

Fettwahrnehmung und Sättigungsregulation: Ansatz zur Entwicklung fettreduzierter Lebensmittel

(DFG/AiF-Cluster)

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Laufzeit:	2009 – 2012
Zuwendungssumme:	€ 3.080.000,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI und durch DFG)

Ausgangssituation:

Gesellschaftliche Veränderungen, z.B. im Bereich der Berufstätigkeit, haben in den vergangenen vier Jahrzehnten zu signifikanten Veränderungen in den Ernährungsgewohnheiten geführt. So wurde die individuelle, zeitaufwändige Nahrungszubereitung im Haushalt mehr und mehr ersetzt durch die zeitsparende Zubereitung von industriell vorgefertigten Lebensmitteln (*convenience food*). Der übermäßige Verzehr von Lebensmitteln mit hoher Energiedichte wird aber - neben einer zu geringen körperlichen Aktivität - als eine der Hauptursachen für Übergewicht bis hin zu ernährungsbedingten Krankheiten gesehen. Laut Daten der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) sind bereits mehr als 65 % der Männer und 55 % der Frauen in Deutschland übergewichtig. Da in Europa auch bereits ein hoher Anteil an Kindern übergewichtig ist, werden Übergewicht und Fettleibigkeit inzwischen auch von der Politik als gesellschaftliches Problem angesehen. Insbesondere die daraus für die Gesundheitssysteme resultierenden Kosten sind eine große Herausforderung für das Gesundheitswesen, aber auch die Wirtschaft in Deutschland und Europa.

Da Fette eine mehr als doppelt so hohe Energiedichte haben wie Proteine und Kohlenhydrate, stellt in der industriellen Lebensmittelproduktion die Reduktion des Fettanteils in der Rezeptur von Lebensmitteln einen geeigneten Ansatz zur Reduktion der Energieaufnahme dar. Es ist allerdings auch bekannt, dass solche „fettreduzierten“ Produkte nur vom Verbraucher akzeptiert werden – und somit zur Gewichtskontrolle geeignet sind – wenn sich diese in ihren qualitätsbestimmenden Eigenschaften (z.B. Aroma, Geschmack, Textur) von „normalen“ fettreichen

Produkten nicht unterscheiden. Neben diesen, vom Verbraucher direkt beim Verzehr detektierbaren Eigenschaften müssen die Produkte zudem auch in der Lage sein, ein anhaltendes Sättigungsgefühl zu erzeugen.

Im Vergleich zur Reduktion des Anteils von Kohlenhydraten in der Ernährung durch den Einsatz von „kalorienfreien“ Süßstoffen sind derzeit auf dem Markt befindliche fettreduzierte Produkte, insbesondere in Hinblick auf die o.g. Eigenschaften, häufig nicht äquivalent zu den fettreicheren Vergleichsprodukten. Sie werden daher vom Verbraucher offenbar nicht in ausreichendem Umfang zur Gewichtskontrolle verwendet. Zudem ist aus Tierstudien bekannt, dass fettreduzierte Lebensmittel – im Vergleich zu fetthaltigen – sogar in höherer Menge verzehrt werden.

In Anbetracht der hohen gesellschaftlichen Bedeutung von Übergewicht und Fehlernährung ist daher die Klärung derjenigen Lebensmittelinhaltsstoffe, die einerseits die Akzeptanz von Lebensmitteln ursächlich hervorrufen sowie andererseits an der postprandialen Sättigungsregulation beteiligt sind, die entscheidende Erkenntnis auf dem Weg zur Entwicklung innovativer, kalorienreduzierter Lebensmittel. Diese bioaktiven Komponenten müssen sowohl eine vom Verbraucher direkt detektierbare Genussfunktion ausüben können (Textur, Aroma, Geschmack) als auch im Organismus eine sättigungsregulierende Wirkung erzeugen.

Da gemäß statistischer Daten durch die Reduktion von Fett in Lebensmitteln bisher kein Erfolg hinsichtlich einer statistisch messbaren Gewichtsreduktion in der Bevölkerung erzielt werden konnte, lag die Vermutung nahe, dass nicht das Fett selbst, sondern bisher unbekannte Fett-

begleitstoffe, die in fettreduzierten Lebensmitteln ebenfalls fehlen, eine entsprechende Bioaktivität besitzen. Da solche Fettbegleitstoffe (Lipoide) einerseits sensorisch wirksam sind (Fettwahrnehmung) und damit die Akzeptanz solcher Produkte erhöhen, aber andererseits auch sättigungsregulierend sein könnten, könnten solche Kenntnisse ein weites Feld für die Produktion innovativer, gesundheitsfördernder Lebensmittel eröffnen.

