. Sie fokussiert v.a. auf die Regulation von zellulären Stoffwechselwegen durch spezifische Nährstoffe bzw. Lebensmittel unter Berücksichtigung des Ernährungs- und Gesundheitszustandes des Individuums. Es geht einerseits darum, einem Menschen entsprechend seiner genetischen Veranlagung eine optimale, auf ihn abgestimmte Ernährung anzubieten. Andererseits soll Nutrigenomik v.a. helfen zu verstehen, wie eine definierte Ernährungsform das Auftreten bzw. Entstehen bestimmter ernährungsbedingter Krankheiten auf Gen- und Molekularebene beeinflussen kann. Ein weiterer Fokus liegt auf der Gesundheit des Menschen und dem Einfluss der Nahrung auf den Erhalt dieses Zustandes. Schliesslich sollen mit Hilfe der Nutrigenomik neue molekulare Biomarker sowie bioaktive Lebensmittelinhaltsstoffe identifiziert und deren Wirkungsgrad validiert werden [Walther et al. 2012; Vergères *submitted*].

Der ganzheitliche Blick der Nutrigenomik könnte dazu beitragen, Lebensmittel in Zukunft gezielt als Mittel der Prävention oder sogar der Therapie zu nutzen und eine personalisierte Ernährung zu ermöglichen, bei der die aufgenommene Nährstoffkombination genau dem aktuellen Genomstatus des Einzelnen entsprechen würde. Trotz dieses enormen Potentials stösst auch die Nutrigenomik in gewissen Bereichen an ihre Grenzen – einerseits wegen der Komplexität gewisser Interaktionen zwischen Genetik, Ernährung und Gesundheit, andererseits fehlen genügend Studien und somit etablierte Standards und validierte Methoden. Schliesslich dürfen auch die sozialen, ethischen und juristischen Risiken nicht unterschätzt werden [Walther et al. 2012].

Grundlage zum Verständnis der Nutrigenomik

Wenn Lebensmittelbestandteile im menschlichen Körper auf Zellen treffen, spielen sich auf molekularer Ebene verschiedene Prozesse ab, die für die Nutrigenomik zentral sind [Walther et al. 2012]:

- Transkription (erster Teilschritt der Genexpression): Die menschliche DNA in jeder Zelle unseres Körpers dient als Vorlage für die Synthese der RNA. Je nachdem, wie ein Nährstoff wirkt, kommt es zu einer erhöhten oder abgeschwächten Herstellung spezifischer RNA-Moleküle, also einer Hoch- oder Herunterregulierung der Genexpression.
- Translation (zweiter Teilschritt der Genexpression): Bei der Translation werden spezifische Proteine gebildet.

Die Ernährungswissenschaft befasst sich mit einem breiten Spektrum an Nährstoffen aus Lebensmitteln, die ihrerseits ein breites Spektrum an zellulären Antworten tiefer Signalintensität induzieren. Nutrigenomik ist insofern charakterisiert durch die Interaktion eines komplexen Gemisches an bioaktiven Chemikalien mit verschiedensten zellulären Zielobjekten. Pharmakogenomik ist demge-

genüber charakterisiert durch die Interaktion einer einzelnen molekularen Einheit (des Medikaments) mit einem spezifischen zellulären Zielobjekt (dem Empfänger) [Vergères 2013; Vergères *submitted*].

Methoden der Nutrigenomik

Es gibt unterschiedliche Methoden der Nutrigenomik [Walther et al. 2012]:

- Genomik-Technologien (z.B. Genotypisierung)
- Transkriptomik-Technologien: Die Transkriptomik-Technologie kann nach der Aufnahme eines Lebensmittels eine Momentaufnahme der kurzlebigen RNA machen und so herausfinden, welche molekularbiologischen Prozesse in der Folge aktiviert oder gehemmt werden [Sagaya 2011; Sagaya et al. 2012; Sagaya et al. 2011]. Dazu werden so genannte Microarrays (= Genchips) oder seit Neustem moderne Sequenzierungstechnologien eingesetzt.
- Proteomik-Technologien: Die Proteomik-Technologie kann die Proteine identifizieren, deren Bildung nach der Aufnahme definierter Lebensmittel und Nährstoffe induziert wurde. Sie untersucht auch die Menge der hergestellten Proteine sowie ihre Verteilung und Interaktionen mit anderen biologischen Molekülen. Dazu werden die bidimensionale Polyacrylamid-Gelelektrophorese und spezielle Massenspektroskopie-Methoden eingesetzt.
- Metabolomik-Technologien: Die Metabolomik-Technologie untersucht den Einfluss der im Rahmen der Translation synthetisierten Proteine auf den Stoffwechsel. Dazu werden verschiedenste Verfahren eingesetzt, u.a. die Massenspektroskopie.

Nutrigenetik

Währenddem die Nutrigenomik auf die Interaktion zwischen Lebensmitteln und Nährstoffen mit dem menschlichen Organismus als Spezies fokussiert, befasst sich die Nutrigenetik damit, wie Veränderungen der genetischen Zusammensetzung des menschlichen Organismus (v.a. Polymorphismus) diese Interaktion modulieren [Vergères 2013; Vergères *submitted*]. Die Nutrigenetik beschäftigt sich somit mit dem Effekt genetischer Variationen auf die Interaktionen zwischen Ernährung und Krankheiten [Walther et al. 2012].

Viele Krankheiten haben eine genetische Komponente. Durch Genotypisierung und Sequenzierungstechnologien lassen sich die Gene identifizieren, die für die verschiedenen Krankheiten verantwortlich sind. So können Individuen mit erhöhtem Risiko für eine bestimmte Krankheit erkannt und entsprechend behandelt werden. Allerdings sind die meisten Krankheiten polygenen Ursprungs – sie beruhen auf der komplexen Wechselwirkung mehrerer verschiedener mutierter Gene/Allele sowie auf exogenen Faktoren (z.B. Ernährung) [Walther et al. 2012].

Nutriepigenetik

Der Begriff Epigenetik definiert alle vererbaren Veränderungen in der Genexpression, die nicht in der DNA-Sequenz selbst kodiert sind. Bei Zellteilungen verändert sich das Erbgut an und für sich nicht, sondern biochemische Modifikationen führen zu einer abgeänderten Genexpression [Walther et al. 2012].

Im Gegensatz zu genetischen Polymorphismen, die über viele Generationen hinweg bestehen bleiben und sich auf den ganzen Organismus auswirken, können epigenetische Veränderungen rückgängig gemacht werden und wirken sich innerhalb des Organismus unterschiedlich aus (organ-, gewebe- oder zellspezifisch). Die Ernährung kann die Expression des menschlichen Genoms somit über epigenetische Veränderungen über mehrere Generationen hinweg modulieren. Allerdings ist der Zusammenhang zwischen epigenetischen Veränderungen, der Ernährung und dem Phänotyp beim Menschen schwierig nachzuweisen – nicht zuletzt aus ethischen und logistischen Gründen [Vergères 2013; Vergères *submitted*].

Die Erkenntnisse der Epigenetik machen das Konzept der personalisierten Ernährung wesentlich komplexer als es noch vor einigen Jahren schien, weil unsere Umgebung unser Genom oder dessen Expression modifizieren kann. Der menschliche Phänotyp ist deshalb das Resultat dynamischer Interaktionen zwischen dem menschlichen Genom und der Umgebung. Mittels funktionellen Genomik-Technologien lassen sich heute biologisch relevante Veränderungen im Zusammenhang mit menschlicher Ernährung messen. Die Nutrigenomik ist aber noch nicht so weit fortgeschritten, dass die heutigen Erkenntnisse bereits in Ernährungsempfehlungen an den Konsumenten transferiert werden können [Vergères 2013; Vergères *submitted*].

6.1 Nutrigenomik und Milchprodukte

In einer Interventionsstudie untersuchte Sagaya mittels Blutzellentranskriptomik die Genom-weiten, postprandialen Effekte auf die Genexpression bei sechs gesunden Männern nach dem Verzehr einer Portion Milch oder Joghurt. Nach einer nächtlichen Fastenperiode verzehrten die Probanden 540 g Milch oder Joghurt. Die Blutproben wurden vor und nach (2, 4, 6 h) dem Verzehr genommen. Nach dem Verzehr von Milch oder Joghurt waren bei den Probanden metabolische und immunmodulatorische Antworten in ihren Blutzellen erkennbar – die Blutzellen reagierten somit auf Nahrungskomponenten aus der Milch und dem Joghurt. Im Fall der Milch wurden 575 Transkripte identifiziert; im Fall von Joghurt 625 Transkripte [Sagaya 2011; Sagaya et al. 2012; Sagaya et al. 2011].

Die Gene der metabolischen Gruppe zeigten im Vergleich zur Kontrolle zwischen 0 und 2 h einen vorübergehenden Abfall in der Expression, bevor sie zwischen 2 und 6 h in stärkerem Mass hinaufreguliert wurden. Diese Gruppe ist hauptsächlich aus Genen zusammengesetzt, welche in die Proteinsynthese und Mitochondrienfunktion involviert sind. Die erhöhte Genexpression in dieser Gruppe könnte die metabolische Antwort des Organismus auf die Makronährstoffe in den verzehrten Milchprodukten wieder spiegeln. Die Antwort der erhöhten Proteinsynthese könnte auch eine erhöhte Aktivität der peripheren Blutzellen reflektieren [Sagaya 2011; Sagaya et al. 2012; Sagaya et al. 2011].

Die Expression der immunmodulierenden Gruppe von Genen zeigte zuerst einen vorübergehenden Anstieg zwischen 0 und 2 h, bevor diese Gene zwischen 2 und 6 h merklich nach unten reguliert wurden. Diese Gruppe ist hauptsächlich aus Genen zusammengesetzt, welche in immunmodulatorische Prozesse (z.B. Inflammation) involviert sind. Die Expression von Genen, die in Entzündungsprozesse involviert sind, werden nach der Einnahme von Milch und Joghurt also offenbar herunterreguliert. Der Verzehr von Milchprodukten könnte somit

eine antiinflammatorische Antwort induzieren [Sagaya 2011; Sagaya et al. 2012; Sagaya et al. 2011].

Schliesslich zeigte ein Vergleich der Expressionsprofile von Milch- und Joghurtverzehr acht Stoffwechselwege in der Joghurtgruppe, welche sich signifikant von denen der Milchgruppe unterscheiden (stärkere Reaktion in der Joghurtgruppe). Die Resultate liefern ein ganzheitliches Bild über die regulatorischen Faktoren, die bei der postprandialen Antwort auf den Verzehr von Milchprodukten möglicherweise involviert sind, und untermauern die Theorie, dass Milchprodukte antioxidative bzw. entzündungshemmende Eigenschaften haben [Sagaya 2011; Sagaya et al. 2012; Sagaya et al. 2011].

In einer weiteren Studie untersuchte Sagaya die antimikrobiellen Effekte eines potentiell probiotischen Stamms Milchsäurebakterien *Lactobacillus gasseri* K7 (Rif^r) in Mäusen, welche teils mit einem gastrointestinalen, enterohämorrhagischen Pathogen (*Escherichia coli* O157:H7) infiziert worden waren (Untersuchung von fünf verschiedenen Mäusegruppen). In der mit *E. coli* O157:H7 infizierten Gruppe von Mäusen wurden keine klinischen Zeichen einer Infektion beobachtet. Mittels Blutzellentranskriptomik konnten die fünf Mäusegruppen aber klar voneinander unterschieden werden (unterschiedliche Genexpression). Blutzellentranskriptomik kann somit einerseits als diagnostisches Instrument eingesetzt werden, um frühe molekulare Ereignisse zu erfassen, die zu einer Entzündung führen, und stellt andererseits eine sensible analytische Methode dar, um die Interaktionen zwischen Wirt, Probiotika und Pathogenen zu überwachen und um potentielle probiotische Funktionen von Milchsäurebakterienstämmen *in vivo* zu evaluieren [Sagaya 2011; Sagaya et al. *submitted*].

6.2 Projekt NutriChip

Das Projekt NutriChip ist eine miniaturisierte Plattform in einem μ -Chip zur Untersuchung von gesundheitsrelevanten Eigenschaften verdauter Lebensmittel [Vergères et al. 2012; Schwander 2013; Ramadan et al. 2013]. Das Kernelement von NutriChip ist ein künstlicher menschlicher Miniatur-Magen-Darm-Trakt, mittels dessen Prozesse untersucht werden können, welche den Weg von Nährstoffen durch den Magen-Darm-Trakt charakterisieren – darunter auch die Antwort von Immunzellen auf entzündungsfördernde Reize (z.B. Lipopolysaccharide) [Ramadan et al. 2013]. Als Lebensmittelmodell wurden Milchprodukte gewählt, da ihr Konsum mit relativ tiefen Konzentrationen von Entzündungsmarkern im Blut in Verbindung gebracht wird und die Möglichkeit von technologischer Transformation besteht [Vergères et al. 2012; Schwander 2013].

Das Projekt NutriChip will Milchprodukte (v.a. fermentierte Milchprodukte) auf ihre Fähigkeit hin untersuchen, Entzündungen zu reduzieren, und setzt dabei den Fokus auf den postprandialen Stress menschlicher Probanden auf ausgewählte Lebensmittel. Dieser trägt möglicherweise zur Entwicklung chronischer Entzündungskrankheiten bei, wenn er über eine längere Zeitperiode hinweg wiederholt auftritt [Vergères et al. 2012; Ramadan et al. 2013; Vergères *submitted*]. Damit stellt NutriChip eine neue Möglichkeit dar, den Einfluss von Lebensmittelqualität auf die Gesundheit zu untersuchen, indem die Expression relevanter Immunzell-Biomarker analysiert wird. Das Ergebnis von NutriChip wird mittels einer Humanstudie validiert werden [Ramadan et al. 2013].

6.2.1 Charakterisierung von Milchprodukten

Die Milchverarbeitung könnte eine veränderte Zusammensetzung der Milchprodukte zur Folge haben und die Verdaulichkeit und Nährstoffverfügbarkeit beeinflussen. Technologische Prozesse wie die Fermentierung, Hitzebehandlung oder Homogenisierung erzeugen deshalb eine Vielzahl von Milchprodukten mit unterschiedlichen Auswirkungen auf die physiologische Funktionalität des menschlichen Körpers. Zur Herstellung neuer Milchprodukte mit verbesserten gesundheitlichen Vorteilen ist es wichtig zu wissen, welche potentiell bioaktiven Peptide dem Verdauungsprozess standhalten oder welche neuen Peptide während der Verdauung aus einem Produkt freigesetzt werden [Kopf-Bolanz et al. *in press*].

Im Rahmen des Projektes NutriChip wurden in einem ersten Schritt unterschiedlich erhitze und fermentierte Milchprodukte auf Basis ihrer Proteine (rund 200 verschiedene Milch- und 250 Bakterienproteine) mit Hilfe von Massenspektrometrie charakterisiert. Zur besseren Charakterisierung der fermentierten Milchprodukte wurde eine Methode zur Anreicherung lebender Bakterienzellen entwickelt. Mit dieser Methode kann das bakterielle Proteom unter verschiedenen Fermentationsbedingungen untersucht werden (z.B. Adaptation der Joghurtbakterien *L. bulgaricus* und *S. thermophilus* während der Milchfermentation, Adaptation des bakteriellen Proteoms während der Käseherstellung) [Schwander 2013].

6.2.2 *In vitro* Verdauungsmodell

Beim Verdauungsprozess werden Nährstoffe und bioaktive Komponenten aus Lebensmitteln zu physiologisch aktiven Komponenten umgewandelt. Eine umfassende Analyse der Lebensmittelverdauung ist essentiell, um die physiologischen Effekte des Lebensmittelverzehr zu verstehen. *In vitro* Verdauungssysteme sind erwiesenermassen wertvolle Instrumente, um die komplexen Transformationsprozesse zu verstehen und zu beobachten, die während der Verdauung ablaufen [Kopf-Bolanz et al. 2012].

Um Lebensmittel auf ihre gesundheitsfördernden Eigenschaften zu testen, wurde im Rahmen des Projektes NutriChip ein *in vitro* Verdauungsmodell etabliert und mit pasteurisierter Vollmilch validiert mit dem Ziel, möglichst physiologisch zu sein und den Verdauungsprozess mit kleinen Volumina durchführen zu können. Das Modell wurde dann genutzt, um verschiedene Milchprodukte zu verdauen. Der Einfluss des Fettgehaltes, der Hitzebehandlung und der Fermentation auf die Verdaubarkeit von Proteinen wurde anhand von α_{s1} -Kasein und β -Laktoglobulin untersucht. Im Speziellen wurde auch die Bildung bioaktiver Peptide während der *in vitro* Verdauung untersucht. Es konnten über 50 Peptide mit unterschiedlichen Bioaktivitäten (u.a. blutdrucksenkende oder immunstimulierende) identifiziert werden. In einem Darm-Transportmodell wurde schliesslich die Absorption der Peptide verfolgt [Vergères et al. 2012; Schwander 2013].

Kopf-Bolanz et al. stellen das *in vitro* Verdauungsmodell vor, welches in Bezug auf seine Fähigkeit validiert wurde, Makronährstoffe aus Milchprodukten abzubauen. Die Validierung erfolgte, indem der Abbau der Makronährstoffe analysiert wurde und die Resultate mit physiologischen Daten aus Humanstudien verglichen wurden (die Werte stimmten für alle Makronährstoffe überein). Die Wahl fiel auf homogenisierte pasteurisierte Vollmilch als Beispiel einer komplexen Lebensmittelmatrix. Das Modell simuliert die menschliche Verdauung mit einem dreistufigen *in vitro* Prozess. Die Entwicklung und der Abbauprozess der Makronährstoffe wurden über den gesamten Verdauungsprozess hinweg (bis zur Stufe der Enterozyten im

Dünndarm) mittels SDS-PAGE, Umkehrphasen-HPLC, Grössenausschluss-HPLC und Flüssigchromatographie-MS verfolgt. Die Stärke des Modells liegt darin, dass es den Abbau der Makronährstoffe auf allen Stufen des *in vitro* Verdauungsprozesses detailliert charakterisiert. Das Modell kann in Kombination mit menschlichen Darmzellkultursystemen verwendet werden, um die letzte Stufe des Verdauungsprozesses und die Nährstoffabsorption zu untersuchen, die *ex vivo* Bioverfügbarkeit zu messen und die bioaktiven Eigenschaften von Lebensmittelbestandteilen zu beurteilen [Kopf-Bolanz et al. 2012].

Nach abgeschlossener Verdauung waren 54% der Milchproteine zu freien Aminosäuren, Dipeptiden und Tripeptiden abgebaut worden. Die durchschnittliche Peptidgrösse nach der *in vitro* Verdauung von pasteurisierter Milch war 5-6 Aminosäuren. Während der *in vitro* Verdauung von Milch wurden interessanterweise hauptsächlich essentielle Aminosäuren (93.6%) freigesetzt, eine signifikant abweichende relative Verteilung im Vergleich zur Gesamtkonzentration an essentiellen Aminosäuren in Kuhmilch (44.5%). Alle Triglyzeride wurden zu freien Fettsäuren und Monoacylglyceriden abgebaut [Kopf-Bolanz et al. 2012].

Frühere Studien untersuchten die *in vitro* Verdauung einzelner isolierter Proteine oder Peptide, ohne den Einfluss anderer Milchproduktbestandteile zu beachten. Im Rahmen des Projektes NutriChip untersuchten Kopf-Bolanz et al. den unterschiedlichen Proteinabbau und die Peptidbildung von β -Laktoglobulin und α_{s1} -Kasein nun in einer komplexen Lebensmittelmatrix (auf dem Schweizer Markt verfügbare fermentierte und unfermentierte Milchprodukte: Milch, Joghurt, Kefir, Quark, Gruyère Käse) vor, während und nach einem *in vitro* Verdauungsprozess. Milch und andere unfermentierte Milchprodukte enthalten vorwiegend Proteine in ihrer vollen Kettenlänge in ihrem ursprünglichen oder in einem denaturierten Zustand (abhängig von der erfahrenen Hitzebehandlung) und nur wenige Peptide oder freie Aminosäuren. Umgekehrt enthalten fermentierte Produkte wie Joghurt oder lange gereifter Käse bioaktive Peptide und freie Aminosäuren, welche auf die Aktivität von bakteriellen oder von Labenzymen zurückgehen [Kopf-Bolanz et al. *in press*].

β -Laktoglobulin und α_{s1} -Kasein gehören zu den fünf häufigsten Milchproteinen. Das Kasein α_{s1} -Kasein ist sehr empfindlich gegenüber allen Proteasen (inkl. Exopeptidase); das Molkenprotein β -Laktoglobulin ist umgekehrt widerstandsfähig gegenüber der Hydrolyse durch Pepsin während der gastrischen Phase. Im *in vitro* Verdauungsmodell wurden die Kaseine effektiv alle innerhalb von 30 Minuten vom Magensaft zu kleineren Peptiden abgebaut (in allen untersuchten Milchprodukten); der Abbau von β -Laktoglobulin fand hingegen erst im Zwölffingerdarm statt. Es zeigte sich aber, dass β -Laktoglobulin hitzeempfindlich ist – im Gegensatz zu α_{s1} -Kasein [Kopf-Bolanz et al. *in press*].