Forschungsziel:

Eine wichtige Funktion der Lipide bzw. Lipoide ist deren Eignung zur Emulsions- und damit zur Texturbildung. Es ist bekannt, dass sich beim Verzehr von Lebensmitteln, je nach Fettgehalt, das sogenannte Mundgefühl ändert, zu dem u.a. die rheologischen Eigenschaften (Fließfähigkeit, Viskosität) und die Fähigkeit zur Bildung eines Fettfilms auf der Mundschleimhaut beitragen. Versuche zur „Imitierung“ dieser technofunktionalen Eigenschaften erfolgten bei fettreduzierten Lebensmitteln bisher im Wesentlichen durch *trial and error*, wohingegen systematische Untersuchungen, z.B. zum Einfluss auf die trigeminale (mechano-sensorische) Wahrnehmung der Textur, nur selten zu finden sind.

Weiterhin stellen Fette im Gegensatz zu Proteinen und Kohlenhydraten ein wichtiges „Lösungsmittel“ für zahlreiche lipophile Aroma- und Geschmacksstoffe in Lebensmitteln dar. Kenntnisse darüber, welche geruchs- bzw. geschmacksaktiven Verbindungen, die **natürlich** in solchen komplex zusammengesetzten Fraktionen vorkommen, sind derzeit allerdings noch lückenhaft. Ebenso ist über die Funktion von Fettbegleitstoffen (Lipoiden) in der post-prandialen Sättigungsregulation nur sehr wenig bekannt.

Das generelle Ernährungsverhalten des Menschen wird durch komplexe neuronale und endokrine Mechanismen kontrolliert, wobei den sogenannten „Sättigungshormonen“ Ghrelin, Serotonin sowie Insulin, dem aus dem Fettgewebe stammenden Leptin sowie verschiedenen Peptiden eine zentrale Bedeutung für die homeostatische Regulation zwischen Hunger und Sättigung zugeschrieben wird.

In Anbetracht der hohen gesellschaftlichen Bedeutung im Spannungsfeld von Übergewicht und industriell gefertigten Lebensmitteln hatte das vorliegende Clusterprojekt daher zwei generelle Zielrichtungen, die beide von einer möglichen,

bisher ungeklärten Bioaktivitätsfunktion der Lipide ausgingen. So war hinsichtlich der Akzeptanz von Lebensmitteln einerseits der Einfluss von Fetten bzw. Fettbegleitstoffen auf die olfaktorische, gustatorische und mechano-sensorische Wahrnehmung fettreicher Lebensmittel auf molekularer Ebene zu klären. Andererseits sollten Kenntnisse über Lipide und Lipoide erarbeitet bzw. vertieft werden, die an der post-prandialen Regulation der Sättigung beteiligt sind.

Der Fokus des vorliegenden Clusterprojekts auf Fettbegleitstoffe resultierte aus der Tatsache, dass die Gesamtfettreduktion bei Lebensmitteln bisher keinen Erfolg in der Gewichtsreduktion gezeigt hat. Es lag daher nahe, anzunehmen, dass bei der Reduktion der „Fettkalorien“ (Triacylglyceride) in der Rezeptur auch eine Reduktion anderer, bioaktiver Stoffe aus der Lipidfraktion erfolgt.

Forschungsergebnis:

Die im Clusterprojekt durchgeführten Untersuchungen gingen zum Einen von der Hypothese aus, dass nicht die Triacylglyceride (kalorienliefernde Fette) selbst, sondern bisher weitgehend unbekannte Komponenten in der Fraktion der Lipide an der Akzeptanz von Lebensmitteln (Aroma, Geschmack) sowie gleichzeitig an Mechanismen der Sättigungsregulation beteiligt sind. Eine zweite Arbeitshypothese war der Einfluss der Textur auf die Akzeptanz von Lebensmitteln, da Fette nicht in reiner Form verzehrt werden, sondern in der Regel in Form von komplexen Emulsionen bzw. Fest/Flüssig-Systemen vorliegen. Da durch eine gezielte Variation der Rezeptur und der mechanischen Behandlung Phasengleichgewichte und z.B. die Tröpfchengröße variiert werden können, kann somit auch die Antwort der Mechanosensoren im Mund gezielt beeinflusst werden, wodurch Mundgefühl, Viskosität oder der auf der Mucosa entstehende Fettfilm verändert werden.

Im Clusterprojekt wurden daher verschiedene, sich ergänzende Arbeitsrichtungen verfolgt. In den **Teilprojekten 1 und 2** wurden systematische Studien zur Beeinflussung der Makro- und Mikrostruktur von fettreduzierten Rezepturen durch Vergleich der fetthaltigen mit fettarmen Modell-Milchprodukten durchgeführt. Die Daten wurden korreliert mit den Daten eines Fluid-Messsystems zur Messung und Vorhersage der rheologischen Eigenschaften (**Teilprojekt 8**) sowie

mit den Daten aus der humansensorischen Beurteilung der Textureigenschaften (**Teilprojekt 9**).

In **Teilprojekt 1** wurden Milchproduktmatrices systematisch mittels physikalischer Methoden, deren Parameter an die Belastung im Mundraum adaptiert wurden, charakterisiert. Dazu wurde die Zusammensetzung und technologische Behandlung der Milchproduktmatrix variiert, um unterschiedliche Mikro- und Makrostrukturen aufzubauen. Die Produkte wurden einerseits einer sensorischen Analyse (**Teilprojekt 9**) unterzogen, um diese mit den Strukturdaten zu korrelieren. Im **Teilprojekt 8** wurde parallel anhand von rheologischen Messergebnissen die Vorhersage textueller Mundgefühlattribute durch numerische Simulation geprüft. In Kooperation (**Teilprojekte 2 bis 4**) wurden fettreduzierte Matrices gestaltet; diesen wurden neue Verbindungen und „Sättigungsbotenstoffe“ zugesetzt und hinsichtlich ihrer Fettwahrnehmung bzw. Sättigungswirkung beurteilt. Mit diesen Erkenntnissen war es möglich, eine Regressionsgleichung für die textuelle Cremigkeit aufzustellen, aus der Steuergrößen für cremige pastöse Milchprodukte abgeleitet werden können.

In **Teilprojekt 2** wurden W/O/W-Doppelemulsionen mit gezielt einstellbaren Strukturen in Lebensmittelqualität hergestellt. Die Ergebnisse zeigten, dass es prinzipiell möglich ist, die innere Emulsion ohne die Verwendung von in Lebensmitteln nur beschränkt zugelassenen Emulgatoren zu stabilisieren. Zur Realisierung kam ein Hochdruckhomogenisator mit Lochblenden zum Einsatz. Für die weiteren Untersuchungen wurden die inneren Emulsionen mithilfe des Emulgators Polyglycerin-Polyricinoleat (PGPR) im zugelassenen Konzentrationsbereich stabilisiert und mit einer Kolloidmühle hergestellt. So konnten Tropfen $< 1 \mu\text{m}$ erzeugt und stabilisiert werden. Weiterhin wurde untersucht, ob sich auch großtechnisch einsetzbare Emulgierv Verfahren – Rotor-Stator-Maschinen (Zahnkranzdispersiermaschine, Kolloidmühle) und Hochdruckhomogenisatoren – zur Herstellung von Doppelemulsionen eignen. Es zeigte sich, dass der höchste Erhalt der inneren Tropfen bei vergleichbarer äußerer Tropfengröße durch den Einsatz einer Kolloidmühle realisiert werden kann.

In Kooperation mit **Teilprojekt 9** wurden schließlich sowohl konventionelle Vollfett- als auch fettreduzierte Doppelemulsionen sensorisch untersucht. Es zeigte sich, dass trotz deutlich variierendem Fettgehalt (19, 23 und 50 %) keine Unterscheidung der Proben möglich war. Somit

konnte generell gezeigt werden, dass sich Doppelemulsionen zur gezielten Fettreduktion in Lebensmitteln ohne sensorisch wahrnehmbaren Verlust an konsumentenrelevanten Eigenschaften eignen.

In **Teilprojekt 8** wurde mithilfe numerischer Simulationen das mechanisch induzierte Mundgefühl beim Verzehr von fettreduzierten, nicht stückigen, fließfähigen Lebensmitteln (z.B. Joghurt) untersucht. Mithilfe numerischer Simulationen des Schluckvorgangs wurde zunächst für unterschiedliche Produktklassen eine Charakterisierung der daraus resultierenden mechanischen Belastungen des Mundinnenraums (Zunge, Gaumen) erarbeitet. Numerische Simulationen in einer Modellmundhöhle ermitteln und visualisieren die im Mund ablaufenden Fließvorgänge von Lebensmitteln sowie Normal- und Scherspannungen, die an den Mechanorezeptoren einen Reiz auslösen. Damit kann in einem vereinfachten System eine Objektivierung der mechanischen Vorgänge bei der sensorischen Wahrnehmung erzielt werden. Es konnte unter anderem gezeigt werden, dass die Bereiche der stärksten mechanischen Belastung in der Nähe des Rachens liegen.