Nach der gastrischen Phase konnte in den unfermentierten Milchprodukten ein verkürztes Fragment von β -Laktoglobulin identifiziert werden, was darauf hinweist, dass der Fermentationsprozess die Konformation von Proteinen beeinflusst. Generell beeinflusst die Anwesenheit von Bakterien (in fermentierten Produkten) die Proteinzugänglichkeit für Verdauungsenzyme [Kopf-Bolanz et al. *in press*].

Schliesslich konnten potentiell bioaktive Peptide identifiziert werden, welche viel versprechend sind für die Entwicklung neuer gesundheitsförderlicher Produkte: u.a. Peptide,

welche die Dipeptidylpeptidase 4 (DPP-4) hemmen. DPP-4 ist verantwortlich für den Abbau von Glucagon-like Peptide 1 (GLP1), welches wiederum die Sättigung regelt. Lange gereifter Käse war die beste Quelle für DPP-4 hemmende Peptide [Kopf-Bolanz et al. *in press*].

6.2.3 Biomarker

Ein Teilgebiet der Ernährungsforschung befasst sich mit der Identifizierung von Biomarkern, welche den Einfluss von Lebensmitteln auf metabolische Prozesse widerspiegeln. Neue Biomarker müssen identifiziert werden, welche bereits bei gesunden Menschen durch die Ernährung beeinflusst werden und bezeichnend bzw. gar voraussagend sind in Bezug auf den potentiellen Einfluss spezifischer Lebensmittel auf die Entwicklung metabolischer Krankheiten (z.B. Adipositas) [Gille et al. *submitted*].

Dosis-Abhängigkeit einer fettreichen Mahlzeit in Bezug auf den postprandialen Stoffwechsel und Entzündungsparameter

Menschen mit metabolischen Störungen haben charakteristischerweise chronisch erhöhte Entzündungsparameter: z.B. Interleukin-6 (IL-6) oder hochsensitives C-reaktives Protein (hs-CRP). Zudem löst eine hohe Energieaufnahme sowohl bei gesunden Menschen als auch bei Menschen mit metabolischen Störungen postprandial eine Entzündungsreaktion aus; die kalorischen Dosen, die nötig sind, um Entzündungsreaktionen auszulösen, sind aber unbekannt [Schwander et al. *submitted*].

Schwander et al. führten eine randomisierte Crossover-Studie durch mit 19 normalgewichtigen und 17 adipösen Männern im Alter von 25-55 Jahren, welche eine fettreiche Mahlzeit (61 Energie-% aus Fett, 18 Energie-% aus Proteinen, 21 Energie-% aus Kohlenhydraten) mit je drei verschiedenen Energiegehalten (500 kcal, 1000 kcal, 1500 kcal) konsumierten, wobei zwischen den drei Mahlzeiten jeweils mindestens eine Woche lag. Die Mahlzeiten bestanden aus Brot, Palmfett, Salami, Eiern und Wasser. Ziel war die Bestimmung der Kalorienmenge einer fettreichen Mahlzeit, welche bei Normalgewichtigen und Adipösen eine postprandiale Stoffwechsel- und Entzündungsreaktion auslöst. Vor und nach der Einnahme der Mahlzeit (nach 1, 2, 4, 6 h) wurden metabolische (Triglyceride, Lipoproteine, Glukose, Insulin), hormonelle (Insulin, GLP-1) und entzündungsspezifische Parameter (hs-CRP, IL-6, Endotoxin) im Blut gemessen [Vergères et al. 2012; Schwander 2013; Schwander et al. *submitted*].

Die gemessenen Basiswerte der normalgewichtigen Probanden unterschieden sich meist von denen der adipösen Probanden. Die adipösen Probanden wiesen v.a. erhöhte Werte der beiden Entzündungsparameter hs-CRP und IL-6 auf. Zudem konnte für alle gemessenen Parameter und in beiden Probandengruppen ein postprandialer Effekt nachgewiesen werden. Die Dosis-Antwort auf Glukose und Insulin war bei den adipösen Probanden stärker ausgeprägt, was auf deren Insulinresistenz hinweist. Die signifikanten Korrelationen zwischen Basiswerten (Parameter in Nüchternzustand) und den postprandialen Antworten widerspiegeln den direkten Einfluss der Mahlzeit auf Biomarker, die mit der menschlichen Gesundheit in Zusammenhang stehen. Die signifikanten Korrelationen zwischen den postprandialen Werten der metabolischen, entzündungsspezifischen und hormonellen Parameter zeigen, dass bereits postprandial Interaktionen stattfinden. Schwander et al. kommen zum Schluss, dass die postprandiale Antwort auf unterschiedliche kalorische Dosen es ermöglicht, den Einfluss von Nahrung auf den menschlichen Organismus in

Abhängigkeit seines metabolischen Status (z.B. normalgewichtig vs. adipös) quantitativ und qualitativ zu untersuchen [Schwander et al. *submitted*]. Mit dieser Arbeit wurde die Basis für weitere Studien geschaffen, um gesundheitsfördernde Eigenschaften bestimmter Lebensmittel zu untersuchen, insbesondere im Hinblick auf ihr Potential, die postprandiale Entzündungsreaktion abzuschwächen [Vergères et al. 2012; Schwander 2013].

Identifizierung von Biomarkern zur Unterscheidung von normalgewichtigen und adipösen Probanden

Gille et al. führten eine Interventionsstudie durch mit 7 normalgewichtigen und 7 adipösen Männern, welche eine fettreiche Mahlzeit (61 Energie-% aus Fett, 18 Energie-% aus Proteinen, 21 Energie-% aus Kohlenhydraten) mit drei verschiedenen Energiegehalten (500 kcal, 1000 kcal, 1500 kcal) konsumierten. Die Mahlzeiten bestanden aus Brot, Palmfett, Salami, Eiern und Wasser. Das Blutzellen-Transkriptom wurde vor und nach Einnahme der Mahlzeit (nach 2, 4, 6 h) mittels Microarray-Technologie gemessen. Ziel der Studie war die Identifizierung von Biomarkern, welche normalgewichtige von adipösen Probanden unterscheiden und welche auf Nahrungsaufnahme reagieren [Gille et al. *submitted*].

Bei 45 Probensets war die Genexpression der normalgewichtigen und der adipösen Probanden im Nüchternzustand unterschiedlich: Bei 19 Probensets kam es bei adipösen Probanden zu einer signifikanten Hochregulierung der Genexpression im Vergleich zu normalgewichtigen Probanden; bei 26 Probensets kam es zu einer signifikanten Herunterregulierung. Eine weitergehende Analyse dieser 45 Probensets ergab, dass die adipösen Probanden viel weniger konsistent und stabil auf die fettreiche Mahlzeit reagierten als normalgewichtige Probanden. Der Organismus der adipösen Probanden scheint seinen Zellschutzmechanismus verloren zu haben, der dazu führt, dass ihr Organismus auf eine hochkalorisch-fettreiche Mahlzeit mit einer starken metabolischen Überreaktion reagiert. Adipöse Probanden scheinen im Vergleich zu normalgewichtigen Probanden ihre Genexpression 2 Stunden nach Einnahme einer Mahlzeit zudem stärker signifikant zu ändern, ohne 6 Stunden nach der Mahlzeit wieder auf die Basiswerte zurückzukehren – was auf eine geringere metabolische Flexibilität hinweist. Diese 45 unterschiedlich exprimierten Probensets sind deshalb viel versprechende ernährungsphysiologische Biomarker, welche für die Charakterisierung der Interaktion von Lebensmitteln und menschlichem Organismus verwendet werden können [Gille et al. *submitted*].

7 Lebensmittelsicherheit und -qualität

7.1 Qualität landwirtschaftlicher Produkte

Die Qualität landwirtschaftlicher Produkte umfasst die Prozess- und die Produktqualität. Die Prozessqualität ergibt sich aus dem Herstellungsprozess (Umwelt, Herkunft, soziale Aspekte, Tierwohl) und ist in der Regel am Produkt selbst nicht überprüfbar. Sie wird mittels Labels kommuniziert (z.B. Bio-Labels oder Labels regionaler Produkte). Die Produktqualität umfasst einerseits die Sensorik (Geschmack, Aroma, Aussehen, Textur) und andererseits Sicherheits- und Gesundheitsaspekte (z.B. Rückstände von Medikamenten und Pestiziden, erwünschte Inhaltsstoffe) sowie die Verarbeitungsqualität (z.B. Häufigkeit von Sortierfehlern); sie ist deshalb für den Konsumenten zumindest teils wahrnehmbar. Boesch et al. zeigen in ihrer Arbeit 32 Beispiele für die Differenzierung landwirtschaftlicher Produkte im Bereich Produktqualität auf, d.h. für Qualitätsmerkmale, die einerseits für die Konsumenten von Interesse sind und die andererseits innerhalb der ganzen Wertschöpfungskette veredelt werden [Boesch et al. 2013].

Die Bemühungen, Differenzierungen bei der Produktqualität zu realisieren, scheinen sich noch in einer frühen Phase zu befinden und bislang nur kleine Bereiche der Landwirtschaft erreicht zu haben. Bisher handelt es sich mehrheitlich um Nischenprodukte, Produkte mit geringen Volumina oder geographisch beschränktem Absatzgebiet. Eine Erschliessung von weiteren Marktanteilen und letztlich auch eine Aufnahme durch den Detailhandel sind in den meisten Fällen denkbar, was für die ganze Wertschöpfungskette eine Chance darstellt, Mehrwert zu generieren [Boesch et al. 2013].

7.2 Qualität von Milch und Milchprodukten

Milchqualität

Die Milchqualität ist kaum irgendwo auf der Welt so gut wie in der Schweiz. Tierhaltung, Tiergesundheit, Fütterung und Melken spielen eine wichtige Rolle. Zur Definition der Milchqualität werden verschiedene Kriterien beigezogen; zu den wichtigsten zählen die amtlichen Kriterien Keimzahl (Marker für Hygiene), Zellzahl (Marker für Eutergesundheit) und Abwesenheit von Hemmstoffrückständen. Heutzutage werden zunehmend auch die Milchinhaltstoffe in die Qualitätsbeurteilung einbezogen; als positiv gelten z.B. hohe Gehalte an mehrfach ungesättigten Fettsäuren und an konjugierten Linolsäuren (CLA). Durch die Weiterentwicklung der Methoden zur Überwachung und Lenkung der Rohmilchqualität leistet die Forschungsanstalt Agroscope einen wichtigen Beitrag zur Vermeidung von Qualitätsproblemen [Schmid 2012A].

Bei einem Vergleich von zwei Milchproduktionssystemen (weidebetontes System vs. Stallfütterung mit Gras- und Maissilagen) über drei Jahre hinweg zeigte sich der Einfluss von Tierhaltung und Fütterung auf die Milchqualität. Die Milch der Stallherde wies im Vergleich zur Milch der Weideherde höhere Zellzahlen auf. Hinsichtlich der Keimzahl ergaben sich für beide Milchproduktionssysteme sehr ähnliche Resultate [Schmid 2012A].

Qualität von Ziegen- und Schafmilch

Die hygienische Qualität von Ziegen- und Schafmilchkäse (gemessen an Zell- oder Keimzahl) schwankt stark. Die Unterschiede sind zum einen saisonal, aber auch betriebs-, fütterungs-, haltungs- und rassebedingt und zum anderen vom Einzeltier abhängig [Gille 2011A; Schaeren et al. 2011; Schmid 2012A]. Die mikrobiologische Qualität der abgelieferten Milch in der Schweiz ist im Allgemeinen aber recht gut. Problematisch können v.a. die in fast allen Schafmilchproben (Herdenmilchproben) nachzuweisenden Buttersäurebakteriensporen – die zu einer Buttersäuregärung in lange gelagertem Käse und schlimmstenfalls zum Totalverlust der betroffenen Käse führen können – und in Einzelfällen die massiv zu hohen Gehalte an koagulasepositiven Staphylokokken in Ziegen- aber auch Schafmilch sein. In der Schweiz sind ca. 25-30% der Euterhälfen von Milchschaafen und Milchziegen von einer Euterinfektion betroffen [Schaeren et al. 2011].

Zur Verbesserung der hygienischen Qualität ist eine sorgfältige Betriebs- und Melkhygiene (u.a. Reinigung der Zitzen vor dem Melken, Vermeiden von Staubbildung während Melken) wichtig und muss die Milch nach dem Melken sofort gekühlt und die Kühlkette konsequent eingehalten werden [Schaeren et al. 2011].

Basierend auf bestehenden Untersuchungen zur Ziegen- und Schafmilchproduktion in der Schweiz und Daten aus der Qualitätskontrolle wurden Anforderungen bzw. Richtwerte für die Beurteilung der Qualität von Ziegen- und Schafmilch abgeleitet (u.a. Keimzahl, Zellzahl, Gefrierpunkt) und Empfehlungen für eine Bezahlung der Milch nach Qualitätsmerkmalen publiziert, damit die Milchqualität von Ziegen und Schafen besser überwacht werden kann. Bisher gab es keine allgemein anerkannten Normen und Grenzwerte für die Definition der Qualität von Ziegen- und Schafmilch; festgelegt waren lediglich die amtlichen Kriterien für die Keimzahl in Rohmilch und Rückstände an Antibiotika [Schaeren et al. 2011; Schmid 2012A; Maurer et al. 2013].

Die Zellzahl lässt bei Ziegen nur eine sehr beschränkte Aussage über die Eutergesundheit zu. In Eutergesundheits- und Milchqualitätskontrollprogrammen für Ziegen müssen daher auch bakteriologische Milchanalysen einbezogen werden. Die Zellzahlen in der Schafmilch sind hingegen ähnlich wie bei Kühen. Sowohl bei Ziegenmilch als auch bei Schafmilch stimmen die Schalmtestergebnisse sehr gut mit den gemessenen Zellzahlen überein. Das heisst aber auch, dass der Zusammenhang zwischen den Schalmtestergebnissen und einer Euterinfektion bei Ziegen nicht sehr eng ist. Ein starker Hinweis auf eine Euterentzündung ist v.a. dann gegeben, wenn sich die Schalmtestergebnisse beider Euterhälfen deutlich unterscheiden [Schaeren et al. 2011].

In einem dreijährigen Forschungsprojekt wurde eine Methode zum Nachweis von *Staphylococcus aureus* Genotyp B (GTB) entwickelt und unter Praxisbedingungen evaluiert. Sowohl mit den Proben aus der Milchleistungsprüfung als auch mit den Tankmilch-Proben war eine perfekte Unterscheidung von Kontroll- und GTB-positiven Betrieben möglich. Als Nachweisgrenze wurde ein sehr tiefer Wert von 10 Kolonie-bildenden Einheiten *S. aureus* GTB pro ml Milch ermittelt. In einer weiteren Arbeit wurde die Herdenprävalenz von *S. aureus* GTB in der Schweiz repräsentativ untersucht. Die Untersuchungen zeigten,

dass 10.3% der Schweizer Milchviehherden mit *S. aureus* GTB infiziert sind, was ungefähr 3'300 Herden entspricht. Bedenkt man, dass in einer GTB-positiven Herde durchschnittlich 49% der Kühe infiziert sind und eine Heilungsrate von $\leq 30\%$ mit Antibiotika erreicht werden kann, so sind mit grossen GTB-bedingten Kosten für die Schweizer Landwirtschaft zu rechnen. Diese Kosten sind v.a. darauf zurückzuführen, dass die Milch wegen erhöhtem Zellgehalt nicht abgeliefert werden kann und die therapieresistenten Kühe ausgemerzt und ersetzt werden müssen. Allein der Zukauf neuer Kühe verursacht Kosten, die in etwa dem Leistungsertrag entsprechen, den ein Bauer mit seiner Milchproduktion in einem Jahr erwirtschaften kann [Syring et al. 2012; Reamy et al. 2013; Graber et al. 2013].

Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) hat in Zusammenarbeit mit Agroscope das Vorkommen des Q-Fieber-Erregers *Coxiella burnetii* in Tankmilchproben untersucht. Obwohl der klinische Einfluss in der Human- wie in der Veterinärmedizin sehr klein ist, scheint das Vorkommen von *C. burnetii* DNA in Rohmilch gross zu sein. Q-Fieber verläuft in ungefähr der Hälfte der Fälle unproblematisch. Die restlichen Betroffenen entwickeln akute Symptome wie plötzlichen Fieberanstieg, Schüttelfrost, Glieder-, Gelenk- und Stirnkopfschmerzen. In etwa 1% der Fälle kann es zu chronischem Q-Fieber kommen, das sich meist als Endokarditis der Herzklappen äussert. *C. burnetii*-Infektionen während der Schwangerschaft können zu Früh-, Fehl- oder Totgeburten führen. Es wurden Tankmilchproben von Bauernhöfen aus nahezu der ganzen Schweiz mittels quantitativer PCR auf das Vorkommen von *C. burnetii* DNA untersucht. Die Quantifizierung ergab Werte im Bereich von < 10 bis < 105 Zellen/ml. Nach wie vor wird diskutiert, ob kontaminierte Lebensmittel Vektoren für die Ausbreitung von *C. burnetii* sein können. Untersuchungen zum Überleben in Rohmilchkäse gibt es keine, aber einzelne Daten lassen den Schluss zu, dass der Erreger im sauren Milieu nicht länger als 48 Stunden überlebt. Die Infektion des Menschen erfolgt vorwiegend aerogen, z.B. über das Einatmen von infiziertem Staub. Das Vorkommen des Erregers in Milch und Milchprodukten hat wahrscheinlich keinen relevanten Einfluss auf die sporadischen Fälle von Coxiellose in der Schweiz [Baumgartner et al. 2011].

Mikrobiologische Gesundheitsrisiken von Käse

Die häufigsten Pathogene in Käse sind *Staphylococcus aureus*, Verotoxin-produzierende *Escherichia coli* (VTEC), *Listeria monocytogenes* und *Salmonella* spp. Vor allem Rohmilch ist oft Träger verschiedener Krankheitskeime. Der Käseherstellungsprozess hilft aber, die Ausbreitung mikrobiologischer Pathogene zu kontrollieren. Bezogen auf die weltweite Käseproduktionsmenge kann Käse als mikrobiologisch sicheres Lebensmittel bezeichnet werden [Bachmann et al. 2011A; Walther & Mühlemann 2012; Walther et al. 2013A]. Risikobasierte Lebensmittelsicherheit umfasst die gesamte Nahrungskette, vom Rohmaterial über den Produktionsprozess hinweg zum fertigen Produkt bis hin zum Ende der Haltbarkeitsdauer [Bachmann et al. 2011A; Walther et al. 2013A].

In vielen Teilen der Welt haben das Melken von Milchvieh und die Käseherstellung eine lange Geschichte. Vor den 80er Jahren gab es mehrere gut dokumentierte Ausbrüche durch Kuhmilchkäse (mit hunderten bis tausenden von Betroffenen), verursacht durch verschiedene pathogene Mikroorganismen und in verschiedenen Ländern, v.a. durch *Salmonellen* spp. und *Listeria monocytogenes*. Mit dem wachsenden Bewusstsein betreffend der mikrobiologischen Lebensmittelsicherheit ab den 80er Jahre wurden Korrekturmassnahmen eingeführt und die Qualitätssicherung und

gut geführte Lebensmittelsicherheitsysteme implementiert. In den industrialisierten Ländern bewirkten diese Anpassungen bei Kuhmilchmilchkäse aus der industriellen Produktion eine Verlagerung hin zu Ausbrüchen mit einer geringeren Anzahl von Betroffenen. Trotzdem gibt es auch heute noch Ausbrüche, oft jedoch mit weniger Betroffenen und eher bei Frisch-, Weich- oder Halbhart- oder Schaf- und Ziegenkäse. Darüber hinaus stellt die kleine handwerkliche Käseherstellung auf Bauernhöfen, in Bergregionen oder zu Hause ein höheres Risiko betreffend mikrobiologischen Kontaminationen dar. Bei Ausbrüchen sind auch pasteurisierte Käse beteiligt. Die weltweit am häufigsten vorkommenden Erreger in Käse sind *Staphylococcus aureus* und seine Enterotoxine, *Salmonellen* spp., *L. monocytogenes*, Verotoxin produzierende *Escherichia coli* (VTEC) und *Campylobacter* spp. VTEC und *L. monocytogenes* sind die wichtigsten Vektoren von schweren Erkrankungen und Todesfällen. Rohmilchkäse haben in Europa eine lange Tradition (z.B. in Frankreich, Italien, Spanien und der Schweiz) und andere Ländern erlauben die Produktion (z.B. Neuseeland). Für die Produktion von ausreichend sicheren Rohmilchkäsen sind zahlreiche Voraussetzungen betreffend Lebensmittelhygiene, Lebensmittelsicherheitsystemen und Kontrollen nötig. Die Methode, die zur Bewertung der Lebensmittelsicherheit entwickelt wurde, ist die Risikoanalyse, mit der wissenschaftlichen Risikobewertung im Mittelpunkt. Das Problem mit mikrobiologischen Gefahren besteht darin, dass sie oft in der Umwelt vorhanden und in der Lage sind, sich in Lebensmittelproduktionsstätten, in Lebensmitteln und auf Lebensmitteloberflächen (z.B. Käserinde) zu vermehren. Dies bedeutet, dass sich leicht eine beträchtliche Zahl von pathogenen Mikroorganismen und ihren Toxinen auf oder in re- oder kreuzkontaminierten Lebensmitteln (z.B. Weichkäse) bis zum Zeitpunkt des Verbrauchs entwickeln kann. Lebensmittelproduzenten müssen die Sicherheit ihrer Produkte jedoch während der gesamten Haltbarkeitsdauer garantieren. Deshalb sind sie auf eine erhebliche Reduzierung der pathogenen Keime, kurz aller unerwünschten Stoffe in Lebensmitteln angewiesen, welche über zahlreiche Wege in die Futter- und Lebensmittelkette gelangen können: Luft, Boden und Wasser können Lebens- und Futtermittel auf dem Feld verunreinigen, Pflanzen können Toxine bilden, Pestizide werden zum Pflanzen- und Ernteschutz verwendet, Schimmelpilze wachsen auf Pflanzen und Ernte, landwirtschaftliche Tiere werden mit Arzneimitteln einschliesslich antimikrobieller Stoffe behandelt, Zusatzstoffe können bei der Produktion und Lagerung von Lebensmitteln eingesetzt werden und Verunreinigungen können in den Wärmebehandlungsprozessen während der Produktion von Lebensmitteln und bei der Zubereitung der Speisen entstehen [Mühlemann 2014].