Systeme, bei denen eine hohe Komplexität vorliegt und die sich nicht mittels mathematischer Gleichungen beschreiben lassen, können sich zur Vorhersage kognitiver Algorithmen bedienen. Dieses Vorhaben setzt im Wesentlichen künstliche neuronale Netze und ein hybrides Neuro-Fuzzy-System ein. Künstliche neuronale Netze (KNN) sind mathematische Algorithmen, die – ähnlich wie bei einem Lernvorgang eines Menschen – aus Datensätzen (Eingangs- und Ausgangsdaten) Zusammenhänge über ein Training erlernen. Es konnte gezeigt werden, dass ein KNN, das als Eingangsdaten mechanische Kenngrößen der numerischen Simulation (zonenspezifische Schubspannungen auf der Zunge) erhalten hat, für ein spezifisches Produkt sehr gute Vorhersagen über das sensorische Attribut *oral viscosity* treffen kann. Die Erweiterung mit den Experten-Regeln in Form des hybriden Neuro-Fuzzy-Systems (= hybrides Expertensystem) konnte sehr gute Vorhersagen zu „Cremigkeit“, „Grießigkeit“, „Adstringenz“ und „Belegend“ erstellen. Das gesteckte Ziel einer objektivierten Beschreibung des zu erwartenden Mundgefühls konnte somit basierend auf strömungsmechanisch induzierten Belastungen des Mundinnenraums mittels eines hybriden Systems erreicht werden. Das erstellte hybride Expertensystem besitzt somit ein hohes Potential, Sensorikpanels

und Produktentwickler in der Praxis bei der Auswahl von erfolgversprechenden Sensorik-Produkt-/Prozessparameter-Kombinationen zu unterstützen.

Eine weitere Arbeitsrichtung verfolgte konzeptionell das Ziel, bioaktive Moleküle in der Fraktion von Fettbegleitstoffen (Lipoiden) zu charakterisieren. Dabei stand die olfaktorische und gustatorische Aktivität im Focus. Die Arbeiten der beiden chemisch arbeitenden Gruppen (**Teilprojekte 6 A und B**) zielten dabei auf die Identifizierung der geruchs- und geschmacksaktiven Verbindungen ab, im **Teilprojekt 7** stand die Charakterisierung potentieller Fettrezeptoren im Vordergrund. In **Teilprojekt 6** wurde neben der Klärung der Bedeutung nichtflüchtiger Lipide für die Fettwahrnehmung auch die Ausbildung oraler Fettfilme untersucht (**Teilprojekt 6 A**). In **Teilprojekt 6 B** wurden die flüchtigen Lipide hinsichtlich ihres bioaktiven Potentials bewertet.

Untersuchungen an Olivenöl ergaben zunächst, dass Triacyl- und Diacylglyceride sowie auch freie Fettsäuren einen fettigen Geschmackseindruck in einer Modell-Matrix induzieren, d.h. diese Verbindungen sind offensichtlich chemosensorisch detektierbar. Weitere Daten machten es wahrscheinlich, dass die Fettwahrnehmung im Mund sowohl aus chemosensorischer Detektion der Fettsäuren, als auch aus mechanosensorischer Detektion einer lipid-ähnlichen Textur besteht. Im Gegensatz zu Befunden der Literatur bei Nagetieren konnte allerdings keine Freisetzung von Fettsäuren durch Humanlipase gefunden werden. Auch *in-mouth*-Experimente ergaben keine Hinweise für eine signifikante Lipaseaktivität im menschlichen Speichel. Da bislang keine Kenntnisse über die chemische Zusammensetzung und die Struktur der nach Verzehr fetthaltiger Lebensmittel verbleibenden oralen Lipidfilme existieren, wurden in weiteren Studien orale Lipidfilme analytisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass die oralen Fettfilme im Wesentlichen die Triacylglyceridverteilung des Speiseöls widerspiegeln und offenbar keinerlei Spezifität in der Ausbildung des Fettfilms vorliegt. Mit dem Ziel, die Bedeutung der fettigen Mundbelegung für die Fettwahrnehmung während des Verzehrs von Lebensmitteln zu studieren, wurde daher mittels *in-mouth*-Fluoreszenzmessung die Ausbildung oraler Lipidfilme auf der Zunge gemessen. Erste Messungen zeigten große interindividuelle Unterschiede zwischen den einzelnen Panelisten. Derzeit laufen Studien zur Korrelation der wahrgenommenen Fettgeschmacks und des

Time/Intensity-Verlaufs der Entwicklung solcher Lipidfilme.

Gestützt durch erste Untersuchungen der Literatur ging **Teilprojekt 6 B** von der Annahme aus, dass die flüchtigen Komponenten der Lipoidfraktion neben ihrer Geruchswirksamkeit auch eine postprandiale Wirkung entfalten. Da Olivenöl in einer Humanstudie des **Teilprojekts 3** eine signifikante Wirkung hinsichtlich der Körperfettreduktion gezeigt hatte, wurden die Geruchsstoffe in einem italienischen Olivenöl durch Methoden der molekularen Sensorik charakterisiert. Dabei konnten 19 Geruchsstoffe identifiziert werden. In Kooperation mit **Teilprojekt 3** konnte dann gezeigt werden, dass darunter insbesondere Hexanal und (E)-2-Hexenal *in vitro* sättigungsregulierende Wirkung entfalten. Zur Isolierung entsprechender Mengen der flüchtigen Fraktion aus 200 Litern Olivenöl für eine weitere Humanstudie (**Teilprojekt 3**) wurde ein Vakuumdestillationsverfahren entwickelt.