Im Kot von 2-50% aller gesunden Ziegen, Schafe und Kühe befinden sich *Listeria monocytogenes*. *L. monocytogenes* ist eine der wichtigsten Todesursachen aufgrund von Lebensmittelinfektionen in Industrieländern. Kot von Milchkühen weist eine Prävalenz von 0.2-49% VTEC O157 bzw. 0.4-74% VTEC non-O157 auf. Ausbrüche von VTEC-Infektionen in Menschen sind oft auf den Konsum unpasteurisierter (Roh-)Milch zurückzuführen. VTEC überlebt in Milchprodukten, die aus Rohmilch hergestellt wurden – v.a. in Weich- und Halbhartkäse [Walther & Mühlemann 2012; Walther et al. 2013A].

STEC (oder VTEC) sind Shigatoxin-bildenden *E. coli*. Sie tragen die Shigatoxin-Gene *stx1* und/oder *stx2*. EHEC (die enterohämorrhagischen *E. coli*) sind eine STEC-Untergruppe. Einige von ihnen produzieren Intimin, ein Haftprotein, welches es den STEC erlaubt, an den Zellen der Darmwand anzudocken. Eine STEC-Infektion erfolgt immer oral und die infektiöse Dosis liegt bei < 100 Keime. Die

Vermehrung der Keime und die für die Erkrankung relevante Toxinbildung finden im Darm und bei den invasiven Formen in Epithelzellen diverser Organe statt [Farrokh et al. 2013].

In Arbeiten zur *in vitro* Charakterisierung von STEC-Isolaten aus Schweizer Rohmilchkäse wurden die Stämme hinsichtlich des Wachstumsverhaltens bis zum Bruch in Modellversuchen analysiert und geeignete Stämme für Modellkäse-Studien ausgewählt. Das Überleben dieser STEC-Stämme wurde untersucht. Es kam zu einem deutlichen Anstieg der Zellzahlen während der Käseproduktion, bedingt durch den physikalischen Effekt und das Wachstum der *E. coli*, wobei generische *E. coli* tendenziell besser überlebten als STEC. Es wurde kein deutlicher Zusammenhang zwischen Stressresistenz und Überleben festgestellt. Ein Nachweis der *E. coli*-Stämme in Halbhartkäse war auch nach 16 Wochen Reifung noch fast immer möglich, auch in Hartkäse vereinzelt nach Anreicherung. Ihre Bedeutung stieg bei Anwesenheit von thermotoleranten Stämmen. Eine erhöhte Thermotoleranz wurde bei mehreren generischen *E. coli* gefunden. Für sie ist eine Thermisierung bei 70°C und 25 Sekunden für die Abtötung um 5 log-Stufen notwendig. Präventiv werden für die Herstellung von Rohmilchkäse folgende Massnahmen empfohlen: Eine niedrige Belastung der Lieferantenmilch mit *E. coli* (periodische Kontrolle der Kessmilch, Sollwert < 10 kbE/g), eine Milchlagertemperatur von ≤ 12°C und die Thermisierung der Fabrikationsmilch. Eine rasche und vollständige Säuerung ist zu gewährleisten. *E. coli* sollte in Halbhartkäse als weiteres Prozesshygienekriterium im grünen Käse untersucht werden [Fasel et al. 2011; Peng et al. 2011; Peng et al. 2012; Peng et al. 2013A; Peng et al. 2013B; Peng et al. 2013C].

Käse mit langer Reifungszeit sind einem weiteren mikrobiellen Risiko ausgesetzt, nämlich Bakterien, die biogene Amine produzieren. Biogene Amine entstehen hauptsächlich infolge Decarboxylierung von Aminosäuren und beeinträchtigen in hohen Dosen die Käsequalität (Rissbildung usw.). Aus toxikologischer Sicht sind Tyramin und Histamin die wichtigsten biogenen Amine in Käse. In gesunden Menschen werden biogene Amine rasch abgebaut, doch kann der Abbauprozess ungenügend sein, wenn eine übermässige Menge konsumiert wurde oder auch bei überempfindlichen Menschen. Ausser für Fisch und Fischprodukte bestehen keine gesetzlichen Grenzwerte für biogene Amine in Lebensmitteln [Bachmann et al. 2011A; Walther et al. 2013A].

Bei der Herstellung von Käse aus roher oder thermisierter Milch wird zur Gewährleistung der Sicherheit die so genannte Hürdentechnologie angewandt, d.h. die mikrobiologische Sicherheit wird dank mehrerer Hürden erreicht: Die erste Hürde ist die Milchqualität und -lagerung, dann folgen je nach Sorte eine Thermisation oder die Anwendung hoher Brenntemperaturen, die Milchsäuregärung (pH-Senkung), die Salzbehandlung (Senkung der Wasseraktivität) und die Reifezeit. Ein Rohmilchkäse, der alle diese Hürden durchlaufen hat, hat eine vergleichbare Sicherheit wie ein Käse aus pasteurisierter Milch [Fröhlich-Wyder 2012].

In einer Studie zur Charakterisierung von *Staphylococcus aureus*-Isolaten aus Schweizer Rohmilchkäse, welche mit koagulase positiven Staphylokokken kontaminiert waren, wurde die Häufigkeit der verschiedenen Genotypen geschätzt. Von besonderem Interesse war das Vorkommen des mastitisassoziierten Genotyps B (GTB). Die Isolate wurden auch auf das Vorhandensein von Staphylokokken-Enterotoxin-Genen (SE-Gene) und anderen Virulenz-

faktoren untersucht. Insgesamt wurden 20 verschiedene Genotypen identifiziert. Der Enterotoxin-produzierende *S. aureus* GTB, bekannt für seine hohe Kontagiosität und zunehmende Pathogenität in Schweizer Mastitisherden, war der am häufigsten vorkommende Subtyp. Er wurde in 71.8% der Käseproben und in 62.0% der Isolate festgestellt. Eine Auswahl von 107 Isolaten verschiedener Genotypen wurde auf das Vorhandensein von SE-Genen untersucht. Es wurden neun verschiedene Gen-Muster identifiziert, wobei sed am häufigsten vorkam. 26% der Isolate waren PCR-negativ für SE-Gene. Nahezu alle Isolate des hauptsächlich vorkommenden Genotyp B wiesen die Genmuster sed, sej und ser auf, und die Hälfte zusätzlich sea. GTB/t2953 wird zusammen mit anderen Subtypen mit der Produktion von Enterotoxinen und Fällen von Staphylokokken-Vergiftungen in Zusammenhang gebracht. Eines der 623 Isolate wurde als Methicillin-resistenter *S. aureus* (MRSA) identifiziert. Es handelt sich dabei um einen seh-tragenden *S. aureus* vom spa-Typ t127 (nicht-GTB). Die Studie kommt zum Schluss, dass die Kontrolle und Verminderung von Enterotoxin-produzierenden *S. aureus* GTB in Milchviehherden nicht nur ökonomische Schäden in der Milchproduktion verhindert, sondern auch die Lebensmittelsicherheit von Rohmilchkäse verbessert. Der Beitrag zur Verbreitung von MRSA ist nicht besorgniserregend [Hummerjohann et al. 2014].

Pasteurisation als Schutz vor Botulinum-Neurotoxinen BoNT

Die Toxine von *Clostridium botulinum* (oder kurz Botulinum-Neurotoxine BoNT) sind die potentesten bekannten Gifte. Obschon sie in Milch kein Thema sind, da sie in anaerobem Milieu (d.h. unter Sauerstoffausschluss) gebildet werden, könnten sie theoretisch trotzdem in Milchprodukte gelangen. Allerdings werden die BoNT unter Pasteurisationsbedingungen mit 72°C bei 15 Sekunden zu 99.5-99.99% inaktiviert. Die Hitzebehandlung der Milch unter Pasteurisationsbedingungen oder höher bietet somit ausreichend Schutz vor allfälligen BoNT-Kontaminationen [Berger et al. 2011].

Milchprodukte: Prozesshygiene und Lebensmittelsicherheit

Laut Lebensmittelgesetzgebung sind Milchverarbeiter dafür verantwortlich, dass die von ihnen hergestellten Lebensmittel hygienisch einwandfrei, gesundheitlich unbedenklich und nicht täuschend sind. Das national koordinierte Untersuchungsprogramm von Milch und Milchprodukten in den Jahren 2002 bis 2010 zeigte, dass die nach Art. 58a der Hygieneverordnung geforderte betriebliche Selbstkontrolle in Bezug auf die Prozesshygienekriterien (*Escherichia coli*, koagulasepositive Staphylokokken) und Lebensmittelsicherheitskriterien (*Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp.) sowie das Ergreifen von Massnahmen bei nicht konformen Resultaten in den verschiedenen Betriebskategorien vermehrt und teilweise mit hoher Häufigkeit wahrgenommen worden war [Breidenbach et al. 2012].

Die Überprüfung der Prozesshygienekriterien wurde in über 80% der Industrie- und Gewerbebetriebe regelmässig vorgenommen. Bei den Gewerbebetrieben waren nur 11% der Untersuchungen nicht konform; bei den Industriebetrieben waren es allerdings mehr als 62%. In über 50% der Alp-, Landwirtschafts- und Käsereifungs- sowie Vorverpackungsbetriebe wurden die Prozesshygienekriterien regelmässig überprüft. Bei den Industrie-, Landwirtschafts- und Käsereifungs- sowie Vorverpackungsbetrieben wurden in 100% der Fälle Korrekturmassnahmen ergriffen [Breidenbach et al. 2012]. Für Alpbetriebe und deren Berater wurden Empfehlungen zur sicheren Herstellung

der Produkte verfasst [Berger et al. 2012A; Berger et al. 2012B].

Bei der Überprüfung der Lebensmittelsicherheitskriterien zeigte sich ein ähnliches Bild; auch hier wurden in allen Betriebskategorien (ausser in den Alpbetrieben) in 100% der Fälle Korrekturmassnahmen ergriffen, falls nicht konforme Untersuchungsergebnisse vorlagen [Breidenbach et al. 2012].

Für die Kategorien Industriebetriebe sowie Käsereifungs- und Vorverpackungsbetriebe waren die Fallzahlen allerdings sehr tief und somit nur bedingt aussagekräftig [Breidenbach et al. 2012].

7.3 Mikrobiologische Sicherheit frischer Früchte und Gemüse

FrISCHE Früchte, Gemüse und Kräuter spielen eine wichtige Rolle in der menschlichen Ernährung und tragen wesentlich zur öffentlichen Gesundheit bei. In den letzten Jahren stand aber eine zunehmende Anzahl Ausbrüche von Lebensmittelinfektionen mit dem Konsum von rohen Früchten, Gemüse und Kräutern im Zusammenhang, teils auch über mehrere Länder hinweg. FrISCHE Früchte und Gemüse, die roh gegessen werden, gelten deshalb als Risikolebensmittel [Studer et al. 2013; Drissner & Zürcher *in press*]. Das Vorkommen von Pathogenen in frischen Früchten und Gemüse beläuft sich auf 0-10% (teils auf über 20%), wobei die hohe Schwankungsbreite nicht nur auf Produktqualität, sondern vermutlich auch auf unterschiedliche Methoden zur Identifizierung und Quantifizierung zurückzuführen ist. Häufig betroffene Früchte und Gemüse sind Sprossen, Spinat, Blattsalate, Paprikaschoten, Tomaten, Melonen und Beeren [Drissner & Zürcher *in press*]. Sprossen werden aus verschiedensten Samen produziert, wobei Alfalfa- (meist roh) und Mungbohnen sprossen (meist nach leichtem Kochen) am häufigsten konsumiert werden und auch regelmässig in Lebensmittelinfektionen involviert sind – meist aufgrund kontaminierter Samen und meist ausgelöst durch *E. coli* O157:H7 oder *Salmonella*, teils aber auch durch *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica* oder *Bacillus cereus* [Studer et al. 2013].

Die Zunahme an Ausbrüchen von Lebensmittelinfektionen, die mit dem Konsum von rohen Früchten, Gemüse und Kräutern im Zusammenhang stehen, liegt teils darin begründet, dass der Konsum dieser Lebensmittel zugenommen hat. Weitere Gründe sind die zunehmende Anzahl Menschen, die sich ausser Haus verpflegen, die globale Produktion, Handel und Distribution der Produkte sowie deren Verderblichkeit, längere Lebensmittelsatzwege, erhöhte Pathogenität von Mikroorganismen aufgrund genetischer Anpassung usw. [Drissner & Zürcher *in press*].

Mikrobiologische Verunreinigungen von Früchten und Gemüse in der Vorerntephase können diverse Ursprünge haben: verunreinigtes Wasser, Schmutz, ungenügend kompostierter und als Dünger eingesetzter Mist, Fäkalien von Vieh oder Wildtieren, Werkzeuge, Arbeiter, Staub, Wind usw. Pathogene können in Herbizid-, Insektizid- oder Fungizidlösungen überleben, die mit verunreinigtem Wasser produziert wurden. Das Kontaminationsrisiko ist von der Nutzpflanze abhängig: tiefwachsende Pflanzen wie Salat tragen ein höheres Risiko als Früchte, die an Bäumen wachsen. Tiere (Vieh oder Wildtiere) spielen als Träger von Pathogenen wie z.B. *Escherichia coli* oder *Salmonella enterica* eine Schlüsselrolle. Fäkalien von Rindern sind zu

0.2-28% mit *E. coli* O157:H7 und zu 1.4-9% mit *S. enterica* kontaminiert. Auch in der Ernte- oder Nacherntephase gibt es diverse Kontaminationsmöglichkeiten: Feldumgebung (Schmutz, Staub), Ernteausrüstung, Arbeiter, mechanische Verletzungen, Verarbeitung, Verpackung (Waschen, Schneiden, Lagern usw.), Fäkalien, Kreuz-Kontaminationen usw. Das Wachstum menschlicher Pathogene wird durch pflanzliche Pathogene der Nacherntephase wie z.B. *Botrytis cinerea* oder *Glomerella cingulata* beeinflusst [Drissner & Zürcher *in press*].

Nachdem sich Mikroorganismen auf der Oberfläche von Früchten und Gemüse angeheftet haben, sind sie fähig, weitere Teile der Pflanze zu besiedeln, über Blätter, Wurzeln oder Blumen auch in inneres Gewebe von Pflanzen einzudringen und sich schliesslich zu vermehren. Die Vermehrung wird durch hohe Temperaturen, Feuchtigkeit und einen idealen Nährstoffstatus unterstützt. *E. coli* und Salmonellen können über Monate hinweg fortbestehen [Drissner & Zürcher *in press*].

Das Spektrum an Mikroorganismen, welche Ausbrüche verursachen, die mit dem Konsum von Früchten oder Gemüse im Zusammenhang stehen, umfasst Viren (für mind. 20% der Ausbrüche verantwortlich, Tendenz zunehmend), Bakterien, Protozoen und Helminthen. Protozoen wurden in den USA für 16% der Ausbrüche im Zusammenhang mit Früchte- oder Gemüsekonsum verantwortlich gemacht, v.a. *Cyclospora cayentanensis*, *Giardia lamblia* und *Cryptosporidium parvum*. Pathogene Bakterien wurden in USA zwischen 1973-1997 für 60% der Ausbrüche im Zusammenhang mit Früchte- oder Gemüsekonsum verantwortlich gemacht (*S. enterica*, *E. coli*, *Campylobacter spp.*, *L. monocytogenes*, *Shigella spp.*, *Yersinia spp.*, *Bacillus cereus* und *Staphylococcus aureus*), wobei die Hälfte der bakteriellen Ausbrüche auf Salmonellen zurückzuführen ist. Am häufigsten von Salmonellen betroffen sind Tomaten, Melonen, Paprikaschoten, Rucola, Basilikum und Sprossen (z.B. Alfalfa, Mungbohne, Rettich). *L. monocytogenes* gilt als wichtiger Verursacher von Lebensmittelinfektionen, weil sie sich von anderen Pathogenen dadurch abhebt, dass sie unter verschiedensten Bedingungen lebensfähig ist (tiefer pH-Wert, hohe Osmolarität, tiefe Temperatur, tiefer Sauerstoffgehalt). Das Vorkommen von generischen *E. coli* kann als Marker für potentielle Vorernte- und Nachernte-Verunreinigungen verwendet werden [Drissner & Zürcher *in press*].

Um die Sicherheit frischer Früchte und Gemüse zu gewährleisten und mikrobiologische Verunreinigungen zu vermeiden, sind spezifische Hygiene- und Kontrollmassnahmen unerlässlich: u.a. Beibehaltung und regelmässige Kontrolle der Wasserqualität, Beschränkung des Zugangs von Vieh und Wildtieren auf die Felder, Einhaltung von Hygienevorschriften durch die Arbeiter, Verwendung angemessener Ausrüstung, Einhaltung angemessener Temperaturen innerhalb der Kühlkette, Aus- und Weiterbildung des Personals auf allen Stufen der Produktion und Verarbeitung usw. Die angemessene Verarbeitung und Verpackung von Früchten und Gemüse (z.B. Einsatz modifizierter Atmosphäre zur Haltbarkeitsverlängerung) ist eine Voraussetzung für mikrobiologisch sichere Produkte. Viel versprechend ist schliesslich die Entwicklung alternativer Praktiken auf dem Feld, indem natürliche antagonistisch wirkende Bakterien eingesetzt werden, welche das Wachstum menschlicher Pathogene verhindern [Drissner & Zürcher *in press*].

Dampfbehandlung von Sprossen

Sprossen, die mit menschlichen Pathogenen kontaminiert sind, können Lebensmittelinfektionen verursachen, weil die

Wachstumsbedingungen für Bakterien während des Spriessens günstig sind und weil die Sprossen vor dem Konsum nur minimal bearbeitet werden [Studer et al. 2013].

Studer et al. untersuchten das Potential von heisser ($70 \pm 1^\circ\text{C}$), feuchter Luft („belüfteter Dampf“) zur Behandlung von Alfalfa- und Mungbohnsensamen, welche künstlich mit *Escherichia coli* O157:H7, *Escherichia coli* O178:H12 (ein Stamm mit reduzierter Hitzesensitivität), *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Weltevreden und *Listeria monocytogenes* Scott A kontaminiert wurden [Studer et al. 2013].

E. coli O157:H7 und *S. enterica* auf den Alfalfa- und Mungbohnsensamen konnten durch die Behandlung mit Dampf von $70 \pm 1^\circ\text{C}$ während 300 Sekunden vollständig eliminiert werden. *L. monocytogenes* und *E. coli* O178:H12 konnten auf Mungbohnsensamen vollständig, auf Alfalfasamen hingegen nur unvollständig eliminiert werden. Die Spriessrate der Mungbohnen wurde durch die 300-s Behandlung nicht beeinträchtigt; die Spriessrate der Alfalfasamen war jedoch um 11.9% signifikant reduziert gegenüber unbehandelten Samen (was aus kommerzieller Sicht noch akzeptabel sein dürfte). Diese 300-s Behandlung, die frei von Chemikalien ist, stellt deshalb eine wirksame Alternative dar zur 20.000-ppm-Hypochlorit-Behandlung, welche gegenwärtig von den amerikanischen Behörden (U.S. Food and Drug Administration FDA) empfohlen wird, möglicherweise aber nicht zu einer vollständigen Elimination der Pathogene führt und zudem die Spriessrate der behandelten Samen reduziert [Studer et al. 2013].

7.4 Qualität von Kernobst: Reifebestimmung

Die Qualität von Kernobst hängt stark mit dem optimalen Pflückzeitpunkt zusammen. Dieser bildet die Basis für die Qualitätsentwicklung der Früchte von der Ernte bis zum Konsum. Zur Bestimmung des optimalen Pflückzeitpunktes muss die Frucht reife korrekt gemessen werden. Voraussetzung für eine korrekte Reifebestimmung ist eine repräsentative Probenahme [Gasser & Gabioud Rebeaud 2012].

Zur Reifebestimmung wird der Reifeindex nach Streif verwendet. Er dient als Kriterium für den Entscheid, ob Kernobst für die Langzeitlagerung, für eine kurz- oder mittelfristige Lagerung geeignet ist oder als Lagerobst ausser Betracht fällt. Der Reifeindex beruht auf der Messung der Fleischfestigkeit (Penetrometerwert) und des Zuckergehalts (Refraktometerwert). Die Formel lautet [Gasser & Gabioud Rebeaud 2012]:

$$\text{Reifeindex} = \text{Penetrometerwert} / (\text{Refraktometerwert} \times \text{Stärkeabbauwert})$$

Die Messung der Fruchtfleischfestigkeit erfolgt mit Hilfe eines Penetrometers. Dabei muss beachtet werden, dass die Fruchtfleischfestigkeit auf der Sonnenseite der Früchte tendenziell höher ist als auf der Schattenseite. Mit dem Refraktometer wird im ausgepressten Saft die lösliche Trockensubstanz gemessen. Zucker macht mehr als 90% der löslichen Trockensubstanz aus; die restlichen 10% bestehen aus Fruchtsäuren und anderen Inhaltsstoffen [Gasser & Gabioud Rebeaud 2012].