Aus Untersuchungen an Nagern war bekannt, dass langkettige Fettsäuren an die beiden G-Protein gekoppelte Rezeptoren GPR 40 und GPR 120 binden können. In **Teilprojekt 6 A** wurde zudem gezeigt, dass Probanden freie Fettsäuren orosensorisch wahrnehmen können. In **Teilprojekt 7** wurden daher die beiden Rezeptoren in Zellen exprimiert und mit verschiedenen Fettsäuren stimuliert. Die Dosis/Wirkungskurven zeigten eindeutig, dass langkettige Fettsäuren durch Rezeptoren detektiert werden. Da weiterhin die mRNA für den Rezeptor GPR 120 sowie auch das entsprechende Protein im humanen Zungenepithel nachgewiesen werden konnte, wurde somit erstmals das Vorhandensein eines Fettrezeptors auf der menschlichen Zunge bewiesen.

Ziel der medizinisch-ernährungswissenschaftlich ausgerichteten Teilprojekte (**Teilprojekte 3 und 4**) war es, den Einfluss von Fetten und isolierten Lipoiden auf die postprandiale Sättigungsregulation zu untersuchen.

Die Ergebnisse von **Teilprojekt 4** deuten daraufhin, dass nur fettreicher Joghurt zu einer Abnahme des *cerebral blood flow* (CBF) im Hypothalamus führt. Verantwortlich für diese spezifischen Veränderungen dürften postprandiale metabolische und endokrine Prozesse sein, die unabhängig vom subjektiven Hungergefühl zu beobachten sind. Dafür sprechen auch die stärkeren Zunahmen in der Insulinausschüttung beim fettarmen Joghurt gegenüber der fettreichen Variante. Eine verzögerte gastrische Ent-

leerung bei hoher Fettkonzentration oder eine über den Hypothalamus gesteuerte veränderte Insulinkonzentration kommen dabei als mögliche Mediatoren in Frage. Unterstützt wird diese Annahme durch gleichbleibende Glukosewerte im postprandialen Zustand sowie den nicht unterschiedlichen Kohlenhydratmengen in beiden Joghurtarten. Weiterhin konnte eine Zunahme der Aktivität im insulären Kortex 120 Minuten nach Einnahme des fettarmen Joghurts beobachtet werden. Die Aktivitätszunahme korrelierte dabei negativ mit den Veränderungen im Hungergefühl zwischen 30 und 120 Minuten. Es scheinen dabei aber eher gustatorische als metabolische Prozesse eine Rolle zu spielen, da keine Zusammenhänge mit der Insulinkonzentration gefunden wurden. Wird die Aktivität in der Insel und im Hypothalamus in ihrem Zusammenspiel betrachtet, so zeigte sich, dass es nur in der fettreichen Bedingung zu einer Korrelation zwischen den Aktivierungsabnahmen im Hypothalamus im postprandialen Zustand und den Aktivierungszunahmen im insulären Kortex nach 120 Minuten gab. Dies lässt darauf schließen, dass nicht die Joghurteinnahme *per se*, sondern der Fettgehalt des Joghurts die neuronale Verschaltung zwischen Inselregion und Hypothalamus moduliert. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse des **Teilprojekts 4**, dass zu viel Fett in der Nahrung die Entstehung von Übergewicht fördert. Tierstudien haben gezeigt, dass sich insbesondere gesättigte Fettsäuren negativ auf den Blutzucker, die Gehirnaktivität und die körperliche Bewegung auswirken, welches eine weitere Körpergewichtszunahme unterstützt. Anzumerken ist jedoch, dass aus Tierstudien an Nagern kein direkter Rückschluss auf die Situation beim Menschen gezogen werden kann. Zur endgültigen Bewertung der Relevanz der Datenlage hinsichtlich der menschlichen Ernährung sind Folgearbeiten notwendig.

In **Teilprojekt 3** wurde die sättigende Wirkung von Nahrungsfetten und deren Inhaltsstoffen in Modell-Joghurt anhand physiologischer Parameter und anhand der subjektiven Einschätzung der Sättigung bewertet. Dies erfolgte u.a. sowohl durch humane Interventionsstudien als auch anhand von Zellkulturstudien mit Leberzellen (HepG2) und Adipozyten (3T3-L1).