Äpfel und Birnen sind klimakterische Früchte, welche am Baum und nach ihrer Ernte inhaltliche Änderungen durchlaufen, die zur Genussreife der Früchte führen. Mit zunehmender Reife der Früchte am Baum wird Stärke vom Kerngehäuse aus abgebaut und in Zucker umgewandelt.

Dabei unterscheidet man drei Arten des Stärkeabbaus: den radialen (z.B. Elstar, Golden Delicious, Jonagold), zirkularen (z.B. Gala, Idared, Granny Smith) und intermediären (Braeburn) Typ. Generell gilt: Je weiter der Stärkeabbau fortgeschritten ist, desto reifer ist die Frucht. In genussreifen Früchten ist die Stärke praktisch vollständig abgebaut. Die Stärke im Fruchtfleisch lässt sich durch Jodlösung blau bis violett anfärben. Wichtig für den Geschmack sind auch der Abbau der Säure vor und nach der Ernte sowie die Reduktion der Fruchtfleischfestigkeit nach der Ernte [Gasser & Gabioud Rebeaud 2012].

Die Messungen von Fruchtfleischfestigkeit, Stärkeabbau und Zuckergehalt geben gute Hinweise zum Erntetermin, sind aber je nach Rahmenbedingungen nicht unfehlbar. Der Stärkeabbau wird z.B. durch viele Störfaktoren beeinflusst: Behangsdichte, Fruchtgrösse, Witterung (Wärme verlangsamt und Kälte beschleunigt den Stärkeabbau), Belichtung, Stickstoffversorgung, Wasserversorgung und Kalziumangebot [Gasser & Gabioud Rebeaud 2012].

Die drei Messwerte müssen zudem zusammen interpretiert werden. Der Idealfall, dass alle drei Messwerte im Bereich des Erntefensters liegen, ist nicht immer gegeben. Die Reihenfolge der Wichtigkeit der einzelnen Messwerte lautet: 1) Fruchtfleischfestigkeit (Penetrometerwert), 2) Stärkeabbau (Jodtest) und 3) Zuckergehalt (Refraktometerwert). Für die Reifebeurteilung sollten zusätzlich die klassischen Reife Merkmale wie z.B. Aufhellung der Grundfarbe, Rotfärbung, Fruchtfleischfarbe und Geschmack (Abwesenheit von Grasigkeit) herangezogen werden [Gasser & Gabioud Rebeaud 2012].

7.5 Priorisierung von Gefahren aus Lebens- und Futtermitteln: Generisches Programm

Ein neues generisches Programm zur Priorisierung von Gefahren aus Lebens- und Futtermitteln wägt die verschiedenen (mikro-)biologischen, chemischen, physikalischen und ernährungsbedingten Gefahren aus Lebens- und Futtermitteln gegeneinander ab. Die Relevanz für die Humangesundheit stellt dabei das wichtigste Sicherheitskriterium für Lebensmittel, Futtermittel und Ernährung im Allgemeinen dar. Andere ausgewählte Kriterien (z.B. Art der Kontamination, ihr Übergang und ihre Ausbreitung, Exponiertheit der Leute, Gesetzgebung und Kontrollen) modulieren dieses wichtigste Kriterium lediglich [Mühlemann 2013].

Neben wissenschaftlichen Kriterien existieren andere Kriterien, die ebenfalls zur Entscheidungsfindung führen können: z.B. das Vorsorgeprinzip, (vergangene) Erfahrungen sowie das Interesse von Medien und Gesellschaft. Entsprechende Kriterien wurden nach existierenden Empfehlungen aus der Risikokommunikation ausgewählt und separat in einer Subdivision des Ranking-Systems eingebaut. Diese Trennung ermöglicht die unabhängige Bearbeitung wissenschaftlicher und anderer Kriterien jeweils durch Wissenschaftler und die entsprechenden Risikomanager [Mühlemann 2013].

Das neue Programm ist als Instrument zur Risikosteuerung zu verstehen, ist einfach und schnell in der Anwendung und setzt keine Durchführung einer wissenschaftlichen Risikobewertung voraus. Allerdings handelt es sich um ein erstes Rahmenwerk, das in den folgenden Jahren laufend optimiert werden wird; eine Validierung steht noch aus [Mühlemann 2013].

8 Salz

8.1 Hintergründe

Salz ist die chemische Verbindung der Elemente Natrium (Na) und Chlor (Cl), die beide wichtige Funktionen im menschlichen Körper haben [Fröhlich-Wyder 2012; Schmid 2012G].

Ein zu hoher Salzkonsum kann aber Bluthochdruck begünstigen, da Natrium eine wichtige Rolle im Elektrolyt- und Wasserhaushalt des Organismus spielt. Laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) sollen Erwachsene täglich weniger als 2 g Natrium bzw. weniger als 5 g Salz zu sich nehmen [Schmid 2012G; Stoffers 2012; Hoffmann & Bisig 2013]. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass Salz in der Schweiz eine der wichtigsten Jodquellen darstellt [Fröhlich-Wyder 2012].

In der Schweiz weisen ca. 40-50% der Männer und 25-40% der Frauen einen zu hohen Blutdruck auf [Eberhard & Schmid 2011]; die tägliche Salzaufnahme von Frauen liegt bei 7.8 g und diejenige von Männern bei 10.6 g [Fröhlich-Wyder 2012; Schmid 2012G; Hoffmann & Bisig 2013]. Käse trägt mit 7.5% zur Salzaufnahme bei. Zur Salzaufnahme tragen daneben auch Brot und Backwaren, Fleischprodukte, Suppen und Fertigmahlzeiten bei [Eberhard & Schmid 2011; Fröhlich-Wyder 2012; Schmid 2012G; Hoffmann & Bisig 2013]. Ca. 70-80% des Salzkonsums stammen aus verarbeiteten Lebensmitteln [Fröhlich-Wyder 2012].

Die Salzstrategie des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) hat zum Ziel, den täglichen Salzkonsum der Schweizer Bevölkerung stufenweise zu reduzieren; langfristig soll er bei weniger als 5 g liegen [Eberhard & Schmid 2011; Fröhlich-Wyder 2012; Schmid 2012G]. Für verschiedene Lebensmittelgruppen wurden konkrete Zielwerte definiert; allerdings nicht für Käse und Käseerzeugnisse. Gründe dafür sind die grosse Sortenvielfalt und die wichtige technologische Bedeutung von Salz bei der Käseherstellung [Fröhlich-Wyder 2012].

Die Salzstrategie des BAG strebt eine Salzreduktion in verarbeiteten Produkten an und betrifft deshalb u.a. auch Milch- und Fleischprodukte. Die Salzreduktion hat allerdings nicht nur sensorische Konsequenzen, sondern beeinflusst auch die Lebensmittelsicherheit (konservierende Wirkung) und technologische Eigenschaften [Chollet & Stoffers-Kneubühler 2011; Fröhlich-Wyder 2012].

8.2 Salz in der Fleischproduktion

Der natürliche Natriumgehalt von Frischfleisch ist unbedeutend. Aus technologischen (Verarbeitbarkeit, Eiweissbindung), mikrobiologischen (Sicherheit, Konservierung) und sensorischen Gründen (Geschmack, Konsistenz) wird Fleischprodukten im Verarbeitungsprozess aber Kochsalz zugegeben [Eberhard & Schmid 2011; Eberhard 2012B; Schmid 2012G; Stoffers 2012]. Am salzreichsten sind dabei Rohpökelfleischwaren (z.B. Trockenfleisch, Rohschinken) und Rohwürste (z.B. Salami), die fast doppelt so hohe Salzgehalte pro 100 g Produkt aufweisen wie Brühwürste (z.B. Cervelat, Lyoner) und Kochpökelfleischwaren (z.B. Schinken). Aufgrund von unterschiedlichen Verzehrsmengen tragen jedoch nicht unbedingt die Produkte mit dem höchsten Salzgehalt am meisten zur Salzzufuhr bei [Schmid 2012G].

Kochsalzreduktion in Fleischprodukten

Untersuchungen von Agroscope ergaben, dass bei Fleischprodukten eine Kochsalzreduktion von 10-15% aus technologischer, mikrobiologischer und sensorischer Sicht möglich ist; verschiedene Betriebe haben eine solche bereits realisiert. Um die Kundenakzeptanz nicht zu gefährden, muss sie allerdings schrittweise erfolgen und müssen fallspezifisch zusätzlich allenfalls auch die Rezepturen angepasst werden (Gewürze). Eine Salzreduktion über 15% ist bei Fleischprodukten aus Gründen der Lebensmittelsicherheit und der Verarbeitungstechnologie kaum möglich und nicht zu empfehlen [Eberhard & Schmid 2011; Eberhard 2012B; Stoffers 2012].

Bei Salami (einer Rohwurst) liegt der Ausgangswert bei 40 g Salz pro kg (wobei die Streuung im Salzgehalt von Salami aus dem Handel relativ gross ist); eine Reduktion um 10% ist bei praktisch gleichbleibender Beliebtheit realisierbar [Eberhard & Piccinalli 2011; Eberhard & Schmid 2011; Stoffers 2012]. Der Einsatz von Kaliumlaktat wirkt sich positiv auf den Salzgehaltseindruck aus, muss aber noch weiter überprüft werden [Eberhard & Schmid 2011; Stoffers 2012].

Bei Rohessspeck (einer Rohpökelfleischware) liegt der Ausgangswert ebenfalls bei 40 g Salz pro kg; eine schrittweise Reduktion um bis zu 10% ist ohne Qualitätseinbußen realisierbar. Bei Mostbröckli (einer weiteren Rohpökelfleischware) liegt der Ausgangswert bei 48 g Salz pro kg; eine schrittweise Reduktion um bis zu 10% ist auch hier ohne Qualitätseinbußen realisierbar [Eberhard & Schmid 2011].

Bei Kochschinken (einer Kochpökelfleischware) liegt der Ausgangswert bei 20 g Salz pro kg; eine schrittweise Reduktion um bis zu 15% ist ohne negative Auswirkungen auf die Herstellung, Haltbarkeit oder die sensorischen Attribute realisierbar [Eberhard & Schmid 2011].

Bei Lyoner (einer Brühwurst) liegt der Ausgangswert bei 19 g Salz pro kg; eine schrittweise Reduktion um bis zu 15% ist realisierbar. Der Einsatz von Kaliumchlorid zeigt bis ca. 45% keine negativen Auswirkungen auf die Bitterkeit, Würzigkeit und Festigkeit [Eberhard & Schmid 2011; Stoffers 2012].

Teilweiser Ersatz von Kochsalz in Fleischprodukten

Ein teilweiser Ersatz von Kochsalz durch andere Salze in Fleischprodukten ist möglich, aber v.a. durch geschmackliche Veränderungen limitiert [Eberhard 2012A].

Zwecks Senkung des Natriumgehaltes wurde bei der Herstellung von spanischem Rohschinken versucht, das Kochsalz teilweise durch andere Salze (Kalium-, Magnesium- und Kalziumchlorid) zu ersetzen. Dabei mussten allerdings sensorische Unterschiede in Kauf genommen werden. Der Ersatz von 50% Kochsalz durch 50% Kaliumchlorid hatte einen bitteren Geschmack des Produktes zur Folge; Aroma, Festigkeit und Saftigkeit wurden allerdings nicht signifikant beeinträchtigt. Die Variante mit 55% Kochsalz, 25% Kaliumchlorid, 5% Magnesiumchlorid und 15% Kalziumchlorid erzielte bei allen sensorischen Kriterien tiefere Benotungen im Vergleich zum Produkt mit Kochsalz [Eberhard 2012A].

Eine weitere Studie untersuchte den Einfluss von Kalium-, Magnesium- und Kalziumchlorid auf die Qualität von fettreduziertem Mortadella. Farbe, Aussehen und

Oxidationsstabilität blieben bei allen Varianten unbeeinflusst. Die beste Emulsionsstabilität – aber gleichzeitig auch die schlechteste sensorische Benotung – zeigte die Variante mit 50% Kochsalz und je 25% Kalium- und Magnesiumchlorid. Die Autoren kommen zum Schluss, dass eine Kochsalzreduktion in fettreduzierter Mortadella um 50% möglich ist, dabei aber Zusätze zur Verbesserung der Emulsionsstabilität und Gewürze zur Maskierung der Bitterkeit nötig sind [Eberhard 2012A].

In einer weiteren Studie wurde bei der Herstellung von Salami 50% des Natriumchlorids durch eine Mischung aus Kalium-, Magnesium- und Kalziumchlorid ersetzt, wodurch der Natriumgehalt um 40% gesenkt werden konnte. Die Variante mit dem reduzierten Natriumgehalt unterschied sich in Bezug auf die Hauptnährstoffe, den pH-Wert, die Wasseraktivität und das Fettsäuremuster nicht von der Kontrollprobe, wohl aber in Bezug auf die Fettoxidation – was bei längerer Lagerung Qualitätsprobleme zur Folge haben könnte. Durch den Zusatz von Nitrat/Nitrit, Ascorbinsäure und/oder Gewürzen könnte die Fettoxidation möglicherweise reduziert werden [Eberhard 2011].

8.3 Salz in der Käseherstellung

Bei der Käseherstellung spielt Salz eine komplexe Rolle: Es beeinflusst Geschmack und Aroma, die Oberfläche und Rinde, die Teig-Konsistenz und -Struktur, die Zusammensetzung und Aktivität der Mikroflora sowie die Enzymaktivität [Fröhlich-Wyder 2012].

Salz wird dem Käse v.a. aus technologischen Gründen zugefügt. Es kontrolliert das Wachstum von zugesetzten und unerwünschten Mikroorganismen und damit auch die Entwicklung des Flavors, der von diesen Mikroorganismen gebildet wird. Salz beeinflusst die sensorische Wahrnehmung von Käse also durch seinen Eigengeschmack, durch seine geschmacksverstärkende Wirkung und durch Interaktionen mit anderen Flavorkomponenten, aber auch durch seinen Einfluss auf die Mikroflora und Käseenzyme [Fröhlich-Wyder 2012; Hoffmann & Bisig 2013]. Bei der Herstellung von Käse ist Salz damit sowohl im Hinblick auf Geschmack als auch im Hinblick auf Qualität unentbehrlich [Fröhlich-Wyder 2012].

Die Salzaufnahme durch den Käselaib ist ein wichtiger Faktor, um die Käsereifung unter Kontrolle zu halten. Kein oder zu wenig Salz würde sehr schnell zu unerwünscht hoher Aktivität verschiedenster Mikroorganismen und Enzyme und damit zu Qualitätseinbußen führen [Fröhlich-Wyder 2012]. Ein hoher Salzgehalt bzw. eine geringere Wasseraktivität begrenzt die Anzahl der mikrobiellen Spezies, die sich in Käse vermehren können, und trägt zur Hemmung schädlicher Kontaminanten bei. Bei geringer Wasseraktivität reduziert das Salz die Wasseraktivität weiter, was schliesslich auch enzymatische Reaktionen einschränkt. Salz trägt damit in Kombination mit der Wasseraktivität im Käse auch zur Lebensmittelsicherheit der Produkte bei. *Campylobacter* werden z.B. bereits durch 1% Salz in Käse gehemmt. Hingegen wachsen z.B. *Staphylococcus aureus* und *Listeria monocytogenes* auch in sehr salziger Umgebung [Hoffmann & Bisig 2013].

Bei der traditionellen Käseherstellung erfolgt das Salzen (Einlegen in Salzlake) im Normalfall nach dem Formen und Pressen der Käselaibe. Während der Reifung wird der Käse mit Salzwasser oder Trockensalz gepflegt. Die Rindenbildung entsteht dabei, indem das Salz der Käseoberfläche Feuchtigkeit entzieht. Trockensalzen der Oberfläche hemmt v.a. die Bakterien der Schmierflora (vs. Hefen, Schimmelpilze) [Fröhlich-Wyder 2012].

Durch die Behandlung von Käse mit Salz verliert der Käse Wasser, womit der Teig eine festere Konsistenz erhält. Der Teig von Hart- und Halbhartkäse wird mit zunehmendem Salzgehalt brüchiger, weil Natrium das Kalzium aus dem Kasein-Kalziumphosphat-Komplex verdrängt. Dieser Vorgang verbessert gleichzeitig die Schmelzeigenschaften von Schmelzkäse wie z.B. Raclette [Fröhlich-Wyder 2012; Hoffmann & Bisig 2013].

Um Natrium in Käse zu reduzieren, wird oft Kaliumchlorid (KCl) eingesetzt. Laut WHO sollten Erwachsene täglich mindestens 3.5 g Kalium aufnehmen; ein Austausch von Natrium gegen Kalium ist ernährungsphysiologisch also wünschenswert. Studien zeigen, dass ein partieller Austausch von Salz durch KCl in Käse möglich ist und der Salzgehalt damit auch reduziert werden kann, dass aber der bitter-metallische Geschmack von KCl limitierend wirkt [Hoffmann & Bisig 2013]. In Versuchen von Agroscope mit Raclettekäse war es möglich, bis zu 30% Natrium ohne grosse negative Nebeneffekte durch Kalium zu ersetzen. Der Einsatz anderer Salze wie Magnesium- und Kalziumchloride ($MgCl_2$, $CaCl_2$) scheiterte bisher an den negativen Auswirkungen auf den Geschmack (Bitterkeit), die Textur (Bröckeligkeit) und die Haltbarkeit (Fehlgärungen) der Produkte [Fröhlich-Wyder 2012].

9 Sensorik und Konsumentenforschung

9.1 Hintergründe

Die sensorische Analyse hat sich in den vergangenen 20 Jahren stark weiterentwickelt: Bestand man Anfang der 90er Jahre noch auf der strikten Trennung zwischen der produktbezogenen sensorischen Analyse und der konsumentenbezogenen Marktforschung, so stehen heute ganzheitliche und multidisziplinäre Ansätze im Vordergrund. Kaufentscheide sind das Resultat eines komplexen Zusammenspiels produkt-, personen- und situationsbezogener Faktoren. Bei der Wahl eines Produktes interagieren intrinsische Produkteigenschaften (z.B. Erscheinungsbild, Textur, Aroma und Inhaltsstoffe) und extrinsische Produkteigenschaften (z.B. Preis, Marke und Verpackung) einerseits mit persönlichen Eigenschaften des Menschen (z.B. Alter, Vorlieben, Emotionen) und andererseits mit momentbezogenen Eigenschaften (z.B. Ort, Umgebung, Tageszeit) [Piccinali 2013].

Der Mensch als Sensorikinstrument kann bislang durch keine instrumentelle Messung ersetzt werden. Das bedeutet aber auch, dass sensorische Charakteristika trainiert und angeeignet werden müssen [Brugger 2013C]. In den Bereichen Aroma und Textur wird das Sprachvokabular gemeinhin noch nicht komplex verwendet, weil die Basis der sensorischen Empfindung bei Konsumenten nicht auf gemeinsamen Referenzen beruht [Brugger 2013B].

Geschmacks- und Aromawahrnehmung

Der Geschmack reflektiert den Eindruck von Süsse, Säure, Bitterkeit, Salzigkeit und „Umami“ im Mund; die Geschmackspapillen für diese Eindrücke sind auf der gesamten Zunge ausser der Zungenmitte verteilt. Als Aroma wird demgegenüber der Eindruck bezeichnet, den flüchtige Aromen verursachen, also z.B. „grün-grasig“, „zitronig“ usw. [Brugger 2013A; Brugger 2013B].

Aroma und Geschmack voneinander losgelöst wahrzunehmen, ist nicht immer einfach. Die Anwesenheit eines zitronigen Aromas täuscht z.B. oft die Wahrnehmung von Säure vor, weil in der Wahrnehmung unter „Zitrone“ gleichermassen der Eindruck „sauer“ abgespeichert ist. Säure löst aber einen nachhaltigen Speichelfluss aus, das zitronige Aroma nicht [Brugger 2013B].

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen direkter und indirekter Aromawahrnehmung. Die direkte Aromawahrnehmung ist der Geruch, der direkt durch die Nase wahrgenommen wird. Die flüchtigen Aromakomponenten gelangen dabei über die Atemluft an unsere Riechschleimhaut und führen im Abgleich mit bekannten Sinneseindrücken zu Wahrnehmungen wie „fruchtig“, „blumig“, „zitrus-artig“ usw. Die indirekte Aromawahrnehmung führt über den Mund. Über den Kaufprozess werden weitere flüchtige Aromen freigesetzt, die über den Mund-Rachenraum indirekt (rückwärts) in die Nase und dort zur Riechschleimhaut gelangen [Brugger 2013A].

Der Eindruck der Adstringenz gehört zu den so genannten chemisch induzierten Reizen und wird von Polyphenolen ausgelöst, z.B. in Äpfeln. Deren Wahrnehmung ist also nicht mit der Wahrnehmung anderer Grundgeschmacksarten zu vergleichen. Adstringenz wird nur im Mund wahrgenommen (zusammenziehendes und nachhaltig austrocknendes Mundgefühl; auch als „herb“ bezeichnet). Sie führt instinktiv zur Ablehnung. Der Eindruck von Bitterkeit gibt auch eine Art „zusammenziehendes Gefühl“,

jedoch eher psychologisch als physiologisch. Am einfachsten kann Adstringenz von Bitterkeit unterschieden werden, wenn man mit der Zunge am Gaumen entlang fährt – nur in Anwesenheit von adstringierenden Polyphenolen fühlt sich dieser rau und trocken an [Brugger 2013B].

Texturwahrnehmung

Bei der Texturwahrnehmung gilt es wie bei der Geschmacks- und Aromawahrnehmung ebenfalls, Attribute klar zu definieren und voneinander abzugrenzen: z.B. Härte, Festigkeit, Knackigkeit, Gummigkeit, Saftigkeit, Körnigkeit, Zähigkeit. Festigkeit und Knackigkeit sind z.B. nicht das gleiche: Bei einem knackigen Apfel kann man den Biss mit einer glatten Bruchstelle vom restlichen Apfel trennen; der Abiss verursacht einen speziellen Ton. Der Unterschied zur Festigkeit ist, dass bei einem knackigen Apfel weniger Bisskraft benötigt wird als bei einem festen Apfel. Die Beschreibung von Textur ist wesentlich missverständlicher im Vergleich zu Geschmack und Geruch. Zudem werden verschiedene Textureindrücke zu unterschiedlichen Zeitpunkten wahrgenommen: Die Knackigkeit eines Apfels erleben wir z.B. vor der Saftigkeit [Brugger 2013C].

Konsum- und Geschmackspräferenzen

Konsumpräferenzen sind von Alter, Geschlecht, Einkaufsmöglichkeiten, der Konsumhäufigkeit, aber auch vom Lifestyle oder den Lebensgewohnheiten abhängig. Die Ausbildung von Geschmackspräferenzen hat mit Lebensumständen und mit sonstigen, kulturell variierenden Essgewohnheiten zu tun. In südlichen Ländern wie Italien oder Spanien sind z.B. süsse Äpfel tendenziell beliebter als säuerliche; in nördlichen Ländern sind säuerliche Äpfel hingegen beliebter [Brugger 2013B].

Produktedifferenzierung

Die Produktedifferenzierung erlaubt es, die Präferenzen verschiedener Konsumentengruppen besser zu verstehen und unterscheiden zu können. Sie erfordert allerdings eine klare Definition des Begriffes Qualität und eine objektive Messung der Qualität. Die grundlegenden qualitätsbestimmenden Elemente betreffen die inhärenten Eigenschaften des Produktes (sensorische Eigenschaften, Sicherheit, Eignung zur Verarbeitung usw.), den Ort und die Art der Produktion (Produktionsweise, Rückverfolgbarkeit, Herkunft, Nachhaltigkeit/Umwelt, Fairtrade usw.) sowie seine Verfügbarkeit (Lagerhaltung, Transport, Saisonalität) [Crole-Rees et al. 2013].

Das Vorgehen der Produktedifferenzierung ist ein analytisches Instrument zur Aufwertung der verschiedenen Qualitätsmerkmale. Die Produktedifferenzierung ist auch eine Marktpositionierungsstrategie, um besser auf die unterschiedlichen Konsumentenpräferenzen einzutreten. Man unterscheidet zwischen objektiver und subjektiver Produktedifferenzierung. Die objektive Produktedifferenzierung verleiht dem Produkt einen wirklichen, messbaren Unterschied in seinen Eigenschaften. Die subjektive Produktedifferenzierung verändert die Art und Weise, wie die Konsumenten ein Produkt wahrnehmen. Die objektive Produktedifferenzierung wird noch weiter gegliedert in vertikale Differenzierung (falls Konsumenten einhellig ein Produkt einem andern vorziehen) und horizontale Differenzierung (falls Konsumenten in Bezug auf zwei Produkte nicht dieselben Präferenzen haben, womit diese beiden Produkte auf dem Markt nebeneinander existieren können). Die Strategie der

objektiven Differenzierung erlaubt ein Hervorheben der Produkteigenschaften und – im Erfolgsfall – einen Mehrverkauf und/oder einen höheren Preis. Diese Strategie besteht darin, dass dem jeweiligen Kunden das bevorzugte Produkt angeboten wird [Crole-Rees et al. 2013].

In der Schweiz werden vier Gruppen von Konsumenten unterschieden: die „Preisjäger“, die „Schweiz-Treuen“, die „Schweiz-Zugewandten“ und die „Feinschmecker“. Die drei letzten Gruppen machen über 70% aller Konsumenten aus. Sie sind bereit, einen höheren Preis für Schweizer Produkte zu bezahlen [Crole-Rees et al. 2013].

Konsumentensegmentierung nach dem Ansatz der Lokalen Einbettung

Regionalität, regionale Lebensmittel und authentische lokale Produkte sind zunehmend im Trend. In unserer global organisierten Gesellschaft haben Individuen ein zunehmendes Bedürfnis nach Orten mit einer Identität, zu der sie sich verbunden fühlen. Regionale Identität ist stark gekoppelt an lokale Geschichte, Traditionen, Kultur und Folklore – sie ist aber gleichzeitig auch ein soziales Konstrukt [Januszewska et al. 2013].

Januszewska et al. untersuchten die Verbindung zwischen Menschen und ihren Regionen und prüften, wie die emotionale Bindung mit der Region ihr Konsumverhalten in Bezug auf lokale Produkte beeinflusst. Die Affinität zu bzw. die emotionale Bindung der Menschen mit ihrer Region bezeichneten die Autoren dabei als Lokale Einbettung. Zur Untersuchung der Lokalen Einbettung in Bezug auf Lebensmittelkonsum war eine neue Methode entwickelt worden, der EMB-Ansatz. Diese neue Methode verwendeten Januszewska et al., um die emotionale Bindung von 1714 Probanden im Alter von 18-59 Jahren aus 15 Ländern (einschliesslich der Schweiz) mit ihrer Region zu messen. Die Studie untersuchte einerseits die Wirksamkeit des EMB-Ansatzes, um Konsumenten zu segmentieren, und beschrieb die EMB-Segmente andererseits weiter in Bezug auf soziodemographische Variablen [Januszewska et al. 2013].

Der EMB-Ansatz besteht aus 13 Aussagen, die sich auf die Motivation des Konsumenten beziehen, lokale Lebensmittel zu kaufen (z.B. Bereitschaft für lokale Lebensmittel mehr zu bezahlen, Verhältnis des Konsumenten mit lokalen Bauern, abnehmendes Vertrauen in die industrielle Lebensmittelproduktion usw.). Die mittels des EMB-Ansatzes resultierenden Segmente umfassten drei Gruppen von Konsumenten: 1) diejenigen, welche lokale Produkte stark befürworten (machten in der Schweiz 50% aller Probanden aus), 2) diejenigen, welche betreffend ihrer Einstellung gegenüber lokalen Produkten verwirrt sind (machten in der Schweiz 33% aller Probanden aus) und 3) diejenigen, welche zugeben, beschränkte Kenntnis über lokale Produkte zu haben und deshalb ein grösseres Vertrauen in industrielle Produkte haben (machten in der Schweiz 17% aller Probanden aus). Die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Segment hatte einen direkten Zusammenhang zur Tendenz, lokale Produkte zu kaufen. Alter und Ausbildung spielten keine signifikante Rolle, wenn es um den Kauf regionaler Produkte ging. Die Studie bestätigt, dass Menschen mit starker Bindung zu ihrer Region auch öfter dazu tendieren, lokale Lebensmittel zu kaufen [Januszewska et al. 2013].

9.2 Joghurt

Aromatisierung von zuckerreduzierten Joghurts

Degustationen bei 400 Probanden im Jahr 2010 ergaben, dass die Schweizer Bevölkerung Joghurts mit 7 statt 10% Zuckerzusatz akzeptiert; 5% Zuckerzusatz wären aber zu wenig. Joghurts mit 10% Zuckerzusatz (unabhängig ob mit Erdbeer- oder Mokkaesgeschmack) – was dem Zuckeranteil von gängigen Joghurts auf dem Schweizer Markt entspricht – wurden generell bevorzugt, oft aber auch als zu süss empfunden. Die Studie zeigte zudem, dass Zucker die Wahrnehmung des Aromas verstärkt. Im Jahr 2011 wurde deshalb eine weitere Degustation bei rund 500 Probanden (300 Frauen und 200 Männer, 45% Deutschschweizer und 55% Westschweizer) durchgeführt, um den idealen Aromagehalt eines zuckerreduzierten Joghurts zu eruieren. Die Tester degustierten Joghurts mit 7% Zuckerzusatz in den Geschmacksrichtungen Erdbeere oder Mokka mit drei verschiedenen Aromakonzentrationen (5, 8, 11% Erdbeergrundstoff bzw. 0.3, 0.525, 0.75% Kaffeeextrakt). Generell wurden die Joghurts mit der höchsten Aromakonzentration (11% Erdbeergrundstoff bzw. 0.75% Kaffeeextrakt) am wenigsten gemocht. Ein Grossteil der Konsumenten empfanden diese Joghurts als „nicht süss genug“. Die Wahrnehmung der Süsse sinkt bei einer Erhöhung des Aromas offenbar; eine Erhöhung der Aromakonzentration bei Joghurts mit 7% Zuckerzusatz ist deshalb unerwünscht. Weder zwischen Frauen und Männern noch zwischen Deutsch- und Westschweizern konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Hingegen wurden altersspezifische Unterschiede festgestellt, indem die älteren Befragten die Joghurts generell als süsser empfanden als die jüngeren Befragten. Allerdings bevorzugten alle Altersgruppen Joghurts mit geringeren Aromakonzentrationen [Chollet et al. 2013; Chollet & Piccinali 2011].

Süsstoffe in Joghurts

Die Fettreduktion von Joghurt zieht geschmackliche und texturbezogene Einbussen nach sich. Um beiden Aspekten Rechnung zu tragen, sind entsprechende Zutaten nötig. Aufgrund seiner technologischen Eigenschaften kann Actilight (ein Fructooligosaccharid mit 30% der Süsskraft von Saccharose) sowohl als niederkalorischer Süsstoff als auch als Quell- und Fettersatzstoff eingesetzt werden. Als alternativer Süsstoff zu Saccharose ist zunehmend auch die Steviapflanze (*Stevia rebaudiana*) bzw. sein Inhaltsstoff Steviosid im Gespräch. Die Steviolglykoside der Steviapflanze (Steviosid, Rebaudiosid A, Rebaudiosid C und Dulcosid A) sind ca. 200- bis 300-mal süsser als Saccharose. Isomaltulose schliesslich ist ein kristallines Kohlenhydrat von milder Süsse (die Süsskraft ist konzentrationsabhängig und beträgt ca. 40% der Süsskraft von Saccharose), das aus natürlichem Rübenzucker gewonnen wird und einen sehr tiefen Glykämischen Index aufweist. Sein pH-Wert ist stabiler als derjenige von Saccharose, so dass sich Isomaltulose speziell für fermentierte Milchprodukte eignet [Guggisberg et al. 2011].

Guggisberg et al. untersuchten einerseits den Einfluss verschiedener Actilight- und Stevia-Kombinationen gleicher Süsse auf die Konsistenz und sensorischen Eigenschaften von Magerjoghurt (0.1% Fett) und Vollmilchjoghurt (3.5% Fett) und verglichen sie mit Isomaltulose- oder Saccharosegesüssten Proben. Andererseits untersuchte die Studie, ob die Textur und die sensorischen Eigenschaften von kalorienreduzierten Magerjoghurtproben mit Zugaben von Actilight- und Stevia-Kombinationen vergleichbar waren mit denjenigen von Vollmilchjoghurt, das mit 8% Saccharose gesüsst worden war. Die Zugabe von Actilight erhöhte die Konsistenz und bei tiefem Fettgehalt des Joghurts auch die

Cremigkeit merklich. Allerdings war es nicht möglich, mit 6% Actilight in einem Magerjoghurt (0.1% Fett) die gleiche Konsistenz und Cremigkeit eines Vollmilchjoghurts zu erreichen, das mit 8% Saccharose gesüsst worden war. Wenn das Joghurt nur mit Stevia gesüsst wurde, wurde zudem ein Fremdgeschmack (Off-Flavor) wahrgenommen; Actilight konnte diesen Off-Flavor teils maskieren. Am besten vergleichbar mit einem Saccharose-gesüsstem Joghurt war ein Joghurt mit 6% Actilight und 0.025% Stevia (bei unverändertem Herstellungsverfahren). Auch der Zusatz von Isomaltulose ergab ein Produkt, das einem Saccharose-gesüsstem Produkt ähnlich war (ebenfalls bei unverändertem Herstellungsverfahren); das mit Isomaltulose gesüsst Joghurt war allerdings signifikant weniger süss als alle anderen Varianten [Guggisberg et al. 2011].

9.3 Äpfel

Sensorische Charakterisierung von Äpfeln

Brugger verfasste eine Wegleitung in 4 Teilen zur tiefergehenden sensorischen Charakterisierung von Äpfeln [Brugger 2013A; Brugger 2013B; Brugger 2013C; Brugger 2013D].

Harmonie von Süsse und Säure sowie Qualität des Fruchtfleisches sind die von Sensorikexperten verwendeten Kriterien, um Äpfel zu beschreiben. Weitere Kriterien widmen sich der äusseren Qualität wie Grösse, Farbe, Form usw. [Brugger 2013A].

Äpfel enthalten mindestens 300 aromagebende Verbindungen. Das von Brugger entwickelte und mit einem Panel validierte Aromarad hilft, den Wortschatz für die feine Aromasensorik von Äpfeln zu finden und zu erweitern. Es ordnet die Aromen nach Aromaähnlichkeit. Fruchttige Aromen werden in zitrusartige, tropische, an reifes Obst und Trockenfrüchte und Beeren erinnernde Aromagruppen unterteilt, welche die grobe Aromarichtung vorgeben. Je nach Intensität der Aromatik können auch einzelne Aromen besonders stark zur Geltung kommen; diese können anhand von 42 vorgegebenen Attributen noch spezifischer beschrieben werden [Brugger 2013A]. Das Aromarad ist über drei Ebenen organisiert und ist damit ein umfassendes Sensorikrad einschliesslich Beurteilung von Geschmack und Textur [Brugger 2013D]:

- Aroma: Unterschieden werden die Aromafamilien fruchtig, grün, floral, würzig und laktisch (mit ihren jeweiligen Subfamilien).
- Süsse und Säure: Die Reihenfolge der Verkostung wird meist durch die Geschmacksintensität von Süsse und Säure bestimmt. Der Serie mit süsseren Äpfeln folgt die Serie mit säuerlichen Äpfeln.
- Textur: Texturattribute verändern sich nicht über die Verkostungszeit und können deshalb im Anschluss an das Aromarad beurteilt werden.

Bei Konsumenten betreffen die wichtigsten Qualitätskriterien für Äpfel die optische und geschmackliche Qualität sowie die Texturattribute Fleischbeschaffenheit und Saftigkeit [Decurtins et al. 2011]. Mehligkeit zeigt die Abwesenheit des Qualitätskriteriums Knackigkeit auf und ist eine Apfeleigenschaft, die unabhängig von Geschlecht, Alter, Lifestyle und sonstigen Kriterien auf Ablehnung stösst [Brugger 2013C].

Konsumententests zur sensorischen und optischen Beurteilung von zwei Apfelnzüchtungen

Agroscope züchtet seit über 100 Jahren neue Apfelsorten. Dabei werden qualitativ hochwertige Sorten angestrebt, die robust und krankheitstolerant sind und möglichst wenig Pflanzenschutz benötigen [Decurtins et al. 2011].

Im Rahmen von zwei Konsumententests bei insgesamt 417 Personen in den Jahren 2009 und 2010 (je einer in der Deutsch- und Westschweiz) wurden die beiden Neuzüchtungen ACW 6375 und ACW 11907 sensorisch und optisch beurteilt und die Teilnehmenden zu weiteren Aspekten befragt, um das Potential der beiden Neuzüchtungen auf dem Markt einzuschätzen. Der Fragebogen umfasste im ersten Teil einen hedonistischen Akzeptanztest (Frage „Wie gerne mögen Sie Äpfel?“), im zweiten Teil die Bewertung der Attribute Biss, Geschmack und Saftigkeit, im dritten Teil einen Akzeptanztest zur Ermittlung des Aussehens und der Gesamtbefehlichkeit und im letzten Teil Fragen zu Konsumhäufigkeit und Geschmackspräferenzen der Teilnehmenden [Decurtins et al. 2011].

Es zeigte sich, dass die beiden Neuzüchtungen mit den etablierten Sorten mithalten können und dass die Geschmackspräferenzen an beiden Standorten sehr ähnlich waren (etwa die Hälfte der Personen bevorzugte saure Äpfel, gut ein Drittel süsse Äpfel und der Rest hatte keine Geschmackspräferenz). Das Gesamturteil der Konsumenten wurde am stärksten durch das Attribut Geschmack beeinflusst. Zudem wurde bestätigt, wie wichtig der Reifezustand eines Apfels für die Konsumentenakzeptanz ist. Aromaarme und mehlig Äpfel wurden von den Testpersonen abgelehnt [Decurtins et al. 2011].

9.4 Geschmackspräferenzen älterer Menschen

Agroscope führte im Jahr 2008 eine schriftliche Befragung älterer Menschen (Altersgruppe 50+) durch zur Untersuchung ihrer Geschmackspräferenzen sowie ihres Verzehrs- und Konsumverhaltens. An der Befragung nahmen 253 Personen aus der Deutsch- und Westschweiz sowie aus dem Tessin teil (Rücklaufquote 36%), wobei die Studienteilnehmenden nicht repräsentativ ausgewählt und keine soziodemographischen Daten erhoben wurden. Im Fokus standen Milch und Milchprodukte, weil diese Lebensmittelgruppe als Lieferanten von hochwertigen Proteinen, Kalzium und Vitamin D bedeutend zu einer ausgewogenen Ernährung älterer Menschen beiträgt [Gille et al. 2012].

Die Studie zeigt, dass Frische, Geschmack, Saisonalität und regionale Herkunft die wichtigsten Kriterien für ältere Schweizer beim Lebensmitteleinkauf und im täglichen Leben sind; Gesundheit folgt erst an fünfter Stelle. Zu den beliebtesten Milchprodukten als Zwischenmahlzeiten zählen bei dieser Altersgruppe Käse, Joghurt und Trinkmilch. Die Studie bestätigt schliesslich das unterschiedliche Konsumverhalten zwischen Männern und Frauen: z.B. konsumieren Männer signifikant seltener Frischkäse und Quark als Frauen [Gille et al. 2012].

10 Ökobilanzierung von Lebensmitteln

Die Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment LCA) ist eine wissenschaftliche Methode zur Quantifizierung aller Umweltwirkungen eines Produktes oder einer Dienstleistung über den gesamten Lebenszyklus hinweg unter Berücksichtigung der Rohstoffgewinnung, der Produktionsfaktoren (z.B. Dünger, Maschinen, Gebäude usw.), des Transports, der Lagerung, der Entsorgung und der Abfallwiederverwertung [Nemecek et al. 2011A; Agroscope & Quantis 2013; Sutter et al. 2013].

World Food LCA Database (WFLDB)

Im August 2013 haben Agroscope und das Beratungsunternehmen Quantis mit der „World Food LCA Database“ (WFLDB) eine Datenbank mit aktuellen Daten zur Ökobilanzierung von Lebensmitteln und Getränken ins Leben gerufen. Ziel des Projekts ist es, Fachpersonen aus der gesamten Wertschöpfungskette im Bereich Lebensmittel zusammenzubringen, präzise Ökobilanzierungen im Lebensmittelsektor zu ermöglichen, den ökologischen Fussabdruck von Lebensmitteln und Getränken besser bestimmen und kommunizieren zu können sowie schliesslich die Umweltwirkungen der Lebensmittelproduktion besser einschätzen zu können und die Herstellung entsprechend zu optimieren [Agroscope & Quantis 2013].

10.1 Ökobilanzen von Schweizer Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch

Alig et al. erstellten in den Jahren 2010-2012 eine Ökobilanz der Rind-, Schweine- und Geflügelproduktion in der Schweiz und in ausgewählten Importherkünften und verglichen die Umweltwirkungen der verschiedenen Produktionssysteme miteinander. Folgende Produktionssysteme flossen in die Untersuchung ein, wobei modellierte Systeme und keine realen Praxisbetriebe untersucht wurden: Standardvarianten gemäss ökologischem Leistungsnachweis (ÖLN), ÖLN-Varianten mit tierfreundlicher Haltung und Bio-Varianten der Rind-, Schweine- und Geflügelproduktion sowie je zwei ausländische Varianten pro Tierart (total 16 Produktionssysteme) [Alig et al. 2012].

Die Ökobilanzen wurden mittels der von Agroscope entwickelten Methode SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) berechnet. Analysiert wurden die Umweltwirkungen nicht-erneuerbarer Energiebedarf, Treibhauspotential, Ozonbildung, Ressourcenbedarf an Phosphor und Kalium, Flächenbedarf, Bedarf an Ackerland, Abholzung, Wasserbedarf, Eutrophierung, Versauerung sowie Öko- und Humantoxizität. Nicht berücksichtigt wurden weitere Umweltwirkungen (z.B. Bodenqualität, Geruch, Lärm), ein allfälliger Medikamenteneinsatz, weitere nicht umweltbezogene Aspekte (z.B. Tierwohl, Landschaftsästhetik, ökonomische und soziale Faktoren) sowie die Konsumphase (Zubereitung und Verluste im Haushalt) und die Entsorgungsprozesse [Alig et al. 2012].