Auf der Basis der Daten einer ersten Humanintervention und parallelen Zellkulturstudien wurde in enger Kooperation mit **Teilprojekt 6 B** insbesondere Olivenöl und die hieraus isolierte Fraktion der flüchtigen Aromastoffe als wirksam identifiziert, sowohl die gewählten, mit der Sätti-

gung assoziierten Parameter positiv zu beeinflussen, als auch in einer dreimonatigen Intervention den Körperfettgehalt von gesunden Probanden signifikant zu verringern. In einem weiteren Studienteil wurde daher die Aroma- und Geschmacksstofffraktion des Olivenöls getestet. Schließlich konnten in Zellkulturexperimenten für die Lipide Hexanal und (E)-2-Hexenal als Aromastoffe in Olivenöl konnte ein hemmender Effekt auf die Glucoseaufnahme in humanen Leberzellen gezeigt werden. Dieses Ergebnis deutet entsprechend der glucostatischen Theorie auf eine positive Wirkung bei der Sättigungsregulation hin. Es konnte somit erstmals ein Zusammenhang zwischen dem sättigenden Effekt von Olivenöl und den hierin enthaltenen Aromastoffen Hexanal und (E)-2-Hexenal aufgezeigt werden.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die deutsche Lebensmittelindustrie ist traditionell stark geprägt von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Im Jahr 2011 betrug der Umsatz der Branche 163 Mrd. € und wurde von rd. 5.900 Betrieben mit 550.000 Mitarbeitern erzielt, wobei 55 % der Betriebe weniger als 50 und 98 % der Betriebe weniger als 500 Mitarbeiter hatten. Dabei nimmt der Anteil kleiner Unternehmen insbesondere bei Herstellern von Massenprodukten aufgrund der kleinen Deckungsbeiträge stetig ab. Stellvertretend soll hier das Beispiel der Milchwirtschaft aufgezeigt werden: Von 360 Unternehmen (1990) ging die Anzahl der milchverarbeitenden Unternehmen auf 143 (2011) zurück. Gerade mittelständische Unternehmen sind daher verstärkt auf Nischenmärkte angewiesen. Der Bereich fettreduzierter Spezialprodukte bietet deshalb insbesondere für diese eine besondere Chance.

Die im Rahmen des vorliegenden Projekts erzielten Ergebnisse aus Grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung tragen maßgeblich zur Entwicklung neuer fettreduzierter Lebensmittel bei, die aus Sicht der Konsumenten nicht nur hinsichtlich Textur, Aroma und Geschmack attraktiv sind, sondern auch eine verbesserte Sättigungswirkung aufweisen.

Neben der milchverarbeitenden Industrie sind auch die Hersteller von Fleischprodukten, diätetischen Lebensmitteln, Süßwaren und Kindernährmitteln mögliche Nutzerkreise der erzielten Ergebnisse. Des Weiteren hat das Projekt auch

große wirtschaftliche Bedeutung für Hersteller von Rohstoffen und Zusatzstoffen.

Publikationen (Auswahl):