Die landwirtschaftliche Produktion dominiert in allen untersuchten Systemen die Umweltwirkungen. Für die Umweltwirkungen des verkaufsfähigen Fleisches ist die Ausgestaltung der Anbau- und Produktionspraxis ausschlaggebend, nicht der Produktionsort. Zentrale Faktoren für die Umweltwirkung der Tierproduktion auf Stufe Landwirtschaft sind die Systemgestaltung, die Effizienz des Systems (v.a. Futtermittelverwertung) sowie die Fütterung (Zusammensetzung und Produktion). Unter den nachgelagerten Prozessen haben die Schlacht-,

Verarbeitungs- und Verpackungsprozesse den grössten Anteil an den Umweltwirkungen. Verbesserungen sind v.a. in den Bereichen Wasser- und Energieverbrauch sowie Verpackungsmaterial möglich [Alig et al. 2012].

10.2 Ökobilanzen von stall- und weidebasierter Milchproduktion

Sutter et al. verglichen die ökologischen Stärken und Schwächen der beiden Systeme saisonale Vollweide (Verfütterung von Belüftungsheu und Stroh im Winter und Weidegras im Sommer) und Stallfütterung (basierend auf Mais- und Grassilage mit einer relativ hohen Kraffttergabe) mittels der Ökobilanzmethode Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA) miteinander [Sutter et al. 2013].

Die Weideherde-SILO schnitt in sieben von 13 Wirkungskategorien besser ab (Versauerungspotential, terrestrische Eutrophierung, Ökotoxizität, Ressourcenbedarf an Phosphor und Kalium, Abholzung, Biodiversität); zudem nützte sie die natürlichen Ressourcen und das regionale Potential besser als die Stallherde. Die Schwächen der Weideherde lagen im höheren Methanausstoss und dem höheren Flächenbedarf. Die Stallherde war in drei von 13 Wirkungskategorien deutlich besser als die Weideherde-SILO. Die Stallherde hatte ihre grössten Schwächen in der Abholzung von Wald, dem Ressourcenbedarf an Phosphor und Kalium und der Ökotoxizität. In der Gesamtbetrachtung überwiegen die Vorteile der Weideherde-SILO. Diese Abwägung zeigt, dass die Milchproduktion im Vollweidesystem ein grosses ökologisches Potential aufweist [Sutter et al. 2013].

10.3 Ökobilanzen ökologischer und integrierter Produktion

Der ökologische Landbau wird als vielversprechende Möglichkeit betrachtet, die Umweltbelastungen infolge intensiver Landwirtschaftspraktiken zu reduzieren. Nemecek et al. verglichen die beiden Systeme ökologischer Landbau und integrierte Produktion mittels der Ökobilanzmethode Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA) miteinander. Sie gingen dabei v.a. auch der Frage nach, ob ökologischer Landbau die Umweltbelastung effektiv reduziert, wenn der tiefere Ernteertrag und alle Anpassungen der Bewirtschaftungsmethoden auch berücksichtigt werden [Nemecek et al. 2011A].

Gesamthaft gesehen war der ökologische Landbau der integrierten Produktion entweder überlegen oder ähnlich in Bezug auf die Umweltwirkungen. Die Stärken des ökologischen Landbaus liegen v.a. in der besseren Ressourcenverwendung, da dieses Produktionssystem hauptsächlich betriebseigene Ressourcen bezieht und externe Hilfsmaterialien somit begrenzt zum Einsatz kommen. Indem Pestizide zudem nur sehr beschränkt eingesetzt werden, kann einerseits die Ökotoxizität reduziert und andererseits die Biodiversität erhöht werden. Die gesamthaft positive Beurteilung ist allerdings nicht für alle Produkte des ökologischen Landbaus gültig: ökologisch produzierte Kartoffeln belasten die Umwelt z.B. stärker als Kartoffeln der integrierten Produktion. Hauptnachteil des ökologischen Landbaus sind die tieferen Ernteerträge. Diese führen dazu, dass gewisse Produktionsfaktoren weniger effizient genutzt werden, womit die Vorteile des ökologischen Landbaus teils

zunichte gemacht werden. Der unterschiedliche Düngemiteleinsatz führt zudem dazu, dass im Verhältnis zu den Ernteerträgen ein relativ hoher Nährstoffverlust in Kauf genommen werden muss. Die Optimierung des ökologischen Landbaus ist somit hauptsächlich Output-gesteuert: Höhere Ernteerträge guter Qualität sollten mit den verfügbaren (begrenzten) Ressourcen erreicht werden. Die Optimierung der integrierten Produktion ist hingegen Input-gesteuert: Die Inputs sollten quantitativ und qualitativ so eingesetzt werden, dass die resultierenden Umweltbelastungen minimiert werden [Nemecek et al. 2011A].

Die Studie zeigt, dass die Schweizerischen Landwirtschaftssysteme trotz der vielen Anstrengungen in den letzten Jahren nach wie vor ein beträchtliches Potential haben zur Optimierung ihrer Umweltwirkungen [Nemecek et al. 2011A].

10.4 Ökobilanzen extensiver und intensiver Produktion

Die extensive Landwirtschaft wird als eine weitere Möglichkeit betrachtet, die vielen Probleme zu lösen, die mit intensiven Landwirtschaftspraktiken verbunden sind. Nemecek et al. verglichen verschiedene landwirtschaftliche Produktionssysteme mittels der Ökobilanzmethode Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA) miteinander. Sie gingen dabei v.a. auch der Frage nach, ob die extensive Landwirtschaft die Umweltbelastung effektiv reduziert, wenn die tiefere Produktivität auch berücksichtigt wird [Nemecek et al. 2011B].

Insgesamt vermochte die Extensivierung eines intensiven Produktionssystems die Umweltwirkungen zu reduzieren (sowohl pro Flächeneinheit als auch pro Produkteinheit). Es ist aber wichtig, die Wechselwirkungen der verschiedenen Elemente des Produktionssystems zu beachten, damit insgesamt ein gutes Gleichgewicht erreicht wird. Eine Veränderung eines Inputs kann eine Veränderung eines anderen Inputs zur Folge haben. Das Produktionssystem muss deshalb in seiner Gesamtheit betrachtet werden [Nemecek et al. 2011B].

In Ackerbausystemen ergaben mittlere Produktionsintensitäten die besten Resultate in Bezug auf die Umweltwirkungen. In der Graslandwirtschaft war eine Kombination von sowohl intensiv als auch extensiv bewirtschafteten Grundstücken gegenüber mittleren Produktionsintensitäten auf der gesamten Fläche hingegen zu bevorzugen. Die Unterschiede in Bezug auf Ernteertrag, Produktionsintensität und Umweltwirkung waren in der Graslandwirtschaft wesentlich grösser als in Ackerbausystemen. Eine partielle Extensivierung des Produktionssystems sollte erwogen werden, damit das Gesamtsystem erfolgreich ist: Die Extensivierung des Düngemiteleinsatzes und der Bodenbearbeitung resultierte z.B. in einer allgemein verbesserten Ökobilanz des Produktionssystems. Demgegenüber reduzierte die verminderte Pflanzenschutzmittelintensität infolge eines Verbots gewisser Pestizidkategorien nur den negativen Einfluss auf die Ökotoxizität und die Biodiversität, erhöhte aber umgekehrt andere negative Aspekte wie die globale Erwärmung, Ozonbildung, Eutrophierung und Versauerung pro Produkteinheit [Nemecek et al. 2011B].

Die Studie zeigt, dass die Schweizerischen Landwirtschaftssysteme nach wie vor ein beträchtliches Potential haben zur Optimierung ihrer Umweltwirkungen und dass eine detaillierte Analyse der Ökoeffizienz dazu beitragen könnte, eine weitere Reduktion der Umweltwirkungen zu erreichen [Nemecek et al. 2011B].

11 Diverse Themen

11.1 Ernährungssituation in der Schweiz

Schmid et al. fassten im Rahmen des Sechsten Schweizerischen Ernährungsberichtes die Ernährungssituation in der Schweiz zusammen. Mit auf der Agrarstatistik basierenden Verbrauchsdaten beurteilten sie den Verbrauch an Lebensmitteln über die letzten rund 30 Jahre hinweg. Die rückläufigen Trends im Verbrauch von Fleisch und Fleischprodukten sowie von Milch und Milchprodukten setzten sich nicht weiter fort; hingegen nahmen der Verbrauch von Früchten und der Konsum von alkoholischen Getränken weiter ab. Der Gemüseverbrauch wies zum ersten Mal keinen Anstieg auf. Zucker, Öle und Fette, Hülsenfrüchte sowie Fische und Schalentiere konnten eine geringfügige Zunahme im Verbrauch verbuchen; Getreide- und Kartoffelverbrauch blieben konstant. Die Verbrauchsdaten stimmen mit dem in verschiedenen Studien erhobenen Verzehrverhalten der Schweizer Bevölkerung weitgehend überein. Eine Mehrheit der Bevölkerung richtet sich nicht nach den aktuellen Ernährungsempfehlungen; die von der Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung empfohlene Anzahl Portionen an Gemüse, Früchten sowie Milch und Milchprodukten wird von der Mehrheit nicht erreicht. Männer, jüngere Personen und Personen mit niedrigem Bildungsniveau berücksichtigen die Ernährungsempfehlungen vergleichsweise am seltensten [Schmid et al. 2012].

Analog zum Lebensmittelverbrauch veränderten sich auch der daraus berechnete Verbrauch und angenäherte Verzehr an Energie, energieliefernden Nährstoffen, Nahrungsfasern und Mikronährstoffen nicht wesentlich. Der Energieverbrauch lag auf dem gleichen Niveau wie in früheren Jahren, wobei die berechnete Energiezufuhr die reale Energieaufnahme überschätzt. Bei den energieliefernden Nährstoffen wiesen nur die mehrfach ungesättigten Fettsäuren einen leicht ansteigenden und damit positiven Trend auf; die Verbrauchsmengen der übrigen energieliefernden Nährstoffen veränderten sich nicht wesentlich. Die Anteile von Protein, Fett und Kohlenhydraten am angenäherten Gesamtverzehr an Energie lagen im Bereich der Empfehlungen, wenn auch beim Fett an der oberen Grenze. Nicht eingehalten wurden jedoch die Empfehlungen bezüglich Anteile der einzelnen Fettsäuregruppen. Mit Ausnahme von Vitamin D und Folsäure scheint der Bedarf an Makro- und Mikronährstoffen gedeckt zu werden (für Vitamin B1, Magnesium und Eisen allerdings nur sehr knapp) und die Energiezufuhr ist mehr als ausreichend. Allerdings ist trotzdem möglich, dass gewisse Bevölkerungsgruppen bzw. Teile der Bevölkerung bei einzelnen Mikronährstoffen (Eisen, Jod) eine Unterversorgung aufweisen [Schmid et al. 2012].

Rund 30% der Schweizer Bevölkerung achtet auf nichts in der Ernährung. Ein geringes Ernährungsbewusstsein und ein geringes Ernährungswissen finden sich hauptsächlich bei Männern, jüngeren Personen und Personen mit einem niedrigen Bildungsniveau. Das Ernährungswissen hat einen gewissen, wenn auch nicht sehr ausgeprägten Einfluss auf das Verzehrverhalten. Aufgrund der wissenschaftlichen Datenlage lassen sich keine eindeutigen Aussagen darüber machen, welches Kennzeichnungssystem (Nährwertkennzeichnung, Front-of-Pack-Kennzeichnungen, Labels) am verständlichsten und wirkungsvollsten ist, um den Konsumenten die gesunde Wahl zu erleichtern. An Wichtigkeit gewonnen haben die Ausser-Haus-Verpflegung sowie die

Verwendung von Convenience-Produkten zu Hause. Die von der Industrie und Gastronomie gewählten Rezepturen nehmen damit zunehmend Einfluss auf die Nährstoffversorgung der Schweizer Bevölkerung [Schmid et al. 2012].

Generell ist die Datenlage zur Ernährungssituation in der Schweiz unbefriedigend, da die Daten zur Nährstoffversorgung aus der Agrarstatistik gewonnen und auf einen Lebensmittelverbrauch pro Kopf der Bevölkerung umgerechnet werden. Sie erlauben keine Rückschlüsse auf den Versorgungsgrad einzelner Bevölkerungsgruppen und schon gar nicht einzelner Individuen. Repräsentative und differenzierte Daten zur Nährstoffversorgung sind unverzichtbar für die Erarbeitung von sinnvollen und konkreten Massnahmen zur Aufrechterhaltung und Verbesserung der Ernährungssituation. Die Verbrauchsdaten stellen aber eine umfassende Datengrundlage dar, aus der u.a. Informationen zu Konstanz, Veränderungen oder Trends im Verbrauch von einzelnen Lebensmitteln oder Lebensmittelgruppen gewonnen werden können [Schmid et al. 2012].

Ein quantitativer Vergleich der Schweizer mit den europäischen Daten ist aufgrund der unterschiedlichen Erhebungsmethoden (Verbrauch vs. Verzehr, Einsatz unterschiedlicher Nährwertdatenbanken für Datenauswertung) nur bedingt möglich. Grundsätzlich sind der Lebensmittelverbrauch sowie der angenäherte Verzehr an Energie, energieliefernden Nährstoffen und Mikronährstoffen in der Schweiz vergleichbar mit anderen Ländern Europas. Der hohe Anteil an übergewichtigen und adipösen Kindern und Erwachsenen weist darauf hin, dass das Ernährungsverhalten in ganz Europa einschliesslich der Schweiz noch verbessert werden könnte [Schmid et al. 2012].

11.2 Einfluss von Hefepilzen auf die Aromatik von Spirituosen

Hefepilze sind der Motor der alkoholischen Gärung; für qualitativ hochstehende Edelbrände ist die richtige Hefe nötig. Heiri et al. konnten nun beweisen, dass Hefepilze in Zwetschgen-/Pflaumenbränden aromafördernde Eigenschaften haben. Dazu stellten sie drei sortenreine Destillate her (Berudge, Damassine und Mirabellen). Die sortenrein gequetschten Früchte wurden vorerst alle auf einen pH-Wert von 3.2 angesäuert und danach mit Reinzucht-Hefen versetzt, um die Gärung auszulösen. Die Destillation erfolgte nach einer 21-tägigen Gärperiode bei 17°C. Die frischen Destillate wurden zwei Monate zur Reifung gelagert und anschliessend auf eine Trinkstärke von 43 Vol.-% herabgesetzt [Heiri et al. 2011].

Fünf geschulte Verkoster beurteilten den Geruch und Geschmack der Destillate mittels freier Beschreibung. Anlässlich einer Fachtagung im Jahr 2011 konnten zudem ca. 80 Teilnehmende die Produkte degustieren. Schliesslich erfolgte auch eine instrumentelle Analyse der Destillate mittels Elektronischer Nase, welche die flüchtigen Aromen in einem „Fingerprint“ des gesamten Destillats charakterisierte [Heiri et al. 2011].

Die geschulten Verkoster konnten klare Unterschiede in Bezug auf Fruchtigkeit und Schärfe innerhalb der Fruchtarten feststellen. Die Teilnehmenden der Fachtagung bestätigten diese Erkenntnisse einstimmig. Mit Hilfe der Ergebnisse der Elektronischen Nase konnten die Brände

schliesslich gruppiert werden. Das Aroma wird im Wesentlichen von den Früchten und den eingesetzten Hefen beeinflusst, wobei der Fruchteinfluss grösser ist als der Hefeeinfluss. Die verschiedenen Hefestämme erzeugen eine typische, wiedererkennbare Gäraromatik; je nach Reinzuchthefereweisen die Brände ein anderes Aromaprofil auf [Heiri et al. 2011].

11.3 Honig und Blutzuckerspiegel

Der häufige Konsum von Mahlzeiten mit einem hohen Glykämischen Index (GI) hat einen hohen Blutzuckerspiegel zur Folge, der mit einer vermehrten Ausschüttung von Insulin wieder gesenkt werden muss. Ein hoher Insulinspiegel führt zu einer vermehrten Freisetzung von freien Fettsäuren aus dem Fettgewebe, welche ihrerseits die Insulinempfindlichkeit der Zellen beeinflussen (Insulinresistenz), so dass die Zellen weniger Glukose aufnehmen können. Dies hat wiederum zur Folge, dass noch mehr Insulin ausgeschüttet werden muss, um den Blutzuckerspiegel zu regulieren. Damit beginnt ein Teufelskreis; der Blutzuckerspiegel bleibt irgendwann konstant erhöht – dies wird Typ-2-Diabetes genannt. Lebensmittel mit einem hohen GI erhöhen nicht nur das Risiko für die Entwicklung von Typ-2-Diabetes, sondern stehen auch im Zusammenhang mit anderen chronischen Krankheiten und Risikofaktoren wie Übergewicht und Herzinfarkt [Walther & Kast 2011].

Honig besteht hauptsächlich aus Zucker; den grössten Anteil (bis zu 80% je nach Sorte) machen Glukose und Fruktose aus. Der Fruktoseanteil im Honig beeinflusst den GI der verschiedenen Honigarten und -sorten: Mit zunehmendem Fruktoseanteil nimmt der GI ab. Einige Sortenhonige – laut ausländischen Studien z.B. Akazien-, Edelkastanien- und Lindenblütenhonig – lassen den Blutzuckerspiegel weniger stark ansteigen als reiner Kristallzucker (Saccharose) und haben insofern einen günstigeren GI (zwischen 50-55) als Saccharose (GI > 70), weshalb sie für Menschen, die zu Übergewicht und/oder Typ-2-Diabetes neigen, als Süssungsmittel vorteilhafter sein könnten. Eine geplante Schweizer Studie wird zeigen, ob diese Erkenntnisse auch für Schweizer Honig gelten – aufgrund ihrer Fruktosegehalte sind bei den Sortenhonigen Akazie und Kastanie geringere GI-Werte zu erwarten, bei Raps und Löwenzahn hingegen höhere GI-Werte [Walther & Kast 2011].

12 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In den Jahren 2011-2013 hat sich das Agroscope Forschungsprogramm NutriScope wie bereits in der Periode 2008-2010 im Wesentlichen auf Milch und Milchprodukte, Fleisch und Fleischprodukte sowie pflanzliche Lebensmittel konzentriert. Weitere Forschungsbereiche waren u.a. Nutrigenomik/Nutrigenetik/Nutriepigenetik, Lebensmittelsicherheit und -qualität, Salz, Sensorik und Konsumentenforschung sowie die Ökobilanzierung von Lebensmitteln.

Rund die Hälfte der im Rahmen von NutriScope 2011-2013 durchgeführten Studien waren Agroscope-eigene Arbeiten (73 von insgesamt 144 zitierten Publikationen); die übrigen Publikationen waren reine Literaturarbeiten.

Für die inhaltliche Zusammenfassung der vorliegenden Synthese wird auf das Kapitel Zusammenfassung verwiesen.

Die Fülle der unter NutriScope 2011-2013 erforschten Themen zeigt einerseits, wie breit das Forschungsprogramm war. Andererseits zeugt die Themenfülle aber auch von einer gewissen thematischen Verzettelung bzw. unklaren inhaltlichen Ausrichtung von NutriScope. Dies wiederum erschwert es wie bereits in der Periode 2008-2010, augenfällige Datenlücken in den jeweiligen Forschungsbereichen zu identifizieren.

Empfehlungen

Die nachfolgend formulierten Empfehlungen zur inhaltlichen Fortführung der Ernährungsforschung von Agroscope basieren auf der vorliegenden Synthese sowie auf den strategischen Zielen von Agroscope, wie sie auf der entsprechenden Website zu finden sind. Sie entsprechen den persönlichen Empfehlungen der Erstautorin. Unberücksichtigt blieben dabei die bestehenden Rahmenbedingungen wie beispielsweise personelle und finanzielle Ressourcen, politische Gegebenheiten, strategische Vorgaben oder Ernährungsforschungsstrategien anderer Schweizer Forschungsinstitute, die natürlich ebenfalls von zentraler Bedeutung sind.

Agroscope forscht laut www.agroscope.ch für schmackhafte, sichere Lebensmittel, für eine gesunde Umwelt und für eine innovative, wettbewerbsfähige Landwirtschaft. Agroscope fördert eine multifunktionale und wettbewerbsfähige schweizerische Landwirtschaft. Agroscope achtet dabei auf wirtschaftliche, ökologische und soziale Anliegen. Agroscope richtet sich auf zukünftige Herausforderungen aus und gibt transdisziplinären und innovativen Systemansätzen den gebührenden Stellenwert. Agroscope arbeitet anwendungsorientiert.

Allgemein empfiehlt die Erstautorin betreffend Ernährungsforschung von Agroscope:

- **Strategische Ziele von Agroscope:** Die Ernährungsforschung von Agroscope sollte sich an den strategischen Zielen von Agroscope orientieren. Aus diesen Zielen sollten prioritäre Forschungsbereiche abgeleitet werden.
- **Forschungsprogramm:** Damit die Ernährungsforschung von Agroscope zielorientiert und fokussiert bleibt bzw. wird, ist eine Bündelung zu einem übergeordneten Forschungsprogramm zu empfehlen (wie dies bei NutriScope der Fall war).