1. [Fettwahrnehmung und Sättigungsregulation: Ansatz zur Entwicklung fettreduzierter Lebensmittel – Zentrale Ergebnisse des gleichnamigen DFG/AiF-Clusterprojektes. \(Hrsg. FEI\). ISBN 978-3-925032-51-6 \(2012\).](#)
2. Balzer, M., Rubach, M., Heni, M., Ketterer, C., Scholl, L., Fritsche, A., Schieberle, P. & Somoza, V.: Humane Interventionsstudie zum Einfluss von tierischen und pflanzlichen Nahrungsfetten auf die Sättigungsregulation. *Proc. Germ. Nutr. Soc.* 17, 29 (2012).
3. Balzer, M., Rubach, M., Heni, M., Ketterer, C., Scholl, L., Steinritz, D., Schieberle, P., Fritsche, A. & Somoza, V.: The Impact of Lard, Milk Fat, Canola and Olive Oil on the Regulation of Satiation – a Human Intervention Study. *Am. J. Clin. Nutr.* (in preparation).
4. Frank, S., Linder, K., Kullmann, S., Heni, M., Ketterer, C., Cavusoglu, M., Krzeminski, A., Fritsche, A., Häring, H. U., Preissl, H., Hinrichs, J. & Veit, R.: Fat intake modulates cerebral blood flow in homeostatic and gustatory brain areas in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 95 (6), 1342-1349 (2012).
5. Galindo, M. M., Voigt, N., Stein, J., Raguse, J.-D., Hofmann, T., Meyerhof, W. & Behrens, M.: A role of fatty acids and their receptors in human fat taste? In: *Proc. 9th Wartburg Symp. Flav. Chem. Biol.* (eds.: Hofmann, T., Meyerhof, W., Schieberle, P.), Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching, 8-14 (2011).
6. Galindo, M. M., Voigt, N., Stein, J., van Lengerich, J., Raguse, J.-D., Hofmann, T., Meyerhof, W. & Behrens, M.: G protein-coupled receptors in human fat taste perception. *Chem. Senses* 37, 123-139 (2012).
7. Guan, X., Hailu, K., Guthausen, G., Wolf, F., Bernewitz, R. & Schuchmann, H. P.: PFG-NMR on W₁/O/W₂-emulsions: Evidence for molecular exchange between water phases. *Eur. J. Lipid Sci.* 112, 828-837 (2010).
8. Hahn, C., Krzeminski, A., Wille, S., Weiss, J. & Hinrichs, J.: Simultaneous particle size and shape analysis in fermented milk products as influenced by composition and processing. *Milchwiss./Milk Sci. Intern.* 67 (1), 6-9 (2012).
9. Krzeminski, A., Großhable, K. & Hinrichs, J.: Structural properties of stirred yoghurt as influenced by whey proteins. *LWT - Food Sci. Technol.* 44 (10), 2134-2140 (2011).
10. Krzeminski, A., Großhable, K., Tomaschunas, M., Busch-Stockfisch, M. & Hinrichs, J.: Structural properties and sensory perception of stirred yoghurt systems. *EDM – Eur. Dair. Mag.* 23, 12-17 (2011).
11. Krzeminski, A., Tomaschunas, M., Busch-Stockfisch, M., Weiss, J. & Hinrichs, J.: Improved modeling of texture perception of semisolid milk products by friction tests. *Abstr. Book, 6th Intern. Symp. Food Rheol. Struct. (ISFRS) 2012* (eds.: P. Fischer, E. J. Windhab), ETH Zürich, 38 (2012).
12. Krzeminski, A., Tomaschunas, M., Köhn, E., Busch-Stockfisch, M. & Hinrichs, J.: Relating creamy perception of whey protein enriched yogurt systems to instrumental data by means of multivariate data analysis. *J. Food Sci.* Doi: 10.1111/1750-3841-12013 (2013).
13. Krzeminski, A., Wohlhüter, S., Heyer, P., Utz, J. & Hinrichs, J.: Measurement of lubricating properties in a tribosystem with different surface roughness. *Intern. Dair. J.* 26 (1), 23-30 (2012).
14. Krzeminski, A., Wohlhüter, S., Weiss, J. & Hinrichs, J.: The role of friction in texture perception of semisolid milk products. *German Dair. Mag. (DMZ) Special Edition* 19, 18-20 (2012).
15. Krzeminski, A., Wohlhüter, S., Weiss, J. & Hinrichs, J.: Tribologie und texturale Wahrnehmung halbfester Milchprodukte. *Dt. Molkerzeit. (DMZ)* 19, 30-32 (2012).
16. Kutter, A., Hanesch, C., Rauh, C. & Delgado, A.: Impact of proprioception and tactile sensations in the mouth on the perceived thickness of semisolid foods. *Food Qual. Pref.* 22 (2), 193-197 (DOI:10.1016/j.foodqual.2010.09.006) (2011).
17. Kutter, A., Singh, J. P., Rauh, C. & Delgado, A.: Improvement of the prediction of mouthfeel attributes of liquids foods by a Posthumus Funnel. *J. Text. Studies.* 42 (3), 217-227 (DOI: 10.1111/j.1745-4603.2011.00291.x) (2011).
18. Meyerhof, W. & Nachtsheim, R.: Fettig - die sechste Geschmacksqualität? *J. Culinaire - Kultur und Wissenschaft des Essens* 14, 8-12 (2012).
19. Pollner, G. & Schieberle, P.: Charakterisierung flüchtiger Verbindungen in kaltgepresstem Rapsöl. *Jahresbericht Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie* (ISBN 978-3-938896-35-8), 48-52 (2010).