- **Angewandte Ernährungsforschung:** Die Ernährungsforschung von Agroscope sollte immer praxis- bzw. anwendungsorientiert sein.
- **Fokus Schweiz:** Die Ernährungsforschung von Agroscope sollte sich auf Lebensmittel schweizerischer Herkunft bzw. auf Schweizer Rahmenbedingungen (z.B. landwirtschaftlicher Art) konzentrieren (wenn immer dies möglich ist und sinnvoll scheint), um so einen Mehrwert für die Schweizer Forschungslandschaft (und fallspezifisch auch für die Schweizer Wirtschaft) zu generieren.
- **Ernährungsforschungslandschaft Schweiz:** Die Abstimmung der Agroscope Forschungsstrategie auf die Forschungsstrategien Schweizer Fachhochschulen (die auch anwendungsorientiert forschen) ist zentral, damit einerseits Doppelspurigkeiten vermieden und andererseits Synergien optimal genutzt werden können. Auch die Forschungsstrategien der Schweizer Hochschulen sowie weiterer relevanter Schweizer Forschungsinstitute (z.B. Spitäler) sollten berücksichtigt werden.
- **Internationale Ernährungsforschung:** Die wissenschaftlichen Erkenntnisse auf internationaler Ebene müssen bei der Definition der zukünftigen Forschungsfelder von Agroscope im Bereich Ernährung ebenfalls berücksichtigt werden.

12.1 Milch und Milchprodukte

Im Themenbereich „Milch und Milchprodukte“ befasste sich NutriScope 2011-2013 einerseits mit Produktgruppen, die für die Schweiz von grosser Bedeutung sind (z.B. Käse), andererseits aber auch mit bisher wenig erforschten Produktgruppen (z.B. Ziegen- und Schafmilchprodukte) und Nebenprodukten der Quark-, Käse- und Butterherstellung (z.B. Molke, Buttermilch).

Die Untersuchung der gesundheitlichen Aspekte von Milch und Milchprodukten nahm bei NutriScope 2011-2013 einen verhältnismässig grossen Stellenwert ein – wie es bereits im Rahmen von NutriScope 2008-2010 der Fall war.

Empfehlungen

Der Forschungsbereich rund um die Untersuchung der gesundheitlichen Aspekte von Milch und Milchprodukten als eine der Kernkompetenzen von Agroscope sollte aufrecht erhalten bleiben und auf dem bestehenden, grossen Know How aufbauen.

Im Rahmen von NutriScope wurden 2011-2013 verschiedene Humanstudien zur Untersuchung der gesundheitlichen Wirkungen von Milch und Milchprodukten durchgeführt – teils in Partnerschaft mit klinischen Forschungsstätten und mit teils sehr innovativen Ansätzen (z.B. Projekt NutriChip). Diese Forschungsrichtung sollte aus Sicht der Erstautorin weiterverfolgt werden – v.a. wegen des bereits grossen Know Hows im Bereich „Milch und Milchprodukte“ und weil dem Anspruch von Agroscope an transdisziplinären und innovativen Systemansätzen damit optimal Rechnung getragen werden kann.

Wie im Forschungsbereich „Fleisch und Fleischprodukte“ könnte allenfalls erwogen werden, die Zusammensetzung spezifischer Milchproduktgruppen schweizerischer Herkunft näher zu untersuchen (z.B. AOP Käse), breiter zu kommunizieren und u.a. Veröffentlichungen in Fachzeitschriften anzustreben. Bestehende Arbeiten müssten dabei berücksichtigt werden: v.a. die Arbeit von Sieber 2012 mit Ein-

schluss diverser Milchproduktgruppen (inkl. Käse), aber auch andere Studien, die vereinzelt Angaben liefern.

12.2 Fleisch und Fleischprodukte

Im Themenbereich „Fleisch und Fleischprodukte“ befasste sich NutriScope 2011-2013 einerseits mit Nährstoffanalysen von Schweizer Rohpökelfleisch und Kochpökelfleisch (Schweizer Brühwürste und Rohwürste waren im Rahmen von NutriScope 2008-2010 untersucht worden) und andererseits mit einigen ausgewählten technologischen und gesundheitlichen Aspekten rund um Fleisch und Fleischprodukte.

Empfehlungen

Der Forschungsbereich rund um die Untersuchung von Schweizer Frischfleisch und Fleischprodukten als eine weitere Kernkompetenz von Agroscope sollte ebenfalls aufrecht erhalten bleiben und auf dem bestehenden, grossen Know How aufbauen.

Wie im Forschungsbereich „Milch und Milchprodukte“ könnten allenfalls vermehrt Humanstudien durchgeführt werden (wenn möglich in Partnerschaft mit klinischen Forschungsstätten) zwecks Untersuchung eines spezifischen gesundheitlichen Aspekts von (Schweizer) Fleisch und Fleischprodukten (z.B. bioaktive Substanzen).

12.3 Pflanzliche Lebensmittel

Im Themenbereich „Pflanzliche Lebensmittel“ befasste sich NutriScope 2011-2013 hauptsächlich mit Polyphenolen und Carotinoiden. Untersucht wurden u.a. Blattsalate, Spinat, Kohlgemüse, Äpfel, Aprikosen, Erdbeeren und Raps.

Empfehlungen

Der Themenbereich „Pflanzliche Lebensmittel“ wurde im Rahmen von NutriScope noch nicht so umfassend erforscht wie die beiden Bereiche „Milch und Milchprodukte“ und „Fleisch und Fleischprodukte“. Insofern bestehen in diesem Themenbereich relativ grosse Datenlücken, die es in Zukunft zu schliessen gilt. Die Forschung von Agroscope sollte sich auch hier auf Lebensmittel schweizerischer Herkunft bzw. auf Schweizer Rahmenbedingungen (z.B. landwirtschaftlicher Art) konzentrieren (wenn immer dies sinnvoll scheint).

Die Produktgruppen Getreide, Kartoffeln und Hülsenfrüchte wurden im Rahmen von NutriScope nur wenig erforscht. Gerade Getreide (z.B. in Form von Brot, Frühstücksflocken, Teigwaren usw.) und Kartoffeln (z.B. in Form von Bratkartoffeln, Gschwellti, Pommes Frites, Rösti, Gratin usw.) nehmen in der Ernährung der Schweizer Bevölkerung aber einen relativ hohen Stellenwert ein, so dass deren Erforschung berechtigt scheint.

Ähnlich wie in den beiden Bereichen „Milch und Milchprodukte“ und „Fleisch und Fleischprodukte“ könnten auch spezifische pflanzliche Lebensmittelgruppen aufgrund ihrer Inhaltsstoffe charakterisiert werden (Gehalte an Mikronährstoffen, Nahrungsfasern und sekundären Pflanzenstoffen). In einem weiteren Schritt wären auch in diesem Forschungsbereich Humanstudien zwecks Untersuchung eines spezifischen gesundheitlichen Aspekts von (Schweizer) Früchten und Gemüse (oder auch anderer pflanzlicher Lebensmittel wie Getreide, Kartoffeln oder Hülsenfrüchte) denkbar.

12.4 Nutrigenomik/Nutrigenetik/Nutriepigenetik

Da Nutrigenomik/Nutrigenetik/Nutriepigenetik zu relativ jungen Forschungsbereichen zählen, befassten sich diverse Arbeiten im Rahmen von NutriScope 2011-2013 mit den Grundlagen dieser Forschungsbereiche. Darüberhinaus wurde das Projekt NutriChip lanciert, welches völlig neue Wege geht und den Einfluss der Lebensmittelqualität auf die Gesundheit über Unterschiede in der Genexpression untersucht.

Empfehlungen

Nutrigenomik/Nutrigenetik/Nutriepigenetik weiter zu erforschen scheint sinnvoll – v.a. auch vor dem Hintergrund, dass sich Milchprodukte als Lebensmittelmodelle optimal eignen, da ihr Konsum mit relativ tiefen Konzentrationen von Entzündungsmarkern im Blut in Verbindung gebracht wird und die Möglichkeit von technologischer Transformation besteht [Vergères et al. 2012; Schwander 2013].

12.5 Lebensmittelsicherheit und -qualität

NutriScope befasste sich 2011-2013 mit der Qualität bzw. Sicherheit von Milch und Milchprodukten (v.a. von Kuhmilch und Käse, aber auch von Ziegen- und Schafmilch), mit der mikrobiologischen Sicherheit frischer Früchte und Gemüse sowie mit der Qualität von Kernobst (Reifebestimmung). Ferner wurde im Rahmen von NutriScope ein generisches Programm zur Priorisierung von Gefahren aus Lebens- und Futtermitteln entwickelt.

Empfehlungen

Ein strategisches Ziel von Agroscope lautet, für schmackhafte, *sichere* Lebensmittel zu forschen. Die Lebensmittelsicherheit ist damit ein zentrales Forschungsgebiet von Agroscope.

Vor dem Hintergrund der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen (u.a. zunehmende Globalisierung) ist Lebensmittelsicherheit und -qualität heute oftmals eine internationale Herausforderung. Umso wichtiger ist es in diesem Bereich, dass die Forschung auch internationale Geschehnisse berücksichtigt – nur so können relevante Forschungsfelder frühzeitig identifiziert werden.

12.6 Salz

NutriScope zeigte 2011-2013 die Möglichkeiten und Grenzen der Salzreduktion in Fleischprodukten und in der Käseherstellung auf.

Empfehlungen

Das Bundesamt für Gesundheit verfolgt mit der Salzstrategie sehr ehrgeizige Ziele zur Senkung des Salzkonsums in der Schweiz. Diese Ziele werden nur erreicht werden können, wenn auch die Forschung einen Beitrag leistet und neue Möglichkeiten zur Salzreduktion in verschiedenen Produktgruppen identifiziert. Der Forschungsbereich Salz wird in der Schweiz bis mindestens 2016 (dann läuft das aktuelle Nationale Programm Ernährung und Bewegung aus, welches u.a. die Salzstrategie umfasst) somit weiterhin ein aktuelles Thema bleiben.

Da sich auch andere Schweizer Forschungsinstitutionen mit dem Thema Salz befassen (u.a. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL) und die Relevanz von Salz für Agroscope generell beschränkt scheint (z.B. keine Relevanz in pflanzlichen Lebensmitteln), ist Salz

bei Agroscope aus Sicht der Erstautorin kein prioritärer Forschungsbereich.

12.7 Sensorik und Konsumentenforschung

Im Bereich der Sensorik und Konsumentenforschung befasste sich NutriScope 2011-2013 mit verschiedenen Aspekten, die auch im Marketing von Bedeutung sind (z.B. im Rahmen der Marktpositionierung eines Produktes): Produktdifferenzierung, Ansatz der lokalen Einbettung. Daneben standen v.a. zwei Produkte im Fokus: Joghurts (Zuckerreduktion, Aromatisierung, Einsatz von Süsstoffen) und Äpfel (sensorische Charakterisierung, Konsumententests).

Empfehlungen

Ein strategisches Ziel von Agroscope lautet, für *schmackhafte*, sichere Lebensmittel zu forschen. Die Sensorik ist damit ein zentrales Forschungsgebiet von Agroscope.

Die Sensorik und Konsumentenforschung ist für Lebensmittelindustrie und -handel zudem von grosser Bedeutung und sollte auch aus diesem Grund ein Forschungsstandbein von Agroscope bleiben. Die Bedürfnisse von Lebensmittelproduzenten und -händlern, die in der Schweiz aktiv sind, sollten vermehrt berücksichtigt werden, wenn immer dies möglich und sinnvoll ist.

12.8 Ökobilanzierung von Lebensmitteln

Ein zentrales Element von NutriScope im Bereich der Ökobilanzierung von Lebensmitteln war 2011-2013 die von Agroscope und dem Beratungsunternehmen Quantis im 2013 ins Leben gerufene World Food LCA Database (Datenbank mit aktuellen Daten zur Ökobilanzierung von Lebensmitteln und Getränken). Im Rahmen von NutriScope wurden ferner verschiedene Ökobilanzstudien durchgeführt (in den Bereichen Fleischproduktion, Milchproduktion, Ackerbau, Graslandwirtschaft). Basis zur Analyse der Umweltwirkungen war dabei jeweils die von Agroscope entwickelte Methode SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment).

Empfehlungen

Die World Food LCA Database sollte im Zentrum der Forschung von Agroscope im Bereich der Ökobilanzierung von Lebensmitteln bleiben.

Die im Rahmen von NutriScope 2011-2013 durchgeführten Ökobilanzstudien zeigen, dass die Schweizerischen Landwirtschaftssysteme nach wie vor ein beträchtliches Potential zur Optimierung ihrer Umweltwirkungen haben [Nemecek et al. 2011A; Nemecek et al. 2011B]. In diesem Bereich besteht deshalb noch Forschungsbedarf.

Ein neues Forschungsgebiet für Agroscope könnten die Zusammenhänge zwischen Gesundheit des Menschen und nachhaltiger Lebensmittelproduktion sein (bezogen auf Schweizer Rahmenbedingungen). Dieses Forschungsgebiet gewinnt international zunehmend an Bedeutung; die Schweiz könnte insofern eine Pionierrolle übernehmen, als die Ausgangslage relativ gut ist (generell hohes Einkommens- und Bildungsniveau und damit guter Gesundheitszustand der Gesamtbevölkerung, generell relativ hoher Anteil an nachhaltig produzierten Lebensmitteln in den beiden grossen Detailhandelsketten der Schweiz Migros und Coop, was auf eine gewisse Offenheit der Schweizer Bevölkerung gegenüber diesen Lebensmitteln schliessen lässt usw.).

13 Abkürzungsverzeichnis

ACE	Angiotensin-converting enzyme
AOP	kontrollierte Herkunftsbezeichnung (Appellation d'Origine Protégée)
BAG	Bundesamt für Gesundheit
CLA	konjugierte Linolsäuren
CRP	C-reaktives Protein
CT	Computer-Tomographie
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DPP-4	Dipeptidylpeptidase 4
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority)
FAO	Food and Agriculture Organization
FDA	U.S. Food and Drug Administration
GI	Glykämischer Index
GLP1	Glucagon-like Peptide 1
HAFL	Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften der Berner Fachhochschule
HDL	high-density-lipoprotein
HOLL	high-oleic low-linolenic
hs-CRP	hochsensitives C-reaktives Protein
IGF-1	insulin-like growth factor-1
IL-6	Interleukin-6
IPP	Isoleucyl-Prolyl-Prolin
IU	Internationale Einheiten (International Units)
KCl	Kaliumchlorid
LCA	Life Cycle Assessment
LDL	low-density-lipoprotein
MFGM	Milchfettkügelchenmembran (milk fat globule membrane)
MS	Massenspektrometrie
MUFA	einfach ungesättigte Fettsäuren (mono unsaturated fatty acids)
ÖLN	ökologischer Leistungsnachweis
PRAL-Wert	potential renal acid load
PUFA	mehrfach ungesättigte Fettsäuren (poly unsaturated fatty acids)
RNA	Ribonukleinsäure
ROS	Radikale Sauerstoffspezies
SALCA	Swiss Agricultural Life Cycle Assessment
SFA	gesättigte Fettsäuren (saturated fatty acids)
TFA	Transfettsäuren (trans fatty acids)
VPP	Valyl-Prolyl-Prolin
VTEC	Verotoxin-produzierende <i>Escherichia coli</i>
WFLDB	World Food LCA Database
WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization)

14 Literaturverzeichnis

- Agroscope, Quantis. World Food LCA Database (WFLDB), 2013. <http://www.quantis-intl.com/wfldb/> (letzter Zugriff 20. Februar 2014).*
- Alig M, Grandl F, Mieleitner J, Nemecek T, Gaillard G. Ökobilanzen von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch. Executive Summary. Agroscope 2012.*
- Arrigoni E, Ceymann M, Reif C. Sekundäre Pflanzenstoffe und Sortenvielfalt. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2012; 1: 11-15.*
- Bachmann HP, Fröhlich-Wyder MT, Jakob E, Roth E, Wechsler D, Beuving E, Buchin S. Raw Milk Cheeses. Encyclopedia of dairy sciences 2011A: 652-660.
- Bachmann HP, Bütikofer U, Fröhlich-Wyder MT, Isolini D, Jakob E. Swiss-Type Cheeses. Encyclopedia of dairy sciences 2011B: 712-720.
- Bachmann HP, Eugster E, Guggenbühl B, Schär H. Weltmeisterliche Käse-Kulturen. Agrarforschung Schweiz 2011C: 2: 534-541.
- Baumgartner A, Niederhauser I, Schaeren W. Occurrence of *Coxiella burnettii* DNA in bulk tank milk samples in Switzerland. Archiv für Lebensmittelhygiene 2011: 62: 200-204.*
- Baux A, Colbach N, Pellet D. Crop management for optimal low-linolenic rapeseed oil production – Field experiments and modelling. European Journal of Agronomy 2011: 35: 144-153.*
- Baux A, Colbach N, Allirand JM, Jullien A, Ney B, Pellet D. Insights into temperature effects on the fatty acid composition of oilseed rape varieties. European Journal of Agronomy 2013: 49: 12-19.*
- Berger T, Weingart O, Avondet M, Egger C, Schaeren W, Steiner A. Milch-Pasteurisation gegen BoNT. Alimenta 2011: 23: 13.*
- Berger T, Jakob E, Haldemann J, Diethelm M, Breidenbach E. Milchprodukte von der Alp – schmackhaft und sicher! Empfehlung für Alp-Berater. ALP forum 2012A: 92: 1-12.
- Berger T, Jakob E, Haldemann J, Diethelm M, Breidenbach E. Milchprodukte von der Alp – schmackhaft und sicher! Empfehlungen für Alpsennereien. Agroscope Liebefeld-Posieux ALP-Haras, Bern. 2012B: 8 S.
- Bisig W. Liquid Milk Products: Flavored Milks. Encyclopedia of Dairy Sciences, Second Edition 2011: 3: 301-306.
- Bisig W. Die Schweizer Bergmilch und ihre Besonderheiten. Montagna 2012: 11: 6.
- Boesch I, Lips M, Egloff L, Zorn A. Qualitative Differenzierung landwirtschaftlicher Produkte. Eine Sammlung von Beispielen. Online-Bericht. Agroscope 2013.
- Breidenbach E, Schorer M, Schmid M, Blumer C, Gut C, Michelini F, Berger T, Hummerjohann J, Pasquier J, Arpagaus S. Nationales Untersuchungsprogramm Milchprodukte. Bundesamt für Gesundheit, Bundesamt für Veterinärwesen, Bundeseinheit für die Lebensmittelkette, Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux, Verband der Kantonschemiker der Schweiz: 2012.*
- Brugger C. Sensorik des Apfels. Obstbau 2013A: 6: 339-340.
- Brugger C. Sensorik des Apfels. Geschmacksschule – Teil 2. Obstbau 2013B: 7: 392-393.
- Brugger C. Sensorik des Apfels. Geschmacksschule – Teil 3: Textur. Obstbau 2013C: 8: 447-448.
- Brugger C. Sensorik des Apfels. Geschmacksschule – Teil 4: Richtig verkosten. Obstbau 2013D: 9: 492-493.*
- Cajacob L, Schmid A. Schluckstörungen durch Milch? Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2013: 2: 30.
- Ceymann M. Polyphenol content and profile in apples and its potential relevance to human health. Dissertation ETH No. 20973, 2013.*
- Ceymann M, Arrigoni E, Schärer H, Baumgartner D, Bozzi Nising A, Hurrell RF. Rapid high performance screening method using UHPLC-MS to quantify 12 polyphenol compounds in fresh apples. Analytical Methods 2011: 3: 1774.*
- Ceymann M, Arrigoni E, Schärer H, Bozzi Nising A, Hurrell RF. Identification of apples rich in health-promoting flavan-3-ols and phenolic acids by measuring the polyphenol profile. Journal of Food Composition and Analysis 2012: 26: 128.*
- Ceymann M, Arrigoni E, Schärer H, Baumgartner D, Nyström L, Hurrell RF. Effects of pre-harvest factors on polyphenol content and profile in fresh apples (*in preparation A*).*
- Ceymann M, Erni P, Arrigoni E, Hurrell FR. Influence of matrix on *in vitro* accessibility of apple polyphenols (*in preparation B*).*
- Chollet M, Piccinali P. Moins y a d'arôme, mieux c'est. Alimenta 2011: 23: 14.*
- Chollet M, Stoffers-Kneubühler H. Praxisorientierte Forschung für Milch- und Fleischprodukte. Fleisch und Feinkost 2011: 1: 6.
- Chollet M, Gille D, Schmid A, Walther B, Piccinali P. Acceptance of sugar reduction in flavored yogurt. Journal of Dairy Science 2013: 96: 5501-5511.*
- Crole-Rees A, Spörri M, Rösti J, Brugger C. Produkte-Differenzierung für noch mehr Konsumentenvertrauen in Schweizer Produkte. Agrarforschung Schweiz 2013: 4: 402-405.
- Decurtins F, Good C, Brugger C, Franck L, Kellerhals M. Konsumententest mit Apfel-Neuzüchtungen in der deutschen und in der französischen Schweiz. Agrarforschung Schweiz 2011: 2: 80-87.*
- Drissner D, Zürcher U. Microbial safety of fresh fruits and vegetables. Encyclopedia of Food Safety (*in press*).
- Eberhard P. Natriumreduktion in italienischer Salami. Fleisch und Feinkost 2011: 1: 7.
- Eberhard P. Teilweiser Ersatz von Kochsalz in Fleischerzeugnissen. Fleisch und Feinkost 2012A: 9: 18.
- Eberhard P. Salzreduktion bei Fleischerzeugnissen. Teil 2. Suisseporcs Information 2012B: 8: 20-21.*
- Eberhard P. Salami ohne Speck. Fleisch und Feinkost 2013: 4: 12.
- Eberhard P, Piccinali P. Konsumententest mit salzreduziertem Salami. Fleisch und Feinkost 2011: 18: 11.*
- Eberhard P, Schmid A. Eine Salzreduktion in Fleisch- und Wurstwaren ist möglich – aber nur begrenzt. Fleisch und Feinkost 2011: 9: 12.*
- Eriksen JN. Carotenoids in nutrition and health: validation of an *in vitro* accessibility method and bioavailability from plant matrices (*personal communication*).*
- Farrokh C, Jordan K, Auvray F, Cerf O, Glass K, Oppegaard H, Raynaud S, Thevenot R, De Reu K, Govaris A, Heggum K, Heyndrickx M, Hummerjohann J, Lindsay D, Miszczycha S, Moussié S, Verstrate K. Review of Shiga-toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) and their significance in dairy production. International Journal of Food Microbiology 2013: 162: 190-212.
- Fasel H, Hummerjohann J, Meile L. Development of a lab-scale cheese model to investigate the inactivation and survival of different *Escherichia coli* strains. Master Thesis ETHZ. 2011.*
- Fröhlich-Wyder MT. Lebensmittelqualität und ihre verschiedenen Facetten. Aufgezeigt am Beispiel der Bedeutung von Salz im Käse. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2012: 1: 6-10.

- Gafner J. Schweflige Säure für eine nachhaltige Weinqualität. Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau 2011: 147: 15.
- Gasser F, Gabioud Rebeaud S. Obsteinlagerung und Reifebestimmung. Früchte & Gemüse 2012: 8: 2-7.
- Gille D. Ziegenmilch tut auch den Menschen gut. Lebensmittel-Technologie 2011A: 9: 46-48.
- Gille D. Le lait: une boisson de sportifs? Swissmilk Maillaiter 2011B.
- Gille D. Wirkt Milch antioxidativ? Swissmilk Maillaiter 2011C.
- Gille D. The health aspects of buttermilk components. A review. ALP science 2011D: 540.
- Gille D. Gesättigte Fettsäuren und Laktoferrin – potenzielle Knochenbauer? Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2011E: 2: 38.
- Gille D. Potenzial der Milchprodukte als Brainfood. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2012: 2: 21.
- Gille D. Fermentierte Milchprodukte trotz Laktoseintoleranz! Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2013: 3: 35.
- Gille D, Walther B. Wie reguliert Milch das Gewicht? Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2011: 3: 38.
- Gille D, Piccinali P, Brombach C. Milch- und Zwischenmahlzeitenkonsum der Schweizer Generation 50+. Ernährung im Fokus 2012: 1: 14-18.*
- Gille D, Schmid A. Vitamin B12 in meat and dairy products. Nutrition Reviews (submitted).
- Gille D, Soneson C, Schwander F, Kopf-Bolanz KA, Walther B, Laederach K, Guy Vergères G. Identification of nutritional health biomarkers for metabolic flexibility in blood – a postprandial dose-response strategy. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (submitted).*
- Goy D, Piccinali P, Wechsler D, Jakob E. Caractérisation du Gruyère AOC. ALP science 2011: 536.*
- Graber HU, Pfister S, Burgener P, Boss R, Meylan M, Hummerjohann J. Bovine *Staphylococcus aureus*: Diagnostic properties of specific media. Research in Veterinary Science 2013: 95: 38-44.
- Guggenbühl B, Zehntner U. Probiotika und Health Claims: Ein lösbares Dilemma? Lebensmittel-Technologie 2012: 10: 2-3.
- Guggisberg D, Piccinali P, Schreier K. Effects of sugar substitution with Stevia, Actilight™ and Stevia combinations or Palatinose™ on rheological and sensory characteristics of low-fat and whole milk set yoghurt. International Dairy Journal 2011: 21: 636-644.*
- Guggisberg D, Chollet M, Schreier K, Portmann R, Egger L. Effects of heat treatment of cream on the physicochemical properties of model oil-in-buttermilk emulsions. International Dairy Journal 2012: 26: 88-93.*
- Heiri M, Baumgartner D, Gafner J, Petignat-Keller S. Einfluss der Hefen auf die Spirituosenaromatik. Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau 2011: 9: 8-10.*
- Hoffmann W, Bisig W. Bedeutung und Einsatz von Salz bei der Käseherstellung. dmz 2013: 8: 30-32.
- Hummerjohann J, Naskova J, Baumgartner A, Graber HU. Enterotoxin-producing *Staphylococcus aureus* genotype B as a major contaminant in Swiss raw milk cheese. Journal of Dairy Science 2014: 97: 1305-1312.
- Januszewska R, Mettepenningen E, Majchrzak D, Williams HG, Mazur J, Reichl P, Regourd A, Jukna V, Tagarino D, Konopacka D, Kaczmarek U, Jaworska D, Wojtal S, Sabau M, Cofari A, Tomic N, Kinnear M, De Kock HL, Chaya C, Fernández-Ruiz V, Brugger C, Peyer L, Aldredge TL, Valenzuela-Estrada M. Regional Embeddedness Segments Across Fifteen Countries. Journal of Culinary Science & Technology 2013: 11: 322-335.*
- Josuttis M, Carlen C, Crespo P, Nestby R, Toldam-Andersen TB, Dietrich H, Krüger E. A comparison of bioactive compounds of strawberry fruit from Europe affected by genotype and latitude. Journal of Berry Research 2012: 2: 73-95.*
- Kopf-Bolanz KA, Schwander F, Gijs M, Vergères G, Portmann R, Egger L. Validation of an In Vitro Digestive System for Studying Macronutrient Decomposition in Humans. The Journal of Nutrition 2012; 142: 245-250.*
- Kopf-Bolanz KA, Schwander F, Gijs M, Vergères G, Portmann R, Egger L. Impact of milk processing on the generation of peptides during digestion. International Dairy Journal (in press).*
- Krüger E, Josuttis M, Nestby R, Toldam-Andersen TB, Carlen C, Mezzetti B. Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality. Journal of Berry Research 2012: 2: 143-157.*
- Langenegger N, Walther B. Milchprodukte und entzündliche rheumatische Erkrankungen. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2013: 1: 30.
- Maurer J, Berger T, Amrein R, Schaeren W. Qualitätsdefinitionen für Ziegen- und Schafmilch: Anforderungen bzw. Richtwerte und Vorschläge für eine Bezahlung der Milch nach Qualitätsmerkmalen. ALP forum 2013: 97.*
- Mühlemann M. Practitioner framework for the evaluation and prioritization of food and feed safety hazards and related research needs. Technical-scientific information. ALP science 2013: 545.*
- Mühlemann M. Safety of Food and Beverages: Dairy Products: Cheese. In: Motarjemi Y (ed.): Encyclopedia of Food Safety. Academic Press, Waltham, 2014: 297-308, ISBN 9780123786135.
- Müller Richli M, Bee G, Stoffers H, Scheeder M. Strukturfehlern in Schweineschinken auf der Spur. In: Kreuzer M, Lanzini T, Wanner M, Bruckmaier R, Guidon D (Hrsg.): ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung, Band 34, 2011.
- Müller C, Eberhard P, Stoffers H. Randverfärbungen bei vakuumverpacktem Fleischkäse. Fleisch und Feinkost 2012: 2: 14-15.*
- Nemecek T, Dubois D, Huguenin-Elie O, Gaillard G. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated organic farming. Agricultural Systems 2011A: 104: 217-232.*
- Nemecek T, Huguenin-Elie O, Dubois D, Gaillard G, Schaller B, Chervet A. Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive farming. Agricultural Systems 2011B: 104: 233-245.*
- Peng S, Tsara T, Hummerjohann J, Stephan R. An overview of molecular stress response mechanisms in *Escherichia coli* contributing to survival of shiga-toxin-producing *Escherichia coli* during raw milk cheese production. Journal of Food Protection: 2011: 74: 849-864.*
- Peng S, Stephan R, Hummerjohann J, Blanco J, Zweifel C. In vitro characterisation of Shiga toxin-producing and generic *Escherichia coli* in respect of cheese production-relevant stresses. Archiv für Lebensmittelhygiene / Journal of Food Safety and Food Quality 2012: 63: 136-141.*
- Peng S, Hoffmann W, Bockelmann W, Hummerjohann J, Stephan R, Hammer P. Fate of Shiga toxin-producing and generic *Escherichia coli* during production and ripening of semihard raw milk cheese. Journal of Dairy Science 2013A: 96: 815-823.*
- Peng S, Schafroth K, Jakob E, Stephan R, Hummerjohann J. Behaviour of *Escherichia coli* strains during semi-hard and hard raw milk cheese production. International Dairy Journal 2013B: 31: 117-120.*
- Peng S, Hummerjohann J, Stephan R, Hammer P. Heat resistance of *Escherichia coli* strains in raw milk at different Subpasteurization Conditions Tested in a Pilot Plant Pasteurizer. Journal of Dairy Science 2013C: 96: 3543-3546.*

- Piccinali P. A Sense of Inspiration – wenn sich Inspiration und Sensorikwissenschaften treffen. *Agrarforschung Schweiz* 2013; 4: 48-50.
- Raemy A, Meillan M, Casati S, Gaia V, Berchtold B, Boss R, Graber HU. Phenotypic and genotypic identification of streptococci and related bacteria isolated from bovine intramammary infection. *Acta Veterinaria Scandinavica* 2013; 55: 1-9.*
- Ramadan Q, Jafarpoorchehab H, Huang C, Silacci P, Carrara S, Koklū G, Ghaye J, Ramsden J, Ruffert C, Vergères G, Gijs MAM. NutriChip: nutrition analysis meets microfluidics. *Lab Chip* 2013; 13: 196-203.*
- Reif C. Carotenoids as food components in vegetables and their relevance to nutrition and health. Dissertation ETH No. 20553, 2012.*
- Reif C, Arrigoni E, Neuweiler R, Baumgartner D, Nyström L, Hurrell RF. Effect of Sulfur and Nitrogen Fertilization on the Content of Nutritionally Relevant Carotenoids in Spinach (*Spinacia oleracea*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2012; 60: 5819-5824.*
- Reif C, Arrigoni E, Berger F, Baumgartner D, Nyström L. Lutein and β -carotene content of green leafy *Brassica* species grown under different conditions. *LWT - Food Science and Technology* 2013A: 53: 378-381.*
- Reif C, Arrigoni E, Schärer H, Nyström L, Hurrell RF. Carotenoid database of commonly eaten Swiss vegetables and their estimated contribution to carotenoid intake. *Journal of Food Composition and Analysis* 2013B: 29: 64-72.*
- Reif C, Arrigoni E, Baumgartner D, Schärer H, Bozzi Nising A, Hurrell RF. Adaption of an *in vitro* digestion method to evaluate carotenoid accessibility from vegetables. *Acta Horticulturae (submitted)*.*
- Reif C, Egli IM, Zeder C, Arrigoni E, Baumgartner D, Hurrell RF. Lutein but not β -carotene enhances iron absorption in humans. *The Journal of Nutrition (in preparation)*.*
- Sagaya MF. A nutrigenomics approach to understand the physiological properties of dairy products and probiotics. Dissertation ETH No. 19698, 2011.*
- Sagaya FM, Hurrell RF, Vergères G. Identification of enriched transcription factor binding sites in blood cells in response to milk ingestion in humans. In: Sagaya MF. A nutrigenomics approach to understand the physiological properties of dairy products and probiotics. Dissertation ETH No. 19698, 2011.*
- Sagaya FM, Hurrell RF, Vergères G. Postprandial blood cell transcriptomics in response to the ingestion of dairy products by healthy individuals. *Journal of Nutritional Biochemistry* 2012; 23: 1701-1715.*
- Sagaya FM, Hacin B, Tompa G, Ihan A, Škrajnar S, Černe M, Matijašič BB, Rogelj I, Hurrell RF, Vergères G. Blood cell transcriptomics: a diagnostic tool for assessing the infection of mice with enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 and the antimicrobial properties of *Lactobacillus gasseri* K7 (Rif). *Journal of Applied Microbiology (submitted)*.*
- Schaeren W, Maurer J, Haldemann C, Walther B, Haldemann J, Egger C, Jakob E. Qualitäts-, Sicherheits- und Ernährungsaspekte der Ziegen- und Schafmilch in der Schweiz. *ALP science* 2011: 537.*
- Schmid A. Nährwert von Fleisch und Fleischwaren. *Fleisch Information* 2011A: 2.
- Schmid A. Kochpökelwaren als Vitaminquelle. *Alimenta* 2011B: 20: 25.*
- Schmid A. Nährwertdaten von Fleischprodukten: Kochpökelwaren. *ALP-Haras intern* 2011C: 607.*
- Schmid A. The Role of Meat Fat in the Human Diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2011D: 51: 50-66.
- Schmid A. Selen in Milch und Milchprodukten. *Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin* 2011E: 1: 38.
- Schmid A. Aufnahme von Vitamin B1 nimmt ab. *Suisseporcs Information* 2011F: 4: 10-11.
- Schmid A. Milchqualität. *Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin* 2012A: 1: 24.
- Schmid A. Was geschieht, wenn wir Milch trinken? *Ernährungsforschung bei der Forschungsanstalt Agroscope. Könizer Zeitung* September 2012B: 9.
- Schmid A. Die Zusammensetzung von Fleischprodukten. *Fleisch und Feinkost* 2012C: 6: 14-15.
- Schmid A. Fleischerzeugnisse. Die Zusammensetzung von Fleischerzeugnissen. *Fleisch Info* 2012D: 2.
- Schmid A. Zusammensetzung von Fleischprodukten Schweizerischer Herkunft. *ALP science* 2012E: 542.*
- Schmid A. Panikmache vor rotem Fleisch. *Fleisch und Feinkost* 2012F: 7: 8-9.
- Schmid A. Salzreduktion bei Fleischerzeugnissen. Teil 1. *Suisseporcs Information* 2012G: 6: 10-11.
- Schmid A, Walther B. Natural Vitamin D Content in Animal Products. *Advances in Nutrition* 2013; 4: 453-462.
- Schmid A, Collomb M, Scherrer D, Dubois S, Portmann R, Badertscher R, Kneubühler H. Die Zusammensetzung diverser Schweizer Rohpökelwaren. *Fleischwirtschaft* 2011A: 1: 84-88.*
- Schmid A, Badertscher R, Scherrer D, Portmann R, Dubois S, Spahni M, Stoffers H. Zusammensetzung diverser Schweizer Kochpökelwaren. *Fleischwirtschaft* 2011B: 12: 97-100.*
- Schmid A, Brombach C, Jacob S, Schmid I, Sieber R, Siegrist M. Ernährungssituation in der Schweiz. In: Keller U, Battaglia Richi E, Beer M, Darioli R, Meyer K, Renggli A, Römer-Lüthi C, Stoffel-Kurt N. Sechster Schweizerischer Ernährungsbericht. Bern: Bundesamt für Gesundheit, 2012: 49-126.
- Schuetz P, Guggisberg D, Jerjen I, Fröhlich-Wyder MT, Hofmann J, Wechsler D, Flisch A, Bisig W, Sennhauser U, Bachmann HP. Quantitative comparison of the eye formation in cheese using radiography and computed tomography data. *International Dairy Journal* 2013: 31: 150-155.*
- Schwander F. Characterization and *in vitro* digestion of milk products and investigation of postprandial metabolism and inflammation after a high-fat meal intake in a human nutrition intervention study. Dissertation Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. 2013.*
- Schwander F, Kopf-Bolanz KA, Buri C, Portmann R, Egger L, Chollet M, McTernan PG, Harte AL, Gijs M, Hager-Vionnet N, Pralong F, Laederach K, Vergères G. Metabolic and inflammatory response of normal weight and obese subjects to increasing caloric doses of a high-fat meal. *American Journal of Clinical Nutrition (submitted)*.*
- Sieber R. Zusammensetzung von Milch und Milchprodukten schweizerischer Herkunft. *ALP science* 2012: 538.*
- Sieber R, Schobinger Rehberger B, Walther B. Removal of Cholesterol from Dairy Products. *Encyclopedia of Dairy Sciences* 2011: 3: 734-740.
- Stoffers H. Salzreduktion in Fleischerzeugnissen. Teil 3. *Suisseporcs Information* 2012: 9: 24-25.*
- Stoll O, Eberhard P. Ausreichendes Erhitzen tötet Keime ab. *allgemeine fleischer zeitung* 2012: 26: 18.*
- Strauch S, Arrigoni E, Schärer H, Kamm B, Gabioud Rebeaud S, Reif C. Frische Aprikosen als Gesundheitsförderer. *Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 2011: 19: 12-15.*
- Strauch S, Arrigoni E, Schärer H, Kamm B, Gabioud Rebeaud S, Reif C. Aprikosen als saisonale Gesundheitsförderer. *Obstbau* 2012: 4: 195-198.*
- Studer P, Heller WE, Hummerjohann J, Drissner D. Evaluation of Aerated Steam Treatment of Alfalfa and Mung Bean Seeds To Eliminate High Levels of *Escherichia coli* O157:H7 and O178:H12, *Salmonella enterica*, and *Listeria*

- teria monocytogenes*. Applied and Environmental Microbiology 2013: 79: 4613-4619.*
- Sutter M, Nemecek T, Thomet P. Vergleich der Ökobilanzen von stall- und weidebasierter Milchproduktion. Agrarforschung Schweiz 2013: 4: 230-237.*
- Syring C, Boss R, Reist M, Bodmer M, Hummerjohann J, Gehrig P, Graber HU. Bovine mastitis: the diagnostic properties of a PCR-based assay to monitor the *Staphylococcus aureus* genotype B status of a herd, using bulk tank milk. Journal of Dairy Science 2012: 95: 3674-3682.*
- Vergères G. Nutrigenomics – Linking food to human metabolism. Trends in Food Science & Technology 2013: 31: 6-12.
- Vergères G. Nutrigenomics – towards personalized food. International Dairy Journal (submitted).
- Vergères G, Bogicevic B, Buri C, Carrara S, Chollet M, Corbino-Giunta L, Egger L, Gille D, Kopf-Bolanck K, Laederach K, Portmann R, Ramadan Q, Ramsden J, Schwander F, Silacci P, Walther B, Gijs M. The NutriChip project – translating technology into nutritional knowledge. British Journal of Nutrition 2012: 108: 762-768.*
- Walther B. Pas de tolérance zéro pour les intolérances au lactose. Swissmilk Maillaiter 2011A.
- Walther B. Milchprodukte im Säure-Basen-Haushalt. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2011B: 3: 38.
- Walther B. Milchprodukte und Herz-Kreislauf-Gesundheit. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2012A: 3: 19.
- Walther B. Milchprodukte und Herz-Kreislauf-Gesundheit. Swissmilk Maillaiter 2012B.
- Walther B. Zahnfreundliche Milchprodukte. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2013: 4: 32.
- Walther B, Kast C. Honig und Blutzuckerspiegel. Schweizerische Bienen-Zeitung 2011: 11: 24-27.
- Walther B, Wechsler D. Wasser und Kalzium im Käse. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2011: 5: 21.
- Walther B, Mühlemann M. Cheeses. Encyclopedia of Lifestyle Medicine and Health. In: Rippe JM (Ed). Thousand Oaks, CA: SAGE, 2012: 545-552. SAGE Reference Online.
- Walther B, Schmid A. Die älteste Trinknahrung der Welt – Muttermilch. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2012: 4: 35.
- Walther B, Sieber R. Bioactive proteins and peptides in foods. International Journal for Vitamin and Nutrition Research 2011: 81: 181-191.
- Walther B, Gille D, Vergères G. Nutrigenomik – State of the Art. Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2012: 1: 16-20.
- Walther B, Mühlemann M, Arias-Roth E, Wechsler D, Zehntner U., Guggenbühl B. Cheese: Health Aspects and Microbiological Risks. In: Randazzo CL, Caggia C, Neviani E (Ed.). Cheese Ripening. Nova Science Publishers. Inc. 2013A: Chapter 11.
- Walther B, Karl JP, Booth SL, Boyaval P. Menaquinones, Bacteria, and the Food Supply: The Relevance of Dairy and Fermented Food Products to Vitamin K Requirements. Advances in Nutrition 2013B: 4: 463-473.
- Wehrmüller K, Sieber R, Walther B. Molke in der menschlichen Ernährung – ein Nahrungsmittel mit viel Potenzial. Teil 1. DMW – Die Milchwirtschaft 2011A: 2: 40-46.
- Wehrmüller K, Sieber R, Walther B. Molke in der menschlichen Ernährung – ein Nahrungsmittel mit viel Potenzial. Teil 2. DMW – Die Milchwirtschaft 2011B: 3: 78-82.
- Zehntner U. Mikroorganismen erobern unseren Darm und unsere Haut zurück – zum Vorteil des Menschen! Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin 2012: 1: 21-23.
- Zehntner U, Wehrmüller K, Guggenbühl B. Health-Claims-Verordnungen und Probiotika – ein Vergleich der aktuellen gesetzlichen Bestimmungen in Japan, USA, EU und der Schweiz. ALP science 2011: 539.

Bei den mit einem * vermerkten Publikationen handelt es sich um Agroscope-eigene Arbeiten (im Gegensatz zu reinen Literaturarbeiten).