20. Pollner, G. & Schieberle, P.: Quantifizierung wertgebender Aromastoffe in kaltgepresstem Rapsöl. Jahresbericht Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (ISBN 978-3-938896-49-5), 40-44 (2011).
21. Rauh, C., Singh, J., Nagel, M. & Delgado, A.: Objective analysis and prediction of texture perception of yoghurt by hybrid neuro-numerical methods. Intern. Dair. J. 26 (1), 2-14 (DOI: 10.1016/j.idairyj.2012.03.006) (2012).
22. Sartorius, T., Ketterer, C., Kullmann, S., Balzer, M., Rotermund, C., Binder, S., Hallschmid, M., Machann, J., Schick, F., Somoza, V., Preissl, H., Fritsche, A., Häring, H. U. & Hennige, A. M.: Monounsaturated fatty acids prevent the aversive effects of obesity on locomotion, brain activity, and sleep behavior. Diabetes 61, 1669-1679 (2012).
23. Scholl, L., Rubach, M., Balzer, M., Schieberle, P. & Somoza, V.: Impact of fatty acids and their biomimetic combinations on glucose uptake in 3T3-L1 and in HepG2 cells. J. Nutr. Biochem. (in preparation).
24. Scholl, L., Rubach, M., Schieberle, P. & Somoza, V.: Einfluss von Fettsäuren und biomimetischen Fettsäuregemischen auf die Glucoseaufnahme in Adipozyten und Hepatozyten. Proc. Germ. Nutr. Soc. 17, 106 (2012).
25. Schuch, A., Köhler, K. & Schuchmann, H. P.: Differential scanning calorimetry (DSC): A method to characterize the stability of inner droplets in multiple W/O/W emulsions. Therm. Anal. Calor. (submitted).
26. Tomaschunas, M., Hinrichs, J., Köhn, E. & Busch-Stockfisch, M.: Effects of casein-to-whey protein ratio, fat and protein content on sensory properties of stirred yoghurt. Intern. Dair. J. 26 (1), 31-35 (2012).
27. Tomaschunas, M., Hinrichs, J., Köhn, E. & Busch-Stockfisch, M.: Variation of casein to whey protein ratio, fat and protein content in stirred yoghurts: a sensory evaluation. Intern. Dair. J., Special Issue 7th NIZO Dairy Conference (submitted).
28. Wolf, F., Gmoser, F. & Schuchmann, H. P.: Stabilization of Water Droplets in an Oily Matrix Exclusively by Gel Formation. Chem. Engin. Technol., 754-760 (2011).
29. Wolf, F., Köhler, K. & Schuchmann, H. P.: Stabilization of Water Droplets in Oil with PGPR for use in oral or dermal applications. J. Food Proc. Engin. (DOI: 10.1111/j.1745-4530.2012.00688.x) (2012).

30. Wolf, F., Schuch, A., Köhler, K. & Schuchmann, H. P.: Ansatz zur Beschreibung der zerkleinerungsrelevanten Strömungsverhältnisse beim Emulgieren von W/O-Emulsionen mit Lochblenden. Chemie Ingenieur Technik 5 (2011) (in press).

Das Cluster bestand aus folgenden zeitlich parallel bearbeiteten Teilprojekten: *)

TP 1 (AiF):

[Modulatoren der „Fett“-Wahrnehmung](#)

Universität Hohenheim
 Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie
 FG Lebensmittel tierischer Herkunft
 Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs

TP 2 (DFG):

[Fettreduktion durch Doppelemulsionen](#)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik
 Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik
 Prof. Dr. H. P. Schuchmann

TP 3 (AiF):

[Sättigungsregulierende Fettinhaltsstoffe](#)

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising
 Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. V. Somoza

TP 4 (DFG):

[Modulation der Insulinwirkung im Gehirn](#)

Medizinische Universitätsklinik Tübingen
 Medizinische Klinik und Poliklinik
 Abt. Innere Medizin IV
 Prof. Dr. A. Fritsche/ Prof. Dr. H.-U. Häring

Universität Tübingen
 Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie
 Prof. Dr. N. Birbaumer

Universität Tübingen
 Institut für Pharmazie
 Abt. Pharmakologie und Toxikologie
 Prof. Dr. Dr. P. Ruth

TP 6 (DFG):

[Retronasal-olfaktorische und orosensorische Modulatoren des Fettgeschmacks](#)

Technische Universität München
 Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW
 Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik, Freising
 Prof. Dr. T. Hofmann

Technische Universität München
Department Chemie, Lehrstuhl für Lebensmittel-
chemie, Freising
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn
Tel.: + 49 228 3079699-0
Fax: + 49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

TP 7 (DFG):

**Molekulare Mechanismen der Fettgeschmacks-
wahrnehmung**

Deutsches Institut für Ernährungsforschung
Potsdam-Rehbrücke (DIFE), Nuthetal
Abt. Molekulare Genetik
Prof. Dr. W. Meyerhof/Dr. M. Behrens

TP 8 (AiF):

Simulation und Vorhersage des Mundgefühls

Universität Erlangen-Nürnberg
Department Chemie- und Bioingenieurwesen
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Prof. Dr. A. Delgado/Dr. C. Rauh

TP 9 (AiF):

**Konsumentenorientierte sensorische Untersu-
chungen**

Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Hamburg
Fakultät Life Sciences
Department Ökotrophologie
Prof. Dr. M. Busch-Stockfisch

***) Hinweis:**

Teilprojekt 5 wurde im Ergebnis des Begutachtungsverfah-
rens nicht realisiert. Die Teilprojektnummerierung folgt der
ursprünglichen Clusterkonzeption.

Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München,
Department Chemie
Lehrstuhl für Lebensmittelchemie, Freising
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle (Projektkoordinator)
Tel.: + 49 8161 71-2932
Fax: + 49 8161 71-2970
E-Mail: peter.schieberle@lrz.tum.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via:

