



FORSCHUNGSKREIS DER
ERNÄHRUNGSINDUSTRIE E.V.

„Industrielle Gemeinschafts- forschung: Instrument des innovativen Mittelstands“

Dokumentation der FEI-Jahrestagung 2011

Aktuelle Beiträge aus FEI-Projekten

„Industrielle Gemeinschafts- forschung: Instrument des innovativen Mittelstands“

Aktuelle Beiträge aus FEI-Projekten

Dokumentation der FEI-Jahrestagung 2011

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)

Godesberger Allee 142-148 · 53175 Bonn

Telefon: 0228 – 37 20 31

Telefax: 0228 – 37 61 50

E-Mail: fei@fei-bonn.de

Weiterführende Informationen:

www.fei-bonn.de

Impressum

ISBN 978-3-925032-50-9

Herausgeber

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 142-148
D-53175 Bonn

Redaktion

Dr. Volker Häusser
Daniela Kinkel

Layout/Gestaltung

freiart gmbh, Königswinter

Druck

Bonner Universitäts-Buchdruckerei, Bonn

© FEI e. V. 2011

Inhalt

Vorwort	5
Dr. Jürgen Kohnke Vorsitzender des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)	
Begrüßung und Einführung	7
Dr. Rainer Benning Universität Erlangen-Nürnberg Department Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik	
Bioaffinitätsanreicherung als neues Verfahren zum Nachweis von Lebensmittelrelevanten Mikroorganismen	15
Prof. Dr. Stefan Töpfl Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL) Quakenbrück	
Physikalische Technologien zur Haltbarmachung und Struktur- beeinflussung von Fleischwaren	31
Prof. Dr. Bertrand Matthäus Max-Rubner-Institut Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Detmold	
Strategien zur Minimierung von 3-MCPD-Fettsäureestern und verwandten Verbindungen in Pflanzenölen	47
Prof. Dr. Holger Zorn Universität Gießen Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie	
Biotechnologische Nutzung von Produktionsnebenströmen: Basidiomyceten als Aromaproduzenten	75
Prof. Dr. Rudi F. Vogel Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie	
Bewertung von Starterkulturen in der Rohwurstproduktion: Am Scheideweg zwischen Aroma und Sicherheit	85

Prof. Dr. Ulrich Kulozik
Technische Universität München
Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung (ZIEL)
Abteilung Technologie
**Aufklärung und Minimierung von Deckschichtbildungseffekten in der
Crossflow-Membrantrenntechnik..... 99**

Anhang

Posterabstracts	115
Betriebsbesichtigung.....	137
Bilder von der Jahrestagung	141
FEI-Projekte 2011/2012.....	155

Mitgliederverzeichnis

Vorstand.....	204
Mitgliedsverbände	206
Mitgliedsunternehmen.....	208
Forschungsinstitute	210
FEI-Kurzprofil.....	219

Vorwort

„Industrielle Gemeinschaftsforschung: Instrument des innovativen Mittelstands“ – unter diesem Motto stand die diesjährige Jahrestagung des FEI, die am 6. und 7. September 2011 an der Universität Erlangen-Nürnberg stattfand und deren wissenschaftliche Beiträge in der vorliegenden Dokumentation zusammengefasst sind.

Kaum ein anderer mittelständischer Wirtschaftszweig ist in seiner Produktionstechnologie mit ähnlich komplexen wissenschaftlichen Herausforderungen konfrontiert wie die Lebensmittelindustrie. Die Fähigkeit, neue bedarfsangepasste und sichere Produkte zu entwickeln und effiziente, ressourcenschonende Technologien zu nutzen, bestimmen aber die Chancen der Unternehmen dieser Branche im internationalen Wettbewerb. Innovationskompetenz und die Einbettung in Wissensnetzwerke gewinnen deshalb in zunehmendem Maße an Bedeutung für den wirtschaftlichen Erfolg der Unternehmen. Dies gilt für kleinere mehr noch als für größere. Die Rahmenbedingungen und Möglichkeiten mittelständischer Unternehmen, die insbesondere die Lebensmittelindustrie kennzeichnen, unterscheiden sich hierbei grundlegend von denen der sog. Global Player.

Mittelständische Unternehmen sind bei ihren Innovationsaktivitäten auf Impulse der Wissenschaft und eine enge Zusammenarbeit mit externen Forschungsstellen angewiesen. Andererseits lassen zahlreiche Themenfelder, wie z.B. Produktsicherheit, Produkthygiene oder Verbraucherschutzaspekte, viel Raum für vorwettbewerbliche Forschung und für gemeinsam von kleineren und größeren Unternehmen getragene Forschungsinitiativen, und zwar zum gegenseitigen Nutzen.

Dies ist der Ansatzpunkt der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) und der Arbeit des FEI als Bindeglied zwischen Wirtschaft und Wissenschaft und als Diskussionsforum der Branche für gemeinschaftlich interessierende Forschungsthemen. Als Interaktionsplattform der Lebensmittelindustrie bietet der FEI anwendungsorientierte, branchenweite Forschungsförderung und sorgt für eine enge Vernetzung von Industrie und Wissenschaft. Insbesondere kleinere Unternehmen profitieren von der Möglichkeit, im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung an breiter angelegten Kooperationsprojekten zu partizipieren und sich dadurch den Zugang zu Forschungseinrichtungen und zu praxisnahen Forschungsergebnissen zu eröffnen.

Nicht wenige der derzeit 600 Unternehmen, die direkt in den Projektbegleitenden Ausschüssen des FEI aktiv sind, beteiligen sich erstmals an Forschungs Kooperationen – ein „Mitnahmeeffekt“, der die Industrielle Gemeinschaftsforschung gegenüber anderen Instrumenten der Wirtschafts- und Forschungsförderung auszeichnet. Die Themenoffenheit der Gemeinschaftsforschung, d.h. die Möglichkeit

der Industrie, frei von politischen Vorgaben selbst die Themen der Forschung zu bestimmen und damit bedarfsgerecht auszugestalten, macht die Attraktivität dieser Maßnahme aus. Folgeaktivitäten im Nachgang von IGF-Projekten – unternehmensinterne Forschungsinitiativen ebenso wie bilaterale Kooperationen mit externen Forschungspartnern – zeigen zugleich die Hebelwirkung, die von diesem Förderinstrument ausgeht und die eine Beteiligung an IGF-Projekten zu einem sinnvollen Element einer langfristigen Unternehmensstrategie macht.

Die auf der diesjährigen FEI-Jahrestagung vorgestellten Beiträge stehen dabei synonym für die Breite der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Arbeitsfelder, die derzeit im Fokus der FEI-Gemeinschaftsforschung stehen. Sie reichen thematisch von der „Entwicklung neuer energieeffizienter Vakuumtrocknungsverfahren“ über „Untersuchungen zur Inaktivierung von Noroviren“ bis hin zur „Entwicklung von glutenfreien Produkten für Zöliakiekranken“. Beispielhaft für die Mehrdimensionalität und Aktualität der FEI-Gemeinschaftsforschung sind auch die zwei großen, interdisziplinär angelegten Projekte zum Thema „Minimierungsstrategien für 3-MCPD-Fettsäureester in Pflanzenölen“ bzw. das vom FEI koordinierte DFG/AiF-Cluster „Bioaktive Inhaltsstoffe aus mikrostrukturierten Multikapselsystemen“, deren Ergebnisse im Rahmen vorhabenspezifischer Tagungen im November vergangenen Jahres der Öffentlichkeit vorgestellt wurden. Eine Gesamtübersicht über die aktuell laufenden und in Vorbereitung stehenden FEI-Projekte finden Sie auf den Seiten 155-202.

Für die nachhaltige finanzielle Unterstützung, die der FEI von Seiten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie zahlreicher Unternehmen und Verbände erhält, sei an dieser Stelle deshalb ebenso herzlich gedankt wie für die gute Zusammenarbeit mit der AiF und zahlreichen ihren Forschungsvereinigungen.



Dr. J. Kohnke
(Vorsitzender)



Dr. V. Häusser
(Geschäftsführer)

Dr. Jürgen Kohnke

Vorsitzender des Forschungskreises
der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)



Begrüßung und Einführung

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

zur diesjährigen Jahrestagung des Forschungskreises heiße ich Sie herzlich willkommen und freue mich, dass Sie so zahlreich unserer Einladung gefolgt sind.

Der FEI eröffnet mit seiner Jahrestagung traditionell den großen Reigen der im Herbst auch im Lebensmittelsektor stattfindenden Fachtagungen. Während dort die Experten der einzelnen Fachdisziplinen unter sich bleiben, hatte der FEI, auch mit seiner Tagung, stets den Anspruch, **das Podium** zu sein, auf dem über die Grenzen der Fachdisziplinen hinweg, Themen und Inhalte der Industriellen Gemeinschaftsforschung diskutiert werden können. Und wenn ich in die Teilnehmerliste unserer heutigen Veranstaltung schaue, so stelle ich fest, dass wir auch in diesem Jahr diesem Anspruch gerecht werden können.

Wir tagen heute **erstmalig an der Universität Erlangen-Nürnberg** und ich möchte schon an dieser Stelle meinen herzlichen Dank ausdrücken an den Präsidenten der Universität, Herrn Prof. Grösche, und insbesondere an unser örtliches Vorstandsmitglied, Herrn Prof. Delgado, die uns die Möglichkeit eröffnen, die hiesigen Räumlichkeiten zu nutzen und unsere Veranstaltung damit in einer attraktiven Ambiente stattfinden zu lassen. Gleichzeitig haben wir – haben Sie! – die Chance, einige der hiesigen Forschungseinrichtungen kennenzulernen. All diejenigen, die es im Rahmen des gestrigen Tages noch nicht getan haben, können sich im Anschluss an unsere Vortragsveranstaltung im Rahmen von Institutsbesichtigungen selbst ein Bild machen von den örtlichen Forschungsressourcen, die hier in Erlangen zur Verfügung stehen.

Erlangen ist in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus der FEI-Forschungsförderung gerückt, nicht zuletzt durch die bemerkenswerten beiden **Clusterinitiativen**, die unter Federführung von Herrn Prof. Delgado hier ihren Ausgang

fanden und mit großem Erfolg in **zwei umfangreiche, interdisziplinäre DFG/AiF-Gemeinschaftsforschungsvorhaben des FEI** mündeten; das eine zum Thema „**Minimal Processing**“ und das andere zum Thema „**Schaumsimulation**“.

In diesen beiden jüngst gestarteten Clusterprojekten sind insgesamt 20 Arbeitsgruppen und 48 Unternehmen eingebunden. € 5,6 Mio. stehen hier seitens DFG und Bundeswirtschaftsministerium über den FEI zur Verfügung, um Synergien in der Grundlagen- und Anwendungsforschung zu nutzen. Beide Projekte sind **Vorzeigeprojekte** des Forschungskreises, denn es ist eine besondere Herausforderung, derartig komplexe Projektkonzepte zu initiieren und mit Erfolg umzusetzen. Wir dürfen gespannt sein, welche interessanten Ergebnisse am Ende dieser Vorhaben stehen werden.

Weitere 12 Forschungsvorhaben, die hier in den vergangenen 5 Jahren über den FEI realisiert werden konnten, zeigen aber auch, dass Erlangen nicht nur als Kristallisationspunkt für Clustervorhaben eine herausragende Stellung einnimmt, sondern auch im Rahmen der regulären FEI-Gemeinschaftsforschung. Erlangen verfügt nicht nur über die „klassischen“ Lebensmittelwissenschaften, wie z.B. die Lebensmittelchemie, sondern bereichert das Spektrum des FEI-Netzwerkes auch durch eine ganze Reihe weiterer Fachdisziplinen und Arbeitsgruppen, die vor einigen Jahren noch weniger im Blickpunkt unserer Projektförderung standen. Durch sie werden Themenfelder erschlossen, die, wie z.B. die **Automatisierung**, die **Modellierung** oder die **Simulation von Produktionsabläufen**, nicht nur von zentralem Interesse für die Lebensmittelindustrie selbst sind, sondern auch für ihre Zulieferer, den Maschinen- und Anlagenbau oder die Mikrosystem- und Regelungstechnik.

Hier in Erlangen zeigt sich damit im Kleinen, was auch im Großen für das gesamte Netzwerk des Forschungskreises und seine Aktivitäten kennzeichnend ist, nämlich eine **stete Dynamik der Themen und der Akteure** verbunden mit dem Trend einer immer größeren Interdisziplinarität. Dies beruht darauf, dass die Industrie immer wieder neue und andere praxisrelevante Themen identifiziert und in den Fokus einer Bearbeitung rückt. Nur diese Freiheit, diese Themenoffenheit, sichert auf Dauer das Interesse der Industrie an vorwettbewerblicher Gemeinschaftsforschung. Politisch vorgegebene Top-down-Themen, und mögen sie, wie z.B. die Elektromobilität, noch so interessant sein, sind nicht geeignet, den Mittelstand *in seiner gesamten Breite* anzusprechen und zu industriellen Gemeinschaftsforschungsaktivitäten zu motivieren.

Die Lebensmittelindustrie mit ihrer heterogenen, kleinteiligen Struktur und der Vielfalt ihrer Forschungsthemen ist hierfür alleine schon Beweis, denn sie braucht viele unterschiedliche **Lösungskonzepte** für sehr handfeste, branchenspezifische Fragestellungen. Und sie braucht einen kreativen **Ideeninput**, der sich am *konkreten Bedarf* der Unternehmen ausrichtet und nicht nur an übergeordneten politischen Leitthemen orientiert. Dies gilt mit Blick auf die deutsche

Gesamtwirtschaft und den sie tragenden Mittelstand noch in weit größerem Maße. Industrielle Gemeinschaftsforschung liefert hier seit Jahrzehnten wirksame Innovationshilfe. Und die wachsende Zahl an gut evaluierten Projektanträgen, die auf eine Bewilligung warten, zeigt, dass dieser Bedarf noch lange nicht befriedigt ist. Tatsächlich wird sich kaum eine anwendungsnah arbeitende Forschungseinrichtung oder ein forschungsinteressiertes Unternehmen in Deutschland finden lassen, das nicht durch die eine oder andere AiF-Organisation in die Industrielle Gemeinschaftsforschung einbezogen ist. **Der Forschungskreis** mit über 110 Forschungsstellen, 600 in Projektbegleitenden Ausschüssen aktiven Unternehmen und 55 angeschlossenen Wirtschaftsverbänden ist dabei *nur eines*, wenn auch **eines der größten Netzwerke innerhalb der AiF-Szene**. Aber bereits anhand unserer Forschungsorganisation ist zu erkennen, wie groß die Strahlweite der Industriellen Gemeinschaftsforschung ist.

Die **Breitenwirksamkeit** dieses Instruments ist ein wesentlicher Grund, der einerseits die bisherige öffentliche Förderung seitens des Bundeswirtschaftsministeriums rechtfertigt und andererseits verständlich macht, warum sich diese Fördermaßnahme einer so großen und nachhaltigen parteiübergreifenden Unterstützung erfreut. Sie ist ordnungspolitisch neutral und setzt dort an, wo es um die **langfristige Förderung der Leistungsfähigkeit unserer Wirtschaft** und insbesondere des Mittelstands geht. Industrielle Gemeinschaftsforschung fokussiert auf ganze Wirtschaftsbranchen und hilft, auf vorwettbewerblicher Basis *Orientierungswissen* zu erarbeiten, von dem **alle** Unternehmen eines Wirtschaftssektors profitieren. Sie kann und will nicht unternehmensbezogene Förderkonzepte ersetzen, die, wie z.B. das „Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)“ des BMWi, auf eine einzelbetriebliche Förderung fokussieren. Im Gegenteil: **Industrielle Gemeinschaftsforschung schafft häufig genug erst die Basis für einzelbetriebliche Fördermaßnahmen**. Viele ZIM-Projekte basieren direkt oder indirekt auf den Ergebnissen der Gemeinschaftsforschung und nicht wenige Firmen, die im Rahmen der Gemeinschaftsforschung erstmals überhaupt an Forschung herangeführt wurden, nutzen die Möglichkeit, im ZIM-Programm hierauf aufbauend Projektthemen bilateral weiterzuführen. Von daher greifen hier zwei Förderinstrumente mit ganz unterschiedlichen Ansätzen wirksam ineinander, die maßgeblich dazu beitragen, gerade mittelständische Unternehmen in ihrer Innovationskraft zu stärken und damit fit zu machen für den internationalen Wettbewerb. Einen Wettbewerb, der schärfer werden wird und in dessen Folge sich global gesehen die Bedeutung der heutigen Wirtschaftsstandorte, und d.h. auch des Wirtschaftsstandortes Deutschland, unweigerlich ändern wird.

Unsere Tagung findet zu einem Zeitpunkt statt, an dem die Börsen weltweit heftige Turbulenzen verzeichnen. Aktienkurse scheinen fernab der realen wirtschaftlichen Situation der Unternehmen der Beliebigkeit unterworfen zu sein. Und noch ist nicht absehbar, welche Konsequenzen diese allgemeine Volatili-

tät für die Weltwirtschaft insgesamt und unsere eigene, exportabhängige Wirtschaft im Besonderen haben wird.

Die Wirksamkeit der Instrumente der Forschungspolitik und im speziellen der mittelstandsorientierten Innovationsförderung, hängen maßgeblich davon ab, welche finanziellen Ressourcen die öffentliche Hand hierfür zur Verfügung stellen *will* und stellen *kann*. Der Blick auf andere Länder, die, wie z.B. Großbritannien, schon vor vielen Jahren den Irrweg beschritten haben, im Bereich der Forschungsförderung zu sparen und die Folgen dieser Fehlentscheidung heute spüren, zeigt, wie wichtig ein nachhaltiges Engagement des Staates in diesem Bereich ist.

Es mag viele Gründe dafür geben, warum Deutschland über eine ausgezeichnete international anerkannte Forschungslandschaft verfügt und warum die deutsche Industrie bislang so unbeschadet die aktuelle Wirtschaftskrise überstanden hat. Ein wesentlicher Grund ist aber vor allem, dass **in Deutschland ein politisches Grundverständnis** darüber herrscht, wie wichtig es ist, durch Forschungsförderung und eine intelligente Mittelstandspolitik Impulse zu setzen.

Hierzu gehört die Entscheidung der Bundesregierung, in der laufenden Legislaturperiode € 12 Mrd. zusätzlich für Forschung und Entwicklung bereitzustellen ebenso, wie die Entscheidung des Bundeswirtschaftsministeriums, der Industriellen Gemeinschaftsforschung in seiner Förderstruktur eine prominente Rolle zuzuweisen.

Die hierfür in diesem Jahr über die AiF zur Verfügung gestellten Fördermittel in Höhe von insg. € 129 Mio., die aufgrund des akuten Finanzbedarfs in den vergangenen Wochen dankenswerterweise noch einmal um € 6 Mio. aufgestockt wurden, mögen im Vergleich zum milliardenschweren Gesamthaushalt des BMWi gering erscheinen. Ihr „**Return on Investment**“ dürfte allerdings im Vergleich zu einem Großteil dieser Mittel unvergleichlich viel höher sein.

Ich möchte dies an drei Aspekten festmachen, die ich für kennzeichnend und als herausragende **Alleinstellungsmerkmale** der Industriellen Gemeinschaftsforschung betrachte:

1. Aspekt: Die Kombination von Projektförderung und Netzwerkförderung.

Wo wird so effizient Projektförderung mit Netzwerkförderung verbunden wie in der Industriellen Gemeinschaftsforschung? –

An anderer Stelle wird mit viel Geld und eigenen Förderprogrammen versucht, Netzwerke zwischen Industrie und Wissenschaft zu initiieren. Die Organisationen der Industriellen Gemeinschaftsforschung hingegen existieren seit Jahrzehnten und arbeiten mit Erfolg. Sie sind, wie der Forschungskreis, **von Industrie und Wissenschaft selbst gewollt und selbst getragen**. Die Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung unterstützt diese **Eigeninitiative** und gibt den

Netzwerken mit jedem geförderten Projekt neue Impulse. Impulse, die weit über die geförderten Projekte hinausreichen.

Auch wenn, wie z.B. in unserem Wissenschaftlichen Ausschuss oder heute auf unserer Tagung, Einzelprojekte im Fokus der Diskussion stehen, so liegt ein fast noch größerer Benefit in der Tatsache, dass eine Vielzahl an Akteuren aus Industrie und Wissenschaft in diese Diskussion eingebunden ist und miteinander auf Ebene des FEI interagieren. Projektförderung verbindet sich hier mit einem bemerkenswerten **Vernetzungseffekt, der nicht nur von wirtschaftspolitischer Relevanz ist, sondern auch einen gesellschaftspolitischen Mehrwert hat.**

2. Aspekt: Die nachhaltige Vernetzung der Industrie.

Wo werden so effizient mittelständische und größere Unternehmen miteinander vernetzt wie in der Industriellen Gemeinschaftsforschung? –

Jedes Programm, sei es des BMBF oder der EU, nimmt für sich politisch in Anspruch, „KMU“ zu fördern. Schaut man aber genauer hin, so bestehen Projektkonsortien in anderen Förderprogrammen zum einen häufig nur aus wenigen beteiligten Firmen und zum anderen häufig genug nur aus Alibi-KMU, während Initiatoren und Nutznießer dieser Vorhaben überwiegend größere Unternehmen sind.

Der kürzlich veröffentlichte Monitoring-Report der Europäischen Kommission zum laufenden 7. Rahmenprogramm der EU weist z.B. aus, dass diejenigen deutschen Firmen, die am häufigsten in EU-Projekte involviert waren, die Firmen Siemens, SAP, EADS und Infineon sind. Sieht man im Vergleich hierzu, dass in FEI-Vorhaben ganze Fachverbände involviert sind und in den Projektbegleitenden Ausschüssen i.d.R. 10–20 Unternehmen aktiv sind, so hat die **Industrielle Gemeinschaftsforschung einen wesentlich größeren mittelstandsorientierten Wirkungsfaktor als andere Förderprogramme.** Nicht wenige der 600 derzeit in FEI-Projekten aktiven Unternehmen sind sogar *erstmalig* in Kooperationsprojekte eingebunden. Hier hat die IGF sogar eine **Missionsfunktion** und hilft, mittelständischen Unternehmen erste Brücken zur Wissenschaft und zu anderen Unternehmen zu bauen und sie in Netzwerke einzubinden.

Fast alle Sparten der deutschen Lebensmittelindustrie sind nach wie vor mittelständisch strukturiert. Ergebnisse von FEI-Projekten werden über die grundsätzlich im Forschungskreis **als Informationsmultiplikatoren eingebundenen Fachverbände *allen*** Unternehmen dieses mittelstandsdominierten Wirtschaftssektors zur Verfügung gestellt. So profitieren auch kleinere Firmen von den Ergebnissen, die keine eigenen Mitarbeiter für Projektausschüsse abstellen können. Dies erklärt vielleicht, warum **die deutsche Lebensmittelindustrie** – sogar mit wachsendem Exportanteil – **europaweit führend** ist, obwohl sie sich strukturell nicht anders darstellt als in Großbritannien, Italien oder Polen. Aber in diesen Ländern, und das bestätigen uns unsere Partner in der Europäischen Technologieplattform „Food for Life“, fehlt es an nationalen Gemeinschaftsfor-

schungsinstrumenten und es fehlt in diesen Ländern die politische Erkenntnis, wie intelligent man durch dieses Förderinstrument den Mittelstand fördern kann.

3. Aspekt: Das Qualitätsniveau der Forschung.

Wo wird so effizient und auf so hohem Niveau Innovationsförderung betrieben wie in der Industriellen Gemeinschaftsforschung? –

Der industrielle Mittelstand verfügt in den seltensten Fällen über genügend eigene Ressourcen und Expertisen, um selbst Innovationsförderung betreiben zu können. Mögen kleinere Unternehmen vielleicht noch in der Lage sein, ihre *Probleme zu artikulieren*, so sind doch ihre Möglichkeiten, *Lösungsstrategien zu erarbeiten*, mehr als begrenzt.

Der Erfolg der Industriellen Gemeinschaftsforschung – zumindest auf Ebene des FEI – beruht auf dem Prinzip, **Innovationsimpulse von außen** aufzugreifen und die gesamte deutsche **Forschungslandschaft als Ideengeber der Industrie** zu nutzen. Dies sorgt nicht nur für einen **steten Ideenwettbewerb**, sondern auch für einen sich immer wieder erneuernden Kreis an Akteuren und einen sich im Zuge der Projektdurchführung füllenden Pool an gut ausgebildeten Nachwuchskräften.

Ein besonderes Kennzeichen des FEI, das ihn aus der Masse anderer Forschungsorganisationen heraushebt, ist dabei sein **eigenes Fachgutachtersystem**, das nicht nur aus einem 90köpfigen Wissenschaftlichen Ausschuss besteht, sondern durch zahlreiche weitere ehrenamtlich arbeitende Fachleute ergänzt wird. Die **intensive neutrale Bewertung von Projektideen** und Forschungsanträgen im Vorfeld einer Projekteinreichung bei der AiF sorgt dafür, dass nur die besten und innovativsten Projekte zur Realisierung vorgeschlagen werden. Rund 40% der an uns herangetragenen Anträge werden für nicht förderwürdig befunden oder zur Überarbeitung verwiesen. Diese strenge Projektauswahl ist Garant dafür, dass die wissenschaftliche Basis gesichert ist, aus der sich in der Folge eines Vorhabens Innovationen ergeben können.

Auch wenn die Zahl von Projektpublikationen kein alleiniger Maßstab für den Erfolg und mit Sicherheit nur *ein* Element eines erfolgreichen Ergebnistransfers ist, so ist es dennoch beachtlich, dass aus einem FEI-Projekt durchschnittlich 5 Publikationen in internationalen Journals hervorgehen und wenn man noch weitergehend analysiert, welchen Impact-Faktor diese Publikationen haben, dann lässt sich hieran ablesen, dass **exzellente, international anerkannte Ergebnisse** aus der Industriellen Gemeinschaftsforschung resultieren, die in der Tat **Weichenstellungen für künftige Innovationen** sein können.

Diese drei Aspekte – die Kombination von Projekt- und Netzwerkförderung – die nachhaltige Vernetzung der Industrie – und das Qualitätsniveau der Projekte – machen die Industrielle Gemeinschaftsforschung in der Tat zu einem „Instru-

ment des innovativen Mittelstands“ – so wie es der Titel unserer diesjährigen Jahrestagung unterstreicht.

Industrielle Gemeinschaftsforschung hat viele Facetten und die Zahl der Projekte, die über den Forschungskreis realisiert werden, wächst dank der nachhaltigen Unterstützung des Bundeswirtschaftsministeriums von Jahr zu Jahr.

Wie immer haben wir versucht, für die heutige Tagung eine Auswahl zusammenzustellen, die *pars pro toto* für das Gesamtspektrum unserer Forschungsförderung steht. Die ausgewählten Beispiele reichen dieses Mal von so ökonomisch relevanten Themen, wie der **Entwicklung von Minimierungsstrategien für 3-MCPD** bis hin zu Forschungsarbeiten zum **Einsatz neuer physikalischer Technologien in der Lebensmittelverarbeitung** oder **moderner Bioaffinitätsverfahren zum Nachweis von Mikroorganismen**.

Dr. Rainer Benning

Universität Erlangen-Nürnberg
Department Chemie- und Bioingenieurwesen
Lehrstuhl für Strömungsmechanik



Bioaffinitätsanreicherung als neues Verfahren zum Nachweis von lebensmittelrelevanten Mikroorganismen*

1. Einführung und Zielsetzung

Die Sicherstellung der mikrobiologischen Unbedenklichkeit stellt einen essenziellen Schritt in der Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln dar und ist deshalb Gegenstand gesetzlicher Regelungen. In der Verordnung (EG) Nr. 2073/2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel (geändert durch Verordnung (EG) Nr. 1441/2007) wurden deshalb Grenzwerte für Kriterien der Lebensmittelsicherheit (z.B. Salmonellen) sowie produktspezifische Kriterien der Prozesshygiene festgelegt. Für Milch und Milcherzeugnisse sind dies Grenzwerte für *Enterobacteriaceae* (bei einigen Produkten auch *Escherichia coli*), *Staphylococcus aureus* und *Bacillus cereus*. Die Lebensmittelsicherheitskriterien gelten für die in Verkehr gebrachten Erzeugnisse während der Haltbarkeitsdauer. Die Bestimmung der *Enterobacteriaceae* dient in erster Linie der Kontrolle der Wirksamkeit der Wärmebehandlung und der Verhinderung einer erneuten Kontamination. *Staphylococcus aureus* und *Bacillus cereus* kommen dagegen, neben ihrer Funktion als Hygieneindikatoren, aufgrund ihres Potentials als Erreger von Lebensmittelintoxikationen eine besondere Rolle zu, so dass die Qualität und Sicherheit des Rohstoffes Milch wesentlich durch diese beiden Keime beeinflusst wird. Darüber hinaus ist die Untersuchung auf beide Parameter auch während des Verarbeitungsprozesses geeignet, Hygienemängel und Sicherheitsrisiken zu erkennen. Eine hohe Ausgangsbelastung oder ein Anstieg der Keimzahlen,

* Autoren: Rainer Benning, Anuhar Osorio Nesme, Antonio Delgado

insbesondere von *Staphylococcus aureus*, während des Verarbeitungsprozesses muss möglichst schnell erkannt werden, da ab Werten von $> 10^5$ KBE/g mit der Bildung von (hitzestabilen) Toxinen zu rechnen ist.

Der Nachweis dieser Mikroorganismen erfolgt in der Routinediagnostik nach wie vor praktisch ausschließlich mikrobiologisch. Mit den offiziellen Methoden erhält man allerdings ein negatives Ergebnis frühestens nach 24 h (*Staphylococcus aureus*) bzw. 48 h (*Bacillus cereus*); die Bestätigung positiver Proben dauert bis zu 144 h. Auch die molekularbiologischen Verfahren benötigen bei niedrigen Keimzahlen einen Anreicherungsschritt und somit 8-10 h für den Nachweis im Lebensmittel. Um Hygiene- und Qualitätsmängel sowie potentielle Gesundheitsrisiken während des Verarbeitungsprozesses schnell erkennen und beseitigen zu können, ist diese Zeitspanne nicht akzeptabel. Aus Sicht des aktuellen Stands der Technik lassen sich diese Analysenzeiten für *Staphylococcus aureus* und *Bacillus cereus* durch die Entwicklung und Kombination neuer analytischer Techniken wesentlich reduzieren.

Der vorgestellte Ansatz setzt sich daher zum Ziel, durch eine selektive Aufarbeitung bzw. eine spezifische Anreicherung des Probenmaterials die Qualität der ermittelten Resultate deutlich zu steigern und insbesondere die notwendige Analysenzeit wesentlich zu reduzieren. Dieser komplexen Aufgabenstellung widmen sich mit der Universität München (Lehrstuhl für Hygiene und Technologie der Milch), der Universität Hamburg (Institut für Lebensmittelchemie), der Universität Erlangen-Nürnberg (Lehrstuhl für Strömungsmechanik) und der Technischen Universität München (Lehrstuhl für Analytische Chemie) insgesamt vier Forschungsstellen.

Als grundlegende Technik zur Anreicherung der Mikroorganismen wird eine Bioaffinitätsanreicherung eingesetzt. Der Kern dieser Methodik besteht darin, an der Oberfläche eines durchströmten porösen Mediums, der Bioaffinitätssäule, Moleküle zu immobilisieren, die eine spezifische Bindung der gesuchten Mikroorganismen während der Anreicherung ermöglichen. Als Alternativen für diese „Fängermoleküle“ stehen monoklonale Antikörper und Aptamere, d.h. kurze definierte DNA- oder RNA-Sequenzen, zur Verfügung.

Als nächster Schritt erfolgt die Elution, in der eine geringe Menge Elutionsmittel die zuvor gebundenen Mikroorganismen löst und damit anreichert. Wird als Probe ein Volumen von 1 l und zur Elution 1 ml angesetzt, ist mit dieser Methodik theoretisch eine etwa 1.000fache Anreicherung, d.h. von 10^{-2} auf 10^{-5} KBE/ml, möglich. Die angereicherten Proben sollen danach mittels eines etablierten vollautomatisierten Mikroarray-Auslesegeräts am Beispiel Milch untersucht werden. Ein weiterer Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Möglichkeit, dieses System so zu konzipieren, dass eine Integration in eine Prozessregelung und kurze Reaktionszeiten gewährleistet sind.

In der angestrebten Realisierung soll die zu untersuchende Probe, d.h. Milch oder Molke, von 1 l auf 1 ml, d.h. um den Faktor 1.000, aufkonzentriert werden. Um eine zeitnahe Bestimmung der Keimzahl zu ermöglichen, muss dieser Anreicherungsschritt innerhalb einer Stunde erfolgen. Die Kombination beider Zielsetzungen, d.h. eine hohe Aufkonzentrierung in einer kurzen Zeit und die Berücksichtigung von Randbedingungen (wie ein möglichst geringer Druckverlust an der Säule) erfordert eine entsprechend optimierte Auslegung des Anreicherungsschritts. Die vorgesehene Bioaffinitätssäule ist daher aus strömungsmechanischen Gesichtspunkten hinsichtlich der Strömungsgeschwindigkeit und einer gleichmäßigen Verteilung der Probenflüssigkeit über das gesamte Säulenvolumen zu optimieren.

Die dazu durchgeführten numerischen Simulationen, die der Auslegung der Säule dienen, stehen im Fokus des folgenden Beitrags.

2. Numerische Simulationen: Vorbereitung

In einem ersten Schritt wurde eine bereits existierende Säule, siehe **Abb. 1**, mittels *mikro*-CT-Messungen in eine Rechengeometrie überführt, um sicherzustellen, dass die Eigenschaften der simulierten denen einer realen Säule ähnlich sind. Obwohl die beabsichtigten Abmessungen der Säule letztendlich im Bereich der linken Säule liegen sollen, wurde für die Messungen aufgrund der notwendigen größeren Abmessungen das rechte Exemplar aus dem gleichen Material gewählt. Diese Messungen wurden am Lehrstuhl für Werkstoffwissenschaften (Glas und Keramik) der Universität Erlangen-Nürnberg durchgeführt. Der verwendete Skyscan 1172 (Skyscan B.V., Leuven, Belgien) arbeitet bei 80 kV mit 100 μ A.

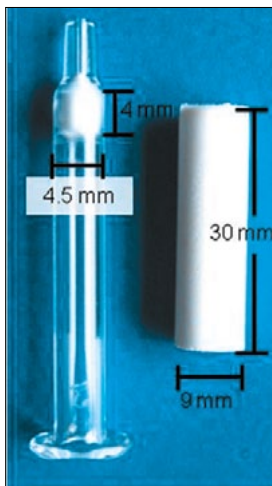


Abb. 1: Monolithische Säulen für die Affinitätschromatographie. Die Abmessungen der linken Säule liegen in einer Größenordnung, die für die letztendliche Ausgestaltung beabsichtigt ist. Für die mikro-CT-Messungen wurde die größte rechte Abmessung gewählt. Beide Säulen unterscheiden sich hinsichtlich der Materialeigenschaften nicht.

Als Auflösung können mit diesem Gerät bis zu $0.6 \mu\text{m}$ realisiert werden. Dies ist besser als der mittlere Porendurchmesser der monolithischen Säulen, der etwa $(20 \pm 4) \mu\text{m}$ beträgt. Diese Porengößen wurden an der TU München mittels Quecksilberporosimetrie (Hg-Pososimetrie) bestimmt.

Zur Messung wurde jeweils ein Satz von „Scheiben“ über den Querschnitt gescannt und als Bitmap-Grafik mit einer jeweiligen Auflösung von 1712×1648 Pixel bei einer Pixelgröße von $5.83505 \mu\text{m}$ gespeichert. Die zugehörigen Grauwerte liegen im Bereich von 0 (schwarz) bis 255 (weiß). **Abb. 2** stellt exemplarisch ein *mikro-CT*-Bild dar. Der Abstand zwischen zwei Scheiben wurde auf die Pixelgröße von $5.83505 \mu\text{m}$ gesetzt. Folglich wurden mehr als 1.000 Bilder aufgenommen, um die vollständige Länge des Beispilexemplars abzudecken.

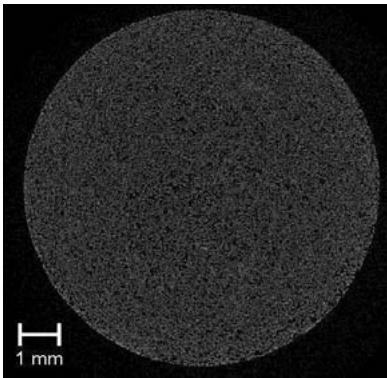


Abb.2: Grauwertbild des Säulenquerschnitts nach der mikro-CT-Messung.

Im nächsten Schritt sind nun alle Pixel als Leerraum mit dem Grauwert „0“ oder Feststoff, d.h. Säulenmaterial, mit dem Grauwert „1“ so zu definieren, dass die Porosität der realen Säulen entspricht. Dabei ist die Porosität ε definiert als

$$\varepsilon = \frac{\text{Porenvolumen}}{\text{Gesamtvolumen}}$$

Um dies zu erreichen, wurden weitere Experimente der TU München genutzt, die eine Beziehung zwischen Druck und Durchfluss in der Säule herstellen. Eine Grundlage stellt hierzu die REYNOLDS-Zahl Re dar, die in diesem Fall definiert wird als

$$Re = \frac{u \cdot \delta_p}{\nu},$$

mit u : mittlere Geschwindigkeit, δ_p : Porengöße und ν : kinematische Viskosität des Fluids.

Für die hier vorliegenden sehr kleinen REYNOLDS-Zahlen, d.h. $Re < 1$, kann für Permeabilität κ und Druckdifferenz Δp nach DARCY ein linearer Zusammenhang angenommen werden, d.h.

$$\kappa = \mu \frac{Q}{A \Delta p} L,$$

mit Q: Volumenstrom, L: Länge der Säule, A: Querschnittsfläche der Säule und μ : dynamische Viskosität des durchströmenden Mediums.

In orientierenden Simulationen wurde die Porosität des Säulenmaterials so variiert, dass die daraus berechneten Geraden mit den experimentell ermittelten übereinstimmen, siehe **Abb. 3**. Tests mit unterschiedlichen Schwellwerten zeigten, dass die Porosität der simulierten monolithischen Säule im Bereich von 0,6 bis 0,7 liegt.

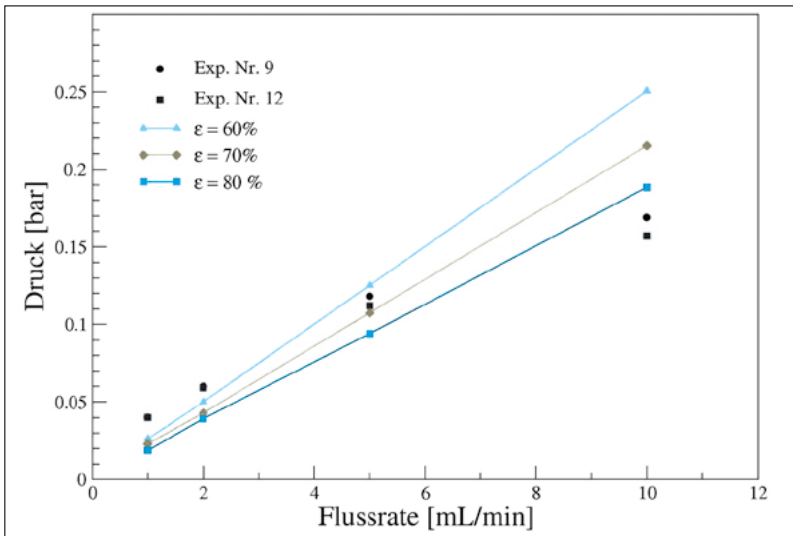


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Flussrate und Druckverlust an einer monolithischen Säule. Die experimentellen Werte wurden genutzt, um mittels numerischer Berechnungen die Porosität der Säule zu ermitteln.

Mit diesem Ergebnis lässt sich nun die Schwelle des Grauwerts so festlegen, dass die Zielporosität erreicht wird. Der für die numerischen Simulationen festgelegte Wert liegt bei 32. Das letztendliche Bild des Säulenquerschnitts aus **Abb. 2** nach Schwellwertsegmentierung wird in **Abb. 4** gezeigt, wobei schwarze Pixel für das Säulenmaterial, weiße Pixel für den Porenraum stehen.

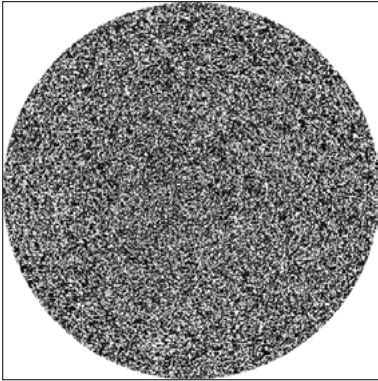


Abb. 4: Binäre Darstellung des Säulenquerschnitts nach Schwellwertauswertung. Schwarze Pixel repräsentieren das Säulenmaterial, weiße Pixel den Porenraum.

Die Größe des Säulendurchmessers von 9 mm wurde an die beabsichtigte Größe von 4,5 mm angepasst, indem eine entsprechend große Scheibe aus der Mitte der Säulendarstellung ausgeschnitten wurde. Die gesamte Säule lässt sich im letzten Schritt durch Übereinanderstapeln der einzelnen Scheiben erzeugen.

3. Strömungssimulationen in monolithischen Säulen mit unterschiedlichen Zuflussregionen

Eine wesentliche Fragestellung der Untersuchungen liegt in der Sicherstellung einer optimalen Nutzung des Säulenvolumens für die Bioaffinitätsanreicherung. Dazu sollte untersucht werden, inwieweit die Zuflussregion über der Säule bzw. die Oberflächenform der Säule selbst die Verteilung des Fluids über den Säulenquerschnitt beeinflusst. Dazu wurden zwei unterschiedliche Geometrien, prinzipiell bestehend aus drei Teilen (Zufluss, poröses Medium, Abfluss), entworfen. In beiden Fällen wurde lediglich der Zufluss variiert, während die beiden anderen Komponenten unverändert blieben. **Abb. 5** zeigt schematisch beide Fälle. Im ersten Fall, siehe **Abb. 5** (links), existiert ein Spalt von 4 mm zwischen der Injektionsdüse und dem porösen Medium (Fall A), während für den zweiten Fall (Fall B) dieser Abstand lediglich 0,1 mm beträgt, siehe **Abb. 5** (rechts). Das Ziel dieser Simulationen liegt darin, den Einfluss dieses Abstands im Zuflussteil auf das Strömungsmuster und den Druckverlust zu analysieren. Aus physikalischer Hinsicht stellt dabei Fall B eine Alternative ohne Spalt zwischen Injektionsdüse und Säule dar. Die Einführung eines kleinen Spaltes erweist sich jedoch aus Stabilitätsgründen für die numerische Simulation als notwendig.

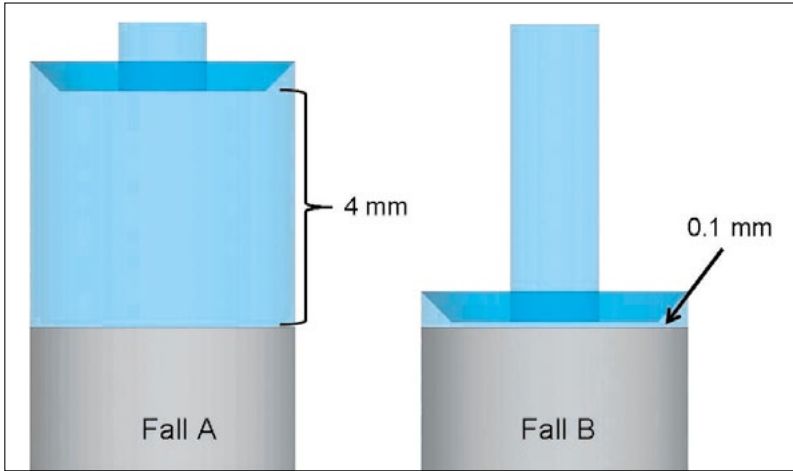


Abb. 5: Simulierte Alternativen der Zuflussregion mit variierendem Abstand von 0,1 bzw. 4 mm zwischen Injektionsdüse und Säulenoberfläche.

In den Simulationen fällt auf, dass der definierte große Abstand zu Rezirkulationswirbeln im Zulauf führt, die auch vom simulierten Volumenstrom abhängen, wie es **Abb. 6** anhand zwei ausgewählter Beispiele zeigt. Hier sind die Stromlinien und das Geschwindigkeitsfeld für Fall A und für $Q = 1 \text{ mL/min}$ (**Abb. 6** (links)) und $Q = 10 \text{ mL/min}$ (**Abb. 6** (rechts)), beide mit der Porosität $\varepsilon = 0,8$, dargestellt. Für die Konturlinien der Geschwindigkeit wurde die mittlere Ebene der Geometrie ausgewählt. Bei $Q = 1 \text{ mL/min}$ sind die Rezirkulationswirbel durch vergleichsweise kleine Wirbel charakterisiert, die den Zufluss selbst umgeben und dort auch hängen bleiben. Im Gegensatz dazu bewegen sich die Zentren der Wirbel bei $Q = 10 \text{ mL/min}$ stromabwärts und nehmen annähernd die gesamte Spalte ein. Innerhalb des porösen Mediums bleiben alle Stromlinien parallel zur Strömungsrichtung.

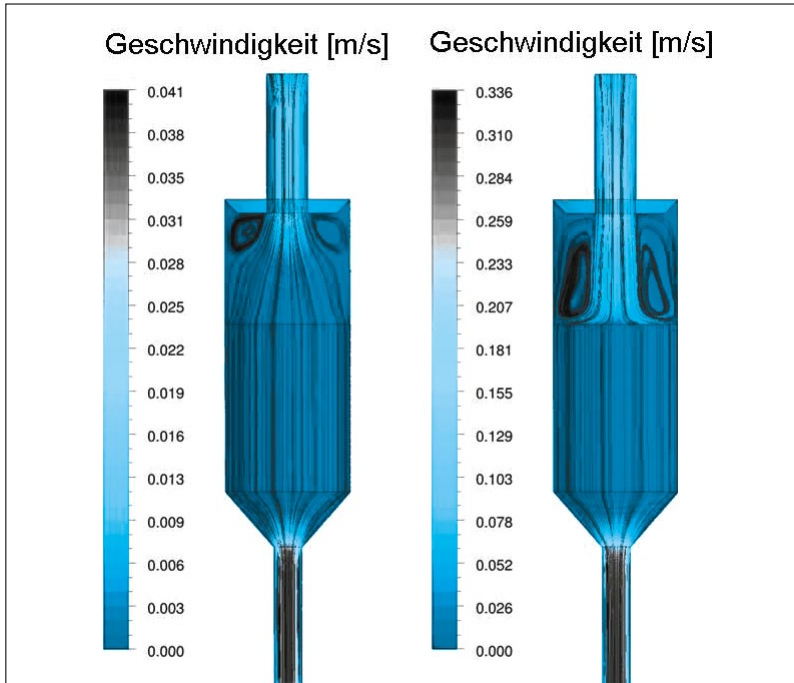


Abb. 6: Strömungsfelder mit Rezirkulationswirbeln für Fall A, Porosität $\epsilon = 0,8$ und $Q = 1 \text{ mL/min}$ (links) sowie $Q = 10 \text{ mL/min}$ (rechts).

Es ist anzumerken, dass es sich hier um globale Simulationen handelt, die mittels ANSYS CFX (ANSYS Germany GmbH, Otterfing) durchgeführt wurden. Dabei wurden der zylindrischen Rechendomäne die Eigenschaften eines porösen Mediums zugeordnet. Eine detaillierte Betrachtung, z.B. der Stromlinien, lässt sich mit diesem Ansatz nicht erreichen.

4. Strömungssimulationen der zentralen Ebene monolithischer Säulen bei unterschiedlichen Formen der Einlaufoberfläche – 2D

Dieser Schritt untersucht den Einfluss der Oberflächenform des Einlaufs auf Strömung und Druckverteilung. Dazu wurde die zentrale XY-Ebene der porösen Säule simuliert, siehe **Abb. 7** (links). Im Gegensatz zum vorhergehenden Arbeitsabschnitt ließ sich hierbei die wirkliche Mikrostruktur der Säule berücksichtigen, anstelle der Rechendomäne die Eigenschaften eines porösen Mediums zuzuordnen. Die Beschäftigung mit solchen Geometrien, in denen die komplexe Mikro-

struktur des Mediums im Detail zu simulieren ist, stellt aufgrund der notwendigen hohen Auflösung eine große Herausforderung hinsichtlich der Rechenzeit und der Datenspeicherung dar. Die angewandte Lattice-BOLTZMANN-Methode (LBM) erweist sich als effiziente numerische Methode zur Simulation komplexer Geometrien bei hoher Genauigkeit. Ein entscheidendes Merkmal der LBM liegt darin, dass sie einfache binäre Felder (1 = fest, 0 = fluid) als Rechengitter nutzt. Daraus ergibt sich, dass die Aufnahmen der *mikro*-CT, wie sie zuvor erhalten wurden, auf einfache Weise in ein LBM-Rechengitter transformiert werden können.

Die zentrale XY-Ebene eines rekonstruierten 3D-Objekts wurde im Folgenden dazu genutzt, um die charakteristischen Mikrostrukturen der Säulen in einer 2D-Domäne zu repräsentieren. **Abb. 7** (rechts) gibt eine schematische Darstellung der ausgeschnittenen mittleren XY-Ebene wieder. In dieser Abbildung stellen die blauen Linien, die das poröse Medium umgeben, feste Wände dar. Somit korrespondiert die gezeigte Geometrie mit dem oben dargestellten Fall B.

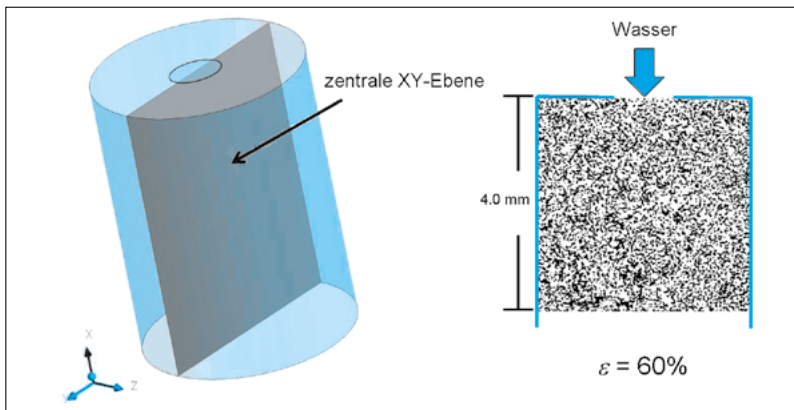


Abb. 7: Schematische Darstellung der zentralen XY-Ebene, wie sie für die 2D-Simulationen zur Anwendung kam.

Für die Simulationen wurde die Flussrate auf 1 ml/min festgesetzt, die Porosität auf etwa 0,6. Durch die Annahme, dass die Strömung erst nach dem Passieren einer relativ langen Durchführung (der Injektionsdüse) in das poröse Medium eintritt, konnte eine voll entwickelte Strömung (parabolisches Geschwindigkeitsprofil) als Randbedingung im Einlauf eingeführt werden.

Die Form der Oberfläche des Einlaufs zum porösen Medium wurde jetzt modifiziert, um deren Effekt auf Strömung und Druckverteilung zu untersuchen. Das Ziel liegt hierbei darin, eine optimale Form zu bestimmen, die eine gleichförmige Strömungsverteilung in der ganzen Säule sicherstellt. Die unterschiedlichen Formen der Einlaufoberfläche umfassten neben der bisher üblichen Form *eben*

(**Abb. 7** (rechts)) die Alternativen „nach oben offen“, „Keil“ und „nach unten offen“, siehe **Abb. 8**. Für alle Formen wurde der Durchmesser des Einlaufs auf 1,5 mm festgesetzt. Für die Form „nach oben offen“ wurde der maximale Radius mit 1 mm definiert. Für die beiden Formen „Keil“ und „nach unten offen“ betrug der maximale Abstand zur oberen Wand 0,6 mm.

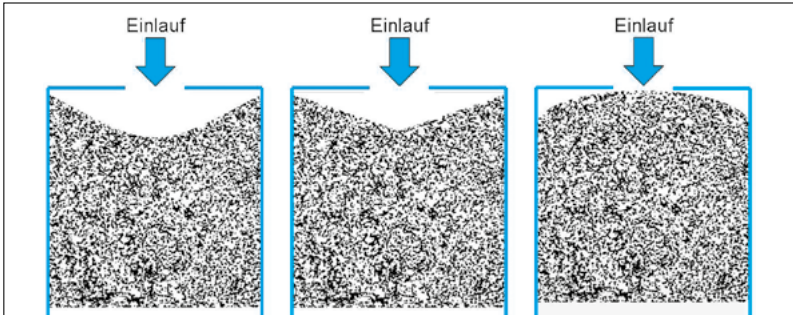


Abb. 8: Unterschiedliche Formen der Einlaufoberfläche: „nach oben offen“ (links), „Keil“ (Mitte) und „nach unten offen“ (rechts).

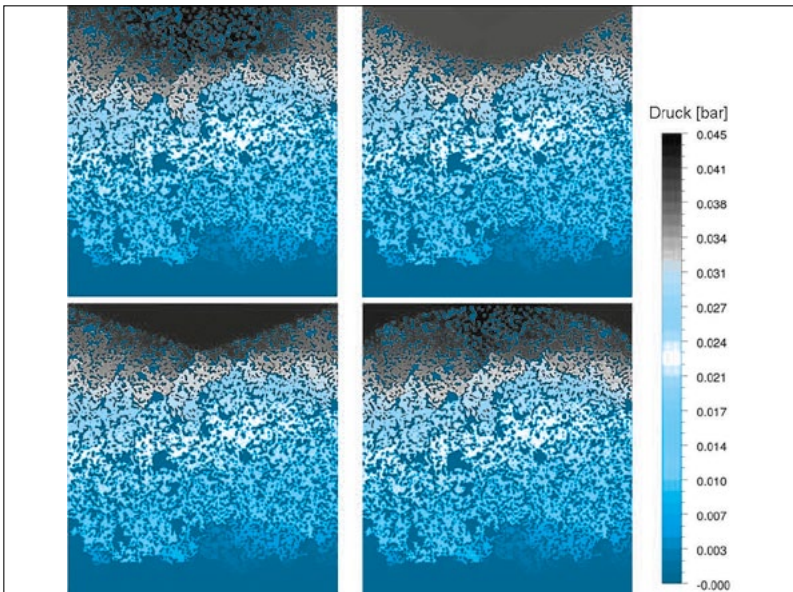


Abb. 9: Druckverteilung für die unterschiedlichen Oberflächenformen: „eben“ (oben links), „nach oben offen“ (oben rechts), „Keil“ (unten links) und „nach unten offen“ (unten rechts).

Abb. 9 stellt die sich einstellende Druckverteilung dar (Druckskala in bar). Ähnlich zu den Ergebnissen aus den globalen Simulationen (hier nicht dargestellt) nimmt der Druck in Strömungsrichtung längs des porösen Mediums ab. Im Gegensatz zu diesen Resultaten ergibt sich allerdings eine ungleichmäßige Druckverteilung, die für inhomogene poröse Medien charakteristisch ist. Dies erklärt sich aus durch die Formmodifikationen eingebrachten Variationen der Druckverteilung, die insbesondere im Bereich der Einlaufregion als signifikant anzusehen sind. Für die Geometrien „eben“ (**Abb. 9** (oben links)) und „nach unten offen“ (**Abb. 9** (unten rechts)) folgt ein Druckverlust in der Nähe der Einlauföffnung, der durch den plötzlichen Übergang zu festem Material bedingt wird.

Zur Beurteilung des resultierenden Strömungsfeldes wurden Stromlinien mit dem Ziel einer optimalen Visualisierung definiert. Die Resultate, siehe **Abb. 10** am Beispiel von zwei ausgewählten Modifikationen, lassen eine uneinheitliche Verteilung der Strömung, zumindest entlang der Mittelebene der Säule, erkennen. Ähnliche Ergebnisse können auch bei anderen Ebenen erwartet werden, da die Mikrostruktur des porösen Mediums nicht vollständig homogen ist. Es existieren isolierte Regionen, d.h. Inseln, die von der Flüssigkeit überhaupt nicht passiert werden. Es erscheint jedoch als möglich, dass im Falle der Berücksichtigung der dritten Dimension die simulierte Strömung anderen Wegen folgen kann, so dass diese Inseln auch passiert werden. Dies ließ sich jedoch erst mit 3D-Simulationen der realen Mikrostruktur im Detail untersuchen.

Des Weiteren wird aus **Abb. 10** ersichtlich, dass im Einlauf, aber auch innerhalb des porösen Mediums lokal begrenzte Bereiche mit auftretenden Geschwindigkeitsspitzen existieren. Auch diese Beobachtung muss mit Simulationen in der 3D-Domäne verifiziert werden. Zudem soll bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die für die Funktionalität der Säule notwendigen Geschwindigkeiten aus experimentellen Studien zu ermitteln sind.

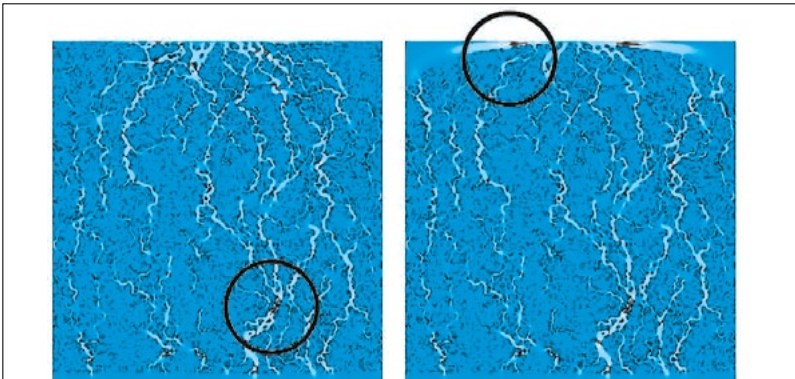


Abb. 10: Simulierte Geschwindigkeitsfelder bei unterschiedlichen Oberflächenformen. Die schwarzen Kreise weisen auf lokale Maxima hin, deren Einfluss weiter untersucht werden muss.

5. Strömungssimulationen monolithischer Säulen – 3D

Um die Ergebnisse der bisherigen Simulationen zu verifizieren und eine detailliertere Betrachtung der Druck- bzw. Strömungsfelder innerhalb der Säulen zu ermöglichen, wurden aufbauende Untersuchungen in einer dreidimensionalen Rechendomäne durchgeführt. Auch hier kam die sehr effiziente Lattice-BOLTZMANN-Methode zum Einsatz.

Zunächst wurde die Spalthöhe h zwischen Zulauf und Oberfläche variiert, um die zuvor erhaltenen Ergebnisse der 2D-Berechnungen zu verifizieren. **Abb. 11** stellt die Ergebnisse für die ebene Oberflächenform dar. Der kleinste Spalt von $h = 0$ mm (**Abb. 11** (links)) weist dabei sowohl den höchsten absoluten Druckwert als auch die inhomogenste Verteilung über die Oberfläche auf, während mit zunehmender Spalthöhe von $h = 0,5$ mm (**Abb. 11** (Mitte)) bzw. $h = 1,75$ mm (**Abb. 11** (rechts)) der Druck abnimmt und die Verteilung homogener erscheint. Bei den weiteren Alternativen der Oberflächenform zeigen sich entsprechende Tendenzen.

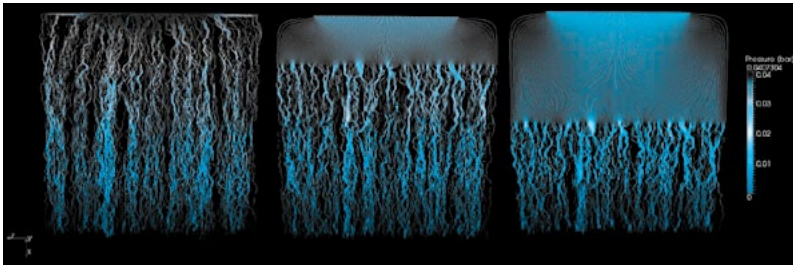


Abb. 11: Druckverteilung über die Höhe des porösen Mediums bei unterschiedlichen Spalthöhen h von 0 mm (links), 0,5 mm (Mitte) und 0,75 mm (rechts). Mit zunehmender Spalthöhe nehmen der Druck an der Oberfläche ab und die Homogenität der Druckverteilung über die Einlaufoberfläche zu.

In einer weiteren Auswertung wurde die Auswirkung der unterschiedlichen Oberflächenformen auf die Homogenität der Druck- und daraus resultierender Geschwindigkeitsverteilung untersucht. Dies ist, wie bereits erwähnt, hinsichtlich der erwünschten Nutzung des gesamten Säulenvolumens für die Anreicherung von großem Interesse. Die Druckwerte wurden für eine vollständige Schnittebene durch die Säule ermittelt. **Abb. 12** zeigt die entsprechenden Schnittebenen.

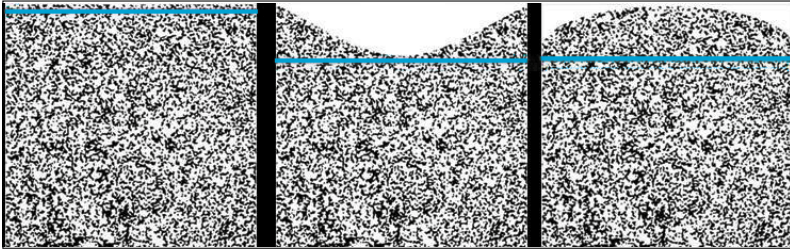


Abb. 12: Schnittebenen durch die Säulen zur Ermittlung von Druck- und Geschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt.

Abb. 13 stellt die Ergebnisse für eine Spalthöhe von 0,5 mm für die Formen „eben“ (links), „nach unten offen“ (Mitte) und „nach oben offen“ (rechts) dar. Die Alternative „Keil“ weist hier hohe Ähnlichkeiten zu „nach unten offen“ auf, so dass auf eine gesonderte Darstellung verzichtet wird. Es zeigt sich deutlich, dass insbesondere die Form „nach unten offen“ hinsichtlich der Druckverteilung als ungünstig zu bewerten ist. Das beste Resultat zeigt sich hier eindeutig für die ebene Oberfläche.

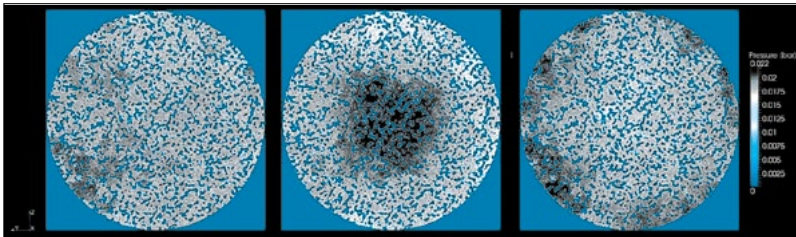


Abb. 13: Verteilung des Druckes über den Säulenquerschnitt für die Oberflächenformen „eben“ (links) mit der besten, „nach unten offen“ (Mitte) mit der ungünstigsten sowie „nach oben offen“ (rechts) mit einer annehmbaren Homogenität.

Die Ergebnisse der Druckverteilung schlagen sich entsprechend in der daraus resultierenden Geschwindigkeitsverteilung nieder, wie **Abb. 14** anhand der errechneten Geschwindigkeiten in der gleichen Ebene nachweist. Auch hier weist die ebene Zulaufform die vorteilhafteste Verteilung auf, während die nach unten offene Form eine sehr inhomogene Verteilung liefert, in der mittig sehr hohe Geschwindigkeit im Vergleich zu den Randbereichen erreicht werden.

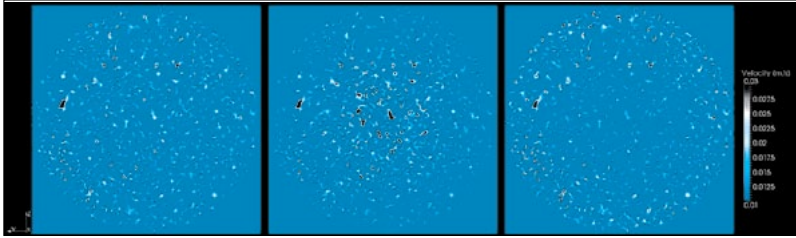


Abb. 14: Geschwindigkeitsverteilung über den Säulenquerschnitt für die Oberflächenformen „eben“ (links) mit der besten, „nach unten offen“ (Mitte) mit der ungünstigsten sowie „nach oben offen“ (rechts) mit einer annehmbaren Homogenität.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegenden Ausführungen befassen sich mit numerischen Simulationen der Strömung in einer Säule aus porösem Medium für die Bioaffinitätsseparation. Die Zielsetzung der vorgestellten Arbeiten liegt darin, eine strömungsmechanisch optimale Säule zu entwickeln, die ein Volumen von 1 l innerhalb einer Stunde durchlaufen lassen kann. Damit der Druckverlust möglichst gering bleibt, sollte die Säule möglichst klein sein. Die Berücksichtigung beider Ziele erfordert es, dass das Säulenvolumen vollständig genutzt wird, also keine Totzonen auftreten.

Die Vielzahl möglicher Variationen der Parameter, insbesondere im Bereich des Zulaufs vor, aber auch bei der Säule, sowie die Schwierigkeit, Strömungen innerhalb eines porösen Mediums zu visualisieren, schließen die alleinige Nutzung experimenteller Ansätze aus, die aber der Verifizierung der numerischen Ergebnisse dienen sollen.

Um optimale Bedingungen in der Säule zu erreichen, müssen Druck- und Geschwindigkeitsverteilung über beliebige Säulenquerschnitte homogen sein sowie Toträume und lokale Geschwindigkeitsspitzen innerhalb der Säule vermieden werden. Dies sollte durch unterschiedliche Oberflächenformen sowie unterschiedliche Abstände zwischen Zulauf und der Säule in dem geplanten Kartuschensystem erreicht werden. Dazu wurden einerseits globale Simulationen mittels ANSYS CFX als auch detaillierte Untersuchungen mittels der Lattice-BOLTZMANN-Methode durchgeführt.

Hinsichtlich des Zulaufs zeigte sich, dass eine Flüssigkeitssäule zwischen Zulauf und Säulenoberfläche in einer gleichmäßigeren Druck- und damit auch Geschwindigkeitsverteilung über den Säulenquerschnitt führt. Bei den getesteten Oberflächenformen wurde nachgewiesen, dass unter den gegebenen Bedingungen sich die allgemein übliche ebene Form als optimal erweist. Dies bietet zudem den Vorteil einer einfacheren Fertigung.

In den bisher durchgeführten Simulationen wurde als strömendes Fluid Wasser simuliert. Da die Zielsetzung des Vorhabens in der Bindung von Mikroorganismen liegt, müssen diese in Zukunft als Teil des strömenden Mediums berücksichtigt werden. Dies stellt den nächsten Schritt innerhalb der Simulationen dar. Darauf folgend wird ein Modell implementiert, das die Bindung als statistischen Vorgang berücksichtigt. Darauf aufbauend sollen dann auch die Lösung dieser Bindungen und die Bedingungen für den Elutionsschritt untersucht werden.

7. Danksagung

Das Vorhaben AiF 331 ZN des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Prof. Dr. Stefan Töpfel

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL)
Quakenbrück



Physikalische Technologien zur Haltbarmachung und Strukturbeeinflussung von Fleischwaren

1. Einleitung

Die Herstellung von Lebensmitteln kann als die Vereinigung der Materialeigenschaften und der eingesetzten Prozesstechnik verstanden werden. Die wesentlichen Grundoperationen der Lebensmittelverarbeitung können nach ihren Hauptzielrichtungen Strukturbildung, Trennen, Stabilisieren und stoffliche Umwandlung eingeordnet werden. Neben klassischen, oftmals thermischen Verfahren finden mehr und mehr alternative physikalische Verfahren Eingang in die Lebensmittelindustrie. Die Nutzung von Triebkräften, wie statischem oder dynamischem Druck, elektrischen oder magnetischen Feldern, erlaubt eine Erweiterung der prozesstechnischen Möglichkeiten und eine Erweiterung verfügbarer Verfahren zur Strukturbeeinflussung und Haltbarmachung. Verfahren, bei denen der Temperatureinfluss im Vergleich zu anderen Prozessgrößen gering ist, werden als nicht-thermische Verfahren bezeichnet. Im Rahmen FEI-geförderter Forschungsvorhaben (AiF 15884 N, AiF 15885 N, AiF 16114 N, AiF 16263 N, AiF 16798 N, CORNET AiF 26 EN) werden die Einsatzmöglichkeiten physikalischer Wirkmechanismen, wie statischem oder dynamischem Druck oder elektrischer Felder, in der Fleischwarenindustrie untersucht. Durch den Einsatz dieser Technologien kann eine Qualitätsoptimierung und Haltbarkeitsverlängerung bei frischem und verarbeitetem Fleisch erreicht werden.

2. Hochdruckanwendung

Die Anwendung hydrostatischen Hochdrucks ist ein gutes Beispiel für die industrielle Nutzbarmachung neuartiger, nicht-thermischer Technologien. In weltweit

ca. 80 Unternehmen wird das Verfahren erfolgreich eingesetzt (TONELLO 2011). Die Möglichkeit zur Abtötung von Bakterien, Hefen, Schimmelpilzen und Viren ohne eine oftmals unerwünschte thermische Belastung des Produkts erlaubt einen Erhalt der Frische und funktionellen Eigenschaften der Produkte (SAN MARTIN 2002; CANER 2004; WILSON et al. 2008). Der geringe Verlust an Vitaminen, Mineralstoffen, Aroma und Geschmack ermöglicht die Entwicklung hochwertiger Produkte und neuartiger Marketingstrategien. Etwa 30% der derzeit jährlich rund 200.000 t mittels Hochdruck behandelter Lebensmittel sind Fleisch- und Wurstwaren (CARBALLO et al. 2000; HUGAS et al. 2002; TONELLO 2011). Die Haltbarmachung von geschnittenem Roh- und Kochschinken, von Brüh- und Bratwürsten sowie Fertiggerichten wird insbesondere in den USA und Spanien erfolgreich genutzt. Nach einer Behandlung bei einem Druck von 600 MPa, einer Druckhaltezeit im Bereich einiger Minuten bei Raumtemperatur kann eine Pasteurisation und Verlängerung der Haltbarkeit um mehrere Wochen erreicht werden (BUCKOW et al. 2008). Die wesentlichen Vorteile liegen in der geringen thermischen Belastung, einer kurzen Behandlungszeit sowie einem geringen Energieverbrauch. Durch die Möglichkeit zur Entkeimung innerhalb der Endverpackung (Vakuum- oder Schutzgasverpackungen) können Rekontaminationen zuverlässig ausgeschlossen werden. Die erzielbare Entkeimung ist dabei im Wesentlichen von Produktparametern, wie dem Salzgehalt, der Wasseraktivität oder dem pH-Wert, sowie den Prozessparametern (Profil aus Druckhöhe und -haltezeit) abhängig (JUNG et al. 2003; ZHOU et al. 2010). Das Temperaturprofil der Behandlung hat darüber hinaus wesentlichen Einfluss auf das Ausmaß erwünschter und unerwünschter Reaktionen (KNORR 2007; BUCKOW et al. 2008). Um unerwünschte Farbveränderungen oder eine Proteindenaturierung zu vermeiden, werden überwiegend niedrige Temperaturen (z.B. 4-20°C) eingesetzt. Bisherige Hochdruckanwendungen in der Lebensmittelindustrie sind insbesondere bei Wurstwaren und zubereiteten Fertiggerichten (*ready to eat*) zu finden. Hingegen wird die Technologie derzeit bei Frischfleisch und ungegarten Fertigprodukten (*ready to cook*) aufgrund unterschiedlicher Limitierungen kaum umgesetzt. So werden etwa eine Farbaufhellung und die Koagulation von Proteinen beobachtet, die zu einem gegarten Eindruck der Produkte führen. Innerhalb des Projektes AIF 16263 N wird die Möglichkeit zur Erhöhung der Produkt- und Absatzsicherheit mariniertes Geflügelfleischprodukte durch eine Hochdruckanwendung untersucht. Durch geeignete Auswahl der Prozess- und Produktparameter kann das Ausmaß dieser unerwünschten Veränderungen minimiert werden. Es konnte gezeigt werden, dass der pH-Wert wesentlichen Einfluss auf die während einer Hochdruckbehandlung auftretenden Farbveränderungen von ungegartem, mariniertem Geflügelfleisch hat. Auch andere Marinadenbestandteile, insbesondere Ionen, beeinflussen druckinduzierte Veränderungen der Scherkraft und der Farbe der Produkte (SCHMIDGALL et al. 2011). Der Einsatz von Meersalz und einer O/W-Emulsion zeigte eine Verringerung der Proteindenaturierung; Kochsalz und Meersalz sowie Lactat ermöglichen eine Verminderung der Farbveränderungen. Aus einer Auswahl für die Produktgrup-

pe relevanter Mikroorganismen wurde *Leuconostoc gelidum* DSM 5578T als besonders druckresistenter Stamm identifiziert. Bei einer Behandlung bei 450 MPa für 3 min lag die erzielte Inaktivierung in Putenfleisch bei weniger als 0,5 log-Zyklen, während in physiologischer Kochsalzlösung eine Inaktivierung von etwa 4 Zehnerpotenzen erreicht wurde (**Abb. 1**).

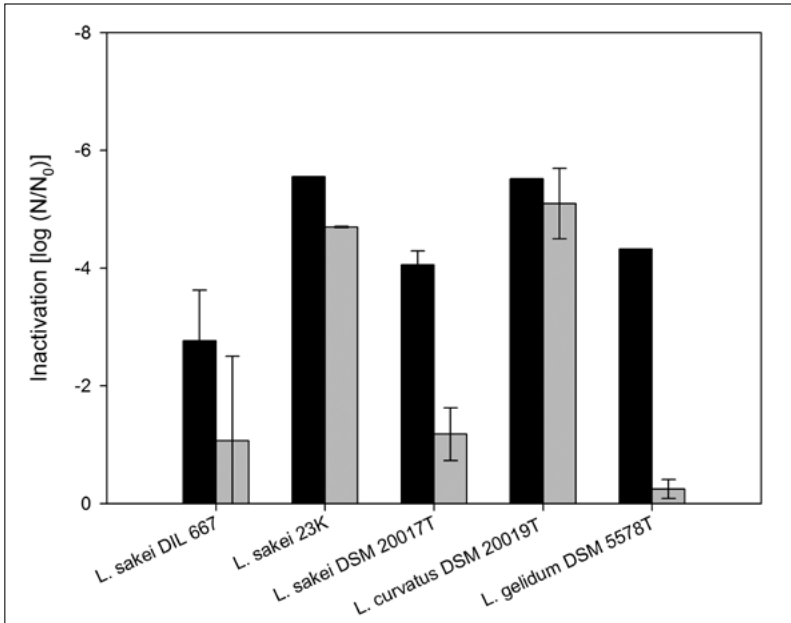


Abb. 1: Inaktivierung unterschiedlicher Mikroorganismen in physiologischer Kochsalzlösung ■ und Putenfleisch ■ nach einer Behandlung bei 450 MPa für 3 min.

Im Anschluss wurde der Einfluss der Prozessbedingungen Druck, Druckhaltezeit und Behandlungstemperatur auf die Inaktivierung des Mikroorganismus bewertet. Eine Erhöhung des Drucks auf 525 bzw. 600 MPa bei 5 min Haltezeit und 4°C führte zu einer Erhöhung der Inaktivierung auf 2,6 bzw. 3,1 log-Zyklen (**Abb. 2**). Eine Verlängerung der Haltezeit auf bis zu 7 min führte nicht zu einer deutlichen Erhöhung der Entkeimung. Bei einer Erhöhung der Temperatur auf 20°C wurde eine Inaktivierung um 3,7 bzw. 4,2 Zehnerpotenzen ermittelt. Der Einfluss der Behandlungstemperatur war insbesondere bei kurzen Behandlungszeiten (3-5 min) stark ausgeprägt. Hier wurde eine maximale Entkeimung bei 15°C beobachtet (**Abb. 3**). Eine Verringerung oder Erhöhung der Temperatur führte zu einer Verringerung der Entkeimungswirkung. Hingegen wurde bei einer Behandlungszeit von 7 min ein geringerer Einfluss der Temperatur beobachtet.

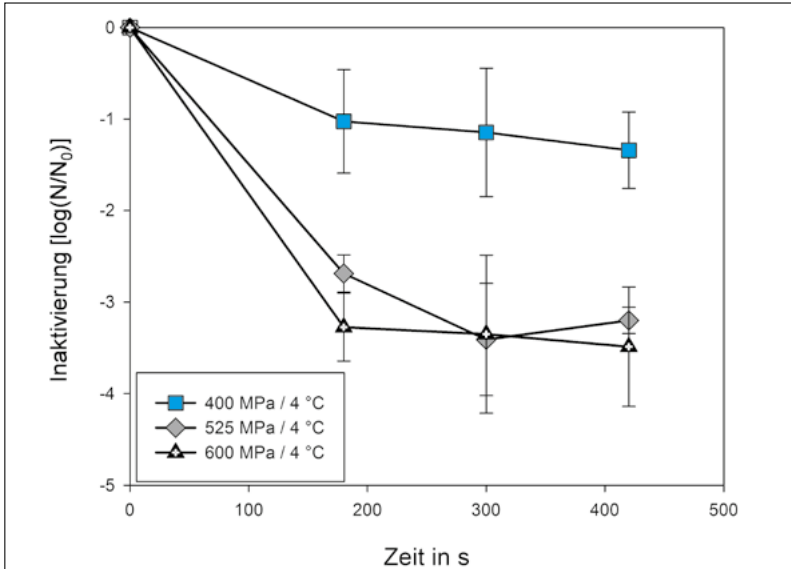


Abb.2: Inaktivierung von *Leuconostoc gelidum* in Putenfleisch nach einer Hochdruckbehandlung bei 400, 525 und 600 MPa und einer Starttemperatur von 4 °C in Abhängigkeit von der Haltezeit.

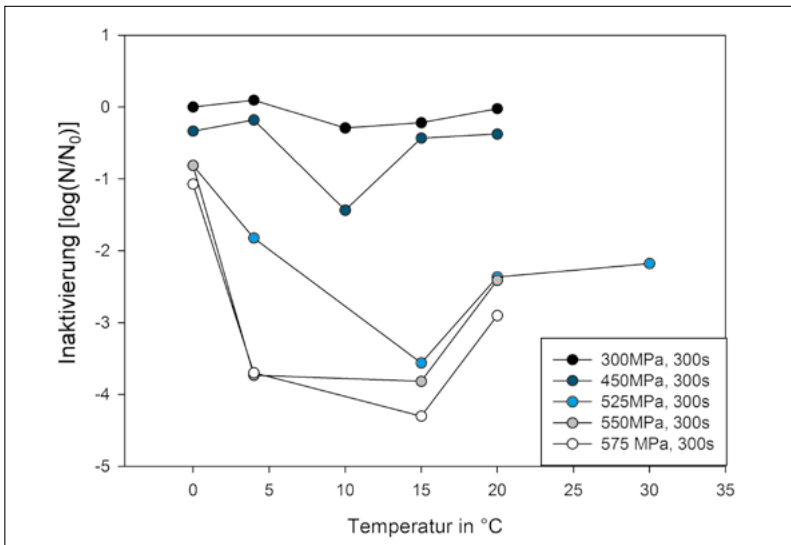


Abb.3: Einfluss der Starttemperatur auf die erzielbare Inaktivierung von *Leuconostoc gelidum* bei einer Hochdruckbehandlung mit unterschiedlichen Drücken und 5 min Haltezeit.

In Lagertests konnte eine Verlängerung der Haltbarkeit der marinierten und unter modifizierter Atmosphäre verpackten Produkte durch eine Hochdruckbehandlung von 5-8 auf bis zu 25 Tage ermittelt werden. Bei vakuumverpackten Produkten wurde die Haltbarkeit von 5 auf 15 Tage verlängert. Für stark von saisonalen und meteorologischen Schwankungen abhängige Produkte wie Grillzubereitungen kann eine verbesserte Planbarkeit der Produktion und eine Verringerung des Distributionsaufwandes erreicht werden.

Die Temperatur stellt während einer Hochdruckbehandlung einen wesentlichen Prozessparameter dar, der jedoch derzeit bei industriellen Anlagen nicht in Echtzeit ermittelt werden kann (KNORR et al. 2008; TONELLO 2011). Um eine verbesserte Prozesskontrolle zu erreichen und Sicherheitsaufschläge reduzieren zu können, wurde innerhalb des Vorhabens AiF 16114 N ein Temperatursensor für einen Einsatz in Hochdruckbehältern entwickelt (**Abb. 4**). Um eine Signalübertragung nach außen zu ermöglichen – eine Kabeldurchführung scheidet aufgrund der Schwächung des Druckbehälters aus – wird ein Ultraschallsender genutzt. Durch einen elektronischen Schaltkreis wird das Temperatur- in ein Frequenzsignal in einem Bereich von 45-60 kHz umgewandelt. Dieses kann durch ein am Hochdruckbehälter angebrachtes Mikrofon empfangen und ausgewertet werden. Die drahtlose Signalübertragung erlaubt ein freies Positionieren des Senders im Behälter und damit die Aufnahme von Temperaturprofilen. Durch den Einsatz unterschiedlicher Frequenzen können mehrere Temperatursignale übertragen werden. Zusätzlich zum Einsatz bei Hochdruckanlagen kann das System auch bei anderen Koch- oder Reaktionsbehältern eingesetzt werden.

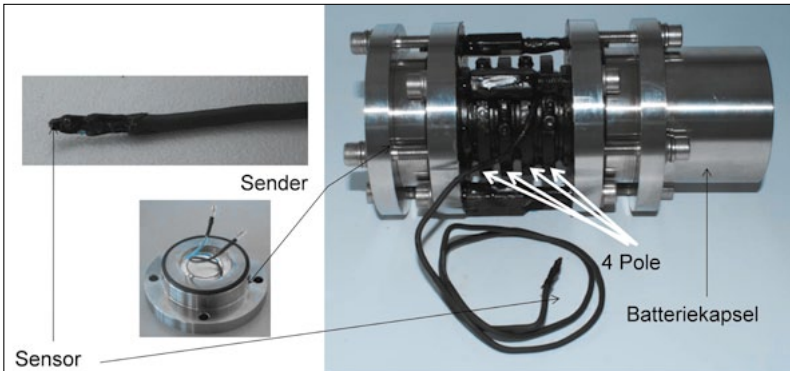


Abb. 4: Funktionsmuster des drahtlosen Sensors zur Temperaturmessung in einem Hochdruckbehälter.

Neben einem Einsatz als Haltbarmachungsverfahren am Ende der Verarbeitungskette eignet sich die Hochdruckanwendung auch zur Strukturbildung etwa bei der Herstellung von Fleischprodukten. Durch die Behandlung von

Wurstbrät wird eine Strukturierung und Verfestigung erzielt. Im Vergleich zu thermisch induzierten Gelen wird eine elastischere Struktur des Produkts erzielt (BINDRICH et al. 2009). Dies ermöglicht die Entwicklung neuartiger Produkte unter gezieltem Einsatz kalter Herstellungsverfahren. So konnte etwa am Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik (DIL) eine ohne Hitzebehandlung hergestellte Leberwurst entwickelt werden (HEINZ et al. 2009). Ein Ersetzen der beiden während einer konventionellen Herstellung eingesetzten Garschritte ermöglicht eine deutliche Reduktion des Energie- und Zeitaufwands sowie die Verminderung von Produktverlusten durch Auslaugen. Nach einer Hochdruckbehandlung der grob zerkleinerten Rohwaren, die zur Erzielung der Körnung und Streichfähigkeit erforderlich ist, erfolgte ein Füllen in Därme und eine zweite Hochdruckbehandlung. Hierdurch wurde die Verfestigung und Formgebung des Produkts und gleichzeitig eine Haltbarmachung erreicht. Ein Vergleich zu konventionell hergestellten Produkten zeigte eine deutliche Verbesserung der sensorischen Eigenschaften sowie die Möglichkeit zur Verringerung des Herstellungsaufwands durch den Einsatz der Hochdruckbehandlung.

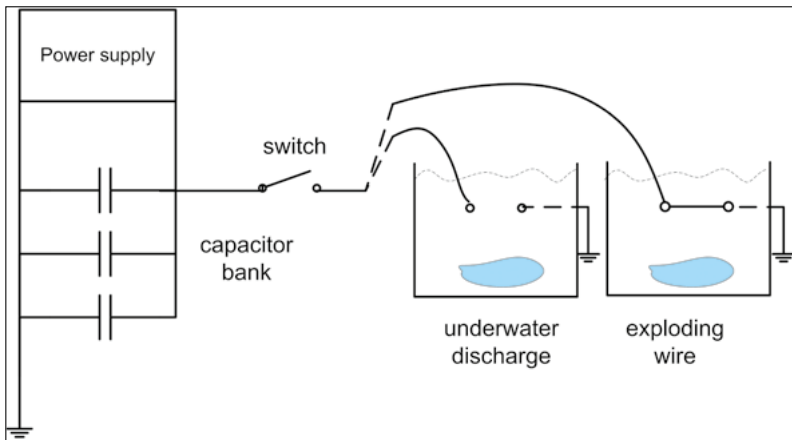


Abb.5: Prinzipskizze zur Erzeugung elektrohydraulischer Stoßwellen mittels Unterwasserentladung (links) bzw. explodierendem Draht (rechts).

3. Stoßwellen

Während die Anwendung hydrostatischen Drucks vor allem eine Denaturierung von Proteinen hervorruft, zielt der Einsatz hydrodynamischer Drücke vor allem auf mechanische Einflüsse auf biologische Gewebe oder andere Feststoffe ab. Durch transiente Stoßwellen mit einem Maximaldruck von einigen hundert MPa in einem Zeitbereich einiger Mikrosekunden kann eine Gewebedesintegration erreicht werden (WESS 2004). Der zugrunde liegende Mechanismus beruht auf

einer gezielten Energiefreisetzung an Grenzflächen mit unterschiedlicher Schallgeschwindigkeit und akustischer Impedanz (SOLOMON et al. 1997; MOELLER et al. 1999; CLAUS et al. 2001; BOWKER 2009). Die benötigten Stoßwellen können dabei einerseits durch die Detonation von Sprengstoff unter Wasser erzeugt werden. Jedoch stehen durch Nutzung elektrischer Energie (**Abb. 5**) besser umsetzbare verfahrenstechnische Prinzipien zur Verfügung (LOEFFLER et al. 2001; WESS 2004; BLUHM 2006). In Kooperation mit dem Max-Rubner-Institut in Kulmbach wurden die Auswirkungen des Verfahrens auf die Qualität von Rindfleisch untersucht (AiF 15884 N). Es wurde ein Funktionsmuster realisiert, das durch eine Entladung elektrischer Energie zwischen zwei unter Wasser angebrachten Elektroden eine einfache und wiederholbare, sichere Erzeugung von Stoßwellen ermöglicht. Das Gerät besteht aus einer Pulserzeugung und einer Behandlungseinrichtung, innerhalb derer verpackte Fleischwaren den Stoßwellen ausgesetzt werden (**Abb. 6**). Über eine Energieversorgung mit einer Leistung von 2 kW wird eine Kondensatorbank mit einer Kapazität von 18 μF bis zu einer Spannung von 40 kV aufgeladen. Die gespeicherte elektrische Energie (bis zu 14 kJ) wird über eine Funkenstrecke entladen. Das Gerät kann sowohl zur Erzeugung elektrothermischer (Unterwasserfunken) oder elektrodetonativer (explodierender Draht) Stoßwellen eingesetzt werden (TOEPFL et al. 2011).

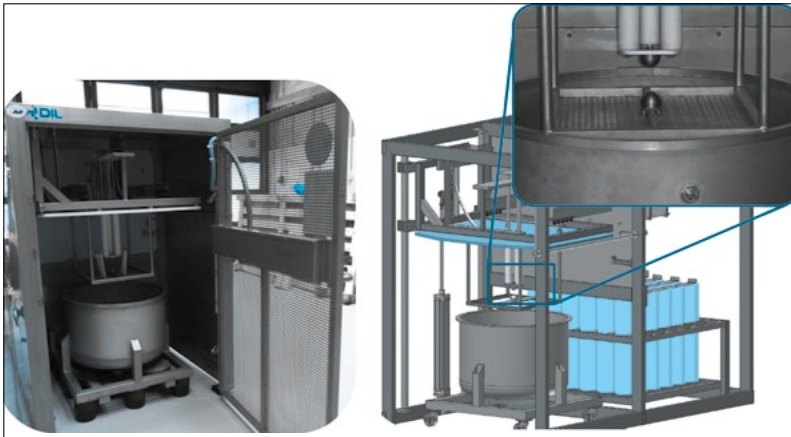


Abb. 6: Funktionsmuster zur Erzeugung elektrohydraulischer Stoßwellen, bestehend aus Energieversorgung, Behandlungswanne und Entladestrecke. Ausschnitt: Vergrößerung der Elektroden.

Die Behandlungseinheit besteht aus einem mit Wasser gefüllten Kessel mit einem Durchmesser von 80 cm und einer Höhe von 50 cm. Das zu behandelnde Material wird vakuumverpackt in den Kessel eingebracht und über eine pneumatische Vorrichtung wird das Elektrodenpaar in den Kessel abgesenkt. Eine

Verpackung des Materials ist zur Vermeidung des Kontakts zu Wasser und eventueller Rekontamination erforderlich.

Die Bewertung der Fleischqualität erfolgte anhand von Roastbeefsträngen von Jungbullern (Fleckvieh, R3). Nach einer Prüfung des pH-Wertes wurde der *M. longissimus dorsi* (LD) freigelegt und in 12 Scheiben a 2,5 cm Stärke geschnitten. Die Proben wurden verpackt und einer Behandlung unterzogen. Durch Zartheitsmessungen mittels Instron wurde die Produktqualität an gegarten Proben bewertet. Es erfolgte ein Vergleich zu konventionell, über 13 Tage bei 2 °C gereiften Proben. Zusätzlich wurde der Einfluss einer Vor- bzw. Nachreifung bei 2 °C über 7 Tage untersucht.

Nach einer Stoßwellenbehandlung mit einer elektrischen Energie von 11,6 kJ und einer Drahtlänge von 6 cm konnte eine Verringerung der Schneidenergie festgestellt werden. Es wurde jedoch nicht das Niveau der konventionell gereiften Proben erreicht. Dies zeigt eine zumindest teilweise Auflösung des Aktin-Myosin-Komplexes durch mechanische Effekte. Durch eine zusätzliche Vor- bzw. Nachreifung von 7 Tagen konnte die Zartheit konventionell gereifter Proben erreicht werden (**Abb. 7**). Eine Reduktion der elektrischen Energie auf Werte von 2 kJ führte nicht zu einer Verringerung des zartmachenden Effektes, jedoch zu einer Verringerung des Arbeitsraumes aufgrund der geringeren räumlichen Ausbreitung. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen einer ein- oder mehrfachen Stoßwellenanwendung festgestellt werden (TOEPFL et al. 2011).

Mittels elektrophoretischer Analysen konnte nach einer Stoßwellenbehandlung kein proteolytischer Effekt oder ein Einfluss auf die Proteinlöslichkeit gezeigt werden. Die Notwendigkeit einer Nach- bzw. Vorreifung zeigt, dass neben der direkten mechanischen Wirkung Sekundärreaktionen eine wichtige Rolle spielen. Durch die Desintegration des Gewebes werden möglicherweise proteolytische Enzyme freigesetzt und dadurch eine Beschleunigung der Reifung induziert.

Um eine industrielle Nutzung des Verfahrens zu ermöglichen, werden derzeit weitere Entwicklungsarbeiten durchgeführt. Aufgrund der lokal sehr hohen Energiedichte wurden stoßwelleninduzierte Schäden an der Verpackung des zu behandelnden Materials sowie der Anlage selbst beobachtet. Zukünftig sollen neben dem elektrothermischen Verfahren zur Stoßwellenerzeugung Einsatzmöglichkeiten piezoelektrisch und elektromagnetisch erzeugter Stoßwellen geprüft werden. Im Vergleich zu Unterwasserentladungen ermöglicht dies die Erzeugung flächiger Stoßwellen mit größerem Arbeitsbereich. Dies kann lokale Überbehandlungen vermeiden und zusätzlich unerwünschte Einflüsse auf das Packmaterial minimieren. Die gezeigte Möglichkeit zur Reduktion der Reifungszeit trägt zu einer Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Fleischindustrie bei. Der verminderte Zeit- und Energiebedarf stellen wesentliche Vorteile eines Einsatzes des Verfahrens dar.

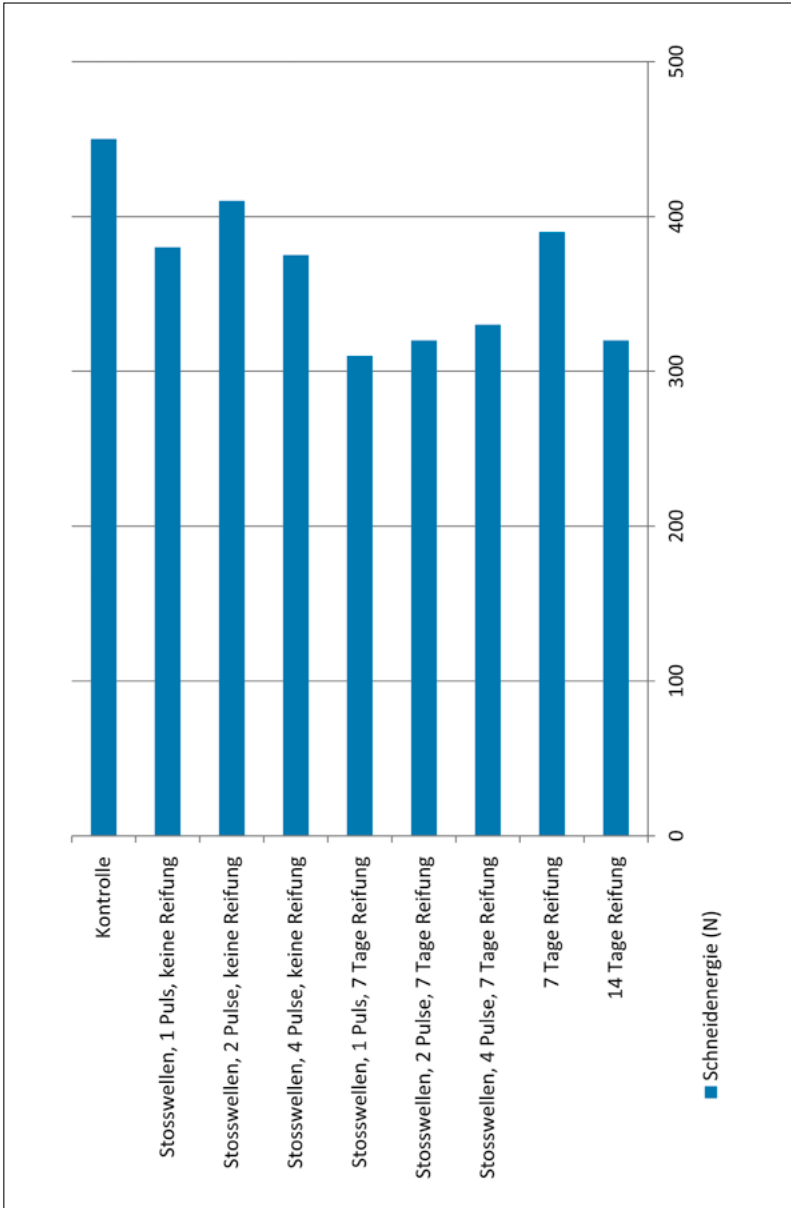


Abb.7: Schneidenergie von Rindfleischproben nach einer Stoßwellenbehandlung bei unterschiedlicher Vor- bzw. Nachreifungsdauer im Vergleich zu nicht gereiften und 14 Tage gereiften Proben.

4. Gepulste elektrische Felder

Beim Einsatz gepulster elektrischer Felder wird ein sehr gezielter Effekt auf biologische Gewebe erzielt und eine Elektroporation biologischer Membranen erreicht (ZHANG et al. 1995; HEINZ et al. 1999). Die benötigte Prozessintensität ist dabei vor allem von der Art des zu behandelnden Materials (pflanzliche oder tierische Zellen, Mikroorganismen) und anderen Faktoren, wie der Behandlungstemperatur, Matrixeffekten sowie dem erwünschten Prozessziel, abhängig (TOEPFL et al. 2006). In den letzten Jahren wurden erste industrielle Nutzungen zur Behandlung pflanzlicher Produkte mit dem Ziel eines Zellaufschlusses in der Fruchtsaftindustrie sowie in der Kartoffelverarbeitenden Industrie erreicht (CLARK 2006; TOEPFL 2011). Eine Anwendung gepulster elektrischer Felder bei mikrobiellen Zellen ermöglicht durch den Verlust ihrer Abgrenzung zur Umgebung deren Inaktivierung. Auf dem europäischen Markt sind bereits frische, nicht-pasteurisierte Fruchtsäfte und -smoothies mit einer durch das Verfahren von 7 auf 21 Tage verlängerten Haltbarkeit auf dem Markt. Eine geringe thermische Belastung, der Erhalt der nativen Produkteigenschaften und die kontinuierliche Betriebsweise bei Prozesszeiten im Bereich weniger Sekunden stellen wesentliche Vorteile des Verfahrens dar. In Zusammenarbeit mit der Tierärztlichen Hochschule Hannover wurden die Einsatzmöglichkeiten zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der Produktion von Lebensmitteln tierischen Ursprungs untersucht (AiF 15885 N). Derzeit werden nur etwa 20% der in Deutschland jährlich etwa 150 Mio. Liter Schlachtierblut für die Lebensmittelproduktion eingesetzt. Je nach Schlacht- und Betriebshygiene kann dessen Keimzahl in einem Bereich von 10^3 bis 10^6 KBE/ml liegen (VON MÜFFLING et al. 2007; WIEZOREK et al. 2009). Aufgrund des hohen Gehalts an Proteinen und anderen Nährstoffen stellt Blut ein hochwertiges Nährsubstrat dar. Ein breiterer Einsatz als Lebensmittelzusatz erfordert eine deutliche Verringerung der Keimzahl von Vollblut bzw. seinen Fraktionen. Während eine Hitzebehandlung zu einer Denaturierung von Proteinen und unerwünschten Farbveränderungen führt, treten diese Effekte bei einer Behandlung mittels gepulster elektrischer Felder nur in geringem Umfang auf. Eine Behandlung von Vollblut bei einer Feldstärke von 15 kV/cm, einer Temperatur von 30°C und einem Energieeintrag von 150 kJ/l resultierte in einer Inaktivierung von mehr als 5 Zehnerpotenzen von *E. coli* K12 und *Staphylococcus xylosum* DSMZ 20266 (**Abb. 8**). Aufgrund der Pemeabilisierung der Erythrozyten konnte nach einer Entkeimung jedoch keine saubere Abtrennung der Blutkörperchen erfolgen. Bei Blutplasma konnte bei den genannten Behandlungsbedingungen ebenfalls eine Inaktivierung von *E. coli* K12, *Staphylococcus xylosum* DSMZ 20266 sowie *Ps. fragi* DSMZ 3456 um etwa 6 Zehnerpotenzen erreicht werden. Im Gegensatz zu einer thermischen Behandlung wurde keine Gerinnung oder Phasentrennung beobachtet. Die Bewertung der technologischen und funktionellen Eigenschaften zeigte einen Erhalt der Emulgier- und Gelbildungskapazität. Aus behandeltem Vollblut hergestellte Wurstwaren bzw. aus behandeltem Plasma hergestellte Gele zeigten keine unerwünschten Veränderungen im Vergleich zu unbehandelten Proben.

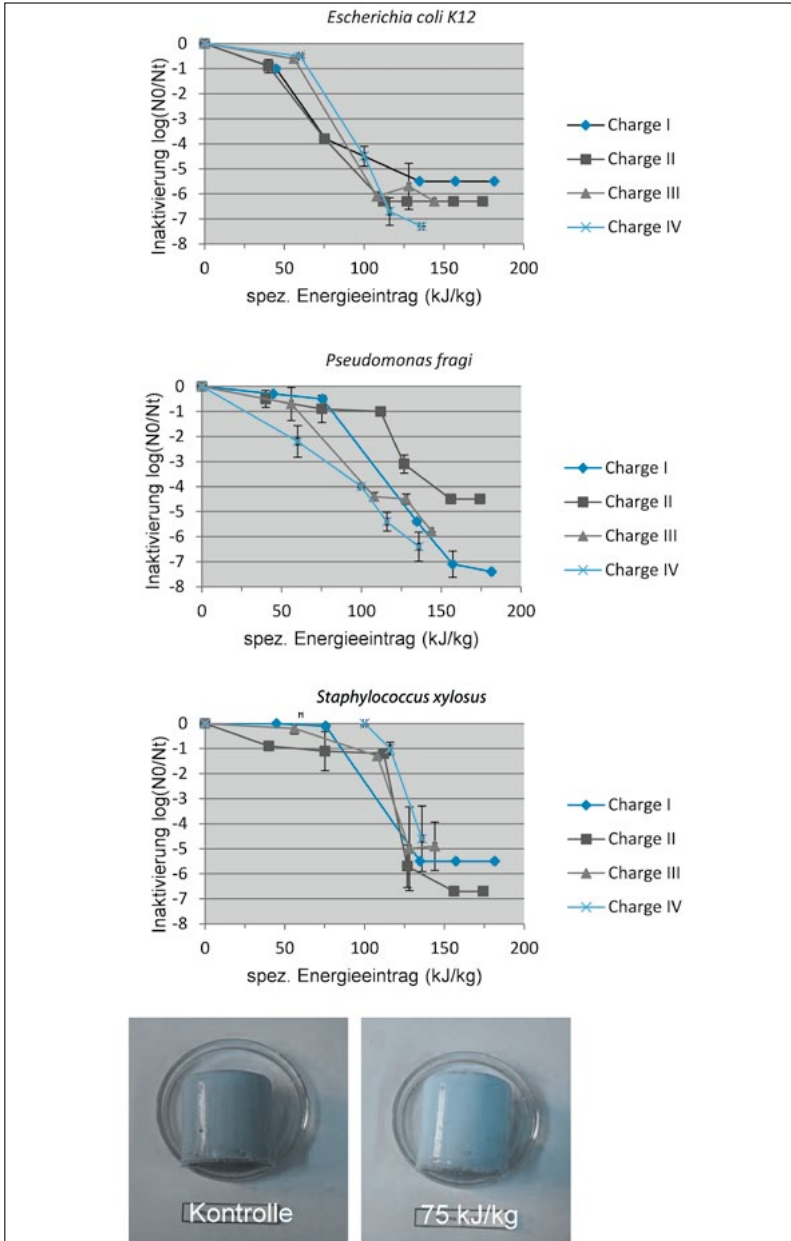


Abb. 8: Inaktivierung von *E. coli*, *S. xylosoy* und *P. fragi* in Blutplasma nach einer PEF-Behandlung bei 12 kV/cm und einer Starttemperatur von 28 °C in Abhängigkeit vom Energieeintrag.

Die Aufarbeitung und Hygienisierung von Schlachttierblut kann zukünftig einen breiteren Einsatz als Lebensmittelzutat bei Koch- und Brühwürsten ermöglichen und damit zu einer Verbesserung der Nachhaltigkeit beitragen. Neben dem Einsatz bei Blut eignet sich das Verfahren auch zur Entkeimung weiterer hitzesensibler Produkte, wie etwa Gewürzextrakte, Enzymlösungen oder Emulsionen.

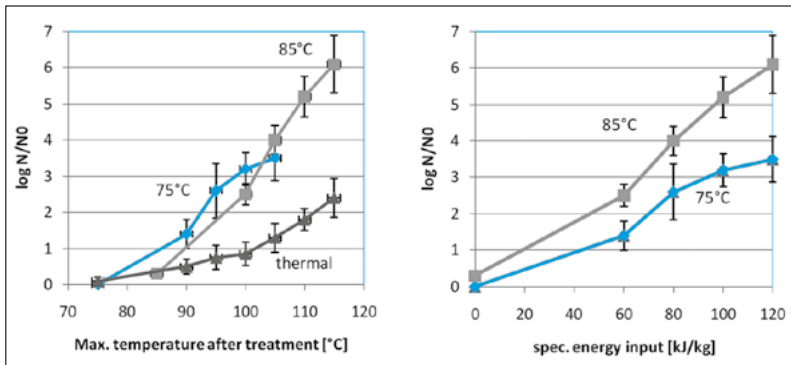


Abb. 9: Inaktivierung von *Bacillus-subtilis*-Sporen in Hefeextrakten durch eine Behandlung mittels gepulster elektrischer Felder bei einer Starttemperatur von 75 bzw. 85°C.

Die Möglichkeit zur Entkeimung bakterieller Endosporen durch einen kombinierten Einsatz gepulster elektrischer Felder und thermischer Energie wird innerhalb des Vorhabens AiF 16798 N untersucht. Durch eine Erhöhung der Behandlungstemperatur auf 80-100°C (**Abb. 9**) konnte eine Inaktivierung von Sporen von *Bacillus subtilis* um 3-6 Zehnerpotenzen erreicht werden (TOEPFL et al. 2011). Im Vergleich zu einer rein thermischen Entkeimung wird eine Reduktion der Behandlungstemperatur und der thermischen Belastung des Produktes erreicht.

Am DIL wurden Anlagen zur Nutzung des Verfahrens mit einer Leistung von 5, 30 und 80 kW entwickelt (**Abb. 10**). Je nach Produkteigenschaften (Leitfähigkeit, Viskosität, Partikel) und Prozessbedingungen (Prozessziel, Feldstärke, Energieeintrag) stehen Behandlungszellen mit einem Durchmesser von 3 bis 50 mm zur Verfügung. Diese ermöglichen eine Entkeimungskapazität bis 5.000 l/h und können im industriellen Umfeld eingesetzt werden.

5. Zusammenfassung

Der Einsatz der beschriebenen physikalischen Verfahren eröffnet neuartige Möglichkeiten zur gezielten Strukturbeeinflussung und Haltbarmachung von Lebensmitteln. Die zugrunde liegenden Wirkmechanismen beruhen meist auf einer Überlagerung biologischer, (bio-)chemischer und physikalischer Prinzipien.

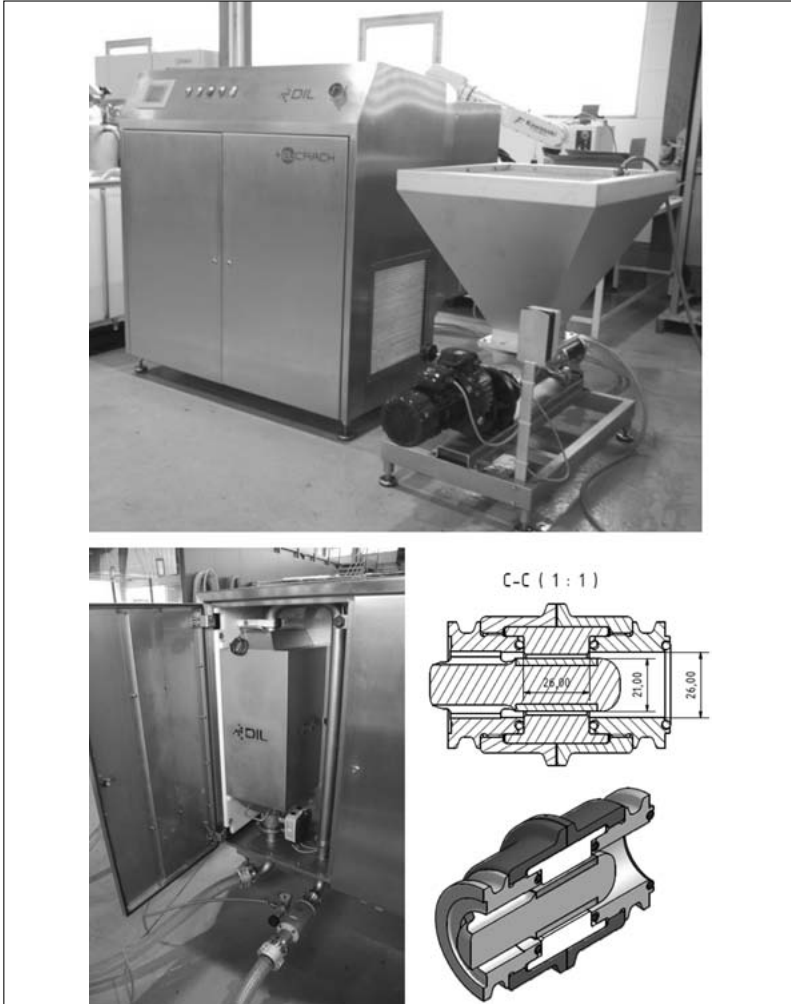


Abb. 10: Industrielle Anlage zur Entkeimung mittels gepulster elektrischer Felder, Anlagenleistung: 30 kW, Behandlungskapazität: 2.000 l/h.

Die vorgestellten Prozesse sind technisch weit entwickelt. Es stehen für die Anwendung in der Industrie geeignete Anlagen bzw. Funktionsmuster zur Verfügung. Die im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung über den Forschungskreis der Ernährungsindustrie (FEI) geförderten Projekte ermöglichen eine Entwicklung der Verfahren und Anlagen und tragen damit wesentlich zur Ergänzung der bereits in der Praxis etablierten Verfahrensschritte bei.

6. Danksagung

Die Vorhaben AiF 15884 N, AiF 15885 N, AiF 16114 N, AiF 16263 N, AiF 16798 N und CORNET AiF 26 EN des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) werden/wurden über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

7. Literatur

- [1] Bindrich, U., F. Tintchev and V. Heinz (2009). Heat and pressure induced protein structures in sausage batter. ISFRS, Zurich.
- [2] Bluhm, H. J. (2006). Pulsed Power Systems. Berlin, Germany, Springer.
- [3] Bowker, B. (2009). Shockwave application for meat tenderization. DIL Symposium High Pressure Techniques, Cologne.
- [4] Buckow, R. and V. Heinz (2008). "High Pressure Processing - a Database of Kinetic Information." *Chemie Ingenieur Technik* 80 (8): 1091-1095.
- [5] Caner, C., R.J. Hernandez, and B.R. Harte (2004). "High-pressure processing effects on the mechanical, barrier and mass transfer properties of food packaging flexible structures: A critical review." *Packaging Technology and Science* 17 (1): 23-29.
- [6] Carballo, J., S. Cofrades, M. T. Solas and F. Jiménez-Colmenero (2000). "High pressure/thermal treatment of meat batters prepared from freeze-thawed pork." *Meat Science* 54 (4): 357-364.
- [7] Clark, P. (2006). "Pulsed Electric Field Processing." *Food Technology* 60: 66-67.
- [8] Claus, J. R., J. K. Schilling, N. G. Marriott, S. E. Duncan, M. B. Solomon and H. Wang (2001). "Hydrodynamic shockwave tenderization effects using a cylinder processor on early deboned broiler breasts." *Meat Science* 58: 287-292.
- [9] Heinz, V., A. Angersbach and D. Knorr (1999). High intensity pulsed electric fields and membrane permeabilization. EFFoST Konferenz: Emerging Food Science and Technology, Tampere.
- [10] Heinz, V., A. Knoch and T. Lickert (2009). "Product innovation by high pressure processing." *New Food Magazine* (2/2009).
- [11] Hugas, M., M. Garriga and J. M. Monfort (2002). "New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology." *Meat Science* 62 (3): 359-371.

- [12] Jung, S., M. Ghoul and M. de Lamballerie-Anton (2003). "Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat." *LWT - Food Science and Technology* 36 (6): 625-631.
- [13] Knorr, D. (2007). Effizienzanalyse von Prozess- und Anlagenkonzepten zur schonenden Haltbarmachung von Lebensmitteln mittels neuartiger Hochdruckverfahren. Schlussbericht BMBF 0330089A. Berlin, TU Berlin.
- [14] Knorr, D. and A. Mathys (2008). "Ultra high pressure technology for innovative food processing." *Chemie Ingenieur Technik* 80 (8): 1069-1080.
- [15] Loeffler, M. and E. Neumann (2001). Pulsed Power from a German perspective. IEE Pulsed Power Conference, London, UK.
- [16] Moeller, S., D. Wiulf, D. Meeker, M. Ndife, S. N. and M. B. Solomon (1999). "Impact of the Hydrodyne process on tenderness, microbial load and sensory characteristics of pork longissimus muscle." *Journal of Animal Science* 77: 2119-2123.
- [17] San Martin, M. F., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G. (2002). "Food processing by high hydrostatic pressure." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42 (6): 627-645.
- [18] Schmidgall, J., C. Hertel, U. Bindrich, V. Heinz and S. Toepfl (2011). "High pressure inactivation of relevant target microorganisms in poultry meat products and the evaluation of pressure-induced protein denaturation of marinated poultry under different high pressure treatments." *International Journal of High Pressure Research* 31(1): 253-264.
- [19] Solomon, M. B., J. B. Long and J. S. Eastridge (1997). "The hydrodyne: A new process to improve beef tenderness." *J. Anim. Sci.* 75: 1534-1537.
- [20] Toepfl, S. (2011). Pulsed Electric Field food treatment - scale up from lab to industrial scale. 11th ICEF, Athens, May 23rd to 26th.
- [21] Toepfl, S. and V. Heinz (2011). "Reduktion der Reifungszeit erreicht - Zartmachung von Rindfleisch mittels elektrohydraulischer Stoßwellen." *Fleischwirtschaft* (2).
- [22] Toepfl, S., V. Heinz and D. Knorr (2006). Applications of pulsed electric field technology for the food industry. Pulsed electric field technology for the food industry. J. Raso and V. Heinz. Berlin, Springer: 197-221.
- [23] Toepfl, S., M. Kiessling and C. Siemer (2011). Inaktivierung bakterieller Endosporen durch kombinierte Anwendung gepulster elektrischer Felder und thermischer Energie. Jahrestagung ProcessNet 2011, Vlaardingen, NL.
- [24] Tonello, C. (2011). Process uniformity during high pressure pasteurization and sterilization. IF Annual Meeting, Chicago, June 11th to 14th.

- [25] von Müffling, T. and B. Nowak (2007). "Haltbarmachung von Schlachttierblut als nachhaltigen Proteinreserve und zum Einsatz in Lebensmitteln tierischen Ursprungs." *Forschung fürs Leben* 2006: 41-44.
- [26] Wess, O. (2004). "Physikalische Grundlagen der extrakorporalen Stoßwellentherapie." *Journal für Mineralstoffwechsel* 11: 7-18.
- [27] Wiezorek, T., V. Heinz and S. Toepfl (2009). "Ein Beitrag zur Nachhaltigkeit – Aufarbeitung von Schlachttierblut mittels gepulster elektrischer Felder (PEF)." *Rundschau Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung* (3).
- [28] Wilson, D. R., L. Dabrowski, S. Stringer, R. Moezelaar and T. F. Brocklehurst (2008). "High pressure in combination with elevated temperature as a method for the sterilisation of food." *Trends in Food Science & Technology* 19 (6): 289-299.
- [29] Zhang, Q., G. V. Barbosa-Cánovas and B. G. Swanson (1995). "Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization." *Journal of Food Engineering* 25: 261-281.
- [30] Zhou, G. H., X. L. Xu and Y. Liu (2010). "Preservation technologies for fresh meat - A review." *Meat Science* 86 (1): 119-128.

Prof. Dr. Bertrand Matthäus

Max-Rubner-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ernährung
und Lebensmittel, Detmold



Strategien zur Minimierung von 3-MCPD-Fettsäureestern und verwandten Verbindungen in Pflanzenölen*

1. Einführung

An verschiedenen Stellen der Lebensmittelverarbeitung entstehen in Abhängigkeit von den Herstellungs- oder Verarbeitungsbedingungen so genannte Hitze-induzierte Kontaminanten. Diese Kontaminanten entstehen dabei entweder neben erwünschten, die Qualität der Lebensmittel und das Geschmackserlebnis nachhaltig beeinflussenden Aromastoffen oder aber werden während der Reinigung des Rohmaterials gebildet. Daher ist es in der Praxis schwierig, die Bildung vollkommen zu vermeiden, ohne das Lebensmittel soweit zu verändern, dass es nicht mehr den Erwartungen der Verbraucher entspricht oder aber ein sicheres Lebensmittel darstellt.

Im Dezember 2007 kamen 3-Monochlorpropan-1,2-diol-Fettsäureester (3-MCPD-FE) in den Fokus des Interesses, nachdem das Chemische und Veterinär-Untersuchungsamt (CVUA) in Stuttgart sowie das Max-Rubner-Institut Ergebnisse über

* Autoren: Matthäus, B.¹; Freudenstein¹, A.; Vosmann, K.¹; Pudel, F.²; Rudolph, T.²; Granvogel, M.³; Schieberle, P.⁴; Franke, K.⁵; Strijowski, U.⁴

¹ MRI – Max-Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Detmold

² PPM – Pilot Pflanzenöltechnologie Magdeburg e.V., Magdeburg

³ DFA – Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Freising

⁴ DIL – Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V., Quakenbrück

den Fund von 3-MCPD-FE in verschiedenen Speisefetten und -ölen sowie daraus hergestellten Produkten gemeldet hatten. 3-MCPD-FE gehören zur Gruppe der Chlorpropanole und sind Verbindungen, bei denen 3-Monochlorpropan-1,2-diol mit verschiedenen Fettsäuren verknüpft ist. Neben den Monoestern mit einer Fettsäure am Grundkörper sind auch Diester mit zwei gebundenen Fettsäuren denkbar. Freies, nicht mit Fettsäuren verestertes 3-MCPD ist seit Ende der 70er Jahre als Reaktionsprodukt bei der Herstellung von säurehydrolysierten Pflanzenproteinen bekannt [1, 2].

Bedeutsam ist dieser Fund, da für das freie 3-MCPD in Langzeitstudien an Ratten gezeigt werden konnte, dass diese Verbindung zu Nierenschäden führt und bei höheren Dosierungen auch gutartige Tumore verursacht [3]. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors von 500 vom Wissenschaftlichen Lebensmittelausschuss der EU-Kommission (Scientific Committee on Food; SCF) bzw. dem gemeinsamen Komitee der FAO/WHO (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)) eine tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (TDI) von 2 µg/kg Körpergewicht festgelegt. In einer neuen Bewertung hat die International Agency for Research on Cancer (IARC) freies 3-MCPD als mögliches Humankarzinogen (Gruppe 2B) identifiziert [4].

Im Rahmen der Weiterentwicklung der analytischen Methoden für 3-MCPD-FE wurden zudem vor allem in raffiniertem Palmöl hohe Gehalte an Fettsäureestern des Glycidols (G-FE) gefunden, die ebenfalls als gesundheitsgefährdend eingeschätzt werden [5, 6]. Freies Glycidol hat Erbgut verändernde und Krebs erzeugende Eigenschaften und wurde von der IARC als „probably carcinogenic to humans“ (Gruppe 2A) eingestuft. Ähnlich wie bei Acrylamid gilt für diese Verbindung das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable; so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar).

Im Dezember 2007 legte das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) eine toxikologische Bewertung vor, in der es davon ausgeht, dass die Ester im menschlichen Körper zu 100 % durch körpereigene Enzyme gespalten werden und somit die Bewertungen für die freien Verbindungen übernommen werden müssen [7]. Die European Food Safety Authority (EFSA) hat sich dieser Annahme in ihrer Stellungnahme angeschlossen. Neuere Untersuchungen von Buhrke u.a. [8] sowie Creutzenberg und Berger-Preiß [9] geben Hinweise darauf, dass tatsächlich eine weitestgehend vollständige Freisetzung von freiem 3-MCPD aus den Estern im Körper erfolgt. Die jüngst erschienene Studie von Barocelli u.a. [10] bestätigt, dass Niere und Hoden die Zielorgane für freies 3-MCPD sind und dass 3-MCPD-Dipalmitat eine ähnliche Wirkung hat, auch wenn für den Ester eine um maximal 30 Prozent niedrigere Wiederfindung der Metaboliten im Urin gefunden wurde. Diese Ergebnisse unterstützen die Bewertung des BfR.

Ausgangspunkt für das vom Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde (BLL) sowie vom Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland (OVID) und anderen Verbänden initiierten IGF-Projektes „Untersuchungen zur Bildung von 3-Monochlorpropan-1,2-diol-Fettsäureestern (3-MCPD-FE) in Pflanzenölen und Entwicklung von Strategien zu deren Vermeidung“ war die Aufforderung des BfR in der Stellungnahme Nr. 047/2007 vom 11. Dezember 2007 [7] an die Industrie, dass „grundsätzlich alternative Techniken für die Herstellung raffinierter Fette und Öle entwickelt werden“ müssen.

Durch die vier Forschungsstellen Pilot Pflanzenöltechnologie Magdeburg e.V. (PPM), Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL), Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA) sowie Max-Rubner-Institut (MRI) wurden im Projekt folgende Beiträge geleistet:

1. **Aufklärung** der Zusammenhänge zwischen Bildung von 3-MCPD-FE, Prozessbedingungen und Zusammensetzung der beteiligten Komponenten (**PPM/MRI**) [11],
2. Definition von **Empfehlungen** für Prozessbedingungen zur **Minimierung** von 3-MCPD-FE, **ohne die Qualität der Produkte negativ zu beeinflussen** (**PPM/MRI**) [12],
3. **Entfernung** von 3-MCPD-FE aus dem **raffinierten Produkt (DIL)** [13] und
4. **Entwicklung einer direkten Quantifizierungsmethode** basierend auf der Stabilisotopenverdünnungsanalyse (SIVA) mittels LC-MS (**DFA**).

2. Notwendigkeit einer Raffination

Der weitaus größte Teil der für die Ernährung vorgesehenen Fette und Öle muss raffiniert werden, um sie einerseits genusstauglich und andererseits sicher hinsichtlich Kontaminanten zu machen. Bei der Raffination handelt sich um einen mehrstufigen Prozess mit Entschleimung zur Abtrennung von Phospholipiden, Neutralisation zur Entfernung von freien Fettsäuren und Bleichung, um Oxidationsprodukte und Farbstoffe abzutrennen. Im letzten Schritt der Raffination, der Desodorierung, werden die Öle mit Wasserdampf bei Temperaturen zwischen 230 °C und 270 °C im Vakuum behandelt, um insbesondere freie Fettsäuren und flüchtige Aromastoffe, die die Lagerstabilität und den Geschmack der Öle nachteilig beeinflussen, zu entfernen. Des Weiteren werden in diesem Prozess verschiedene Kontaminanten aus dem Öl abgetrennt. Das Ergebnis ist ein stabiles, geschmacks- und geruchsneutrales, nahezu farbloses Öl, das eine gleichbleibend hohe Qualität aufweist.

Der Prozess der Raffination wird entweder als physikalische Raffination durchgeführt, wobei die freien Fettsäuren im Rahmen der Desodorierung destillativ entfernt werden oder aber die Entsäuerung wird mittels chemischer Raffination unter Verwendung von Natronlauge während der Neutralisation erreicht. In der

Industrie wird heute die physikalische Raffination bevorzugt, da hier weniger mit Chemikalien belastete Abwässer anfallen, allerdings sind die für die Entfernung der freien Fettsäuren notwendigen Temperaturen während der Desodorierung höher.

Die Bildung von 3-MCPD-FE und G-FE in Fetten und Ölen stellt sich als vielschichtiges Problem dar, bei dem das Vorhandensein von Chloridionen oder chlorhaltigen Verbindungen, entsprechenden Vorstufen wie Triglyceriden, Mono- und Diglyceriden, Phospholipiden oder Glycerin sowie Temperatur und Zeit eine wichtige Rolle spielen. All diese Vorstufen sind im Pflanzenöl vorhanden und während der Desodorierung kommt es zur entsprechenden Temperaturbelastung. Daher ist es schwierig, die Reduzierung der Ester ohne Beeinflussung der Produktqualität zu erreichen.

Schon relativ schnell nach der ersten Mitteilung zu 3-MCPD-FE in Fetten und Ölen war klar, dass die Ester vor allem im letzten Schritt der Raffination, der Desodorierung, gebildet werden. Es war allerdings nicht klar, ob und in welchem Umfang die anderen Schritte der Raffination zur Bildung der Ester beitragen. Bei diesen Schritten werden mit Wasser, Phosphorsäure, Natronlauge und Bleicherden möglicherweise Präkursoren für die Bildung der Ester in den Prozess eingeführt, die dann gegebenenfalls während der hohen Temperaturen der Desodorierung zu 3-MCPD-FE und G-FE reagieren können. Ein Verzicht auf die verschiedenen Raffinationsschritte oder aber eine deutliche Absenkung der Temperatur ist für den größten Teil der produzierten Rohöle nicht empfehlenswert, da während der Raffination und hier insbesondere während der Desodorierung verschiedene Kontaminanten, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs), Pestizide oder Mykotoxine, aus dem Öl entfernt werden.

3. Möglichkeiten der Minimierung

Obwohl der Fokus bei der Entwicklung von Minimierungsstrategien zu Beginn des Projektes vor allem auf einer Optimierung des etablierten Raffinationsprozesses lag, zeigte sich während des Projektes, dass dies nur in einem geringen Umfang zur Reduzierung der Ester führt. Betrachtet man die gesamte Produktionskette, so ergeben sich drei Ansatzpunkte zur Reduzierung der Ester:

1. Reduzierung oder Vermeidung der Präkursoren im Rohmaterial vor der Verarbeitung und Auswahl geeigneter Ausgangsmaterialien für Öle bzw. Fette [12],
2. Veränderung der Raffinationsbedingungen und Einführung neuer Raffinationsschritte [11] und
3. nachträgliche Reduzierung durch geeignete Adsorbentien [13].

Potential unterschiedlicher Pflanzenöle zur Bildung der Ester

Im Rahmen des Projektes wurde eine Methode entwickelt, mit der es möglich ist, das Potential von Fetten und Ölen zur Bildung der Ester abzuschätzen. Dafür wird eine Ölprobe unter standardisierten Bedingungen zwei Stunden bei 240 °C erhitzt und anschließend die Bildung der 3-MCPD-FE (DGF-C-VI 18 (10) Teil B) bzw. der 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen (DGF-C-VI 18 (10) Teil A) untersucht. Dieses Verfahren zur Abschätzung des Potentials der Esterbildung zeigt eine hinreichend gute Übereinstimmung mit der Desodorierung und liefert eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

In einem Screening wurden verschiedene Pflanzenöle hinsichtlich ihres Potentials zur Bildung der Ester untersucht. Während Avocadoöl, Olivenöl, Rapsöl, Sojaöl und Palmkernfett unter den untersuchten Bedingungen lediglich etwa 1 mg 3-MCPD-FE und verwandte Verbindungen pro kg Öl bildeten, lagen die Gehalte in Palmöl, Maiskeimöl und Kokosöl mit bis zu 14 mg/kg deutlich höher (**Abb. 1**).

Vor allem der hohe Gehalt in Palmöl ist von großer Bedeutung, da dieses Öl eine überragende wirtschaftliche Bedeutung hat. Das Screening zeigte auch, dass es insbesondere für Palmöl eine große Schwankungsbreite bei der Bildung der Ester gibt, die darauf hindeutet, dass verschiedene Faktoren das Potential zur Bildung der Ester beeinflussen.

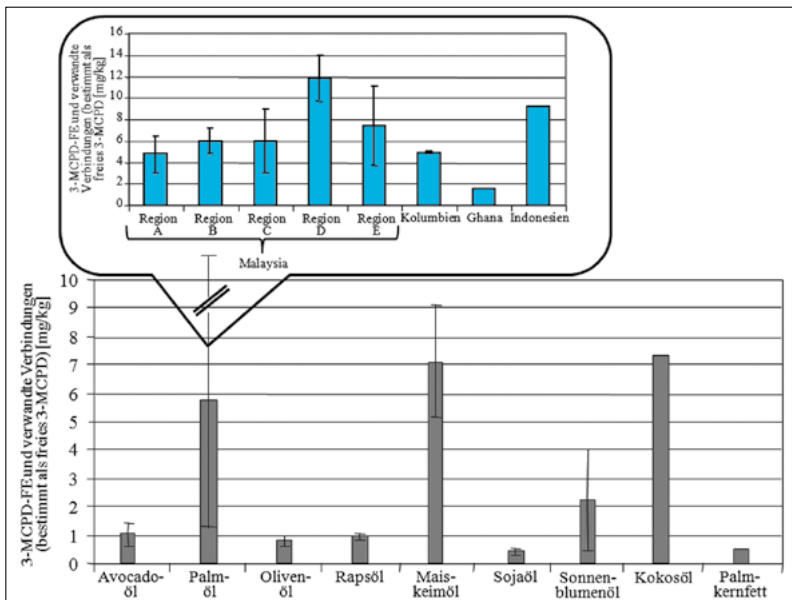


Abb. 1: Potential von rohen Ölen zur Bildung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen bei Erhitzung (240 °C, 2h).

Das Ergebnis der Untersuchung bestätigt nicht, dass vor allem Fruchtfleischöle ein höheres Potential zur Bildung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen aufweisen, da sowohl Avocadoöl als auch Olivenöl (nativ) nur ein geringes Potential zeigen. Lediglich Olivenöle (pomace), die nicht der Kategorie nativ extra oder nativ entsprechen, haben ein deutlich höheres Potential zur Bildung der Ester. Ein Grund dafür könnte sein, dass diese Öle höhere Gehalte an Partialglyceriden, wie Diglyceriden, aufweisen, die als Vorstufen für die Bildung der Ester angesehen werden können.

Die hohen Gehalte in Palmöl, Maiskeimöl und Kokosöl deuten darauf hin, dass möglicherweise die Ölqualität, charakterisiert durch die Lipidzusammensetzung, einen Einfluss auf das Potential zur Bildung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen hat. In diesen Ölen wurden höhere Gehalte an freien Fettsäuren und Diglyceriden gefunden.

Für die in Palmöl und Palmölprodukten gefundenen hohen Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen ist interessant, dass das Potential von Palmölen aus unterschiedlichen Ländern variierte. Während das im Rahmen des Projektes untersuchte Palmöl aus Ghana unter Standardbedingungen lediglich 1,5 mg/kg bildete, sind in Palmölen aus Malaysia bis zu 14 mg/kg zu finden (**Abb. 1**). Die Untersuchung von Palmölen aus verschiedenen Regionen in Malaysia zeigte auch, dass sich die Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen in Palmölen aus verschiedenen Regionen stark unterscheiden können. Der Grund dafür dürfte nicht nur in den unterschiedlichen Anbaugebieten mit unterschiedlichen Klima-, Boden- und Anbaubedingungen liegen, sondern auch Genotyp, Erntetechnik und Verarbeitung werden einen Einfluss auf das Potential des Rohöls zur Bildung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen haben, da dadurch der Gehalt an chlorhaltigen Verbindungen oder auch Diglyceriden im Öl beeinflusst wird. Weitere mögliche Faktoren sind der Eintrag von anorganischem oder organischem Chlor über Salze im Boden und chlorhaltige Verbindungen, wie z. B. Pestizide.

Einfluss von Präkursoren

Während die Korrelation zwischen dem Gehalt an Diglyceriden und der Bildung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen für reale Proben mit $R = 0,4$ relativ schlecht war, konnte gezeigt werden, dass ein Zusatz von Diglyceriden zu nativem Rapsöl mit einem niedrigen Potential zur Bildung der Ester zu einer sehr guten Korrelation von $R > 0,8$ führte. Werden die Diglyceridgehalte und die Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen verschiedener Öle aus dem Screening gegenübergestellt, so zeigte sich einerseits die schlechte Korrelation zwischen beiden Parametern, andererseits wurde aber auch deutlich, dass ab einem Diglyceridgehalt $> 4\%$ im Öl das Potential zur Bildung der Ester deutlich ansteigt (**Abb. 2**).

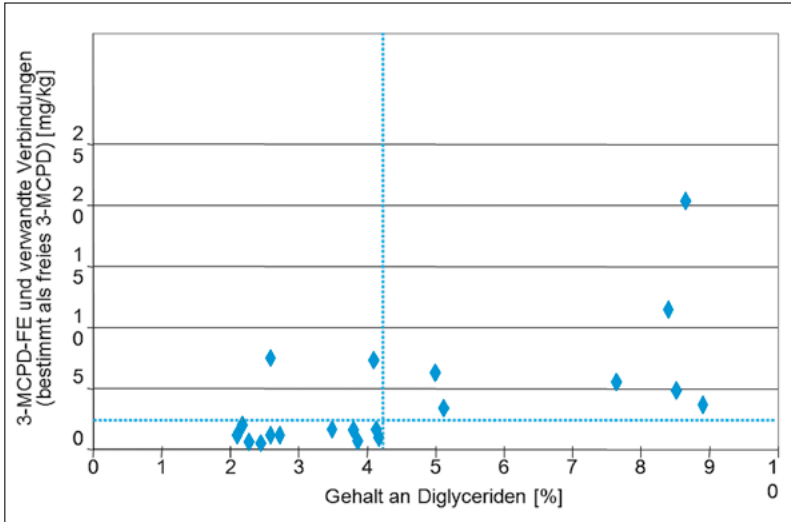


Abb. 2: Korrelation zwischen Gehalt an Diglyceriden und Potential zur Bildung der Ester.

Dies könnte ein weiterer Hinweis darauf sein, dass bei der Verarbeitung der Rohwaren, insbesondere der von Palmfrüchten, durch geeignete Nacherntemaßnahmen darauf geachtet werden muss, einen Anstieg der Diglyceridgehalte zu vermeiden. Betriebe in Malaysia zeigen, dass es möglich ist, die Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen drastisch zu senken, wenn die Verarbeitungswege zwischen Ernte und Ölgewinnung optimiert und zeitlich verkürzt werden. Hier ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Qualität der Rohware und dem Potential zur Bildung der Ester während der Verarbeitung festzustellen. Das Problem ist allerdings, dass in den weitläufigen und zum Teil nur schwer zugänglichen Plantagen die Früchte nicht alle zum optimalen Zeitpunkt geerntet und dann unmittelbar zur Verarbeitung gebracht werden können. Abhängig von den Gebieten liegen die Zeiten zwischen Ernte und Verarbeitung zwischen zwei Stunden und zwei Tagen oder mehr. Daraus resultieren deutliche Unterschiede im Gehalt an Diglyceriden, die wiederum die unterschiedlichen Gehalte an Estern mit erklären können.

Die Quelle des Chlors für die Bildung von 3-MCPD-FE ist noch nicht geklärt. Es ist aber wahrscheinlich, dass die chlorhaltige(n) Verbindung(en), die zur Bildung der Ester führen, aus dem Rohstoff kommen und in einer nicht wasserlöslichen, organischen Form vorliegen. Ein Zusatz von 0,1 % lipophilem tetra-n-Butylammoniumchlorid (TBAC) in einer Mischung aus nativem Rapsöl mit einem Di- und Monoglyceridgemisch führte nach Erhitzung unter Standardbedingungen (240 °C für 2 Stunden) zu einer deutlichen Zunahme des Gehaltes an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen. Die Zunahme lag umso höher, je höher der Zusatz

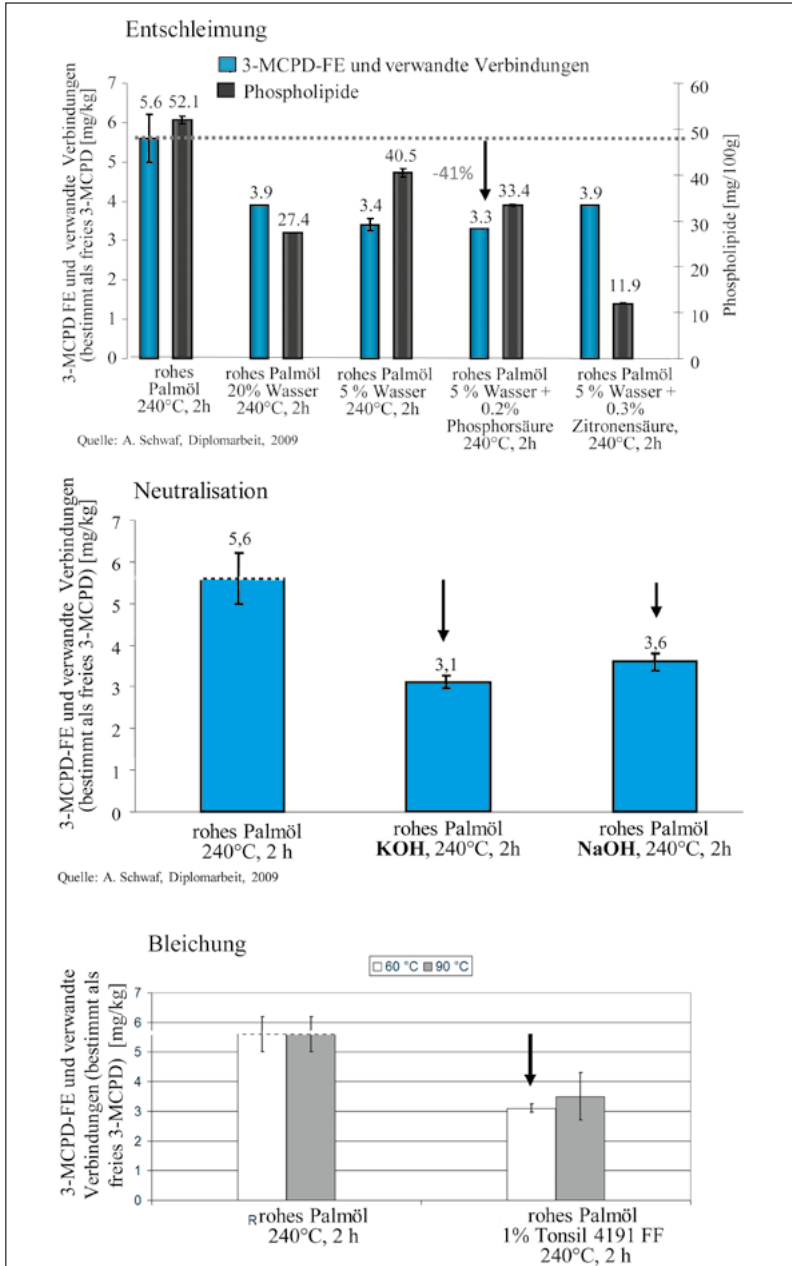


Abb. 3: Einfluss verschiedener Raffinationsschritte.

an TBAC war. Der Chloridgehalt im Wasser, das für die Herstellung des Stripdampfes während der Desodorierung benötigt wird, hatte keinen Einfluss auf die Bildung der Ester.

Raffination

Ein wichtiger Aspekt des Projektes war die Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Raffinationsschritte auf die Bildung der Ester. Dabei zeigte sich, dass die Schritte Entschleimung, Neutralisation und Bleichung das Potential zur Bildung der Ester zwischen 36% und 45% im Vergleich zum desodorierten, aber nicht vorbehandelten Rohöl reduzieren (**Abb. 3**).

Auch die Einführung eines zusätzlichen Waschschrtes zur Entfernung von Präkursoren vor der Raffination verringerte das Potential zur Esterbildung. Dabei konnte ein deutlicher Einfluss der Waschtemperatur und der Waschdauer festgestellt werden. Das Waschen des Rohöls bei 100 °C für 20 Minuten reduzierte das Bildungspotential um 38%. Unklar ist aber, welche Präkursoren aus dem Rohöl entfernt werden, da das Waschen des Rohöls mit einer Silbernitrat-Lösung – zur vollständigen Entfernung von anorganischem Chlorid aus dem Rohmaterial – nicht zu einer weiteren Reduzierung des Bildungspotentials führte. Dies deutet auch darauf hin, dass es sich bei der Chlorquelle um eine organische Verbindung handeln muss.

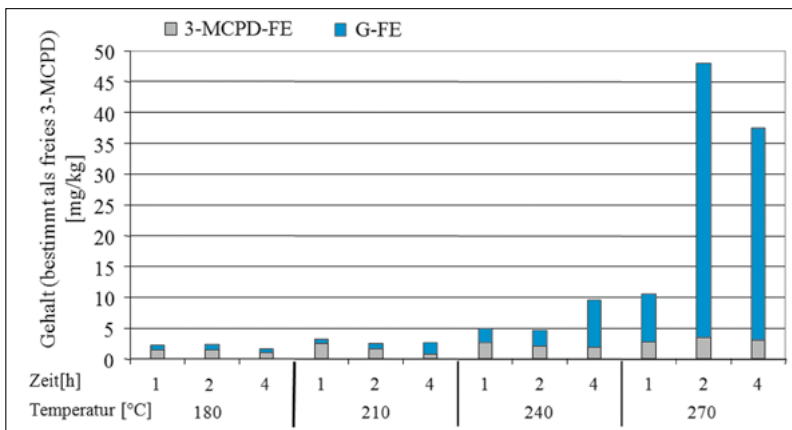


Abb. 4: Einfluss von Temperatur und Zeit während der Desodorierung.

Ein wichtiger Faktor bei der Bildung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen ist die Desodorierungstemperatur. **Abb. 4** zeigt, dass während der Desodorierung mit ansteigenden Temperaturen insbesondere ab 240 °C höhere

Gehalte an G-FE gebildet wurden, während die Gehalte von 3-MCPD-FE über das gesamte Temperaturspektrum von 180 °C bis 270 °C relativ unabhängig von der Desodorierungstemperatur zwischen 2 mg/kg und 4 mg/kg lagen. Dies bedeutet, dass bei den während der Desodorierung angewandten Temperaturen, insbesondere bei der physikalischen Raffination mit höheren Temperaturen, vor allem die Bildung der G-FE forciert wird. Allerdings lassen sich die Gesamtgehalte der Ester durch Absenken der Temperatur infolge einer geringeren Bildung von G-FE reduzieren, während die Gehalte an 3-MCPD-FE weitestgehend unbeeinflusst bleiben.

Änderungen im Raffinationsprozess

Der über Jahrzehnte etablierte Prozess der Raffination bietet nur wenig Spielraum zur Optimierung, da der Verbraucher, aber auch die weiterverarbeitende Industrie erwarten, dass die raffinierten Fette und Öle hinsichtlich Geschmack und Geruch, Stabilität und Sicherheit bestimmten Anforderungen entsprechen. Daher könnte die Einführung weiterer Schritte in den Raffinationsprozess hilfreich sein, um einerseits die geforderte Qualität der raffinierten Öle zu erreichen und andererseits die Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen in den Ölen deutlich zu senken. Neben dem Einfluss des bereits beschriebenen Waschschruttes wurden im Rahmen des Projektes verschiedene Modifikationen der Desodorierung, aber auch die Einführung eines Schrittes zur nachträglichen Entfernung der Ester untersucht.

Es konnte gezeigt werden, dass der Zusatz verschiedener Hilfsstoffe, wie Diacetin, Zitronensäure, Oxalsäure oder eines Zeolithmaterials, während der Desodorierung zu einer deutlichen Verminderung der Gehalte an 3-MPCD-FE und G-FE im raffinierten Produkt führte. Während Zitronensäure und Oxalsäure vornehmlich G-FE reduzierten, wurde insbesondere durch die Verwendung eines Zeolithmaterials während der Raffination die Bildung von 3-MCPD-FE nahezu vollständig unterdrückt. Der Einsatz des Zeolithmaterials während der Desodorierung geht auf die Ergebnisse aus den Untersuchungen des Deutschen Institutes für Lebensmitteltechnik e.V. zum Einsatz von Adsorbentien zur Entfernung der Ester nach der Raffination zurück, bei denen dasselbe Zeolithmaterial die Gehalte an G-FE deutlich reduzieren konnte.

Insbesondere der Einsatz des kurzkettigen Diglycerids Diacetin, entweder vor der Desodorierung dem Öl zugesetzt oder aber mit dem Stripdampf durch das Öl geleitet, ist für die Industrie eine interessante Anwendung, da es preiswert und nicht gesundheitsschädlich ist und aufgrund seines niedrigen Siedepunktes bei der Desodorierung vollständig ausgetrieben werden kann (**Abb. 5**). Während der Desodorierung wird der an der Reaktion beteiligten Chlorverbindung mit Diacetin ein Reaktionspartner angeboten, der dann gleichzeitig mit dem Stripdampf aus dem Prozess entfernt werden kann. In den durchgeführten Versuchen

konnte durch den Zusatz von Diacetin eine Reduzierung von 3-MCPD-FE und G-FE im desodorierten Produkt von 50 % festgestellt werden.

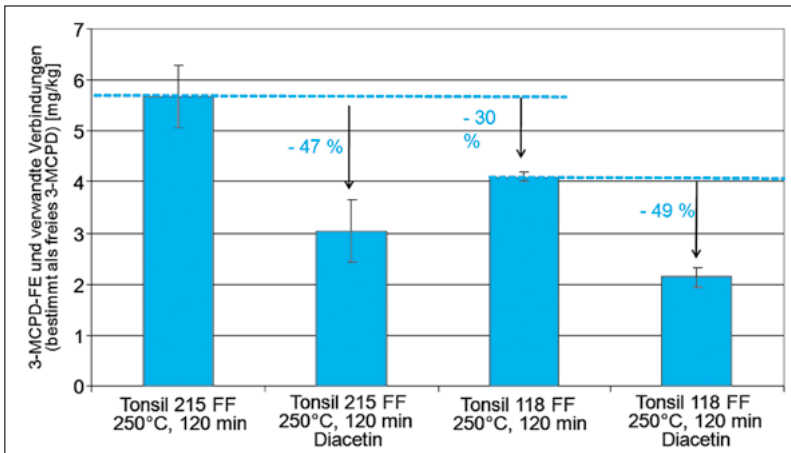


Abb. 5: Einfluss des Zusatzes von Diacetin während der Desodorierung.

Das Projekt hat gezeigt, dass es sich bei der Bildung von 3-MCPD-FE und G-FE um eine temperatur- und zeitabhängige Reaktion handelt, die während der Desodorierung abläuft. Vor allem die Bildung von G-FE wird bei Temperaturen ab 240°C deutlich stärker forciert als die Bildung von 3-MCPD-FE.

Als alternatives, schonenderes Desodorierungsverfahren wurde der Einfluss der zweistufigen Desodorierung auf die Bildung der Ester untersucht. Die zweistufige Desodorierung wird bereits großtechnisch mit dem Ziel angewandt, die Bildung von trans-Fettsäuren zu verhindern und die Gehalte an Vitamin-E-aktiven Substanzen im Öl zu optimieren [14, 15]. Durch einen kurzen ersten Schritt bei hoher Temperatur (250°C/270°C), kombiniert mit einem längeren zweiten Schritt bei einer niedrigeren Temperatur (200°C), oder umgekehrt, soll die Temperaturbelastung des Öles während der Desodorierung insgesamt gesenkt werden.

Ein Vergleich verschiedener Kombinationen der Kurz- und Langzeit-Desodorierung mit der konventionellen einstufigen Desodorierung zeigte eine deutliche Reduzierung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen sowohl bei 250°C als auch bei 270°C. Des Weiteren ist festzustellen, dass es günstiger ist, erst eine längere Desodorierung bei niedrigerer Temperatur durchzuführen, gefolgt von einer kurzzeitigen Hochtemperaturdesodorierung (**Abb. 6**). Dabei ist die Reduzierung im Vergleich zur einstufigen Desodorierung umso größer, je höher die Temperatur ist. Bei der Kombination von 120 Minuten bei 200°C und 5 Minu-

ten bei 250 °C lagen die Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen um ein Drittel, bei 3-MCPD-FE allein sogar um zwei Drittel niedriger als bei der einstufigen Desodorierung. Bei 270 °C führte die zweistufige Desodorierung mit vorangestellter längerer Desodorierung bei niedrigerer Temperatur zu einer Reduzierung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen um fast 80 %. Eine Optimierung des Verfahrens hinsichtlich der Gehalte an freien Fettsäuren im raffinierten Produkt steht noch aus.

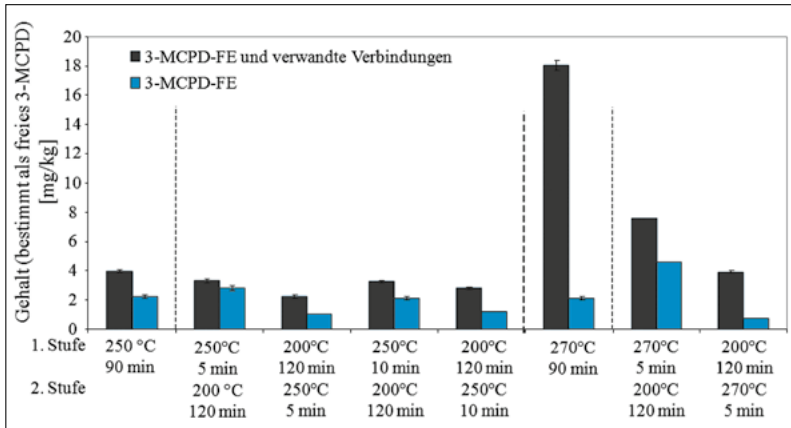


Abb. 6: Vergleich zwischen ein- und zweistufiger Desodorierung.

Ebenso ist es mit Hilfe der Kurzweg-Destillation möglich, eine schonende Entsäuerung durch die Anwendung einer niedrigen Temperatur und kurzer Verweilzeiten zu erreichen [16, 17, 18], bei gleichzeitig deutlicher Minimierung der Gehalte an 3-MCPD-FE und G-FE. Diese werden in der Summe um fast 80 % reduziert, während fast 90 % weniger 3-MCPD-FE gebildet wird. Das Verfahren der Kurzwegdestillation ist in Anlagen industrieller Größenordnungen durchführbar. Jedoch ist damit ein vergleichsweise hoher technologischer Aufwand verbunden. Daher ist eine Umsetzung dieser Technik zur Reduzierung der Ester in die großtechnische Anwendung für die Herstellung von Ausgangsprodukten zur Weiterverarbeitung in sensiblen Bereichen gerechtfertigt, wie zum Beispiel für die Babynahrung, bei der sehr niedrige Gehalte an 3-MCPD-FE und G-FE angestrebt werden müssen.

Nachbehandlung des raffinierten Öls

Neben den Strategien zur Reduzierung der Gehalte von 3-MCPD-FE und G-FE im raffinierten Öl durch Auswahl geeigneter Rohware oder im Zuge der Raffination ist es aus industrieller Sicht von Interesse, die Gehalte der Ester durch eine nachträgliche Behandlung der raffinierten Öle mit geeigneten Adsorbentien zu reduzieren. Eine Möglichkeit dazu bieten die Unterschiede in der Polarität der 3-MCPD-FE und G-FE im Vergleich zu den Triglyceriden. Dieser Unterschied sollte eine Entfernung der Ester durch geeignete Adsorptionsmaterialien analog zur bekannten Abtrennung polarer Anteile aus Frittierfetten ermöglichen.

Für die direkte Behandlung von Ölen mit Adsorptionsmedien zur Abtrennung von polaren Substanzen, z.B. Diglyceriden oder oxidierten Substanzen, aus dem Öl gibt es vor allem im Bereich der Nachbehandlung von gebrauchten Frittierfetten eine Vielzahl von Untersuchungen [19, 20, 21]. Darüber hinaus existieren Arbeiten aus dem Bereich der Kunststoffindustrie, welche die Abtrennung von organischen Chlorverbindungen aus lipophilen Systemen mittels anorganischer Materialien [22] bzw. Cyclodextrinen [23] beschreiben. In Voruntersuchungen zu dem Projekt wurde gezeigt, dass der Gehalt an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen in belasteten Ölen durch die Behandlung mit Bleicherde um ca. 50% gesenkt werden kann [24].

Daher wurde geprüft, inwieweit eine Reduzierung der Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen in raffinierten Ölen durch die Behandlung mit geeigneten Adsorptionsmitteln erreichbar ist. Die am besten geeigneten Materialien sollten ermittelt und deren optimale Einsatzbedingungen, z.B. Temperatur und Dauer, bestimmt werden.

Tab. 1: Auswahl an berücksichtigten Adsorptionsmaterialien

Kürzel	Typ	Herstellerangaben
AMS1	amorphes Magnesiumsilikat	> 97 %
AMS2	amorphes Magnesiumsilikat	> 70 %
AMS3	amorphes Magnesiumsilikat	> 40 %
Z1	Zeolith	< 20 % Wasser (getrocknet)
Z2	Zeolith	< 1 % Wasser (calcinert)
SO	Siliziumdioxid	> 99.9 %
SAS	Natriumalumosilikat	Perlite mit Zitronensäure
SCS	Synthetisches Calciumsilicate	47 % Siliziumdioxid, 28 % Calciumoxid
SMS	Synthetisches Magnesiumsilikat	65 % Siliziumdioxid, 15 % Magnesiumoxid

Für die Untersuchungen wurden insgesamt 15 verschiedene anorganische und organische Adsorptionsmaterialien getestet, von denen die wichtigsten in **Tab. 1** aufgelistet sind. Zu den Materialien gehörten sowohl kommerziell verfügbare Pulver, die bereits zur Verlängerung der Standzeit von Frittierfetten vertrieben werden, als auch Zusätze beim Bleichen von Ölen.

Für die Behandlung wurden je nach Versuchseinstellung zwischen 180 und 198 g des aufgeschmolzenen, raffinierten Palmöls in ein Becherglas (500 ml) gefüllt und auf einer Heizplatte mit Magnetrührer auf die entsprechende Temperatur (vgl. **Tab. 2**) vorgeheizt. Nach Erreichen der vorgewählten Öltemperatur wurden zwischen 2 und 20 g des jeweiligen Adsorptionsmittels dazugegeben und bei abgedecktem Becherglas weiter gerührt. Nach Ablauf der Behandlungszeit wurden Adsorptionsmittel und Palmöl mittels Zentrifugation getrennt.

Die Behandlungsbedingungen des Palmöls sind in der **Tab. 2** zusammengefasst, wobei die fettgedruckten Einstellungen den Standardbedingungen beim Screening aller Adsorptionsmaterialien entsprechen.

Tab. 2: Parameter der Untersuchungen zur Adsorptionsbehandlung

Parameter	Einstellungen			
	I	II	III	IV
Temperatur [°C]	60	80	100	120
Dauer [Minuten]	15	30	60	
Menge an Adsorptionsmaterial [%]	1,0	2,5	5,0	10,0

Das behandelte Palmöl wurde anschließend hinsichtlich folgender Parameter charakterisiert, wobei nachfolgend nur ausgewählte Daten diskutiert werden:

- Gehalt an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen,
- Anisidinzahl, Peroxidzahl,
- Säurezahl,
- Polymere Triglyceride, Mono- und Diacylglyceride,
- Polare Anteile,
- Farbe und Farbänderung,
- Qualität des behandelten Palmöls.

Abb. 7 zeigt die Gehalte als Summe aus 3-MCPD-FE (blauer Balken) und verwandten Verbindungen (grauer Balken) für das Palmöl nach der Behandlung mit den unterschiedlichen Adsorptionsmaterialien (30 Minuten, 10% Material, 80 °C).

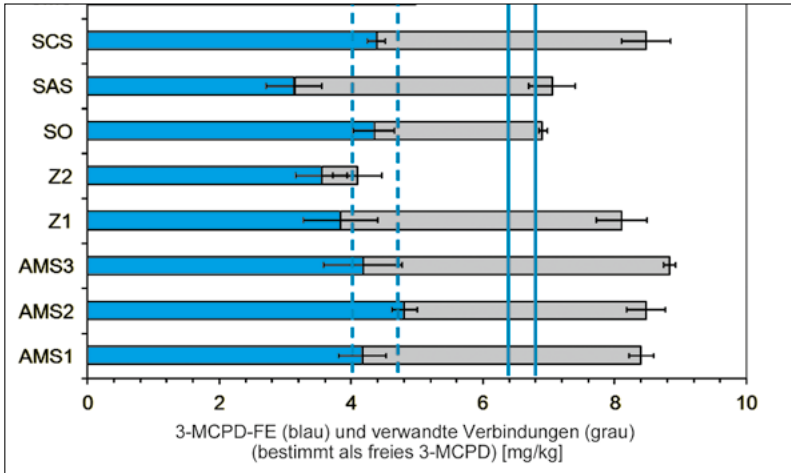


Abb. 7: Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen im Palmöl nach Behandlung mit unterschiedlichen Adsorbentien.

Es wird deutlich, dass nur zwei Adsorbentien geeignet sind, die Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen im Palmöl zu reduzieren (Magnesiumsilikat SMS und Zeolith Z2). Andere Adsorbentien hingegen, wie z.B. die amorphen Magnesiumsilikate, erhöhen sogar die gemessenen Gehalte an diesen Verbindungen. Betrachtet man die Ergebnisse genauer, so wird ersichtlich, dass die Reduzierung durch die Adsorbentien weniger die 3-MCPD-FE selbst, sondern vor allem die verwandten Verbindungen, wie G-FE, betrifft. Insbesondere durch das calcinierte Zeolith werden diese Verbindungen fast komplett aus dem Palmöl entfernt.

In weiterführenden Untersuchungen wurde mit drei ausgewählten Adsorbentien getestet, in welchem Maße die Adsorbentienwirkung durch die Behandlungsbedingungen, insbesondere Temperatur, Zeit und Zusatzmenge des Adsorbentienmittels, beeinflussbar ist. Als Materialien wurden die Substanzen, für die im Screening eine Wirkung nachweisbar war (SMS und Z2), sowie AMS2 als Negativkontrolle in die Untersuchungen einbezogen.

Festgestellt wurde, dass Unterschiede zwischen den beiden wirksamen Adsorbentien hinsichtlich ihrer Umsetzungsrate bestehen. Dabei zeigt sich, dass der calcinierte Zeolith bereits bei 60°C seine volle Reduktionswirkung entfaltet, während zur Aktivierung des Magnesiumsilikats Temperaturen von 80°C und mehr notwendig sind (**Abb. 8**).

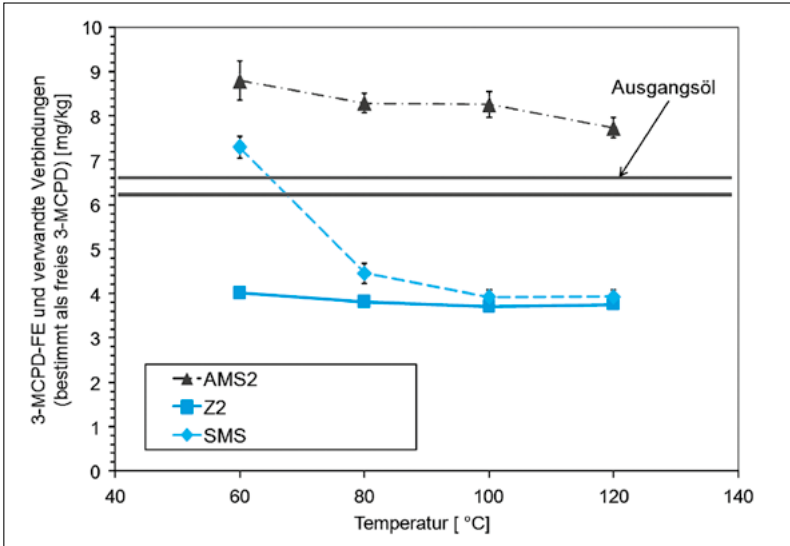


Abb. 8: Temperaturabhängigkeit der Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen im Palmöl nach Behandlung.

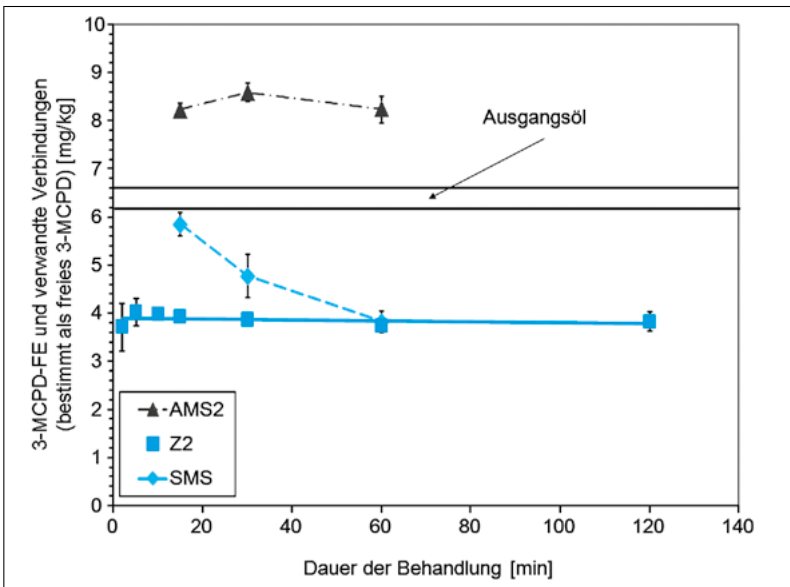


Abb. 9: Zeitabhängigkeit der Gehalte an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen im Palmöl nach Behandlung.

Ein ähnliches Bild ist bei der Behandlungsdauer erkennbar. Der Zeolith ermöglicht eine spontane Reduzierung, während das Magnesiumsilikat erst nach 60 Minuten Behandlungsdauer vergleichbare Ergebnisse zeigt (**Abb. 9**).

Weitergehende Untersuchungen haben gezeigt, dass die Oxidationsstabilität der behandelten Öle nicht schlechter ist (Z2) oder sogar verbessert wird (SMS). Eine sensorische Beeinträchtigung wird nach der Behandlung mit SMS gefunden, während die Behandlung mit Z2 die sensorischen Eigenschaften der Öle verbessert. Der Mechanismus der Reduktion ist noch unklar.

4. Empfehlungen für die Produktion von gering belasteten raffinierten Ölen

Die Desodorierung ist der maßgebliche Schritt für die Bildung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen. Insbesondere die G-FE steigen mit steigender Desodorierungstemperatur stark an, während die 3-MCPD-FE weitestgehend unbeeinflusst bleiben. Die anderen Schritte der Raffination, Entschleimung, Neutralisation und Bleichung, senken das Potential zur Bildung der Ester. Es ist empfehlenswert, das Rohöl vor der Raffination mit Wasser zu waschen und während der Desodorierung die Temperatur so niedrig wie möglich zu halten, ohne aber die notwendige Qualität des raffinierten Öles hinsichtlich Geschmack und Geruch, Stabilität und Kontaminanten zu verschlechtern. Hier ist die chemische Raffination, bei der die freien Fettsäuren durch den Schritt der Neutralisation weitestgehend entfernt werden, der physikalischen Raffination vorzuziehen, da niedrigere Temperaturen während der Desodorierung angewendet werden können.

Um den Prozess der Raffination mit Rohöl, das ein geringeres Potential zur Bildung der Ester besitzt, zu beginnen, ist die Auswahl von Rohmaterial mit niedrigen Gehalten an Vorstufen zu empfehlen. Insbesondere bei der Produktion von Palmöl sollte die Verarbeitung der Palmfrüchte mit möglichst kurzen Lagerzeiten von der Reife bis zur Verarbeitung optimiert werden.

Verfahrensschritte, wie die zweistufige Desodorierung, mit einer langen Stufe bei niedriger Temperatur und einer kurzen Stufe bei höherer Temperatur sowie der Einsatz einer Kurzwegdestillation, die die Temperaturbelastung des Öles während der Desodorierung möglichst niedrig halten, führen zu einer deutlichen Reduzierung der Esterbildung im Prozess. Der Zusatz von Zitronensäure oder Oxalsäure während der Desodorierung reduziert den Gehalt an 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen im desodorierten Palmöl um durchschnittlich 50%. Durch die Verwendung eines Zeolithmaterials während der Desodorierung ist eine vollständige Vermeidung der Bildung von 3-MCPD-FE erreichbar. Diacetin, während der Desodorierung dem Öl zugesetzt oder aber mit dem Stripdampf dem Öl zugeführt, ermöglicht es, die Esterbildung deutlich zu reduzieren.

Im Rahmen des Projektes wurden mit einem calcinierten Zeolith und einem synthetischen Magnesiumsilikat zwei Substanzen identifiziert, die vor allem geeignet sind, die 3-MCPD-FE-bildenden Verbindungen (vermutlich G-FE), nicht aber die 3-MCPD-FE selbst im raffinierten Öl nachträglich zu reduzieren. Bei einer solchen Behandlung verbessern Temperaturen über 80°C den Effekt der Adsorptionsmittel nicht, dies ist vor dem Hintergrund möglicher sensorischer Beeinträchtigungen sowie eventueller sonstiger Schädigung des Öls wichtig. Das synthetische Magnesiumsilikat benötigt deutlich höhere Energien, sowohl die Zeit als auch die Behandlungstemperatur betreffend. Im Batch-Verfahren sind mindestens 5% Adsorptionsmittel erforderlich.

5. Entwicklung einer direkten Quantifizierungsmethode für G-FE in Fetten und Ölen

Die Bestimmung der 3-MCPD-FE und G-FE erfolgt nach saurer oder alkalischer Hydrolyse und anschließender Derivatisierung, z.B. mit Phenylboronsäure, mittels GC-MS. Diese Methode erlaubt allerdings nur die Bestimmung der Summe dieser Substanzen, entweder als Summe 3-MCPD-FE und G-FE (Konzentration A) oder aber als Summe 3-MCPD-FE (Konzentration B). Aus der Differenz von Konzentration A und B erhält man dann unter Berücksichtigung eines stöchiometrischen Faktors von 0,67 die ursprünglich vorhandene Menge an G-FE. Allerdings wird nach wie vor jeweils nur die Summe jeder Substanzklasse quantifiziert und man setzt voraus, dass die sogenannten „verwandten Verbindungen“, die bei der Konzentration A zusätzlich zu den 3-MCPD-FE erfasst werden, nur G-FE darstellen. Bei der Methode DGF-C-III 18 (09) zeigte sich jedoch, dass die Konzentration B für einige Proben falsche/zu hohe Werte liefert und deshalb für die Konzentration der G-FE zu niedrige Werte erhalten wurden. Deshalb wurde die Methode DGF-C-III 18 (09) Teil B zurückgezogen und in Methode DGF-C-VI 17 (10) [25] nur noch Teil A zur Bestimmung von 3-MCPD-FE und verwandten Verbindungen durchgeführt.

Ein wichtiger Baustein im Projekt war die Entwicklung eines analytischen Verfahrens, mit dem die einzelnen G-FE qualitativ und quantitativ erfasst werden können. Diese Methode basiert auf stabilisotopenmarkierten Verbindungen, die als Standardsubstanzen dienen. Hierfür wurden zunächst die sieben wichtigsten G-FE der üblicherweise in der Ernährung eingesetzten Fette und Öle sowohl in unmarkierter Form (als Referenzsubstanzen für die jeweiligen Analyten) als auch in stabilisotopenmarkierter Form (als interne Standardverbindungen) synthetisiert:

(Glycidyllaurat (C12:0), Glycidylmyristat (C14:0), Glycidylpalmitat (C16:0), Glycidylstearat (C18:0), Glycidyloleat (C18:1), Glycidyllinolat (C18:2), Glycidyllinolenat (C18:3) sowie [²H₃]-Glycidyllaurat ([²H₃]-C12:0), [²H₅]-Glycidylmyristat ([²H₅]-C14:0), [¹³C₄]-Glycidylpalmitat ([¹³C₄]-C16:0), [¹³C₁₈]-Glycidylstearat ([¹³C₁₈]-C18:0), [¹³C₁₈]-Glycidyloleat ([¹³C₁₈]-C18:1), [¹³C₁₈]-Glycidyllinolat ([¹³C₁₈]-C18:2),

[$^{13}\text{C}_{18}$]-Glycidyllinolenat ([$^{13}\text{C}_{18}$]-C18:3). **Abb. 10** zeigt exemplarisch für Glycidylpalmitat das Reaktionsschema zur Herstellung der Standardsubstanzen.

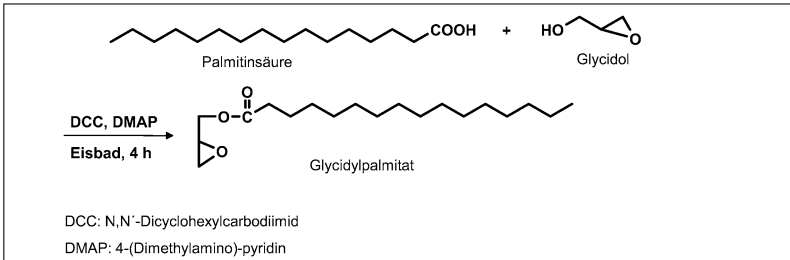


Abb. 10: Syntheschema von G-FE am Beispiel des Palmitats.

In analoger Weise erfolgten die Synthesen von [$^2\text{H}_3$]-Glycidyllaurat, [$^2\text{H}_5$]-Glycidylmyristat, [$^{13}\text{C}_4$]-Glycidylpalmitat (**Abb. 11A**), [$^{13}\text{C}_{18}$]-Glycidylstearat, [$^{13}\text{C}_{18}$]-Glycidyloleat, [$^{13}\text{C}_{18}$]-Glycidyllinolat (**Abb. 11B**) und [$^{13}\text{C}_{18}$]-Glycidyllinolenat unter Verwendung von [$^2\text{H}_3$]-Laurinsäure, [$^2\text{H}_5$]-Myristinsäure, [$^{13}\text{C}_4$]-Palmitinsäure, [$^{13}\text{C}_{18}$]-Stearinsäure, [$^{13}\text{C}_{18}$]-Ölsäure, [$^{13}\text{C}_{18}$]-Linolsäure und [$^{13}\text{C}_{18}$]-Linolensäure.

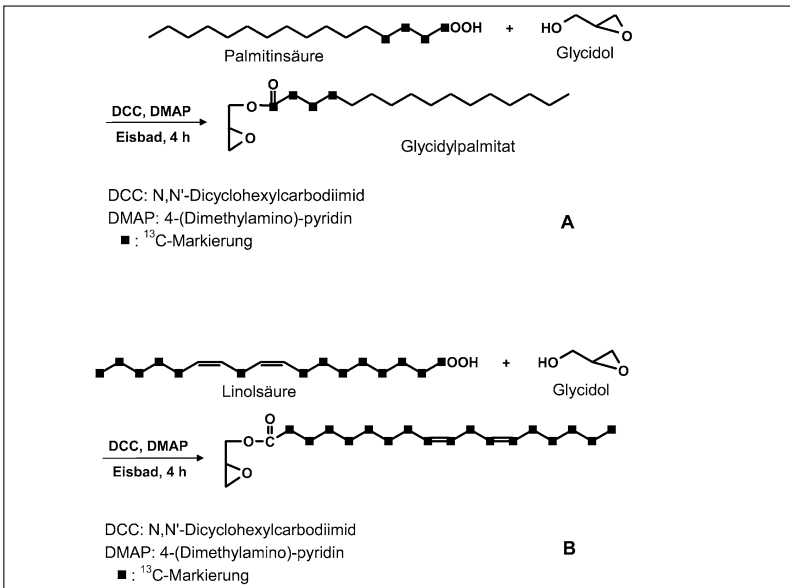


Abb. 11: Syntheschemata von stabilisotopenmarkierten G-FE am Beispiel des [$^{13}\text{C}_4$]-Palmitats (A) und des [$^{13}\text{C}_{18}$]-Linolats (B).

Hochleistungsflüssigchromatographie-Massenspektrometrie (HPLC-MS)

Die Massenspektrometrie wurde an einem Triple-Quadrupol-Massenspektrometer (TSQ Quantum Discovery; Thermo Fisher Scientific, Dreieich) durchgeführt, das mit einem Hochleistungsflüssigchromatographen (HPLC; Surveyor; Thermo Fisher Scientific) mit thermostatisiertem (20 °C) Autosampler gekoppelt war. Die Trennung wurde bei 20 °C an einer LUNA-Säule 3u PFP(2) 100 Å (150 x 2,0 mm ID., 3 µm; Phenomenex, Aschaffenburg) durchgeführt. Das Fließmittel bestand aus 0,1 % (v/v) Ameisensäure in Wasser (Fließmittel A) und 0,1 % (v/v) Ameisensäure in Acetonitril (Fließmittel B). Die Fließgeschwindigkeit betrug 0,2 mL/min und es wurde ein linearer Gradient von 80 bis 100 % B innerhalb von 30 min mit anschließenden 20 min bei 100 % B verwendet. Die Massenspektren wurden im positiven Atmospheric Pressure Chemical Ionisation Modus (APCI⁺) unter den folgenden Bedingungen aufgenommen: Discharge Current 4 µA, APCI Vaporizer Temperature 300 °C, Sheath Gas Pressure 35 Arbitrary Units, Auxiliary Gas Pressure 10 Arbitrary Units, Capillary Temperature 250 °C, Collision Gas Argon: Druck 0,13 Pa.

Probenaufarbeitung

Öl (750 mg) wurde in Pentan/Diethylether (2 mL; 95/5, v/v) gelöst, anschließend die stabilisotopenmarkierten Standards zugegeben und durch Rühren bei Raumtemperatur equilibriert (15 min). Dann wurde die Probe auf eine Kieselgelsäule (150x20 mm; 16 g Kieselgel 60, 0,063-0,2 mm) **aufgegeben und mit Pentan/Diethylether** mit einem Fluss von ca. 4 mL/min eluiert:

Fraktion 1:	0-150 mL:	Abfall
Fraktion 2:	150-250 mL:	G-FE

Das Lösungsmittel wurde am Rotationsverdampfer unter Vakuum bei 30 °C abdestilliert und der Rückstand in Acetonitril (1,5 mL) aufgenommen. Aliquote (10 µL) dieser Lösung wurden zur LC-MS eingesetzt.

Die Quantifizierung erfolgte dabei über Responsegeraden, die durch die Messung von jeweils fünf Kalibriergemischen mit verschiedenen bekannten Konzentrations-Verhältnissen des Analyten und des isotonenmarkierten internen Standards erstellt wurden. Beispielhaft zeigt **Abb. 12** die Responsegerade zur Bestimmung von Glycidyloleat mit Hilfe des Standards [¹³C₁₈]-Glycidyloleat.

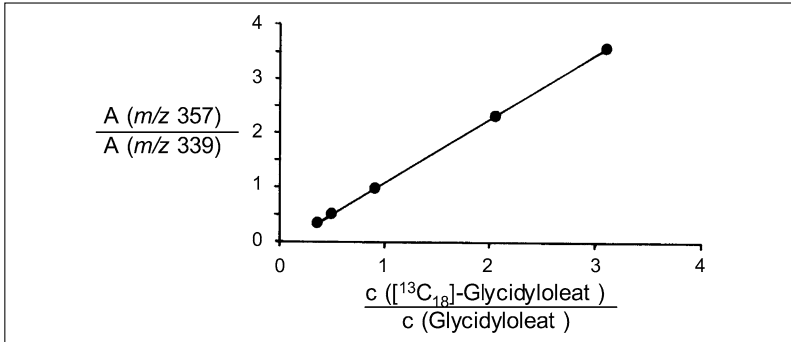


Abb. 12: Kalibriergerade zur Quantifizierung von Glycidyleat über den Standard $[^{13}\text{C}_{18}]$ -Glycidyleat.

Dabei konnten in naturbelassenen Olivenölen als „Negativproben“ keine Gehalte an G-FE nachgewiesen werden. Hingegen wurden beispielsweise in kommerziell erhältlichen Sonnenblumenölen und Rapsölen G-FE-Gehalte in Abhängigkeit von der Fettsäureverteilung gefunden, d.h. je höher der Gehalt der entsprechenden Fettsäure war, umso höher war auch die vorliegende G-FE-Konzentration (**Tab. 3**).

Tab. 3: Konzentrationen verschiedener G-FE in jeweils drei kommerziell erhältlichen Sonnenblumen- und Rapsölen. Grau: G-FE [mg/kg], blau: Fettsäureverteilung [%]

Öl	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
Sonnenblumen 1	n.d. ^a	n.d. ^a	0,05	0,03	0,34	1,68	n.d. ^a
Sonnenblumen 2	n.d. ^a	n.d. ^a	0,08	n.d. ^a	0,31	1,27	n.d. ^a
Sonnenblumen 3	n.d. ^a	n.d. ^a	0,04	n.d. ^a	0,29	1,11	n.d. ^a
Sonnenblumen 1	n.d. ^a	n.d. ^a	6,3	4,0	26,7	63,0	n.d. ^a
Raps 1	n.d. ^a	n.d. ^a	0,03	n.d. ^a	0,11	0,10	0,05
Raps 2	n.d. ^a	n.d. ^a	n.d. ^a	n.d. ^a	0,17	0,15	0,04
Raps 3	n.d. ^a	n.d. ^a	n.d. ^a	n.d. ^a	0,15	0,05	n.d. ^a
Raps 3	n.d. ^a	n.d. ^a	4,7	1,6	65,0	19,8	8,9

^a: nicht detektierbar.

Exemplarisch ist in **Abb. 13** das LC-MS-Chromatogramm einer Rapsölprobe mit den selektiven Massenspuren von vier G-FE und den entsprechenden stabilisotopenmarkierten Standards gezeigt.

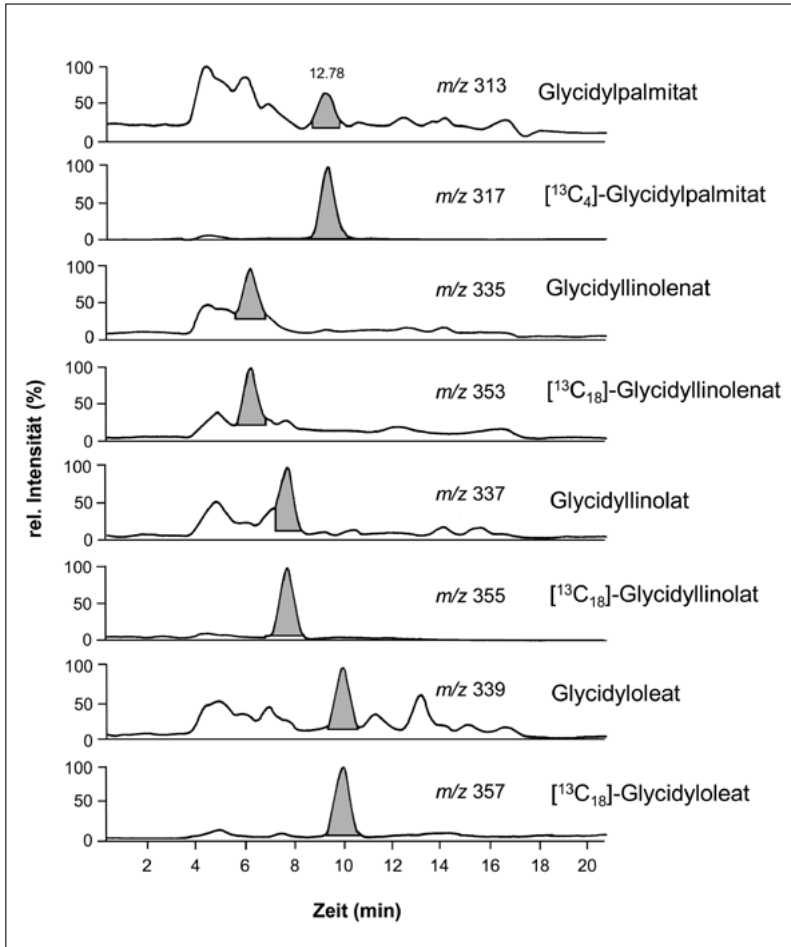


Abb. 13: LC-MS-Chromatogramm (APCI+; SIM) einer Rapsölprobe mit den selektiven Massenspektren von vier G-FE und den entsprechenden stabilisotopenmarkierten Standards.

So wurden in drei verschiedenen Sonnenblumenölen 40-80 µg/kg Glycidylpalmitat (in allen 3 Proben), 30 µg/kg Glycidylstearat (1), 290-340 µg/kg Glycidyloleat (3) und 1.100-1.700 µg/kg Glycidyllinolat (3) sowie in drei verschiedenen Rapsölen 30 µg/kg Glycidylpalmitat (in 1 Probe), 110-170 µg/kg Glycidyloleat (3), 50-150 µg/kg Glycidyllinolat (3) und 40-50 µg/kg Glycidollinolenat (2) analysiert. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass zwischen den Proben einer Ölsorte deutliche Unterschiede bezüglich der Bildung der G-FE bestehen, die möglicherweise aus unterschiedlichen Herstellungs- bzw. Raffinationsmethoden resultieren.

Anhand einer Vielzahl analysierter Ölproben und den erhaltenen Ergebnissen aus den Einzelbestimmungen wurde ein Vergleich mit den Resultaten von aktuell verwendeten indirekten Summenmethoden („3 in 1“-Methode, Dr. Kuhlmann, SGS; Methode DGF-III 18 (09)) durchgeführt. Dabei wurde über die „3 in 1“-Methode jeweils die Summe aller 2-MCPD-FE, aller 3-MCPD-FE und aller G-FE bestimmt. Die Methode DGF-C-III 18 (09) Teil B liefert die Summe der G-FE über den Differenzwert aus Summe aller 3-MCPD-FE und G-FE und Summe aller 3-MCPD-FE. Der Vergleich bestand aus sieben Proben, die mittels der neu entwickelten direkten DFA-Methode sowie den indirekten SGS- und Methode DGF-C-III 18 (09) (Teil A und B) analysiert wurden (**Tab. 4**).

Tab. 4: Konzentrationen von G-FE in verschiedenen Ölen im Vergleichstest

Probe	G-FE-Konzentrationen als Summe [mg/kg] mittels		
	DFA-Methode	„Methode DGF-C-III 18 (09)“	SGS-Methode
Avocadoöl A	1,38	1,49	1,46
Avocadoöl B	0,98	n.d. ^a	0,97
Sonnenblumenöl	0,35	n.d. ^a	0,43
Palmöl	3,63	2,92	3,32
triglyceridreiches Öl	6,01	5,60	7,99
diglyceridreiches Öl A	70,3	68,5	70,9
diglyceridreiches Öl B	2,40	0,43	2,00

^a: nicht detektierbar.

Im ersten Methodenvergleich zeigte sich eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse der neu entwickelten DFA-Methode zur direkten Quantifizierung der G-FE mittels LC-MS mit den Werten aus der „3 in 1“-Methode der SGS. Einzige Ausnahme war das triglyceridreiche Öl, das eine deutliche Abweichung der über diese beiden Methoden analysierten Konzentrationen zeigte. Im Gegensatz dazu waren die analysierten G-FE-Gehalte über die Methode DGF-C-III 18 (09), Teil A und B nur zum Teil in Einklang mit den Ergebnissen der anderen beiden Methoden. Nur für die Proben Avocadoöl A und diglyceridreiches Öl A konnte eine gute Übereinstimmung festgestellt werden. Alle anderen Werte lagen zum Teil deutlich unter den Vergleichsergebnissen bzw. es konnten gar keine G-FE nachgewiesen werden (Avocadoöl B und Sonnenblumenöl); vgl. **Tab. 4**).

6. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des FEI-Projekts „Untersuchungen zur Bildung von 3-Monochlorpropan-1,2-diol-Fettsäureestern (3-MCPD-FE) in Pflanzenölen und Entwicklung von Strategien zu deren Vermeidung“ wurden umfangreiche technologische und analytische Untersuchungen zur Bildung von 3-MCPD-FE und G-FE durchgeführt sowie mögliche Minimierungsansätze erarbeitet und eine auf LC-MS basierende direkte Analysenmethode für die Bestimmung einzelner G-FE entwickelt. Eine Minimierung der Gehalte an diesen gesundheitlich bedenklichen Substanzen ist dabei grundsätzlich möglich durch

1. Reduzierung oder Vermeidung der Präkursoren im Rohmaterial vor der Verarbeitung und Auswahl geeigneter Ausgangsmaterialien für Öle bzw. Fette,
2. Veränderung der Raffinationsbedingungen und
3. nachträgliche Reduzierung durch geeignete Adsorbentien.

Es ist aber im Rahmen einer Minimierungsstrategie nicht ausreichend, die Raffinationsparameter im bestehenden Prozess zu optimieren, da diese Strategie nur in einem geringen Umfang zur Reduzierung der 3-MCPD-FE und G-FE führt. Vielmehr wurde gezeigt, dass durch die Einführung weiterführender Raffinationsschritte, wie Waschen des Rohöls vor der Raffination, Zusatz von Hilfsstoffen während der Desodorierung, aber auch Einführung der zweistufigen Desodorierung bzw. Kurzwegdestillation eine deutliche Reduzierung erreicht werden kann. Ebenso ist eine nachträgliche Entfernung der G-FE aus den raffinierten Produkten mit Hilfe geeigneter Adsorbentien als Baustein eines Minimierungskonzeptes geeignet.

Eine kurzfristige Umsetzung dieser vielversprechenden Ansätze in die großtechnische Praxis ist jedoch derzeit noch nicht möglich, so dass weiterführende Arbeiten im Rahmen eines sich derzeit in Vorbereitung befindlichen IGF-Anschlussprojektes nötig sind, um die erfolgsversprechenden Minimierungsansätze bis zur großtechnischen Anwendung zu bringen.

7. Danksagung

Das Forschungsvorhaben AiF 16004 BG des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Wir danken dem Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde (BLL), dem Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland (OVID) und den weiteren am Projekt beteiligten Verbänden – der Vereinigung European Vegetable Oil and Proteinmeal Industry in Europe (FEDIOL) sowie dem Malaysian Palm Oil Board (MPOB) – für die finanzielle und praktische Unterstützung.

8. Literatur

- [1] Velisek J, Davidek J, Kubelka V, Bartosova J, Tuckova A, Hajslova J, Janicek G: Formation of volatile chlorohydrins from glycerol (triacetin, tributyrin) and hydrochloric acid. *Z Lebensm- Wiss u Technol* 1979; 12:234-236.
- [2] Davidek J, Velisek J, Kubelka V, Janicek G: New chlorine containing organic compounds in protein hydrolysates. In: *Recent Developments in Food Analysis, Proc. EuroFood Chem I, Vienna, Austria: 17-20 Febr. 1981*. Ed. W. Baltes, P. B. Czedik-Eysenberg, W. Pfannhauser, Weinheim: Deerfield Beach, Florida, 1981, pp. 322-325.
- [3] Sunahara G, Perrin I, Marchesini M: Carcinogenicity study on 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) administered in drinking water to Fischer 344 rats. Unpublished report No. RE-SR93003 submitted to WHO by Nestec Ltd, Research & Development, Switzerland (as cited by WHO, 2002), 1993.
- [4] IARC. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol 101. Some chemicals in industrial and consumer products, some food contaminants and flavourings, and water chlorination by-products. Lyon: International Agency for Research on Cancer (in press)
- [5] Bakhiya N, Abraham K, Gürtler R, Appel KE, Lampen A: Toxicological assessment of 3-chloropropane-1,2-diol and glycidol fatty acid esters in food, *Mol Nutr Food Res* 2011; 55:509-521.
- [6] Habermeyer M, Guth S, Eisenbrand G: Identification of gaps in knowledge concerning toxicology of 3-MCPD and glycidol esters, *Eur J. Lipid Sci. Technol* 2011; 113:314-318.
- [7] BfR (2007) Stellungnahme Nr. 047/2007: Säuglingsanfangs- und Folgenahrung kann gesundheitlich bedenkliche 3-MCPD-Fettsäureester enthalten. 11. Dezember 2007.
- [8] Bührke T, Weisshaar R, Lampen A: Absorption and metabolism of the food contaminant 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD) and its fatty acid esters by human intestinal Caco-2 cells. *Arch Toxicol* 2011; in press, DOI: 10.1007/s00204-011-0657-6.

- [9] Creutzenberg O, Berger-Preiß E: 3-MCPD- und Glycidol-Fettsäureester-
Stand zur Toxikologie - Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit und Metabo-
lisierung. BLL-OVID-Informationsveranstaltung, 2011, 18. Januar 2011, Ber-
lin.
- [10] Barocelli E, Corradi A, Mutti A, Petronini PG: Comparison between 3-MCPD
and its palmitic esters in a 90-day toxicological study, Scientific report sub-
mitted to EFSA 2011.
- [11] Pudiel F, Benecke P, Fehling P, Freudenstein A, Matthäus B, Schwaf A: On the
necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl
esters. *Eur J Lipid Sci Technol* 2011; 113:368-373.
- [12] Matthäus B, Pudiel F, Fehling P, Vosmann K, Freudenstein A: Strategies for the
reduction of 3-MCPD esters and related compounds in vegetable oils. *Eur J
Lipid Sci Technol* 2011; 113:380–386.
- [13] Strijowski U, Heinz V, Franke K: Removal of 3-MCPD esters and related sub-
stances after refining by adsorbent material. *Eur J Lipid Sci Technol* 2011;
113:387-392.
- [14] Gibon V, de Greyt W, Kellens M: Palm oil refining. *Eur J Lipid Sci Technol* 2007;
109:315–335.
- [15] Gibon V, Vila Ayala J, Dijckmans P, Maes J, de Greyt W: Future prospects for
palm oil refining and modifications. *Oléagineux* 2009; 16:193-200.
- [16] Unnithan UR Refining of edible oil rich in natural carotenes and vitamin E.
1999; US Patent 5932261.
- [17] Ooi CK, Choo YM, Yap CM, Ma AN: Refining of red palm oil. *Elaeis* 1996; 8:20–
28.
- [18] Incontech. http://www.incontech.com/equip_syst.htm (10.06.2011).
- [19] McNeill J, Kakuda Y, Kamel B: Improving the quality of used frying oils by
treatment with activated carbon and silica. *J Amer Oil Chem Soc* 1986;
63:1564-1567.
- [20] Yates RA, Caldwell JD: Adsorptive capacity of active filter aids for used coo-
king oil. *J Amer Oil Chem Soc* 1992; 69:894-897.
- [21] Maskan M, Bagci H: Effect of different adsorbents on purification of used
sunflower seed oil utilized for frying. *Eur Food Res Technol* 2003; 217:215-
218.
- [22] Uddin A, Sakata Y, Shiraga Y, Muto A, Murata K: Dechlorination of chlorine
compounds in poly(vinyl chloride) mixed plastics derived oil by solid sor-
bents. *Ind Eng Chem Res* 1999; 38:317-320.

- [23] Kida T, Nakano T, Fujino Y, Matsumura C, Miyawaki K, Kato E, Akashi M: Complete removal of chlorinated aromatic compounds from oils by channel-type-cyclodextrin assembly. *Anal Chem* 2008; 80:317-320.
- [24] Franke K, Strijowski U, Fleck G, Pudiel F: Influence of chemical refining process and oil type on bound 3-chloro-1,2-propanediol contents in palm oil and rapeseed oil. *LWT - Food Sci Technol* 2009; 42:1751-1754.
- [25] DGF Standard Method C-VI 17 (10): Fettsäuregebundenes 3-Chlorpropan-1,2-diol (3-MCPD-Ester) und Glycidol (Glycidylester). Summenbestimmung in Fetten und Ölen durch GC-MS In: Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft: Stuttgart (Germany), 2009.

Prof. Dr. Holger Zorn

Universität Gießen
Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittel-
biotechnologie



Biotechnologische Nutzung von Produktions- nebenströmen: Basidiomyceten als Aroma- produzenten*

1. Einführung

Die am höchsten entwickelte Klasse von Pilzen, die Klasse der Basidiomyceten, umfasst ca. 30.000 Spezies, zu denen auch die meisten Speisepilze zählen (KIRK et al. 2008). Speisepilze erfreuen sich dank ihres häufig ansprechenden Geruchs und Geschmacks sowie ihrer vielfältigen gesundheitsfördernden Inhaltsstoffe bereits seit Jahrtausenden weltweit großer Beliebtheit. Als Wachstumssubstrate nutzen die Pilze organische Materialien, wie beispielsweise Streu, Stroh oder Holz. Um sich diese chemisch nur schwer zugänglichen Materialien als Nahrungsquelle zu erschließen, sekretieren Basidiomyceten ein breites Arsenal an Enzymen in das sie umgebende Substrat. Eine detaillierte Untersuchung dieser Enzyme kann im Rahmen von Sekretomstudien erfolgen. Dabei werden die Pilze unter definierten Bedingungen emers oder submers kultiviert (**Abb. 1**) und die vom Pilz sekretierten Enzyme nach Extraktion aus dem Substrat mittels hochauflösender zweidimensionaler Elektrophorese getrennt (**Abb. 2**). Nach Ausschneiden der einzelnen Proteinspots aus dem Gel und enzymatischer Partialhydrolyse können die gebildeten Peptide mittels Elektrospray-Tandem-Massenspektrometrie ansequenziert werden. Dabei lassen sich *De-novo*-Peptidsequenzen von ca.

* Autoren: H. Zorn¹, R.G. Berger², K. Kunkel¹, A. Bosse¹, M.A. Fraatz¹

¹ Universität Gießen, Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie

² Universität Hannover, Institut für Lebensmittelchemie



Abb. 1: Sub- (links) und Emerskultur (rechts) des Basidiomyceten *Pleurotus sapidus*.

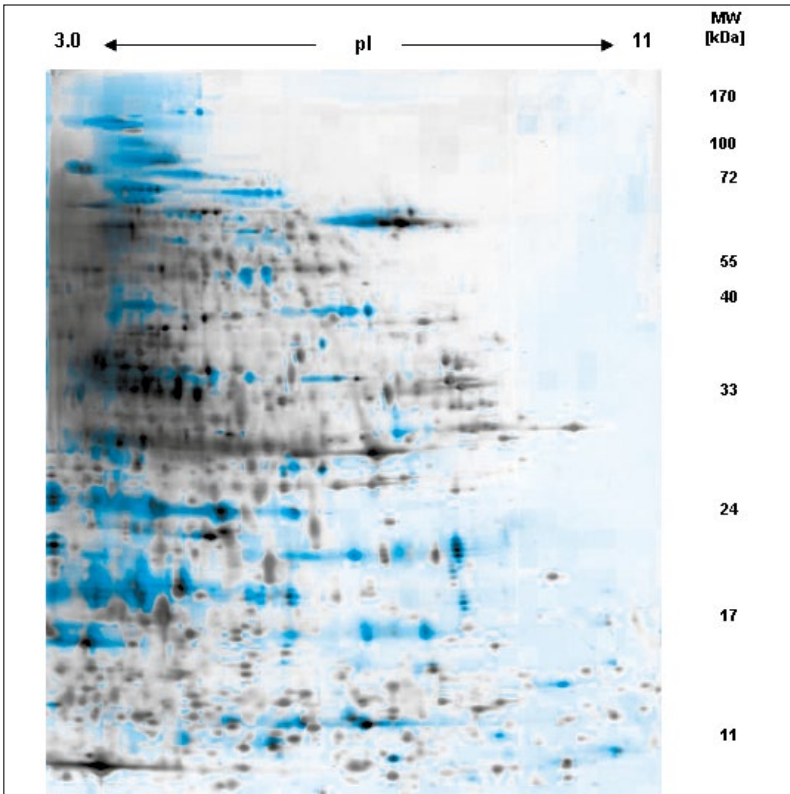


Abb. 2: Sekretomanalyse des Basidiomyceten *P. sapidus* mittels 2-D-Elektrophorese; Vergleich der Sekretome vom 6. (grau) und 12. Kulturtag (blau).

10-20 Aminosäuren ermitteln, auch wenn das Genom der Pilze nicht bekannt ist. Ein Teil der sekretierten Proteine lässt sich so anhand von Datenbankvergleichen direkt bestimmten Enzymklassen zuordnen (**Tab. 1**), bei anderen gelingt dies nach Klonierung der gesamten für das Enzym kodierenden Sequenz aus cDNA-Banken. Das Spektrum der sekretierten Enzyme umfasst eine breite Palette an Hydrolasen (z.B. Cellulasen, Hemicellulasen, Esterasen, Peptidasen) und Oxidoreduktasen (u.a. Laccasen, Peroxidasen, Oxidasen) mit z.T. einzigartigen biochemischen Charakteristika (BOUWS et al. 2008).

Tab. 1: Auswahl extrazellulärer Proteine aus *P. sapidus*; mittels Datenbankrecherche (BLAST) gefundene homologe Proteine (Ausschnitt)

Gelspot	Homologie
351	Xanthophyll-Esterase Precursor [<i>Pleurotus sapidus</i>]
384	POXA3a Laccase [<i>Pleurotus ostreatus</i>]
396	Laccase [<i>Pleurotus ostreatus</i>]
407	Endocellulase [<i>Polyporus arcularius</i>]
412	Arabinosidase [<i>Armillariella tabescens</i>]
432	Peptidase 1 [<i>Pleurotus ostreatus</i>]
444	Aminopeptidase [<i>Agaricus bisporus</i>]
452	Cellobiohydrolase II [<i>Lentinus sajor-caju</i>]
457	Sekretierte Esterase [<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i> str. B100]
461	Endo-1,6- α -mannosidase [<i>Laccaria bicolor</i> S238N-H82]
468	Xylanase [<i>Pleurotus ostreatus</i>]
476	Aspartat-Peptidase A1 [<i>Laccaria bicolor</i> S238N-H82]
489	Acetylxy lanesterase [<i>Volvariella volvacea</i>]
494	Mannanase [<i>Armillariella tabescens</i>]
517	Cellobiosedehydrogenase [<i>Grifola frondosa</i>]
525	Arylkoholoxidase Precursor [<i>Pleurotus eryngii</i>]

Ähnlich wie Stroh und Holz enthalten auch zahlreiche Neben- und Reststoffströme der Lebensmittelindustrie Lignocellulosen, die als Wachstumssubstrat für die Pilze, gleichzeitig aber auch als potentielle Precursoren für die Bildung von Aromastoffen dienen können. Die gilt insbesondere auch für pflanzliche Sekundärmetabolite, wie beispielsweise Terpenoide, Glucosinolate und Phenole.

Da der Bedarf an natürlichen Aromastoffen weltweit kontinuierlich steigt, die traditionellen pflanzlichen Ressourcen aber begrenzt sind, stellt die Gewinnung von natürlichen Aromen aus Neben- und Reststoffströmen durch Biotransformation mit essbaren Basidiomyceten eine faszinierende Perspektive dar.

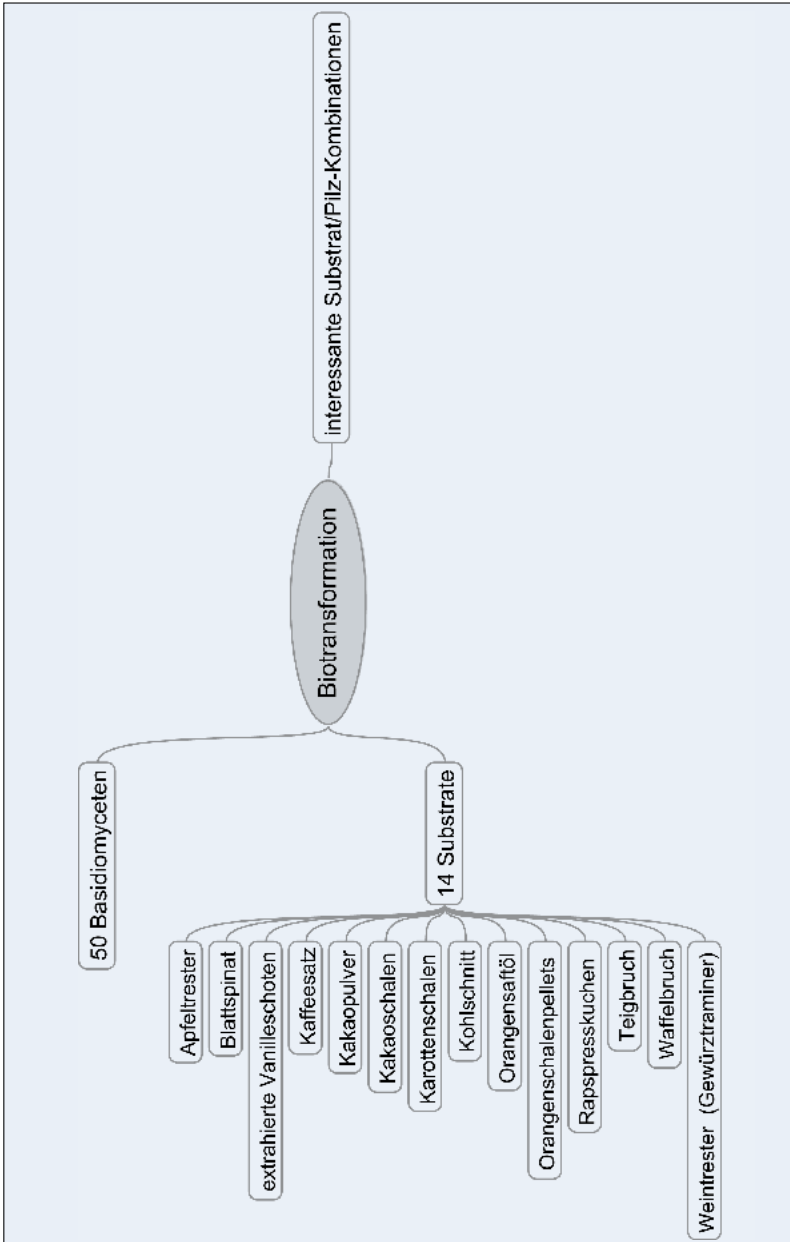


Abb. 3: Biotransformation von Neben- und Reststoffströmen der Lebensmittelindustrie zu natürlichen Aromagemischen durch Basidiomyceten.

2. Konzept und Methoden

In einem Screening wurden unterschiedliche Rest- und Nebenstoffströme der Lebensmittelindustrie mit 50 vorselektierten Basidiomyceten umgesetzt (**Abb. 3**). Die Substrate dienen den Pilzen in einem stickstoffhaltigen Minimalmedium als einzige Kohlenstoffquelle. Nach olfaktorischer Bewertung der Kulturen wurden die interessantesten Stamm/Substrat-Kombinationen ausgewählt und analytisch charakterisiert (**Abb. 4**). Dazu wurden die Kulturen zentrifugiert und die Überstände mit Lösungsmittel extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen wurden über wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet, mittels Vigreux-Kolonnen eingeeengt und zur Quantifizierung mit internem Standard versetzt. Bei der Untersuchung mittels GC/O wurde der am Olfaktometriedetektorport (ODP) wahrgenommene Geruchseindruck mit Hilfe eines Signalgebers aufgezeichnet (ODP-Spur). Die Retentionsindizes (KI) der Analyten wurden nach KOVÁTS bestimmt (Kováts 1958). Die gebildeten Hauptaromakomponenten wurden mittels Aromaextrakt-Verdünnungsanalyse (AEVA) ermittelt. Dabei wird die Probe solange mit Lösungsmittel verdünnt, bis mittels GC/O keine Aromastoffe mehr wahrgenommen werden. Auf diese Weise wird für alle aromaaktiven Verbindungen ein Verdünnungsfaktor (FD-Faktor) bestimmt, wobei die Verbindungen mit den höchsten FD-Faktoren maßgeblich für das Aroma der Probe verantwortlich sind (GROSCH 1990).

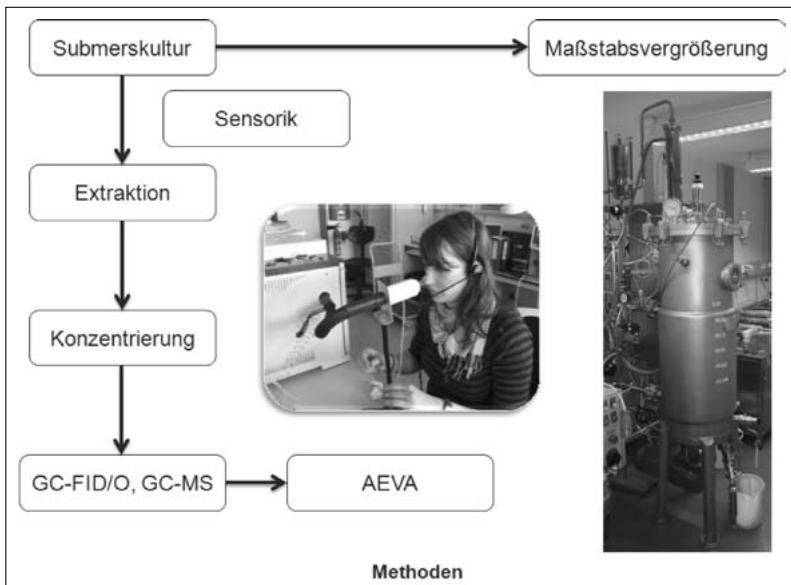


Abb. 4: Fließschema zum experimentellen Vorgehen.

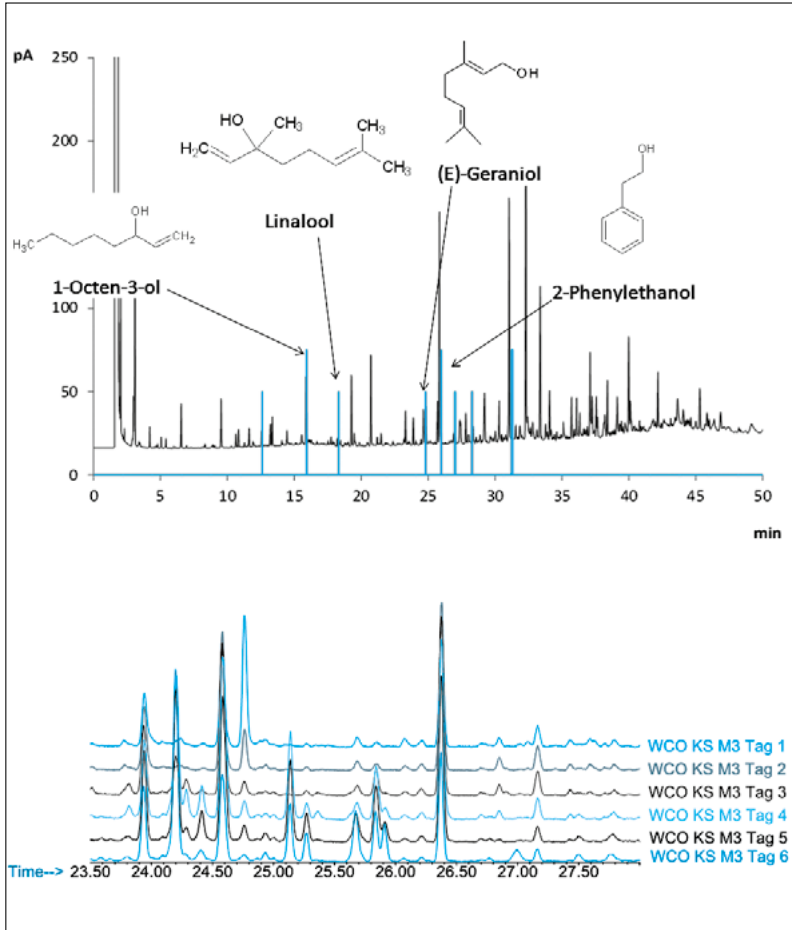


Abb. 5: Biotransformation von Karottenschalen mit *W. cocos*; GC/FID/O-Chromatogramm; blau: ODP-Spur (oben) und kinetische Kopfraumanalyse (Ausschnitt) mittels Festphasenmikroextraktion (unten).

Über den Kulturverlauf hinweg wurde die Bildung flüchtiger Verbindungen zusätzlich mittels Festphasenmikroextraktion verfolgt. Als Referenzen dienen Kulturen der jeweiligen Pilze in einem Standardnährmedium sowie die analytische und sensorische Charakterisierung der Substrate selbst.

3. Ergebnisse

Mit zahlreichen Pilz/Substrat-Kombinationen wurden interessante Geruchseindrücke gebildet. Beispielsweise wurden bei der Biotransformation von Karottenschalen durch *W. cocos* pilzartige, blumige und frische Geruchseindrücke generiert, die insbesondere auf 1-Octen-3-ol, Geraniol, Linalool und 2-Phenylethanol zurückzuführen waren (**Abb. 5**). In einem ersten Schritt zur Maßstabsvergrößerung wurde das Kulturvolumen um den Faktor 30 vergrößert. Der Gesamtgeruchseindruck und die gaschromatographische Auswertung bestätigten dabei die gleichbleibende Aromabildung im Fermenter.

Die Biotransformation von Weintrester durch *T. chioneus* lieferte blumige, schwere und an Trompetenbaumblüten erinnernde Aromen. Als Schlüsselaromastoffe der Biotransformation von Weintrester durch *T. chioneus* wurden 3-Phenylpropanal und 2-Phenylethanol mittels AEVA identifiziert. Der Geruchseindruck von 3-Phenylpropanal wird als grün und blumig beschrieben, der von 2-Phenylethanol erinnert an Rosen (RANSON und BELITZ 1992, SAN-JUAN et al. 2010). Zusätzlich trugen 3-Phenylpropanol und Phenyllessigsäuremethylester zum blumigen, schweren Geruchseindruck bei (**Abb. 6**).

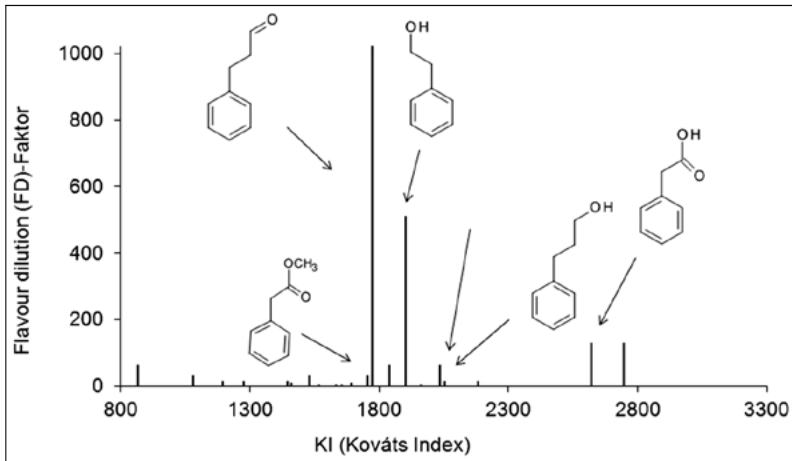


Abb. 6: Biotransformation von Weintrester (Gewürztraminer) mit *T. chioneus*; FD-Chromatogramm.

Bei der Biotransformation des aus Orangensaftölen gewonnenen Sesquiterpenkohlenwasserstoffs Valencen mit *P. sapidus*, einem engen Verwandten des Austerseitlings, entstanden in geringen Konzentrationen α - und β -Nootkatol sowie

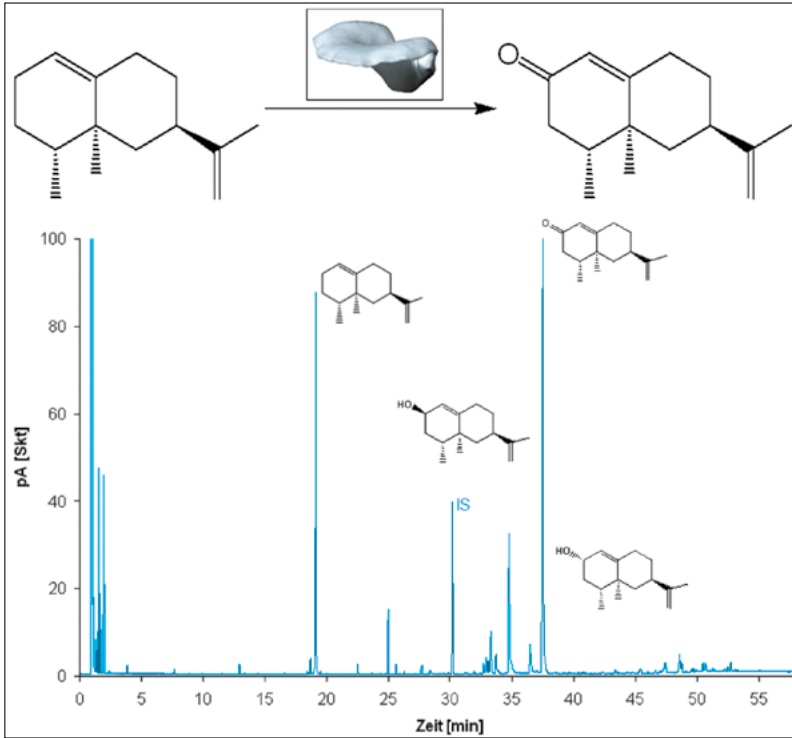


Abb. 7: Biotransformation von Valencen zu (+)-Nootkaton durch Lyophilisate von *P. sapidus*; IS = interner Standard zur Quantifizierung.

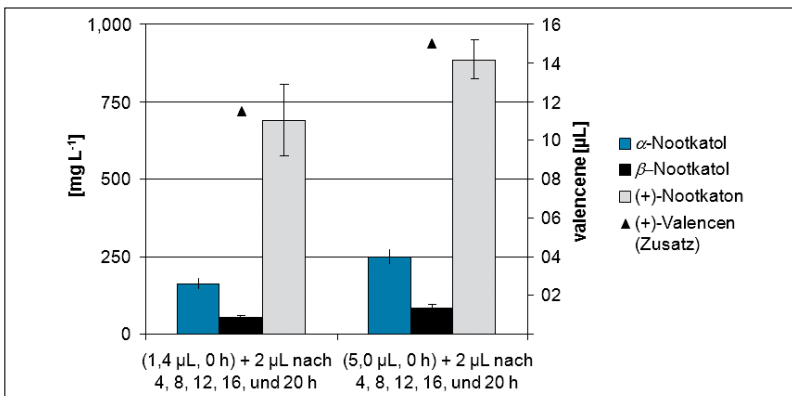


Abb. 8: Produktbildung bei der Biotransformation von Valencen zu (+)-Nootkaton in einem Fed-Batch-Verfahren.

als Hauptprodukt (+)-Nootkaton (**Abb. 7**). (+)-Nootkaton findet wegen seines intensiven Grapefruitgeruchs breite Anwendung in der Aromatisierung von Lebensmitteln. In Pflanzen wird (+)-Nootkaton nur in Spuren akkumuliert, weshalb eine extraktive Gewinnung nicht wirtschaftlich ist. Hohe Ausbeuten wurden in einem *Fed-Batch*-Verfahren erzielt, wenn das Pilzmyzel vor der Zugabe von Orangensaftöl bzw. Valencen aufgeschlossen wurde (**Abb. 8**). Als prinzipiell geeignete Verfahren für den Zellaufschluss erwiesen sich die Homogenisierung mittels Hochdruck, der Myzelaufschluss in einer Rührwerkskugelmühle sowie insbesondere die Gefrierdrying.

Zur Vorbereitung der industriellen Umsetzung des Verfahrens wurde der Maßstab der Anzucht von *P. sapidus* vergrößert. In einem 300-L-Bioreaktor wurden bis zu 100 L Kultur unter besonderer Berücksichtigung der Schaumunterdrückung kultiviert. Dabei erwies sich das Antischaummittel Polypropylenglykol P 2000 als besonders geeignet. Das Wachstum (135 g L^{-1} Biofeuchtmasse) und die Aktivität des Lyophilisats waren vergleichbar mit einer Kultur, welche parallel in Schüttelkolben gezüchtet wurde.

Das Valencen oxidierende Enzym wurde biochemisch charakterisiert und mittels chromatographischer und elektrophoretischer Methoden gereinigt. Peptidsequenzen, welche durch massenspektrometrische Untersuchungen (ESI-tandem-MS) erhalten wurden, zeigten Homologien zu Oxygenasen verschiedener Ascomyceten. Basierend auf diesen Peptidsequenzen wurde die kodierende cDNA mittels PCR aus *P. sapidus* amplifiziert. In Datenbankrecherchen zeigte die übersetzte Sequenz aus 653 Aminosäuren eine 26%ige Homologie zur Lipoxygenase-1 aus Soja. Basierend auf der Kristallstruktur des Sojaenzym wurde die 3-D-Struktur des Enzyms modelliert (**Abb. 9**).

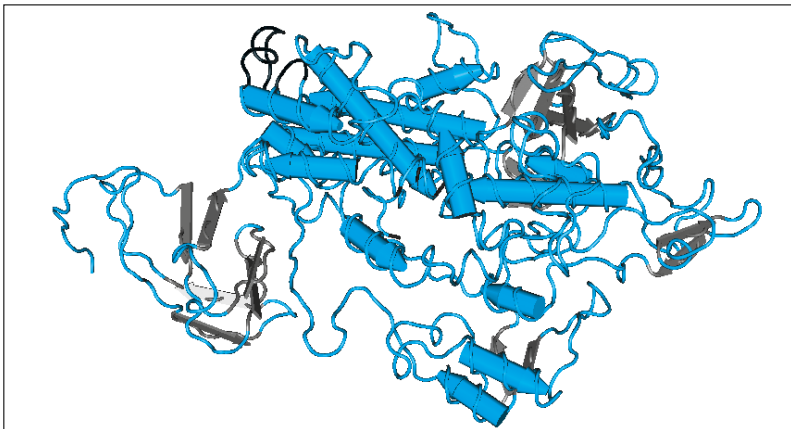


Abb. 9: Strukturmodell der Oxygenase aus *P. sapidus*.

4. Fazit

Die Kultivierung von Basidiomyceten mit verschiedenen Neben- und Reststoffströmen der Lebensmittelindustrie führte zur Bildung einer Vielzahl komplexer und interessanter Aromastoffgemische. Dabei werden Lebensmittel in Form von Speisepilzen als Biokatalysatoren genutzt. Diese Katalysatoren stehen aufgrund der guten Kultivierbarkeit der Pilze in nahezu unbegrenztem Umfang zur Verfügung. Die Schlüsselaromakomponenten wurden mittels Aromaextrakt-Verdünnungsanalysen bestimmt. Mittels Festphasenmikroextraktion war es möglich, die Aromabildung sowie den Abbau flüchtiger Stoffe direkt in den Schüttelkolben und nach Probenentnahme im Bioreaktor zu verfolgen.

5. Danksagung

Das Vorhaben AiF 299 ZN des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

6. Literatur

- [1] Bouws H, Wattenberg A, Zorn H (2008) Fungal Secretomes – Nature's toolbox for white biotechnology. *Appl Microbiol Biotechnol* 80: 381-388.
- [2] Grosch W (1990): Analyse von Aromastoffen. *Chem unserer Zeit* 24: 82-89.
- [3] Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA (2008): *Dictionary of the fungi*. CAB International, 10. Auflage, Wallingford.
- [4] Kováts E (1958): Gas-chromatographische Charakterisierung organischer Verbindungen. Teil 1: Retentionsindices aliphatischer Halogenide, Alkohole, Aldehyde und Ketone. *Helv Chim Acta* 41: 1915-1932.
- [5] Ranson C von, Belitz H (1992): Untersuchungen zur Struktur-Aktivitätsbeziehung bei Geruchsstoffen. *Z Lebensm Unters Forsch* 195: 523-526.
- [6] San-Juan F, Pet'ka J, Cacho J, Ferreira V, Escudero A (2010): Producing headspace extracts for the gas chromatography-olfactometric evaluation of wine aroma. *Food Chem* 123: 188-195.

Prof. Dr. Rudi F. Vogel

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie



Bewertung von Starterkulturen in der Rohwurstproduktion: Am Scheideweg zwischen Aroma und Sicherheit

1. Einführung

In den letzten Jahren wurden in Industrie und Forschung Stammsammlungen aufgebaut, die mangels klarer Auswahlkriterien und schneller Bewertungsmethoden ungenutzt bleiben. Zudem erfordert die von der EFSA vorgeschlagene „Qualified Presumption of Safety (QPS)“ eine konkrete Wissensbasis für Starterkulturen (Taxonomie, Abwesenheit des Potenzials unerwünschter Wirkungen auf den Menschen, Kenntnis der Wirkung in der industriellen Anwendung und letzte Verwendung – hier lebend im Produkt) (VOGEL et al., 2011). Demgegenüber steht ein wachsender Anspruch an die Fähigkeit von Starterkulturen, Verbindungen mit technofunktionellen und sensorisch erwünschten Eigenschaften zu bilden, unter gleichzeitiger Reduktion unerwünschter Metabolite bzw. biogener Amine. Die molekulare Sensorik, die Bestimmung der Genomsequenz von >20 *Lactobacillus*-Species und der Fortschritt bei der Durchführung metabolischer Analysen erlauben eine umfassende Bewertung von Starterorganismen. Ein Test auf An- bzw. Abwesenheit von Leitgenen ermöglicht eine schnelle Auswahl und Bewertung von Stämmen. Dies ist bisher nur für Milchsäurebakterien in der Milchwirtschaft etabliert.

Die Rohwurstreifung ist ein komplexes Geschehen, bei dem endogene Fleischenzyme und die eingesetzten Starterkulturen eine wichtige Rolle hinsichtlich hygienischer Sicherheit sowie Textur-, Farb-, Geschmack- und Aromabildung spielen. Die pH-Absenkung durch die Milchsäurebakterien sowie die Lipolyse und

Proteolyse mit ihren Folgereaktionen sind für diese Eigenschaften bestimmend. Hinsichtlich Sicherheit und Aromabildung ist der Metabolismus von Peptiden und Aminosäuren von besonderer Bedeutung, da die Bildung toxikologisch bedenklicher biogener Amine und sensorisch bedeutsamer Substanzen aus denselben Vorstufen erfolgt. Neben den endogenen Fleischenzymen sind fakultativ heterofermentative Milchsäurebakterien, z. B. *Lactobacillus*-Arten, wie *L. sakei*, *L. curvatus* oder *L. plantarum*, *Pediococcus*-Arten, wie *P. pentosaceus* sowie die *Staphylococcus*-Arten *S. carnosus* und *S. xylosus* beteiligt (WEBER, 2003; GÄNZLE, 2003).

Eine Bewertung von Starterorganismen für die Rohwurstreifung entlang ihres genetischen Potenzials erleichtert und beschleunigt deren gezielte Auswahl. Hierfür bedarf es der Identifizierung von Schlüsselgenen, die für wesentliche Eigenschaften kodieren, anhand derer die Sicherheit und Performance in Lebensmittelfermentationen beurteilt werden kann. Für diese Gene können dann Nachweissysteme entwickelt werden, mit denen in schnellen Screeningverfahren eine Vielzahl von Stämmen auf ein entsprechendes Potenzial hin untersucht werden kann. Dies ermöglicht die Auswahl geeigneter, aber bisher ungenutzter Stämme, so dass eine aufwändige biochemische und praxisorientierte Prüfung auf wenige vielversprechende Isolate beschränkt werden kann.

2. Aminosäuremetabolismus in Milchsäurebakterien

Der größte Teil an Aminosäuren in einem Lebensmittelrohstoff liegt in Proteinen gebunden vor, die bei der Verarbeitung durch die Peptidasen der Rohstoffe und/oder extrazelluläre Peptidasen der Mikroorganismen in Peptide und Aminosäuren gespalten und nachfolgend in die Zellen transportiert werden. Eine Übersicht für Milchsäurebakterien geben SAVIJOKI et al., 2006. Milchsäurebakterien nehmen bevorzugt Peptide auf. Der Transport von Peptiden in die Zelle erfolgt meist durch einen Oligopeptidtransporter (Opp), der Peptide einer Kettenlänge von bis zu 35 Aminosäuren transportieren kann. Zusätzlich haben Milchsäurebakterien zwei Transportsysteme für Di- und Tripeptide (DtpT und Dpp), die jeweils bevorzugt hydrophile bzw. hydrophobe Aminosäuren binden. Des Weiteren verfügen Milchsäurebakterien über eine wechselnde Anzahl von Aminosäuretransportern.

Der Aminosäuremetabolismus folgt in verschiedenen Organismen grundsätzlichen Reaktionsabläufen, die durch wenige, zum Teil bekannte Schlüsselenzyme katalysiert werden. Daher ist die Palette an möglichen Metaboliten ebenfalls grundsätzlich ähnlich. Eine Übersicht gibt **Abb. 1**. Der erste Schritt des Aminosäuremetabolismus ist entweder eine Decarboxylierung, bei der biogene Amine entstehen oder eine Transaminierung unter Bildung der α -Ketosäure, aus der in der Folge flüchtige Verbindungen gebildet werden, die zum Aroma fermentierter Lebensmittel beitragen können. Hier beginnt der Scheideweg zwischen Sicherheit und Aroma.

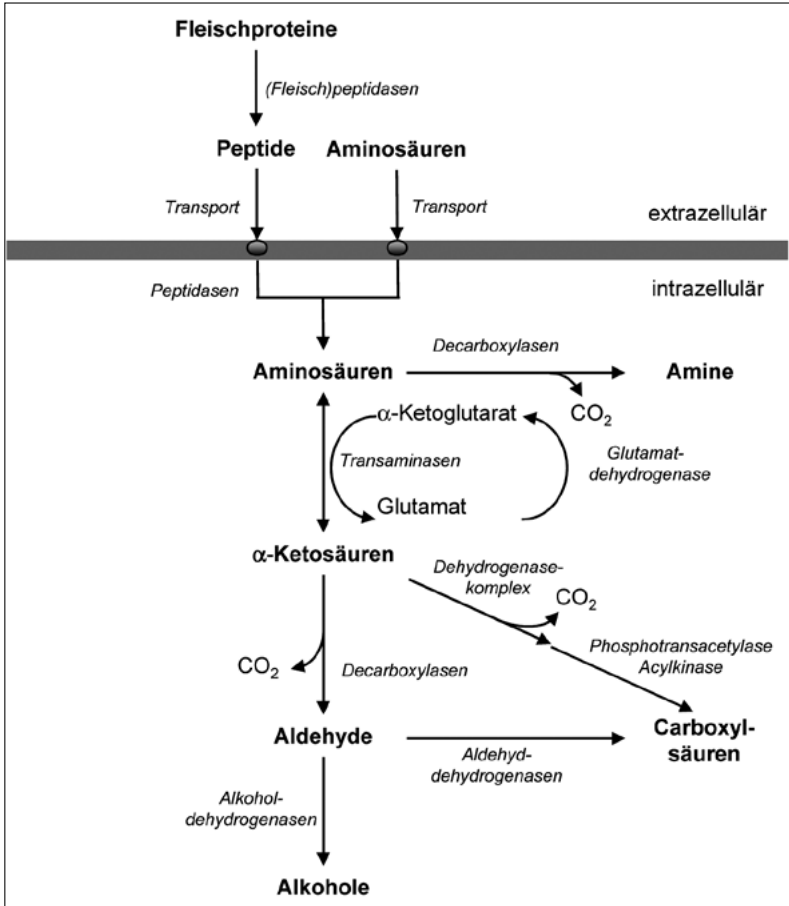


Abb. 1: Übersicht über Stoffwechselwege von Peptiden und Aminosäuren von Starterkulturen in Rohwurstfermentationen und deren Verknüpfung zur Bildung biogener Amine gegenüber Aromastoffen.

3. Biogene Amine

Durch die Decarboxylierung von Aminosäuren können (in Rohwurst) potenziell toxische biogene Amine entstehen (STRAUB et al., 1995). Besondere Bedeutung hat hierbei Histamin, das durch Decarboxylierung von Histidin gebildet wird. Dieses kann bei hohen Dosen (ab ca. 10 mg/kg) und bei Menschen mit Histaminintoleranz auch in Spuren allergieähnliche Symptome verursachen. Besonders empfindlich reagieren Menschen mit einer eingeschränkten Funktionalität der Diaminoxidase oder Histamin-N-Methyltransferase. Auch für Tyramin sind ge-

sundheitsschädliche, insbesondere blutdrucksteigernde Wirkungen bekannt, die bis zum Infarkt reichen können.

In manchen Mikroorganismenstämmen kann die Bildung biogener Amine ein favorisierter Weg sein, da die Organismen hierbei zusätzliche Energie gewinnen können. Nach dem Transport in die Zelle wird z. B. Histidin decarboxyliert. Das entstehende Histamin nimmt ein Proton auf und wird im Gegentausch mit Histidin wieder aus der Zelle transportiert. Analoges gilt für die Decarboxylierung von Tyrosin. Die hierbei transportierten Protonen tragen zum Aufbau des Protonen-Gradienten bei, der wiederum die ATPase (proton motive force) antreibt (MOLENAAR et al., 1993, WOLKEN et al., 2006). Die Amine ermöglichen damit die ATP-Bildung sowie eine intrazelluläre pH-Homöostase und damit das Überleben bei niedrigem pH-Wert. Ein vergleichbarer Effekt für die Zelle kann jedoch auch aus dem Metabolismus von Arginin (ZUNIGA et al., 1998) oder Glutaminsäure erwachsen, bei dem Ammonium entsteht und der ebenfalls mit energieliefernden (Transport-)Reaktionen verbunden ist. Die jeweils verwendeten biochemischen Mechanismen sind stammabhängig. Deswegen ist es möglich, anhand geeigneter Marker harmlose Spezies oder Stämme zu identifizieren, die keine biogenen Amine bilden und dennoch im Milieu Rohwurst wettbewerbsstark sind.

4. Bildung flüchtiger Verbindungen aus Aminosäuren

Nach der Transaminierung können unterschiedliche Stoffwechselprodukte entstehen (**Abb. 1**). Welche Verbindungen gebildet werden und in welchen Verhältnissen, ist sowohl stamm- als auch milieubedingt. Bei der Transaminierung wird die am α -C-Atom gebundene Aminogruppe von einer Transaminase auf α -Ketoglutarat übertragen (VOET et al., 2002). Der tatsächliche Aminosäureumsatz wird daher nicht nur von der An- oder Abwesenheit des Enzyms bestimmt, sondern auch von der Verfügbarkeit wichtiger Kosubstrate, wie α -Ketoglutarat und NAD(P)H, die die Transaminierung oder die Reduktion ermöglichen. Die Verfügbarkeit unterschiedlicher Substrate, Kofaktoren und Enzyme sowie deren Regulation führen somit in unterschiedlichen Organismen zu unterschiedlichen Metabolismustern. Von besonderer Bedeutung für die Bildung aromaaktiver, flüchtiger Substanzen ist der Metabolismus der verzweigtkettigen Aminosäuren Leucin, Valin und Isoleucin, der aromatischen Aminosäuren, insbesondere Phenylalanin, und der schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein. Je nach der von Co-Substraten bestimmten Redox-Lage in der Zelle entstehen bevorzugt Alkohole, Aldehyde oder Hydroxy- bzw. Carboxylsäuren. Beispielhaft entstehen aus Leucin 3-Methylbutanol, 3-Methylbutanal oder 3-Methylbuttersäure, die – jeweils für sich alleine genommen – unterschiedliche Geruchseindrücke abgeben (GUTSCHE et al., 2011). Stressfaktoren, insbesondere Säurestress, können das Verhältnis dieser Metabolite verändern (SERRAZANETTI et al., 2011). Erst das Zusammenspiel verschiedener Aromastoffe, die jeweils einen Schwellenwert überschreiten müssen, wird als „Rohwurstaroma“ wahrgenom-

men. Die Identifizierung von Markerenzymen und -genen muss sich deswegen zunächst auf die grundsätzliche Ausstattung der Organismen hinsichtlich Transport, Peptidolyse und der Schlüsselreaktion der Transaminierung konzentrieren.

5. Identifizierung sicherer Stämme

Zunächst wurden 51 Stämme von *L. sakei* und 28 Stämme von *L. curvatus* auf die Fähigkeit, biogene Amine zu bilden, untersucht. Hierzu wurden einerseits biochemische Tests für die Bildung der Amine durchgeführt. In diesem physiologischen Screening wurde eine Histidin-Decarboxylase-Aktivität nur bei einem *L. sakei*-Stamm beobachtet, der als positive Kontrolle eingesetzt war. Eine Tyrosin-Decarboxylase-Aktivität wurde in keinem der *L. sakei*-Stämme, jedoch in 18 *L. curvatus*-Stämmen gemessen. In der Folge wurden PCR-Primersets für die Erkennung der Gene dieser Enzyme (*hdc*, *tdc*) entwickelt und für ein Screening dieser Stämme eingesetzt. Für die *L. sakei*-Stämme war das Ergebnis entsprechend des physiologischen Tests. Allerdings wurden 19 PCR-positive *L. curvatus*-Stämme gefunden (FREIDING et al., 2011a). **Abb. 2** zeigt die entsprechenden Reaktionen

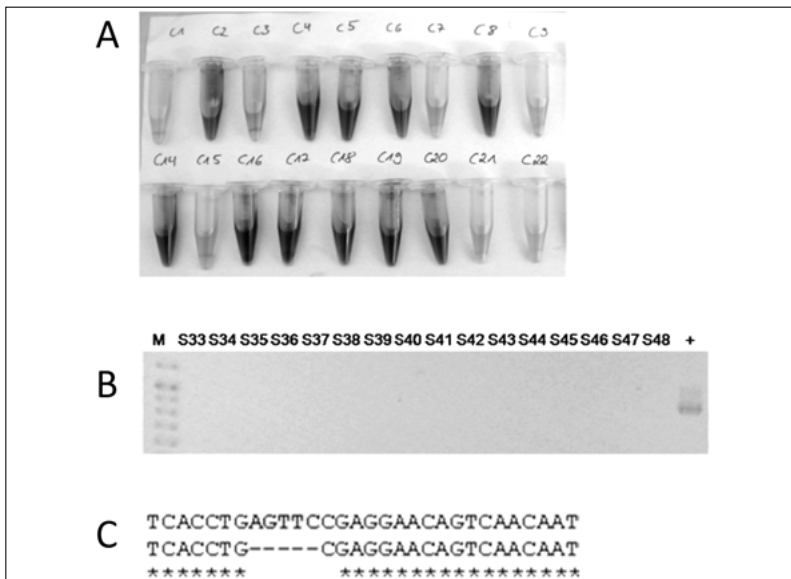


Abb. 2: Screening von *Lactobacillus-curvatus*-Stämmen auf Tyrosin-Decarboxylase-Aktivität und -gene (*tdc*). A: Physiologischer Test auf Tyraminbildung (dunkle Proben sind positiv). B: PCR-Test auf das *tdc*-Gen (M: Größenmarker, +: positive Probe). C: Obere Sequenz aus intaktem TDC-Gen; untere Sequenz aus defektem *tdc*-Gen, das im PCR-Test positiv ist, jedoch kein funktionstüchtiges Enzym kodiert.

einer Auswahl der untersuchten Stämme. Es konnte gezeigt werden, dass der zusätzliche positive Stamm ein *tdc*-Gen trägt, das nachgewiesen werden kann, jedoch aufgrund einer Mutation kein funktionelles Enzym kodiert. Grundsätzlich steht damit ein PCR-Screening-System zur Verfügung, das nur eine geringe Zahl falsch positiver Stämme miterkennt und damit als Schnelltest geeignet ist, sichere Stämme ohne Potenzial zur Bildung biogener Amine auszuwählen.

6. Identifizierung „aromaaktiver“ Stämme

Der kombinierte Ansatz aus Physiologie und genetischem Screening wurde auf die Identifizierung von Schlüsselgenen des Aminosäuremetabolismus erweitert. Alle Milchsäurebakterien-Stämme sowie ein in der Rohwurstreifung regelmäßig damit kombinierter *Staphylococcus-carnosus*-Stamm wurden zunächst in einem Modellsystem in Labormedien gezüchtet und auf das Spektrum gebildeter flüchtiger Metabolite mittels SPME-GC-MS untersucht. Hierbei zeigte sich, dass die Spektren flüchtiger Metabolite („Volatilome“) aller Stämme von *L. sakei* und *L. curvatus* untereinander sehr ähnlich waren (FREIDING et al., 2011a, GUTSCHE et al., 2011), sich jedoch von demjenigen des *S. carnosus*-Stamms klar unterschieden. Ein Beispiel ist in **Abb. 3** gegeben. Ausgewählte Stämme von *L. sakei*, *L. curvatus* und *S. carnosus* wurden in Rohwurstfermentationen im Labormaßstab eingesetzt und aromarelevante Metabolite bestimmt. Die hierbei erhaltenen Metabolitspektren sind denjenigen der Modelle, in denen u. a. auch Fleischextrakt eingesetzt wurde, sehr ähnlich.

Durch PCR-Analytik wurde die An- oder Abwesenheit von Genen untersucht, die am Transport von Peptiden und Aminosäuren, der intrazellulären Peptidspaltung, der Decarboxylierung und der Transaminierung beteiligt sind. Hierbei zeigte sich, dass alle *L. sakei*- und *L. curvatus*-Stämme den Oligopeptidtransporter *Opp* und ein umfassendes Set an intrazellulären Peptidasen haben (FREIDING et al., 2011a). Eine Übersicht über die Ausstattung mit Genen, die Enzyme des Peptidstoffwechsels kodieren, gibt **Abb. 4**. Entscheidend für die am Scheideweg im Metabolismus von Aminosäuren eingeschlagene Richtung ist demnach neben der Abwesenheit von Decarboxylasen das Vorhandensein einer effektiven Transaminase. Im Genom von *L. sakei* sind mit *arcT* und *aspD* nur zwei Gene vorhanden, die Homologien zur bekannten Transaminase zeigen. Durch enzymatische Untersuchungen der in *Escherichia coli* heterolog exprimierten Gene konnte jedoch gezeigt werden, dass diese Proteine entgegen der *In-silico*-Vorhersage keine Transaminase-Aktivität besitzen. Ein Gen für die Aminotransferase *IlvE*, die für die Transaminierung der verzweigt-kettigen Aminosäuren erforderlich ist, ist jedoch in *L. sakei* nicht vorhanden. Dagegen besitzen andere Organismen, die in der Rohwurstreifung eingesetzt werden oder als Kontaminanten auftreten, solche Gene. Diese zeigen jedoch insgesamt wenige Homologien. Damit ist nicht völlig auszuschließen, dass *L. sakei* doch eine geeignete Aminotransferase besitzt, diese jedoch keine Homologie zu bisher bekannten *IlvE*-Sequenzen hat.

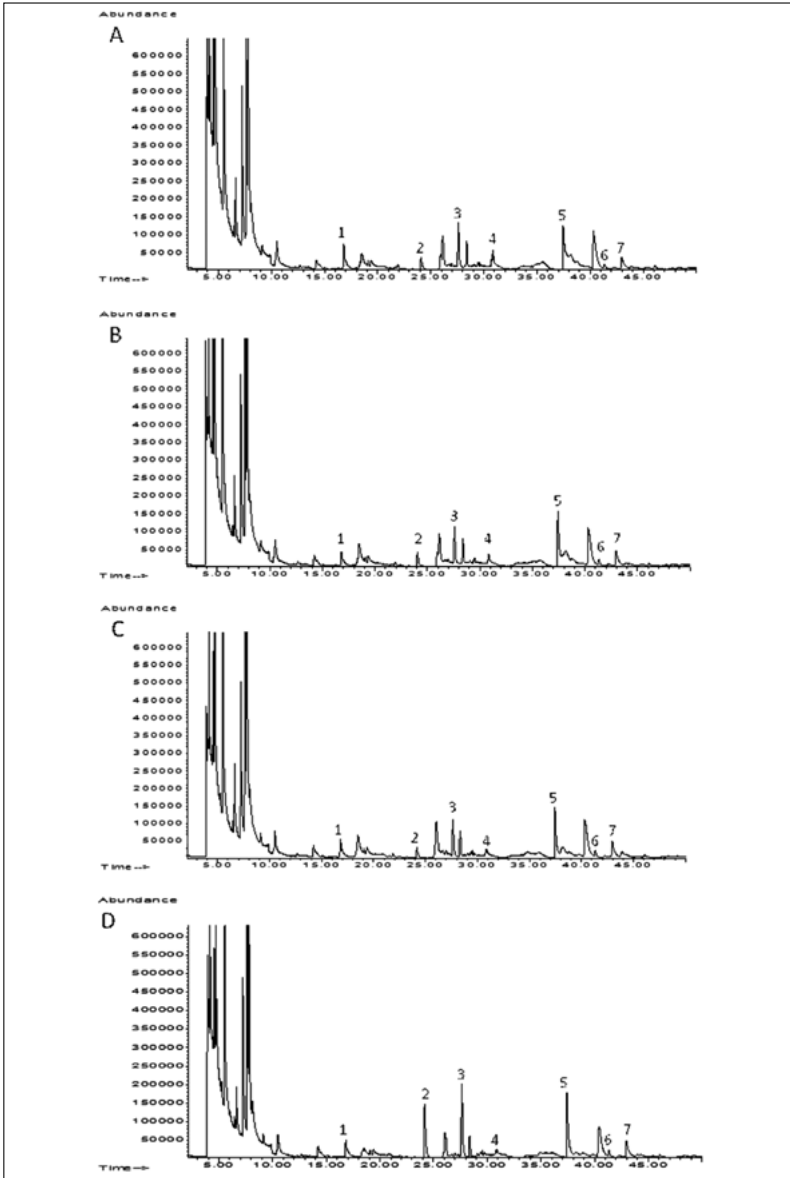


Abb. 3: Flüchtige Metabolite – Kopfraum von Kulturen nach 5 Tagen Fermentation. *L. sakei* 23 K (A), *L. sakei* TMW 1.1393 (B), *L. curvatus* DSM 20019 T (C), *L. curvatus* TMW 1.1381 (D); 1: Dimethyldisulfid, 2: 1-Butanol, 3: 2-Methyl-1-butanol/3-Methyl-1-butanol, 4: 3-Hydroxy-2-butanon, 5: Essigsäure, 6: 2-Methylpropansäure, 7: Buttersäure.

Die heterologe Expression von Transaminasen aus *S. carnosus*, *Enterococcus faecalis* und einem probiotischen Stamm von *Lactobacillus paracasei* in *L. sakei* sollte deswegen zeigen, ob die Transaminierung tatsächlich einen *bottleneck* im Aminosäuremetabolismus darstellt. Zudem kann auf diese Weise auch untersucht werden, inwiefern sich Aminotransferasen in einem ansonsten isogenen Hintergrund auf die Bildung flüchtiger Metabolite auswirken. Dazu wurden diese Transaminasen auf multicopy-Plasmiden unter der Kontrolle des starken *ldhL*-Promoters in *L. sakei* eingebracht. Zum Nachweis einer effektiven Expression wurden diese Gene transcriptional mit dem Gen für das rot fluoreszierende Protein mCherry gekoppelt. **Abb. 5** zeigt eine schematische Darstellung dieser Konstrukte. Die Transaminase von *S. carnosus* wurde zudem mit Hilfe eines Integrationsvektors in das Chromosom von *L. sakei* integriert (FREIDING et al., 2011b). Durch Enzymtests an zellfreien Rohextrakten konnte gezeigt werden, dass die Transaminierung von Aminosäuren in *L. sakei* für die Bildung flüchtiger Aromastoffe limitierend ist und in allen Zellextrakten mit heterolog exprimierten Transaminasen erhöht ist. Allerdings konnte an ganzen Zellen auch nach Gabe von Aminosäuren als Vorstufen keine signifikante Erhöhung in der Bildung flüchtiger Metabolite beobachtet werden. Dies deutet daraufhin, dass die (schwache) Transaminasereaktion in *L. sakei* nicht der einzige *bottleneck* für die Bildung flüchtiger Substanzen ist. Vielmehr sind weitere Limitierungen, insbesondere durch den eingeschränkten Transport von Aminosäuren, möglich. Auch hier fehlen dem „Minimalisten“ *L. sakei*, der sich offenbar sehr stark an das Rohwurstsystem angepasst hat, entsprechende Gene für Aminosäuretransporter. Vielmehr ist er auf die Aufnahme von Peptiden spezialisiert, deren Aminosäuren er nach Peptidolyse offenbar vorzugsweise für den Aufbau zellulärer Proteine verwendet.

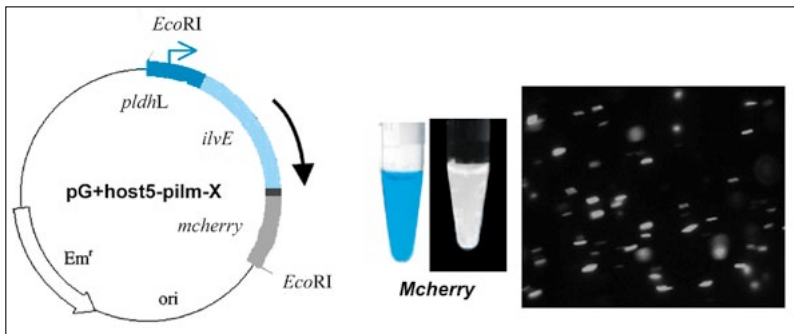


Abb. 5: Expression von Aminosäuregenen (*ilvE*) unter der Kontrolle des Laktatdehydrogenase-Promoters (*pldhL*) in *Lactobacillus sakei* über replikative Vektoren. Ori: Replikationsursprung des Plasmids, Emr': Erythromycin-Resistenzgen, EcoRI: Schnittstelle für Konstrukteinbau ins Plasmid. Mcherry ist transcriptional an *ilvE* gekoppelt: Kultur ist lila (hier: blau) und fluoresziert pink (hier: weiß). Einzelzellen leuchten rot (hier: weißgrau) im Fluoreszenzmikroskop, wenn sie die Aminosäuretransferase und damit Mcherry exprimieren.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Es konnten Leitgene identifiziert werden, anhand derer toxikologisch bedenkliche (potenziell aminbildende) Stämme von solchen mit hohem Potenzial zur Aromabildung unterscheidbar sind. Diese beziehen sich auf Gene der pH-Homöostase der an der Rohwurstreifung beteiligten Organismen. Hierbei sind Stämme auszuwählen, die kein Potenzial zur Bildung von Histamin und Tyramin haben und stattdessen einen ausgeprägten Metabolismus von Arginin und Glutaminsäure haben. Der Transport von Peptiden, Peptidolyse und eine effektive Transaminierung sind wichtige Schlüsselreaktionen für die Bildung von flüchtigen Verbindungen, die zum Aroma fermentierter Fleischwaren beitragen können.

L. sakei und *L. curvatus* sind grundsätzlich in der Bildung flüchtiger Substanzen aus Aminosäuren und damit in ihrem Beitrag zur Aromabildung in Rohwurst limitiert. Insbesondere in der Transaminierung sind die Staphylokokken jedoch den Laktobazillen überlegen und haben das größere Potenzial zur Bildung von Aromastoffen. Durch ihre Fähigkeit, bei niedrigem pH-Wert besser zu überleben als Staphylokokken, können die Laktobazillen dennoch langfristig zur Aromabildung beitragen. Offen ist zudem, inwiefern sich die Wechselwirkung insbesondere mit *S. carnosus* hierauf auswirkt. Eine gegenseitige Beeinflussung dieser Organismen durch Bildung von Säuren bzw. die Nitratreduktion und das damit verbundene Redoxmilieu ist zu erwarten. So zeigen erste Untersuchungen, dass der hieraus resultierende Stress sich auf die Bildung flüchtiger Metabolite auswirkt. Auch in Enterokokken scheinen die grundsätzlichen metabolischen Eigenschaften zur Bildung aromarelevanter Verbindungen vorhanden zu sein. Ob sie tatsächlich in der Rohwurst zum Aroma beitragen oder nicht, scheint in erster Linie davon abzuhängen, ob sie aufgrund der initialen Kontamination im Fleisch und den gewählten Reifungsbedingungen eine ausreichend hohe Zellzahl erreichen können. Die Rolle des hier untersuchten, originär als Probiotikum eingesetzten Stamms von *L. paracasei* für die Aromabildung in Rohwurst scheint interessant und als neu zu bewerten (FREIDING et al., 2011b). Mit den nun vorhandenen Werkzeugen zur raschen Identifizierung geeigneter Stämme kann die Entwicklung und Nutzung einer Vielzahl sicherer Stämme ermöglicht werden.

8. Danksagung

Die Vorhaben AiF 15458 N und AiF 16608 N des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) wurden/werden über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

9. Literatur

- [1] Freiding, S., Ehrmann, M. A. and Vogel, R. F., 2011b: Comparison of different IlvE aminotransferases in *Lactobacillus sakei* and investigation of their contribution to aroma formation from branched chain amino acids. Food Microbiol.. doi:10.1016/j.fm.2011.07.008.
- [2] Freiding, S., Gutsche, K. M., Ehrmann, M. A. and Vogel, R. F., 2011a: Genetic screening of *Lactobacillus sakei* and *Lactobacillus curvatus* strains for their peptidolytic system and amino acid metabolism, and comparison of their volatiles in a model system. System. Appl. Microbiol. 34, 311-320.
- [3] Gänzle, M. G.: Starterkulturen für fermentierte Fleischerzeugnisse. 2003. in Weber, H. (ed.) Mikrobiologie der Lebensmittel: Fleisch – Fisch – Feinkost 345-378.
- [4] Gutsche, K. A., Tran, T. B. T. and Vogel, R. F., 2011: Production of volatile compounds by *Lactobacillus sakei* from branched chain α -keto acids. Food Microbiol. doi:10.1016/j.fm.2011.06.010.
- [5] Savijoki, K., Ingmer, H. and Varmanen, P., 2006: Proteolytic systems of lactic acid bacteria. Appl Microbiol Biotechnol. 71, 394-406.
- [6] Serrazanetti, D. I., Ndagijimana, M., Sado-Kamdem, S. L., Corsetti, A., Vogel, R. F., Ehrmann, M. A., and Guerzoni, M. E., 2011: Acid Stress-Mediated Metabolic Shift in *Lactobacillus sanfranciscensis* LSCE1. Appl. Environ. Microbiol. 77, 2656-2666.
- [7] Straub, B. W., Kicherer, M., Schilcher, S. M., Hammes, W. P., 1995: The formation of biogenic amines by fermentation organisms. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 201, 79-82.
- [8] Voet, D., Voet, J. G., Pratt, C. W. and Annette, G. B. S., 2002: Lehrbuch der Biochemie: Wiley-VCH.
- [9] Vogel, R. F., Hammes, W. P., Habermeyer, M., Engel, K.-K., Knorr, D. and Eisenbrand, G., 2011: Microbial food cultures – opinion of the Senate Commission on Food Safety (SKLM) of the German Research Foundation (DFG). Mol. Nutr. Food Res. 55, 654–662.
- [10] Weber, H. Mikrobiologie der Rohwurst, 2003: in Weber, H. (ed.) Mikrobiologie der Lebensmittel: Fleisch – Fisch – Feinkost. 317-344.
- [11] Wolken, W. A. M., Lucas, P. M., Lonvaud-Funel, A., Lolkema, J. S. J.: The mechanism of the tyrosine transporter TyrP supports a proton motive tyrosine decarboxylation pathway in *Lactobacillus brevis*. 2006. Bacteriol. 188, 2198-2206.
- [12] Zuniga, M., Champomier-Verges, M., Zagorec, M. & Perez-Martinez, G., 1998: Structural and functional analysis of the gene cluster encoding the

enzymes of the arginine deaminase pathway of *Lactobacillus sakei*. *J. Bacteriol.* 180, 4154-4159.

Prof. Dr. Ulrich Kulozik

Technische Universität München
Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung (ZIEL)
Abteilung Technologie



Aufklärung und Minimierung von Deckschichtbildungseffekten in der Crossflow-Membrantrenntechnik*

1. Einführung

Mit Hilfe der Filtration von flüssigen Lebensmitteln mittels druckgetriebener Membrantrennprozesse können Inhaltsstoffe konzentriert oder fraktioniert werden. Dies wird häufig zur Anreicherung oder Separation unterschiedlich großer Proteinkomponenten ausgenutzt. Je nach Wahl der Trenngrenze (nominelle Porengröße der Membran) passieren kleinere Proteinfractionen die Membran, die größeren werden zurückgehalten. Als Beispiel für einen derartigen Prozess wird in diesem Beitrag die Fraktionierung von Milchproteinen mittels Mikrofiltration dargestellt. Die Trennung gelingt wegen des Größenunterschiedes zwischen Molkenproteinen und Caseinmizellen tatsächlich vordergründig erwartungsgemäß, wie **Abb. 1** zeigt.

Das Filtrat mit den darin enthaltenen gelösten Molkenproteinen ist klar, das Retentat mit den angereicherten und zurückgehaltenen Caseinen sieht milchartig weiß und undurchsichtig aus.

* Autoren: Wolfgang Kühnl, Alexander Piry, Ronald Gebhardt, Ulrich Kulozik

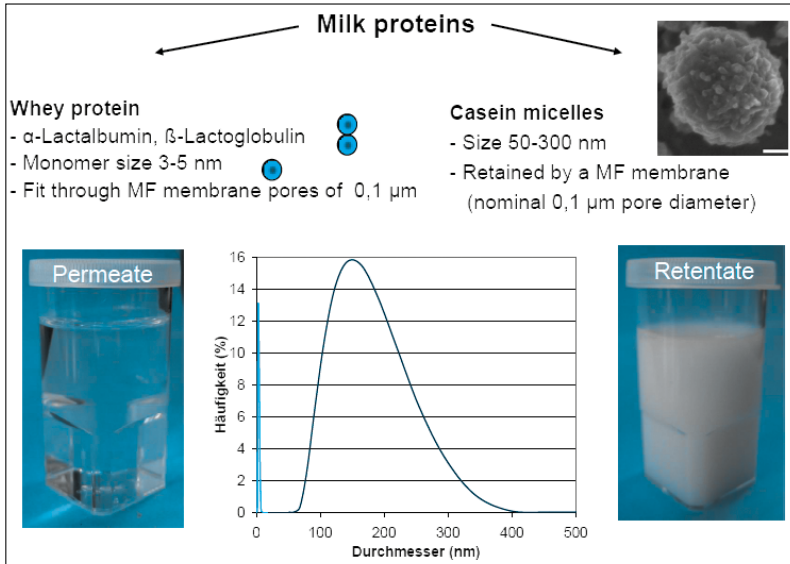


Abb. 1: Größenverteilung von Caseinen und Molkenproteinen und Mikrofiltrations-Retentat bzw. -Permeat.

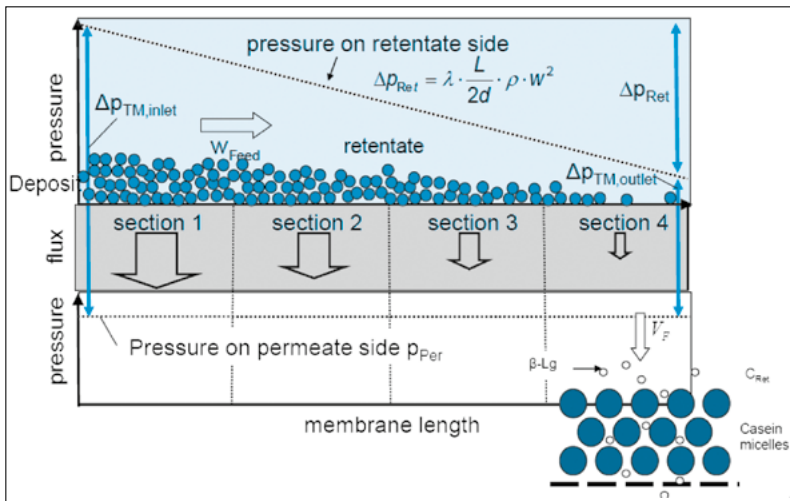


Abb. 2: Flux- und Druckverteilung entlang einer Membran und deren Auswirkung auf die Deckschichtbildung.

2. Problematik der Deckschichtbildung

Einem effizienten Prozess steht jedoch entgegen, dass sich die zurückgehaltenen Caseinmizellen als die größere Komponente auf der Membran ablagern und eine sog. Deckschicht bilden. Die kleineren Molkenproteine sollen möglichst vollständig in das Filtrat übergehen, müssen dabei aber zunächst die Deckschicht der Caseinmizellen passieren, die neben der Membran eine zusätzliche Stofftransportbarriere darstellt. Man versucht zwar, durch Überströmung der Membran eine Wandschubspannung zu erzeugen, die einen Abtrag der abgelagerten Komponenten bewirken soll. Dies gelingt jedoch bisher nur unzufriedenstellend, wofür der permanente Hintransport von deckschichtbildendem Material zur Membran hin sowie u.a. die variable Druckdifferenz entlang der überströmten Membran verantwortlich sind. **Abb. 2** illustriert schematisch die wesentlichen Vorgänge.

Wie zu erkennen, verändert sich entlang der Membran aufgrund der Wandreibung die statische und damit die transmembrane Druckdifferenz und folglich die Permeationsleistung (Flux) sowie die Intensität der Deckschichtbildung. Dies hat Konsequenzen für den Durchgang der Molkenproteine durch Deckschicht und Membran, wie später gezeigt wird. Die Aufgabe ist also, die Deckschichtbildung besser zu beherrschen und aus einem besseren Verständnis der dabei ablaufenden Vorgänge Maßnahmen zur Optimierung des Prozesses abzuleiten.

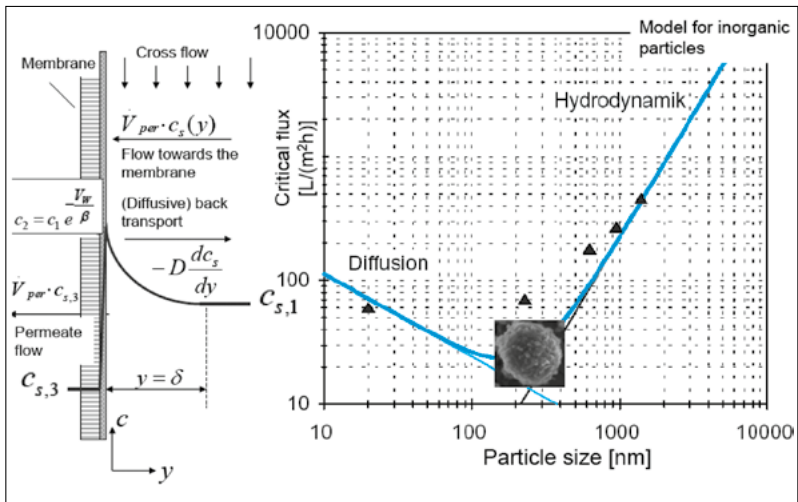


Abb. 3: Konzentrationsüberhöhung an der Membranoberfläche und abtragende Wirkung von diffusiven und hydrodynamischen Kräften nach SCHOCK (1985) und ALTMANN (2000).

3. Grenzflächeneffekte an der Membran

Erschwert wird die Aufgabe des Deckschichtabtrags durch die besonderen Eigenschaften der Caseinmizellen, die sich an der Membranoberfläche anreichern. Die Konzentrationsüberhöhung in der Grenzschicht zur Membran (siehe **Abb. 3**) löst prinzipiell einen Diffusionsstrom entgegen der konvektiven Antransportrichtung aus.

Die diffusive Beweglichkeit gerade von Caseinmizellen ist jedoch aufgrund ihrer Größe nicht sehr groß. Ebenso sind die hydrodynamischen Kräfte der Strömung entlang der Oberfläche bei Partikeln in der Größenordnung von Caseinmizellen nicht sehr groß. Dies führt zu einer geringen Effektivität des diffusiven und des hydrodynamischen Abtrags von Caseinmizellen von der Membranoberfläche. Hinzu kommt, dass interpartikuläre Kräfte einen strukturellen Einfluss auf das Haufwerk der abgelagerten Caseinmizellen ausüben. Ebenso sind Protein-Membran-Wechselwirkungen zu berücksichtigen. Insgesamt spielen in diesem Zusammenhang Protein-Protein- und Protein-Membran-Effekte wie VAN-DER-WAALS-Kräfte, vom Ionenmilieu und pH-Wert abhängige elektrostatische Abstoßung, hydrophile Abstoßung und hydrophobe Anziehung sowie sterische Effekte fallweise eine mehr oder weniger große Rolle. Um diese chemisch-physikalischen Effekte bzw. fluidmechanischen Vorgänge näher zu untersuchen, wurden Caseinmizellen aus Milch isoliert und in einem pH-Wertbereich von 6,8-5,9 sowie unter dem Einfluss von Prozessbedingungen (Druck, Wandschubspannung, Temperatur) in Bezug auf ihre deckschichtbildenden Eigenschaften in Abhängigkeit von der Membranlänge untersucht. In dem genannten pH-Bereich verändert sich das Zeta-Potenzial der Caseinmizellen von etwa -25 auf -15 mV deutlich. Dagegen bleibt die Größe und deren Größenverteilung unverändert, was in Anbetracht des großen Einflusses der Partikelgröße x ($F_L x^3$) auf die abtragend wirkenden Liftkräfte F_L gemäß Gleichung (1) von entscheidender Bedeutung ist, um Ladungs- und Größeneffekte voneinander getrennt zu halten.

$$F_L = 0,358 \cdot \frac{x^3 \cdot \tau_w^{1,5} \cdot \rho^{0,5}}{\eta} \cdot I(\Theta) \quad (1)$$

Zur Untersuchung dieser Zusammenhänge wurden zunächst statische Filtrationen durchgeführt, um unter bekannten und kontrollierbaren Bedingungen Informationen zu den physikalischen Deckschichteigenschaften, wie definierte Menge und Höhe, Partikelgrößenverteilung, sterische Eigenschaften, Reaktion auf Druckwechselvorgänge bzw. Kompressibilität, Oberflächenenergien der Partikel, Permeationswiderstand und Porosität sowie den Flux zu erhalten. Diese Informationen wurden mit Ergebnissen aus Crossflow-Mikrofiltrationen verglichen und nach einem bei KÜHNEL (2011) bzw. PIRY (2011) dargelegten Verfahren ausgewertet.

4. Einfluss des pH-Wertes auf die Filtrationsleistung

Wie aus **Abb. 4** zu ersehen, wirkt sich der Einfluss des pH-Wertes im untersuchten Bereich sehr deutlich auf die Filtrationsleistung aus. Nach etwa 90 min stellt sich ein quasi-stationärer Flux ein, der bei pH 6,8 mehr als dreifach höher liegt als bei pH 5,9.

Trägt man den Flux als Funktion des Zeta-Potenzials auf (**Abb. 5**), so ergibt sich ein linearer Zusammenhang. Dies scheint anzudeuten, dass ein ursächlicher Zusammenhang zwischen elektrostatischer Abstoßung und Flux besteht.

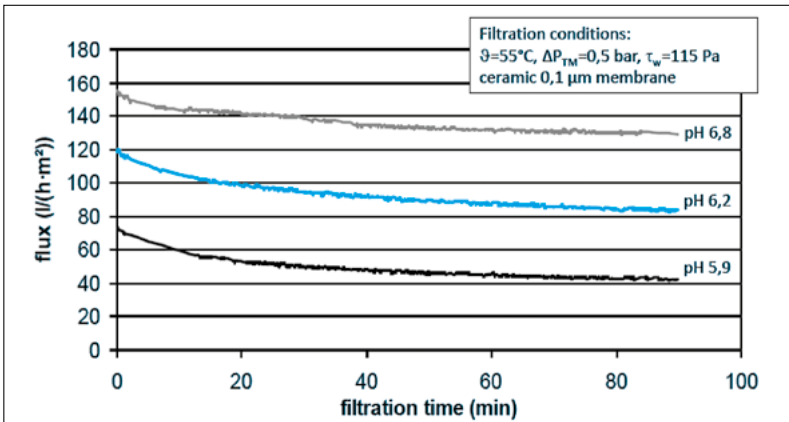


Abb. 4: Filtrationsleistung bei der Mikrofiltration (nominelle Trenngrenze $0,1\ \mu\text{m}$) von Milch zur Fraktionierung der Proteine.

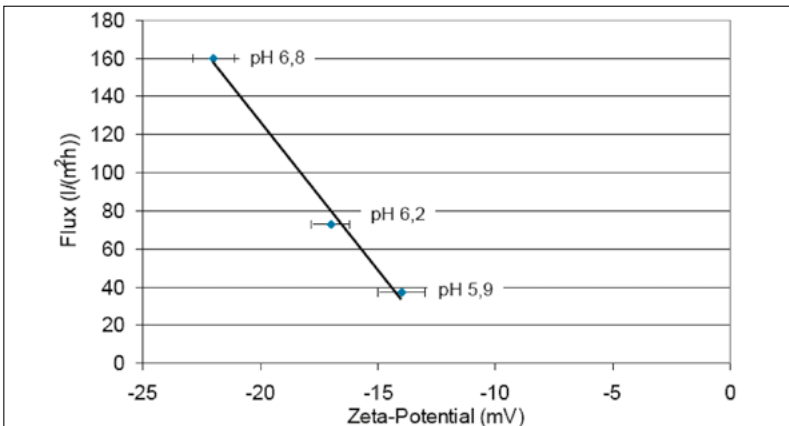


Abb. 5: Flux der Mikrofiltration als Funktion des Zetapotenzials der Caseinmizellen.

5. Wechselwirkungsenergien zwischen abgelagerten Caseinmizellen

Eine Berechnung der DEBYE-HÜCKEL-Länge, welche ein Maß für den Partikelabstand zwischen gleichartigen Partikeln und für die Reichweite elektrostatischer Abstoßungskräfte ist, ergibt jedoch bei der hohen Ionenstärke von Milch ($I = 80 \text{ mmol/l}$), welche die Ladung der Mizellen sehr effektiv abschirmt, einen Wert von lediglich 1 nm . Bei einer Größe von ca. 180 nm der Caseinmizellen ist dies ein vernachlässigbarer Wert, der zum Ausdruck bringt, dass abstoßende Kräfte erst in diesem Größenordnungsbereich einen Effekt haben. Dies würde aber bedeuten, dass Caseinmizellen in Milch nicht kolloidal stabil gelöst vorliegen könnten, was aber *de facto* der Fall ist. Zur Aufklärung dieses scheinbaren Widerspruchs wurde ein Modell von VAN OSS (2006) herangezogen, welches die klassische DLVO-Theorie durch die sog. LEWIS-Acid-Base-Wechselwirkungen ergänzt. Diese kommen durch Orientierung von Wasserdipolen in der Umgebung von elektrisch geladenen Oberflächen zustande. Sie bewirken hydrophile Abstoßungskräfte, die u.U. für die Wechselwirkungen zwischen Caseinmizellen verantwortlich sein können, und die erklären, warum Caseinmizellen trotz geringer Auswirkung elektrostatischer Abstoßung kolloidal stabil gelöst sind. Die Gleichungen (2) und (3) beschreiben die Interaktionsenergien γ zwischen Partikeln als Funktion von LIFSCHITZ-VAN DER WAALS-(LW) bzw. LEWIS-Acid-Base-(AB)-Wechselwirkungen.

$$\gamma = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \quad (2)$$

mit

$$\gamma^{AB} = 2\sqrt{\gamma^+ \gamma^-} \quad (3)$$

γ^+ bzw. $-$ stellen Elektronendonor- bzw. akzeptorsterme dar.

Mit Hilfe von Kontaktwinkelmessungen lassen sich diese Interaktionsenergien messtechnisch zugänglich machen, indem die Gleichungen (4) bzw. (5) nach VAN OSS (2006) zum Ansatz kommen:

$$(1 + \cos \theta) \cdot \gamma_L = 2\left(\sqrt{\gamma_S^{LW} \gamma_L^{LW}} + \sqrt{\gamma_S^+ \gamma_L^+} + \sqrt{\gamma_S^- \gamma_L^-}\right) \quad (4)$$

Darin stehen die Indices S für *solid* (Feststoff, hier Caseinmizellen) und L für *liquid* (wässrige Phase). Mit Gleichung (5) lassen sich die wasservermittelten (W) Gesamtwechselwirkungsenergien ΔG zwischen Caseinmizellen (C) als Summe aus einem VAN-DER-WAALS- und einem polaren Interaktionsterm berechnen:

$$\Delta G_{CwC} = -2\left(\sqrt{\gamma_C^{LW}} - \sqrt{\gamma_w^{LW}}\right)^2 - 4\left(\sqrt{\gamma_C^+ \gamma_C^-} + \sqrt{\gamma_w^+ \gamma_w^-} - \sqrt{\gamma_C^+ \gamma_w^-} - \sqrt{\gamma_C^- \gamma_w^+}\right) \quad (5)$$

Wie **Tab. 1** zeigt, sind tatsächlich die LEWIS-Acid-Base-Wechselwirkungsenergien (AB) über den gesamten untersuchten pH-Bereich dominant.

	$H_A \times 10^{-20}$ (J)	ΔG_{cwc}^{LW} (mJ/m ²)	ΔG_{cwc}^{AB} (mJ/m ²)
pH 6.8	0,28	-3	44.2
pH 6.5	0.32	-3.5	39.9
pH 6.2	0.52	-5.6	30.9
pH 5.9	0.65	-7	21.9

Tab. 1: Interaktionsenergien zwischen abgelagerten Caseinmizellen (HA: HAMA-KER-Konstante)

Sie wirken in deutlich größeren Abständen als elektrostatische Kräfte, was die kolloidale Stabilität sowie strukturelle Eigenschaften von Caseinmizellen in Deckschichten auf Membranen erklären kann. **Abb. 6** bringt die Unterschiede in der Reichweite und Stärke dieser einzelnen Wechselwirkungsenergien deutlich zum Ausdruck.

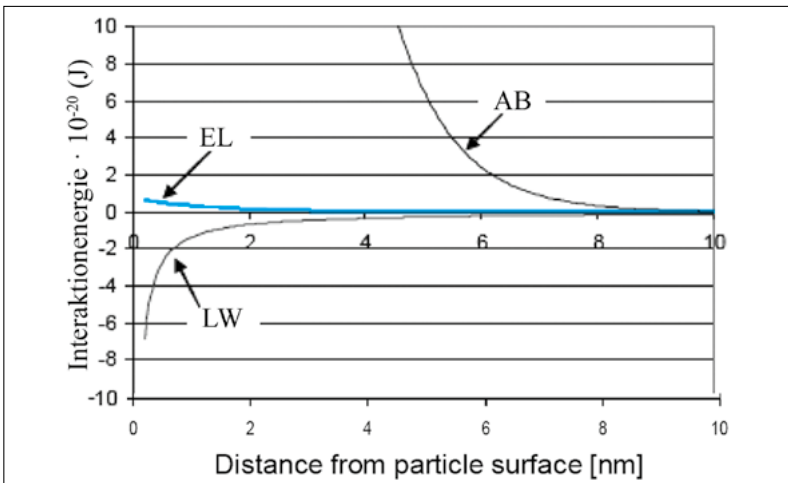


Abb. 6: Elektrostatische, LIFSCHITZ-VAN DER WAALS- und LEWIS-Acid-Base-Wechselwirkungen zwischen Caseinmizellen in natürlichem wässrigen Milieu von Milch.

Auf dieser Basis gelang es KÜHNEL et al. (2010), zusammen mit längenabhängigen Fluxmessungen die Abstände und damit die Porosität von auf Membranen abgelagerten Caseinmizellschichten abzuschätzen. **Abb. 7** stellt den Transmissionskoeffizienten der Molkenproteine dar, der sich längenabhängig verhält. Die Porositätswerte variieren ebenfalls längenabhängig zwischen 7 und 11 nm. Am Eintritt der Milch in die Membranröhre wird die Deckschicht stark verdichtet, die Transmission der Molkenproteine ist entsprechend gering. Im Verlauf des Strömungsweges entlang der Membranoberfläche steigen die Porosität und demzufolge auch der Molkenproteindurchgang deutlich an.

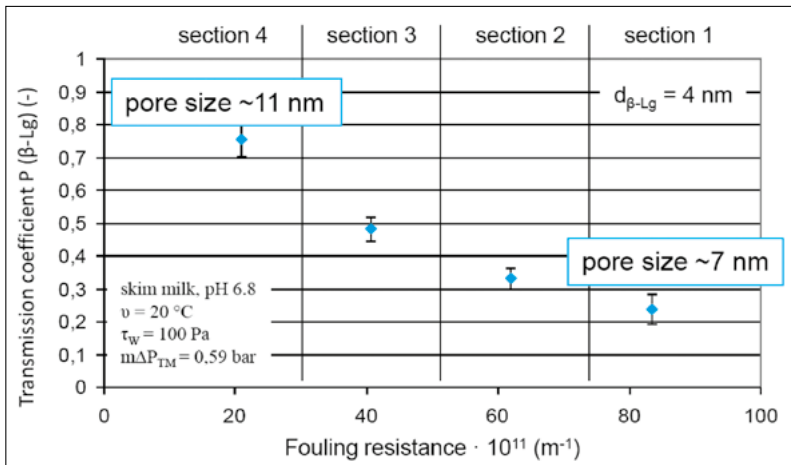


Abb. 7: Transmission von Molkenproteinen in Abhängigkeit von der Membranlänge (aufgeteilt und messtechnisch zugänglich in 4 Sektionen der insgesamt 1,2 m langen Membran).

Diese Beobachtungen lassen sich sehr gut in Einklang bringen mit der üblichen Darstellung von Flux als Funktion vom Transmembrandruck (**Abb. 8**). Während reines Wasser einen linearen Verlauf ergibt, zeigt Milch eine stark von der Deckschichtbildung beeinflusste Fluxcharakteristik. Auch in dieser Darstellung ist die Molkenproteintransmission eingetragen. Analog lässt sich auch hier erkennen, dass die Molkenproteintransmission dort am höchsten ist, wo die Deckschichtbildung aufgrund des geringen Transmembrandrucks in der vierten Sektion am geringsten ist.

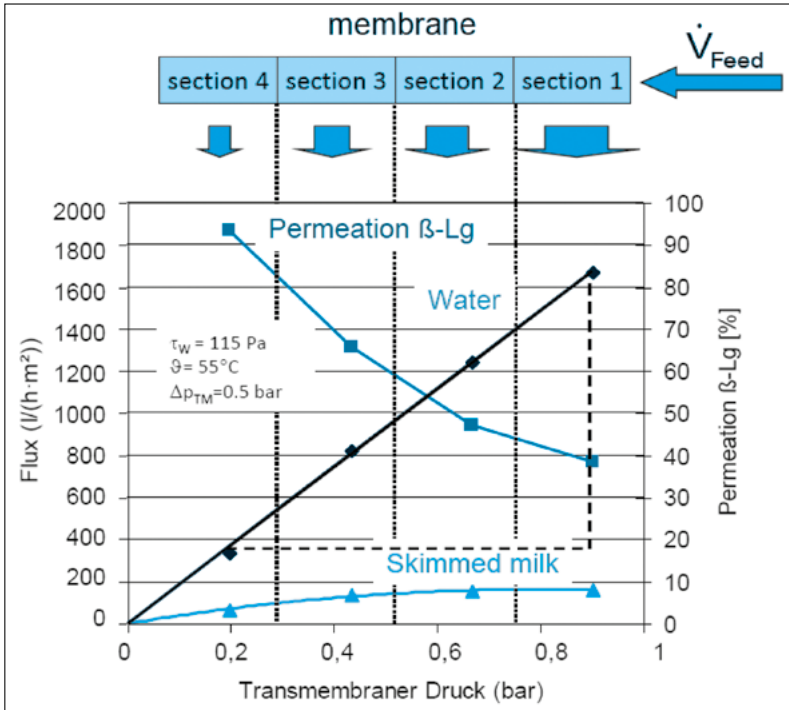


Abb. 8: Flux und Molkenproteintransmission als Funktion der transmembranen Druckdifferenz.

6. Optionen zur Steigerung der Molkenproteintransmission bei der Fraktionierung der Milchproteine

Aus diesen Ergebnissen lässt sich der offensichtliche Schluss ziehen, dass man eine Deckschichtbildung vermeiden muss, wenn man eine hohe Transmission von gelösten Komponenten durch die Membran erzielen möchte. Um dies zu erreichen, stehen zwei Optionen zur Wahl, die von PIRY (2011) entwickelt und eingehend untersucht wurden: Zum einen wäre eine Verkürzung der Membranen in Betracht zu ziehen, um eine gleichmäßigere Verteilung des statischen Druckes entlang der Membran zu erreichen, was aber einen Verlust an aktiver Membranfläche zur Folge hätte. Zum anderen könnte bei gleicher nomineller Trenngrenze (Porengröße) der Membran deren Permeationswiderstand erhöht werden, um einen übermäßig starken Flux und Hintransport von deckschichtbildendem Material zur Membran zu verhindern.

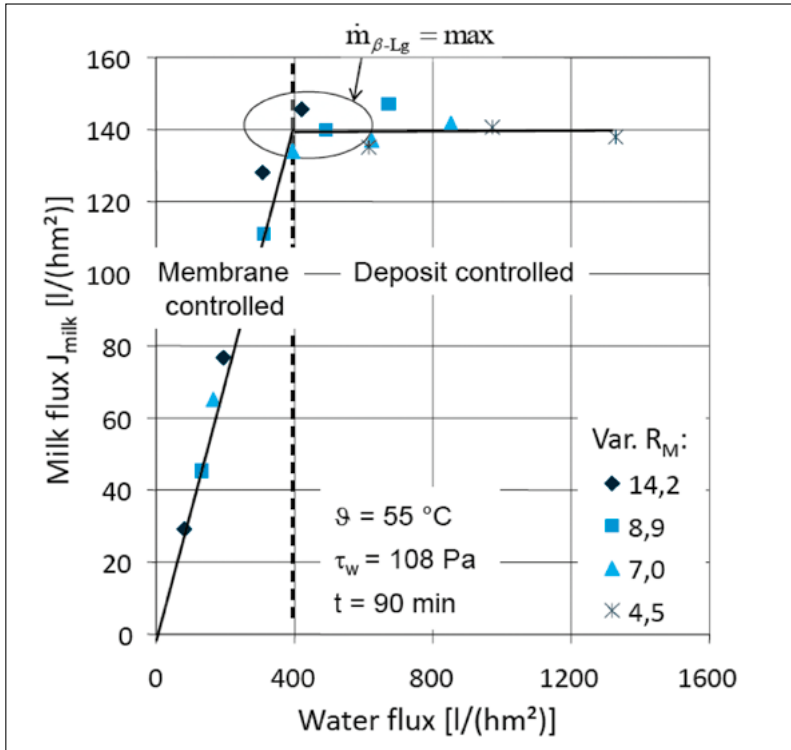


Abb.9: Milchflux als Funktion des initialen Wasserflux der sauberen Membran.

Abb.9 ergibt einen interessanten Zusammenhang zwischen dem initialen Wasserflux der gerade gereinigten und nicht von Deckschichtbildung beeinträchtigten Membran und dem bei einer Mikrofiltration von Milch zur Fraktionierung der Proteine erhaltenen Flux. Wie zu erkennen, ergibt sich nur bis zu einem gewissen Punkt ein linearer Anstieg des Milchflux als Funktion des initialen Wasserflux. Ab diesem Punkt ergibt sich kein weiterer Anstieg des Milchflux, die Kurve verläuft abrupt parallel zur Abzisse. Wie PIRY et al. (2008; 2011) feststellen konnten, wird der maximale Molkenproteinmassenstrom genau an der Unstetigkeitsstelle erzielt.

Dieser Verlauf ist darauf zurückzuführen, dass beim Umschalten von Wasser auf Milch der anfänglich noch extrem hohe konvektive Permeatstrom zur Membran hin eine überaus starke Deckschichtbildung verursacht, wenn ein gewisser Wert überschritten wird. Die Wandschubspannung ist nicht in der Lage, diesen starken Antransport zu kompensieren, es kommt zu einer bleibenden Adhäsion und Kohäsion der Deckschicht, die nicht mehr rückgängig gemacht werden

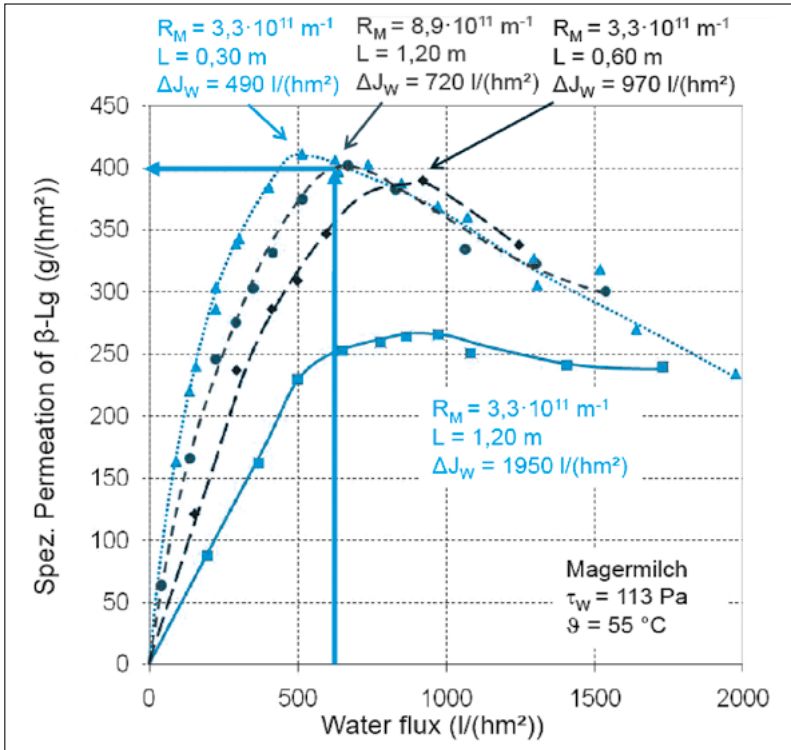


Abb. 10: Spezifischer Massenstrom der Molkenproteine bei der Mikrofiltration in Abhängigkeit des initialen Wasserflux bei Membranen unterschiedlicher Länge.

kann. Dieser Zusammenhang wurde unabhängig vom Membranwiderstand R_M ermittelt, der in einem Bereich von $4,5 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-1}$ bis $14,2 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-1}$ lag. Als Ergebnis lässt sich aus diesem Diagramm mitnehmen, dass ein Wasserflux oberhalb von etwa $400\text{-}500 \text{ l}/(\text{hm}^2)$ nicht überschritten werden sollte. Bei der Herstellung der Membran lässt sich das durch Erhöhung der Dicke der Selektivschicht erreichen, die bei gleicher Körnung des keramischen Grundmaterials aufgebracht und gesintert wird.

Abb. 10 stellt den spezifischen Massenstrom der Molkenproteine in Abhängigkeit des initialen Wasserflux der anfänglich sauberen Membran für Membranen mit unterschiedlicher Länge (30-120 cm) dar.

Wie zu ersehen, weist die kürzeste Membran mit 30 cm Länge den höchsten flächenspezifischen Permeationswert für Molkenproteine auf. Die längste Membran mit dem gleichen Membranwiderstand R_M liegt deutlich darunter. Um zu zeigen, dass eine Membran mit der industrieeüblichen Länge von 1,2 m eine äh-

lich hohe Molkenproteinpermeation erzielen kann wie eine kurze mit gleichmäßigerer Druckverteilung entlang der Membran, wurde der Permeationswiderstand der Membran auf $8,9 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-1}$ erhöht, um den initial übermäßig hohen Hintransport und die Verdichtung der Caseinmizellen einzugrenzen. Es wird deutlich, dass diese 1,2 m lange Membran einen nahezu gleich hohen Molkenproteinpermeationswert erreicht wie diejenige mit 30 cm Länge, also insgesamt den vierfach höheren Absolutwert erzielt, so dass keine Membranfläche aufgegeben werden muss, um die Deckschichtbildung besser eingrenzen zu können. Interessanterweise liegt das Maximum der erreichten Molkenproteinpermeation bei etwa $500 \text{ lm}^{-2}\text{h}^{-1}$, was für das eingesetzte Membranmaterial als oberer Grenzwert angesehen werden kann, wenn die Molkenproteinpermeation optimiert werden soll.

7. Ausblick auf weiterführende Arbeiten zur Aufklärung von Deckschichtstrukturen

Mit Hilfe indirekt oder direkt bildgebender Verfahren wird im Moment daran gearbeitet, die Deckschichtstrukturen auf Membranen abgelagerter Proteine zu analysieren. **Abb. 10** stellt schematisch die Funktionsweise der sog. GISAXS-Technik dar (Grazing Incidence Small Angle X-ray Scattering: Flach einstrahlende Röntgenkleinwinkelstreuung), mit deren Hilfe Informationen zu Strukturen der streuenden Partikel erhalten werden können. Neben dem reflektierten Strahl werden seitwärts abgelenkte Streulichtsignale erhalten, über deren Intensität man Aufschluss über die Architektur der streuenden Oberfläche erhält. Erste Ergebnisse deuten an, dass sich die abgelagerten Caseinmizellen unter dem Einfluss der Strömungskräfte in einer charakteristischen Weise verformen, je nachdem, ob sie sich über oder neben einer Membranpore befinden, die genau lokalisiert werden konnte. **Abb. 11** zeigt die Funktionsweise der GISAXS-Messtechnik, die am Desy-Synchrotron in Hamburg zur Verfügung steht und dort genutzt wird. **Abb. 12** zeigt eine Auswertung der erhaltenen Signale, die wegen der Dehnströmung in Richtung der Membranporen auf eine elliptische Verformung derjenigen Caseinmizellen senkrecht zur Membran hindeuten, die über einer Pore lokalisiert sind, wohingegen von der Pore entferntere Caseinmizellen eher ihre runde Form behalten. Diese Ergebnisse konnten mittels Atomkraftmikroskopie (AFM) untermauert werden. Wie **Abb. 12** belegt, werden oberhalb einer Pore gelegene Caseinmizellen mit einem wesentlich kleineren Querschnitt detektiert, was auf die Verschlangung aufgrund der Dehnströmung zurückgeführt werden kann.

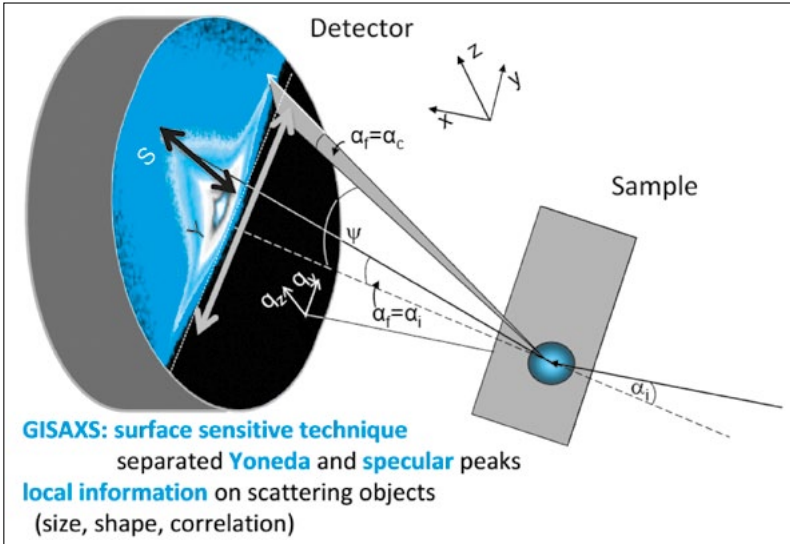


Abb. 11: Schematische Darstellung der GISAXS-Messtechnik.

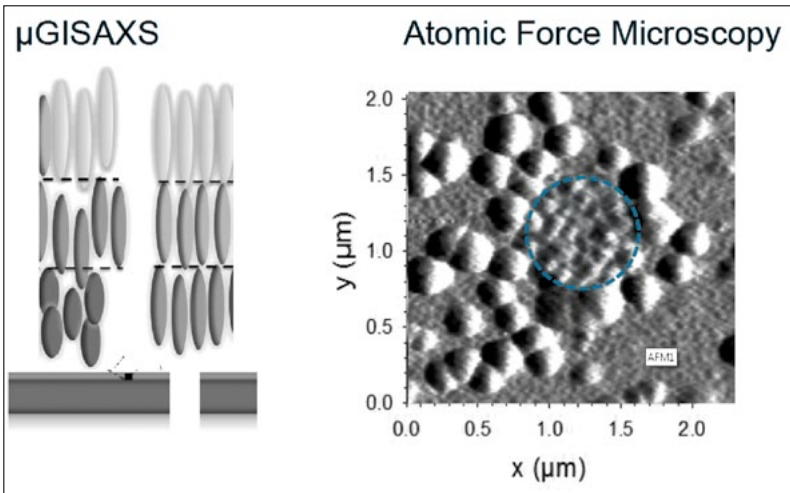


Abb. 12: Auswertung der GISAXS-Messungen und der AFM-Analysen von abgelagerten Caseinmizellen auf der Oberfläche von Mikrosieben.

8. Danksagung und Auszeichnung

Das Vorhaben AiF 14740 N des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Große Teile der Arbeiten, die zu dieser Publikation geführt haben, wurden durch dieses Vorhaben gefördert.

Den Firmen atech innovations, TAMI und Pall wird für die Bereitstellung von Membranmustern herzlich gedankt.

Wolfgang Kühnl wurde mit dem Julius-Maggi-Research-Award 2010 der European Federation of Chemical Engineering (EFCE), Sektion Food Engineering, für seine Dissertation ausgezeichnet, an der er im Rahmen dieses IGF-Projektes arbeitete.

9. Literatur

- [1] Altmann, J. (2000): Partikelablagerung und Deckschichtbildung an überströmten Membranen. Dissertation, TU Dresden.
- [2] Gebhardt, R., Burghammer, M., Riekkel, C., Kulozik, U., Müller-Buschbaum, P. (2010): Investigation of surface modification of casein films by rennin enzyme action using micro-beam grazing incidence small angle X-ray scattering. *J Dairy Sci Technol*, 90, 75-86.
- [3] Gebhardt, R., Vendrely, C., Kulozik, U. (2011): Structural characterization of casein micelles: shape changes during film formation. *J. Physics: Condensed Matter* 23 (2011), in press.
- [4] Kühnl, W. (2011): Kolloidale Wechselwirkungen zwischen Proteinen im Zusammenspiel mit fluiddynamischen Kräften an der Grenzfläche von Filtrationsmembranen – gezeigt am Beispiel der Fraktionierung von Milchproteinen mittels Mikrofiltration, Fortschrittsberichte VDI Nr. 3/917, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [5] Kühnl, W., Piry, A., Kaufmann, V., Grein, T., Ripperger, S., Kulozik, U. (2010): Impact of colloidal interactions on the flux in crossflow microfiltration of milk at different pH: A surface energy approach: *J. Membrane Sci.* 352(2), 107-115.
- [6] Kühnl, W., Piry, A., Kulozik, U. (2008): Einfluss des Membranwiderstands auf die Filtrationsleistung bei der Proteinfractionierung entlang von Mikrofiltrationsmodulen, *Chemie Ingenieur Technik* 8, 80, 1199-1205.

- [7] Piry, A. (2011): Untersuchungen zur Längenabhängigkeit der Filtrationsleistung bei der Fraktionierung von Milchproteinen mittels Mikrofiltration. Verlag Dr. Hut, München.
- [8] Piry, A., Heino, A., Kühnl, W., Grein, T., Ripperger, S. Kulozik, U. (2011): Effect of membrane length, membrane resistances and filtration conditions on the fractionation of milk proteins by microfiltration. *J. Membrane Sci*, in press.
- [9] Piry, A., Kühnl, W., Tolkach, A., Kulozik, U. (2008): Length dependency of flux and protein permeation in crossflow microfiltration of skimmed milk. *J Membrane Sci*, 325, 887-894.
- [10] Schock, G. (1985): Mikrofiltration an überströmten Membranen. Dissertation, RWTH Aachen.
- [11] Van Oss, C.J. (2006): *Interfacial forces in aqueous media*, Vol. 2, CRC Press, New York.

Posterabstracts

Three-phase flow simulation with the Lattice-BOLTZMANN-Method

*Bogner, S., Donath, S., Feichtinger C. und Rüde, U.
Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Systemsimulation*

The Lattice-BOLTZMANN-Method (LBM) is an approach for the simulation of complex fluids. In the past it has proven to be applicable in the simulation of free surface flows (liquid-gas flows) as well as particulate flows (liquid-solid flows). Here we present an algorithm for the simulation of three-phase flows (liquid-gas-solid flows) – i.e., free surface flows containing freely movable floating bodies. The method preserves the local nature of the LBM, which allows a parallelization of the algorithm with purely local communication techniques. The implementation of the algorithm within the waLBerla software framework successfully scaled on several thousand cores.

Our free surface flow model is capable of simulating bubbly flows, especially foaming processes, containing a large number of bubbles [2]. The properties (e.g., foam stability) of such a flow are known to be influenced by the presence of particles. Thus with this extension of the method to three-phase flows we aim at the emulation of the dynamics of more complex foam types.

This method has first been published in [4], there without addressing the aspects of parallel computation.

Free Surface LBM

A detailed description of the used free surface model can be found in [1]. This model for two-phase liquid-gas flows neglects the gas dynamics, and simulates the free surface by taking into account the pressure of the gas phase. The free surface is emulated as a dynamical boundary layer of interface cells separating the liquid cells (which form the Lattice-BOLTZMANN simulated liquid phase) from the gas cells. A free surface boundary condition incorporates the gas pressure at the interface. The latter is updated dynamically using a volume of fluid approach as follows: For an interface cell an additional local variable φ (the fill level) encodes the amount of cell volume filled with liquid. The fill level changes during the stream step of the LBM due to the exchange of PDFs with surrounding cells. If the fill level rises above 1 or drops below 0, then the given interface cell is converted into a liquid or gas cell, respectively. Such a conversion can trigger further conversions of neighboring gas or liquid cells, according to **Fig. 1**.

Particulate Flow LBM Moving objects such as particles can be incorporated by making use of a moving boundary model. We simulate rigid bodies, which are discretized to the lattice by marking the respective cells covered by the object as obstacle cells. Stresses exerted by fluid flow on the boundary of the objects, can be calculated by the momentum exchange method [3]. Thus the movement of the objects in the flow can be calculated, and the mapping of the object to the lattice is updated accordingly in a dynamic fashion.

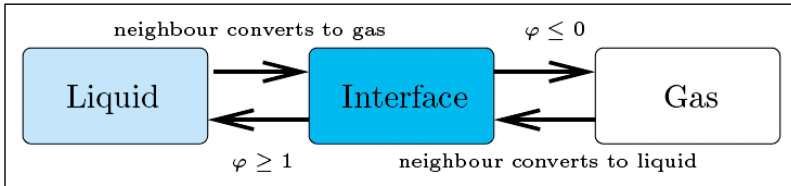


Fig. 1: Possible state changes at the interface layer.

Liquid-Gas-Solid LBM

The Free Surface LBM and the Particulate Flow LBM method as outlined above can be combined in order to simulate particulate free surface flows. Since two different types of dynamical boundaries (liquid-gas and fluid-solid) have to be handled in conjunction, the number of possible cell type transitions increases from 4 (for liquid-gas flows as in Fig. 1) to 10. This is because each of the three fluid cell types (liquid, interface, gas) may have to be converted into obstacle and vice versa. The need for a sophisticated cell conversion routine arises [4]. For a prior obstacle cell, that has to be converted back into a fluid cell, this routine determines the correct cell type (either gas, interface or liquid) from the local neighbourhood of the cell. In order to correctly restore a liquid cell, a valid set of PDFs has to be created. In case of an interface cell, a valid fill level value has to be set. All this is done by taking into account only the local cell neighbourhood, making the algorithm well suited for parallelization. In a weak scaling run on the local LIMA HPC System [6] over 85 % performance compared to ideal scaling was achieved with several thousand processes.

Conclusion and future work

The presented method for liquid-gas-solid flows already achieves convincing results – especially from an algorithmic point of view – because of its local nature and therefore with scalability on HPC systems. Our future goal is to validate and improve the important aspect of bubble-particle interaction: The surface properties of particles must be considered, as its wettability influences the free surface tension. Such a wetting model has already been developed and tested in [5] with promising results for static boundaries. In the long term we expect our method to be applicable to complex problems such as foaming or flotation processes.

References

- [1] Thomas Pohl. High Performance Simulation of Free Surface Flows Using the Lattice-BOLTZMANN-Method. PhD thesis, Universität Erlangen-Nürnberg, 2007.
- [2] Stefan Donath, Christian Feichtinger, Thomas Pohl, Jan Götz and Ulrich Rüde. A Parallel Free Surface Lattice-BOLTZMANN-Method for Large-Scale Applications. 21st International Conference on Parallel CFD, 2009
- [3] D. Yu, R. Mei, L.-S. Luo and W. Shyy. Viscous Flow computation with the method of Lattice-BOLTZMANN equation. Prog. Aero. Sci. 39(5): 329-367, 2003

- [4] Simon Bogner. Simulation of Floating Objects in Free-Surface Flows. Diploma Thesis. Lehrstuhl für Informatik 10, University of Erlangen-Nürnberg, 2009.
- [5] Stefan Donath. Wetting Models for a Parallel High-Performance Free Surface Lattice-Boltzmann-Method. Dissertation, Lehrstuhl für Informatik 10, University of Erlangen-Nürnberg, 2011.
- [6] LIMA Cluster. <http://www.rrze.uni-erlangen.de/dienste/arbeiten-rechnen/hpc/systeme/lima-cluster.shtml>

Im Rahmen des DFG/AiF-Clusters „Proteinschäume in der Lebensmittelproduktion: Mechanismenaufklärung, Modellierung und Simulation“ wird dieses Teilprojekt 6 (AiF 17125 N) des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Einfluss von Proteinen auf die Schaumbildung und Schaumstabilität

Engelhardt, K., Rumpel, A., Braunschweig, B., Peukert, W.
Universität Erlangen-Nürnberg,
Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik

Der Geschmack, die Textur und das Aussehen schaumartiger Lebensmittel, wie Mousse oder Sahne, werden von den Eigenschaften des jeweiligen Schaums beeinflusst. Wünschenswert sind Produkte, die lange – auch beim Transport – stabil bleiben und so eine einheitliche Produktqualität gewährleisten. Die Stabilität schaumartiger Lebensmittel wird beispielsweise in Milchprodukten nachhaltig von den vorhandenen Proteinen beeinflusst. Die Milchproteine adsorbieren beim Aufschäumen an die Grenzfläche zwischen Prozessgas und Proteinlösung und bilden ein Netzwerk, welches zur Stabilisierung der Schaumlamelle bzw. der Grenzfläche beiträgt. Die genauen Zusammenhänge und Einflussgrößen, wie z.B. die Kinetik und der Einfluss der Grenzflächenadsorption auf die Struktur von Proteinen direkt an der Grenzfläche und deren Beitrag zu den Schaumeigenschaften, sind bisher allerdings nicht vollständig verstanden.

Die Untersuchung der Grenzflächenadsorption erfordert grenzflächensensitive Methoden, die Informationen über die molekulare Struktur der Grenzfläche liefern. Proteine an Wasser-Luft-Grenzflächen werden mit der grenzflächenspezifischen Summenfrequenz-Schwingungsspektroskopie (Sum-Frequency Generation (SFG)) untersucht. Dabei geben Schwingungsspektren im Spektralbereich der CH-, Hydroxyl- und Amid-Schwingungen Aufschluss über das Adsorptionsverhalten des untersuchten Milchproteins β -Lactoglobulin. Variation des pH-Wertes der Subphase bestätigen beispielsweise die pH-abhängige Ladung und Orientierung des Proteins an der Grenzfläche im Spektralbereich der CH- und Hydroxylbanden.

Des Weiteren können mit Hilfe von zeitabhängigen Ellipsometriemessungen, d.h. der Polarisationsänderung des von der Grenzfläche reflektierten Laserstrahls und somit der qualitativen Änderung der Proteinschichtdicke sowie der Kinetik der Proteinadsorption, bestimmt werden.

Durch Kombination von Ellipsometrie sowie SFG mit einer Langmuirfilmwaage werden definierte komprimierte Zustände der adsorbierten Proteinschicht eingestellt. Die Kompression dieser wird *in situ* mit den beiden optischen Methoden verfolgt.

Dadurch ist es möglich, die molekulare Zusammensetzung und die Struktur der Grenzfläche zeitabhängig sowie in definierten komprimierten Zuständen *in situ* zu ermitteln. In Kombination mit Experimenten zum Schaumverhalten können Zusammenhänge zwischen den Adsorptionsvorgängen an der Grenzfläche und den Schaumeigenschaften aufgeklärt werden.

Im Rahmen des DFG/AiF-Clusters „Proteinschäume in der Lebensmittelproduktion: Mechanismenaufklärung, Modellierung und Simulation“ wird dieses Teilprojekt 1 über die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

In-situ-Detektion der physikalischen Degradation von Proteinen in Strömungsfeldern

Simon, S.¹, Weber, C.², Peukert, W.¹

¹ Universität Erlangen-Nürnberg,

Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik

² Abbott GmbH & Co.KG, Ludwigshafen

Proteine zählen neben Kohlenhydraten und Fetten zu den lebenswichtigen Bestandteilen der menschlichen Nahrung. Sie müssen dem Organismus zugeführt werden, um die Leistungs- und Widerstandsfähigkeit zu erhalten. Die spezifische Funktionsweise von Proteinen wird durch deren charakteristische Tertiär- und Quartärstruktur bestimmt. Durch mechanischen, chemischen oder thermischen Stress induzierte Strukturänderungen können zur Denaturierung und somit zur Inaktivierung führen. Diese wird bei Lebensmitteln oftmals durch vorherige Hitzebehandlung gezielt hervorgerufen, um das Produkt für den Organismus besser verdaulich zu machen oder die Haltbarkeit zu erhöhen. In einigen Prozessschritten bei der Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln werden Proteine durch beispielsweise Rühren oder Aufschlagen gezielt mechanisch denaturiert. Als Beispiel kann die Herstellung von Eischaum genannt werden, der als wichtige Grundlage bei der Produktion einer Reihe von Backwaren dient. Durch Energieeintrag werden die Globuline im Eiklar teilweise mechanisch denaturiert, wodurch die Viskosität ansteigt und der entstehende Schaum stabilisiert wird. Im Gegensatz dazu ist die Denaturierung in Strömungsfeldern, die häufig zur Bildung von Aggregaten führt, im Bereich der biopharmazeutischen Industrie ein unerwünschtes Phänomen, da sie zur Minderung der Produktqualität bzw. zum Ausschluss einer kompletten Charge führt. So können Aggregate in therapeutischen Proteinformulierungen nach der Injektion in den menschlichen Körper zur Immunantwort führen.

Die Denaturierung und Aggregation von Proteinen sind bisher unzureichend verstandene Phänomene. Ziel dieses Beitrags ist es daher, die mechanische Degradation von Proteinen unter wohl definierten Strömungsbedingungen in Dehn- und Scherströmungen in einem 4-Rollen-Apparat zu studieren. Eine Vielzahl von Untersuchungen in der Vergangenheit hat gezeigt, dass mechanische Kräfte wie sie in Produktionsprozessen in Rührkesseln, Rohrleitungen und Pumpen vorliegen, Proteine denaturieren bzw. zur Aggregation führen. Neben der Beanspruchungsintensität und -zeit in Rührkesseln konnte der meist starke Einfluss von Gas-Flüssig-Grenzflächen (z.B. durch Be-gasung) gezeigt werden. In den verwendeten Geometrien liegen meist undefinierte Strömungsprofile vor, wodurch ein klarer Zusammenhang zwischen Belastung und Degradation kaum hergestellt werden kann. Im Fokus dieser Arbeit steht daher die Entwicklung eines Strömungsapparates zur Generierung definierter Strömungsprofile mit integrierten Messoptiken zur In-situ-Detektion von Strukturänderungen und Aggregatbildung. Mithilfe des vorgestellten Laborexperiments kann – neben dem Einfluss von Fluidstress und verschiedenen Grenzflächen auf die Degradation – eine Struktur-Degradations-Beziehung durch den Vergleich unterschiedlicher Proteine bei gleichen Stressbedingungen erstellt werden.

Literatur

- [1] M.C. Manning et al. 2010. *Pharm Res* 27 (4): 544-575.
- [2] S. Simon, H.J. Krause, C. Weber, W. Peukert. 2011. *Biotech & Bioeng* (in press).

Produkt-Design in der Proteinkristallisation

*U. Weichsel, O. Vasylyeva, J. Wanka, W. Peukert
Universität Erlangen-Nürnberg,
Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik*

Die Kristallisation von Biomolekülen findet im technischen Maßstab Anwendung als Verfahren zur Gewinnung und Aufreinigung. Grundlegende Mechanismen sind im Vergleich zu anorganischen Materialien weniger gut erforscht. Ursachen hierfür liegen beispielsweise in der komplexen Struktur, den heterogenen Oberflächeneigenschaften und dynamischen Konformationsänderungen. Aus diesem Grund werden Konzepte vorgestellt, die eine Einflussnahme auf den Verlauf der Kristallisation ermöglichen.

Das gezielte Steuern von Produkteigenschaften beginnt auf molekularer Ebene. Die Art und Stärke der intermolekularen Wechselwirkungen zwischen Proteinkomplexen während der Kristallisation sind über den zweiten osmotischen Virialkoeffizienten B_{22} abschätzbar [1]. Messtechnisch kann er über Messungen der statischen Lichtstreuung erfasst werden. Erfolgreiche Kristallisation findet in einem Bereich von $-8 \cdot 10^{-4}$ bis $-2 \cdot 10^{-4}$ mol·ml·g⁻² statt. In diesem Bereich – dem sogenannten „crystallization slot“ – liegen attraktive Wechselwirkungen vor [2]. Durch die Kombination des B_{22} mit dem Wert der Übersättigung für die jeweiligen Lösungsbedingungen entsteht ein zweidimensionaler Bereich in der Auftragung, in dem Kristallisation stattfindet [3]. Innerhalb dieses Bereichs können durch gezielte Variation der Parameter die Eigenschaften des Kristallisats beeinflusst werden.

Eine weitere Möglichkeit, die Produkteigenschaften und den Kristallisationsverlauf zu beeinflussen, ist der Einsatz von anorganischem Impfmateriale. KALLIO et al. konnten für Screening-Experimente zeigen, dass das gezielte Einbringen von Polystyrol-Nanopartikeln bei der Kristallisation von Hühnereiweiß-Lysozym zu einer größeren Anzahl an Kristallen geführt hat [4]. Zudem ist durch die Methode des Animpfens die Kinetik beeinflussbar. Durch Verwendung der Nanopartikel kann es sowohl zu einer Beschleunigung als auch zu einer Verlangsamung des Keimbildungsvorganges kommen [4]. Bezüglich der Qualität der gebildeten Proteinkristalle wurden durch Zugabe von Siliziumdioxid-Nanopartikeln als Impfmateriale im Vergleich zur Referenzprobe ohne Partikeln wohldefiniertere Kristalle gebildet. In einem weiteren Schritt können Metalloxid-Nanopartikel mit superparamagnetischen Eigenschaften als Impfmateriale dienen, um ein Abtrennen des erhaltenen Feststoffs durch Anlegen eines magnetischen Feldes zu realisieren.

Mithilfe von Populationsbilanzgleichungen kann der Verlauf der Anzahldichteverteilung mit der Zeit simuliert werden. Durch die Verwendung geeigneter Modelle und anschließender Validierung können Parameterstudien durchgeführt werden, die den experimentellen Aufwand zur Bestimmung der Kristallisationsbedingungen reduzieren. Des Weiteren können aus diesen Berechnungen Informationen über grundlegende Mechanismen während der Kristallisation gewonnen werden.

Literatur:

- [1] George, A., Chiang, Y., Guo, B., Arabshahi, A., Cai, Z., Wilson, W.W., Second virial coefficient as predictor in protein crystal growth, *Methods in Enzymology* 267 (1997), p. 100-110.
- [2] George, A., Wilson W.W., Predicting protein crystallization from a dilute solution property, *Acta Crystallographica Section D-Biological Crystallography* 50 (1994), p. 361-365.
- [3] Wanka, J., Peukert W., From the one-dimensional crystallization slot towards a two dimensional supersaturation-B22 diagram for optimized production of protein crystals, *Chemical Engineering & Technology* 34 (2011), No. 4, p. 510-516.
- [4] Kallio, J. M., Hakulinen, N., Kallio, J. P., Niemi, M. H., Kärkkäinen, S., Rouvinen, J., The contribution of polystyrene nanospheres towards the crystallization of proteins, *Public Library of Science* 4 (2009).

Lagerung von Muttermilch: Charakterisierung der sensorischen Veränderungen und Entwicklung von Vermeidungsstrategien

*Spitzer, J., Büttner, A.
Universität Erlangen-Nürnberg,
Lehrstuhl für Lebensmittelchemie*

Die Bevorratung von Muttermilch ist eine gängige Strategie, um Müttern in der modernen Gesellschaft die Möglichkeit zu geben, Stillen und Berufsleben in Einklang zu bringen. Die Lagerung der Milch kann dabei, gemäß den Empfehlungen verschiedener Organisationen [1], unterschiedliche Zeitspannen umfassen und unter verschiedenen Bedingungen stattfinden: üblich ist eine Lagerung bei Raumtemperatur für wenige Stunden, im Kühlschrank für bis zu drei Tagen oder eine längerfristige Bevorratung bei -20 °C für Wochen bis hin zu einigen Monaten. Die Lagerungs-Empfehlungen orientieren sich zumeist an der mikrobiologischen Stabilität der Milch oder beziehen den Nährstoffgehalt und immunologische Aspekte mit ein [2, 3].

Im Rahmen unserer Untersuchungen wurde mittels chemo-analytischer und human-sensorischer Methoden, wie Gaschromatographie-Olfaktometrie und Aromaextrakt-Verdünnungsanalysen sowie Stabilisotopenverdünnungs-Assays, sowohl qualitativ wie auch quantitativ untersucht, wie sich die Lagerung bei Gefrierbedingungen auf die sensorischen Aromaprofile von Muttermilch auswirkt [4, 5]. Es konnte u.a. gezeigt werden, dass selbst bei relativ kurzen Lagerzeiten bei -20 °C gemäß den üblichen Empfehlungen bereits wesentliche sensorische Veränderungen auftreten können, die sich bei Lagerung bis zu 6 Monaten deutlich verstärken. Es wurde der Nachweis erbracht, dass diese Veränderungen auf offensichtlich enzymatisch katalysierte Oxidationsprozesse zurückzuführen sind, die beispielsweise nach vorhergehender Erhitzung oder Tieftemperaturlagerung nicht stattfinden. Vergleichende Untersuchungen an Kuhmilch belegten, dass ähnliche Oxidationsprozesse dort nicht zu beobachten sind.

Die festgestellten Oxidationsprozesse sind zum einen darauf zurückzuführen, dass Muttermilch eine charakteristische Fettsäurezusammensetzung aufweist und reich an ω -3-Fettsäuren ist [6], und zudem zahlreiche aktive Enzymsysteme, wie z.B. Lipasen, besitzt [7]. Kritisch ist allerdings eine Hitze-Desaktivierung der Enzyme vor der Lagerung auf Grund einer möglichen Schädigung der wertgebenden Inhaltsstoffe, insbesondere von Komponenten zur Immunabwehr. Unsere Untersuchungen sind somit eine Basis, um neue Bevorratungsstrategien für Muttermilch zu entwickeln.

Literatur

- [1] AFS (Arbeitsgemeinschaft Freier Stillgruppen e.V.), GKinD-Arbeitsgruppe (Gesellschaft der Kinderkrankenhäuser u. Kinderabteilungen in Deutschland e.V.).
- [2] Silvestre, D., et al. (2006). *British Journal of Biomedical Science*, 63 (2), 59-62.
- [3] Lawrence, R.A. (2001). *Advances in Nutritional Research*, 10, 389-404.

- [4] Spitzer, J., & Buettner, A. (2010a). *Food Chemistry*, 120(1), 240-246.
- [5] Spitzer, J., Doucet, S., & Buettner, A. (2010b). *Food Quality and Preference*, 21(8), 998-1007.
- [6] Bokor, S., Koletzko, B., & Decsi, T. (2007). *Annals of Nutrition and Metabolism*, 51(6), 550-556.
- [7] Turoli, D., Testolin, G., Zanini, R., & Bellu, R. (2004). *Acta Paediatrica*, 93, 1569-1574.

Wasserstoffperoxid – ein wichtiger Mediator der antimikrobiellen Wirkung von Kaffee

Müller, U.¹, Pichner, R², Pischetsrieder, M.¹

¹ Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Lebensmittelchemie

² Max-Rubner-Institut, Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie, Kulmbach

In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass gebrühter Röstkaffee antimikrobiell gegenüber verschiedenen Bakterienstämmen wirkt [1]. Gebrühter Rohkaffee zeigte diesen Effekt jedoch nicht. Deshalb ist es wahrscheinlich, dass während des Röstprozesses in den Kaffeebohnen Verbindungen gebildet werden, die für diesen antimikrobiellen Effekt verantwortlich sind. Ziel des aktuellen Projektes war es, antibakterielle Inhaltsstoffe des Kaffee zu identifizieren und ihre molekularen Wirkmechanismen zu untersuchen [2].

Dazu wurden *Escherichia coli* und *Listeria innocua* mit Kaffee versetzt und bis zu 16 h bei 37 °C aerob inkubiert. Anschließend wurde die Keimzahl in den Suspensionen bestimmt. Um den Beitrag von Wasserstoffperoxid zur antimikrobiellen Wirkung von Kaffee zu untersuchen, wurden die Inkubationen zusätzlich in Anwesenheit von Katalase durchgeführt. Weiterhin wurde der Wasserstoffperoxidgehalt in den Proben parallel zur Keimzahl mittels FOX_{PCA}-Assay ermittelt. Wasserstoffperoxid wird während der Kaffeeherstellung aus Röstprodukten gebildet.

Röstkaffee zeigt gegenüber *Escherichia coli* und *Listeria innocua* eine konzentrationsabhängige antibakterielle Wirkung. Die nach 16 h Inkubationszeit bestimmten Keimzahlen von *Escherichia coli* korrelierten mit den Wasserstoffperoxidkonzentrationen in den Mischungen. Röstkaffee in Anwesenheit von Katalase und Rohkaffee übten keine antimikrobielle Wirkung aus. Daraus konnte geschlossen werden, dass der Kaffeeinhaltsstoff Wasserstoffperoxid einen wichtigen Beitrag zur antimikrobiellen Wirkung von Kaffee liefert. Weiterhin wurden die Kaffeeinhaltsstoffe Trigonellin, Koffein, Hydroxymethylfurfural (HMF), Ferulasäure, Chlorogensäure, Nicotinsäure, Kaffeesäure und Methylglyoxal, für die bereits eine antimikrobielle Wirkung in der Literatur beschrieben worden war, in den Kaffee-relevanten Konzentrationen der *Escherichia coli*-Suspension zugesetzt. Keine der eingesetzten Verbindungen zeigt eine mit dem Röstkaffee vergleichbare antimikrobielle Aktivität. Auch die Mischung der acht Stoffe führt nur zu einer leicht verminderten Keimzahl.

Damit konnte gezeigt werden, dass Röstkaffee konzentrationsabhängig eine antimikrobielle Wirkung gegenüber *Escherichia coli* und *Listeria innocua* ausübt. Der Kaffeeinhaltsstoff Wasserstoffperoxid wurde als wichtiger Mediator dieser Aktivität identifiziert. Acht weitere Kaffeeinhaltsstoffe mit potentiell antimikrobieller Wirkung hatten in den Kaffee-relevanten Konzentrationen keinen Einfluss auf das Bakterienwachstum.

Literatur:

- [1] Daglia M, Cuzzoni MT, Dacarrot C. (1994) Antibacterial activity of coffee. *J Agric Food Chem* 42: 2270 – 2272.
- [2] Müller U, Sauer T, Weigel I, Pichner R, Pischetsrieder M. (2011) Identification of H₂O₂ as a major antimicrobial component in coffee. *Food Funct* 2: 265 – 272.

NF- κ B- und Nrf2-Induktion durch Kaffee und Röstprodukte in Makrophagen, Darmzellen und Darmgewebe

Sauer, T., Raithel, M., Münch, G., Kressel, J., Pischetsrieder, M.
Universität Erlangen-Nürnberg,
Lehrstuhl für Lebensmittelchemie

Die redox-sensitiven Transkriptionsfaktoren NF- κ B und Nrf2 spielen eine entscheidende Rolle bei der Regulation der Immunantwort im Darm. Im aktuellen Projekt wurde deshalb der Einfluss von Kaffee und speziell von dessen Röstprodukten auf die Aktivität von NF- κ B und Nrf2 untersucht [1, 2].

Dazu wurden Makrophagen und Caco-2-Darmzellen mit Kaffee bzw. Röstprodukten für 2 h im Kurzzeitversuch und bis zu 24 h im Langzeitversuch *in vitro* stimuliert. Anschließend wurde die nukleare Konzentration der Transkriptionsfaktoren NF- κ B und Nrf2 immunochemisch detektiert. Ferner wurden Darmbiopate, die im Rahmen einer intestinalen Endoskopie aus dem terminalen Ileum und dem Colon ascendens von Patienten entnommen wurden, während einer Mucosaoxygenierung für 2 h *ex vivo* mit Kaffee und Röstprodukten stimuliert [3].

Die Röstprodukte führten in beiden getesteten Zelllinien bereits nach 2 h zu einer Aktivierung sowohl von NF- κ B als auch von Nrf2. Weiterhin erfolgte eine Stimulation von NF- κ B in Macrophagen nach zweistündiger Inkubation mit Kaffee. Die nukleare Konzentration von Nrf2 in Macrophagen wurde durch Kaffee signifikant nach sechs Stunden erhöht. Rohkaffee konnte im Gegensatz zu Röstkaffee weder NF- κ B noch Nrf2 in den getesteten Zellen aktivieren, so dass die beobachtete zelluläre Modulation durch Kaffee vermutlich auf Röstprodukte zurückzuführen ist. In den humanen Darmgewebeproben wurde durch Röstprodukte nach 2 h ebenfalls eine Aktivierung von NF- κ B und Nrf2 ausgelöst.

Die Induktion des Nrf2-Signalweges führt zu einer Expression antioxidativer und detoxifizierender Proteine. Die NF- κ B-geregelte Signaltransduktion steht weiterhin in enger Verbindung mit der Immunhomeostase. Möglicherweise üben deshalb Kaffee und Röstprodukte im gesunden Darm eine immunmodulierende und cytoprotektive Wirkung aus.

Literatur:

- [1] Muscat S., Pelka J., Hegele J., Weigle B., Münch G., Pischetsrieder M. (2007) Coffee and Maillard products activate NF- κ B in macrophages via H₂O₂ production. *Mol Nutr Food Res* 51: 525 – 535.
- [2] Sauer T., Raithel M., Kressel J., Muscat S., Münch G., Pischetsrieder M. (2011) Nuclear translocation of NF- κ B in intact human gut tissue upon stimulation with coffee and roasting products. *Food Funct* 2: 529 – 540.
- [3] Raithel M., Weidenhiller M., Abel R., Baenkler H.W. und Hahn E.G. (2006) Colorectal mucosal histamine release by mucosa oxygenation in comparison with other established clinical tests in patients with gastrointestinally mediated allergy. *World Journal of Gastroenterology* 12: 4699 – 4705.

Charakterisierung von Lebensmittelschäumen mittels Computertomographie

*Nachtrab, F., Dietrich, A., Salamon M., Uhlmann, N., Hanke, R.
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS),
Entwicklungszentrum Röntgentechnik, Fürth*

Schäume geben Lebensmitteln eine luftige Struktur und erfüllen so den Wunsch des Verbrauchers nach leichter Kost. Die Einarbeitung von Luft verändert die physikalischen und sensorischen Eigenschaften. Um die gewünschte Funktionalität und Eigenschaft des Produkts zu erreichen, benötigt das Lebensmittel eine bestimmte Porenstruktur.

Die Empfindlichkeit des Systems gegen mechanische Einflüsse erschwert die Analyse von Schäumen ebenso wie die Variabilität der Materialeigenschaften, so dass es momentan an verlässlichen Testmethoden zur Charakterisierung der Porenstruktur mangelt. Eine quantitative Methode, die die Mikrostruktur akkurat charakterisiert, wäre nicht nur im Bereich der Qualitätssicherung von großem Vorteil. Es ließen sich damit der Zusammenhang zwischen Struktur und Verhalten genauer untersuchen und Beziehungen zwischen Herstellungsbedingungen und Schaumstruktur entwickeln. Das ermöglicht eine bessere Reproduzierbarkeit und eine Vorhersage von Eigenschaften sowie die Entwicklung qualitativ hochwertigerer Produkte, da eine höhere Qualität im Zusammenhang mit besserer morphologischer und struktureller Homogenität des Schaums steht. [2]

Ein vielversprechender Ansatz ist die Strukturanalyse mittels hochauflösender Mikro-Computertomographie (Mikro-CT), da sie eine berührungslose, zerstörungsfreie 3D-Abbildungstechnik bietet, deren Auflösung im Bereich weniger Mikrometer liegt. [1] Durch die präzise Rekonstruktion lassen sich innere und äußere Oberflächen darstellen, was die geometrische Vermessung der komplexen Struktur ermöglicht. Mit Hilfe der 3D-Messtechnik lassen sich somit Porenvolumen, Porengrößenverteilung, Blasenanteil, Zellwanddicke etc. weicher und poröser Objekte analysieren. [3] Jedoch unterliegt die Mikro-Computertomographie zeitlichen Beschränkungen: die Aufnahme eines Datensatzes nimmt üblicherweise 10 bis 100 min in Anspruch. Während dieser Zeit darf sich die Probe nicht verändern. Der starke Einfluss von Umgebungsbedingungen, wie Temperatur, Mikroklima, Positionierung etc., auf die Mikrostruktur der Schäume ist hinderlich.

Eine Reduktion der Messzeit auf unter eine Minute ist an Synchrotron-Messplätzen bereits möglich. Die breite Anwendung in der Lebensmitteltechnologie, bei der beispielsweise im Produktionsprozess eine Vielzahl von Proben mit verschiedenen freien Parametern untersucht werden soll, benötigt jedoch ein industrietaugliches Verfahren. Eine Lösung hierfür bietet die Mikro-CT mit besonderer Anpassung an die begrenzte Messzeit, wie sie am Entwicklungszentrum für Röntgentechnik zur Verfügung steht. Mit diesem System ist die Analyse langsamer dynamischer Vorgänge mit einer zeitlichen Auflösung von bis zu einer halben Minute möglich. Mittels einer angepassten Bildauswertalgorithmik und einer geeigneten Volumendatenauswertung können dann die Struktureigenschaften für jede Pore in der Probe quantitativ beschrieben werden, woraus sich eine Porengrößenverteilung ermitteln lässt.

Dazu wurde die Leistungsfähigkeit verschiedener bildgebender Komponenten sowie der Einfluss der Messparameter auf die Bildqualität untersucht. Über die Eigenschaften des Messsystems hinaus wurde die Analyse der 3-D-Daten verifiziert, um einerseits Aussagen zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse treffen zu können und andererseits die unterschiedlichen Aufnahmeszenarien miteinander zu vergleichen. Hierzu wurden spezielle Referenzobjekte mit bekannter Porengröße analysiert und auf die Porengrößenverteilung hin überprüft. Das System fand bereits Anwendung bei der Analyse halbfester Schäume in Form verschiedener Mousse-Proben.

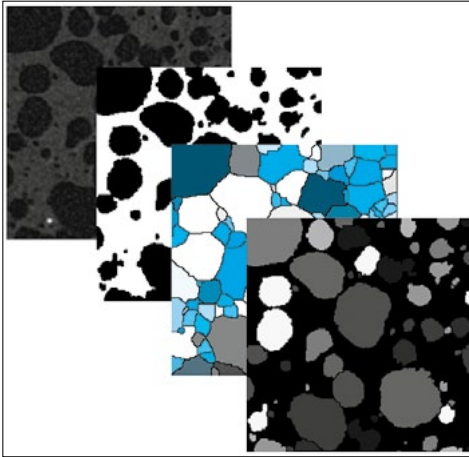


Abb. 1: Analyse halbfester Schäume mit MAVI-Software am Beispiel einer Mousse.

Davon ausgehend, dass eine weitere Beschleunigung des Messprozesses möglich ist, ist das Ziel, eine »4-D-Charakterisierung« von Schäumen anzufertigen, um beispielsweise die Strukturbildungsdynamik und die sich anschließenden Destabilisierungsphänomene (Blasenkoaleszenz und auftretende Strömungskräfte) verfolgen zu können.

Literatur

- [1] Plews, A., Atkinson, A., McGrane, S., Discriminating Structural Characteristics of Starch Extrudates through X-ray Micro-tomography using a 3-D Watershed Algorithm, *International Journal of Food Engineering* 5 (2009), Article 11.
- [2] Lim, K.S., Barigou, M., X-ray micro-computed tomography of cellular food products, *Food Research International* 37 (2004), pp. 1001–1012.
- [3] Schönherr, T., Altmann, S., HiTech: Hochauflösende Computertomographie in der Papiertechnik, *PTS NEWS* 01 (2009), pp. 34-35.

Im Rahmen des DFG/AiF-Clusters „Proteinschäume in der Lebensmittelproduktion: Mechanismenaufklärung, Modellierung und Simulation“ wird dieses Teilprojekt 3 (AiF 17124 N) des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Produktion natürlicher Aromen durch Biotransformation von Apfeltrester mit *Tyromyces chioneus*

Bosse, A.K.¹, Fraatz, M.A.¹, Berger, R.G.², Zorn, H.¹

¹ Universität Gießen, Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie

² Universität Hannover, Institut für Lebensmittelchemie

Aufgrund der zunehmenden Verarbeitung und Konfektionierung der Rohstoffe in der Lebensmittelindustrie wächst das Volumen lignocellulosehaltiger Nebenströme stetig an. Sie werden überwiegend als Futter- oder Düngemittel verwendet oder thermisch entsorgt. Diese Nebenströme enthalten jedoch zahlreiche Inhaltsstoffe, die als Vorstufen für Aromastoffe dienen können. Basidiomyceten weisen ein einzigartiges, bisher wenig genutztes biochemisches Potential auf, welches sie zur Konversion von Lignocellulose befähigen. Durch ihr extrazelluläres Enzymsystem eröffnen sie einen biotechnologischen Zugang zur Produktion komplexer Aromagemische aus Nebenströmen der Lebensmittelindustrie. [1]

Der Ständerpilz *Tyromyces chioneus* wurde in Submerskultur in einem definierten Minimalmedium und dem Substrat Apfeltrester als Kohlenstoffquelle für vier Tage bei 24 °C unter Lichtausschluss bei 150 U min⁻¹ kultiviert. Während der Kulturführung wurde der sensorische Gesamteindruck regelmäßig ermittelt. Die Kultur von *T. chioneus* mit Apfeltrester roch fruchtig, nach Zimt, Pflaume und Kompott. Die Kulturüberstände wurden extrahiert und die Extrakte mittels Gaschromatographie-Olfaktometrie (GC-O) analysiert. Anschließend wurden die geruchsaktiven Verbindungen mit Hilfe eines massenselektiven Detektors (GC-MS) und durch Vergleich mit authentischen Standards identifiziert. Die Hauptaromakomponenten wurden mittels Aromaextrakt-Verdünnungsanalyse ermittelt (siehe **Abb. 1**).

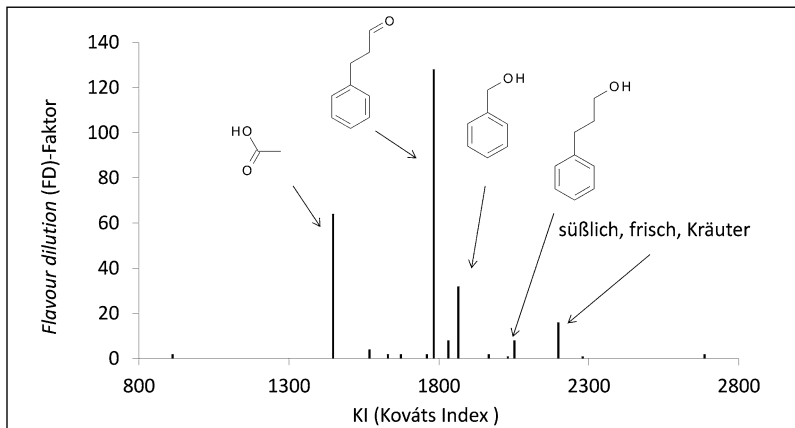


Abb. 1: FD-Chromatogramm zur Kultivierung von *T. chioneus* mit Apfeltrester; KI = Kováts Index (HP-Innowax).

Als wesentliche Komponenten wurden 3-Phenylpropanal (KI = 1783; HP-Innowax), Essigsäure (KI = 1447) und Benzylalkohol (KI = 1865) identifiziert. Eine bislang unbekannte Verbindung, die süßlich, frisch und nach Kräutern roch, beeinflusste mit einem FD-Faktor von 16 das Aroma dieser Kultur mit. Im Zuge der Biotransformation entstand zusätzlich 3-Phenylpropanol (KI = 2052), welches mit einem FD-Faktor von 8 am pflaumenartigen Geruchseindruck beteiligt war.

Die Biotransformation von Apfeltrester durch *T. chioneus* führte zu einem fruchtigen, pflaumenartigen Aromastoffgemisch. Essbare Basidiomyceten können damit erfolgreich zur biotechnologischen Aromastoffproduktion aus Apfeltrester als komplexem Substrat genutzt werden

Literatur:

- [1] M. Guentert. In: R.G. Berger (ed) Flavours and Fragrances, Springer, Berlin, Heidelberg, 2007, 1.

Das Vorhaben AIF 299 ZN des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Maßstabsvergrößerung der biotechnologischen Darstellung natürlicher Aromen durch Fermentation von Karottenschalen mit dem Basidiomyceten *Wolfiporia cocos*

Kunkel, K.¹, Fraatz M.A.¹, Berger, R.G.², Zorn, H.¹

¹ Universität Gießen, Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie

² Universität Hannover, Institut für Lebensmittelchemie

Viele Reststoffströme der Lebensmittelindustrie enthalten Bausteine, die als biogenetische Präkursoren für Aromastoffe dienen können. Daher wurde die Idee der traditionellen fermentativen Stoffbildung auf submers kultivierte Basidiomyceten und komplexe Reststoffströme als Substrate übertragen [1].

Nach einem Screening von 29 Basidiomyceten mit Karottenschalen als Substrat wurde deren Biotransformation mit *Wolfiporia cocos* anhand des olfaktorischen Eindrucks als vielversprechend ausgewählt.

Der Geruchseindruck der Submerskultur von *W. cocos* mit Karottenschalen wurde als blumig, zitrusartig und cremig wahrgenommen. Als Hauptaromakomponenten wurden mittels Aromaextrakt-Verdünnungsanalyse [2] Linalool, (E)-Geraniol und 2-Phenylethanol bestimmt. Um bei gleichbleibender Aromabildung ein möglichst einfaches und kostengünstiges Medium zu erhalten, wurden einzelne Medienbestandteile in ihrer Konzentration reduziert bzw. ganz eliminiert und die Geruchseindrücke mit Referenzkulturen im Screening-Medium verglichen.

Nach Optimierung der Kulturparameter erfolgte die Produktion von Aromastoffen durch *W. cocos* in einem Minimalmedium aus Karottenschalen als alleiniger C- und N-Quelle sowie Kaliumdihydrogenphosphat, Magnesiumsulfat und Spurenelementen.

Eine Maßstabsvergrößerung um den Faktor 30 erfolgte im 7,5-L-Fermenter. Die Kultur wurde sensorisch evaluiert und Aliquote flüssig/flüssig-extrahiert. Der Extrakt wurde anschließend mittels GC/O und GC/MS analysiert. **Abb. 1** zeigt das GC/FID-Chromatogramm eines organischen Extraktes der Biotransformation von Karottenschalen durch *W. cocos* mit Olfaktometrie-Detektorport-Spur (ODP-Spur) (schwarz). Die Höhe der Balken der ODP-Spur gibt die Intensität, deren Breite die Dauer des Geruchseindrucks an.

Die Aromabildung im Schüttelkolben wurde im 7,5-L-Fermenter reproduziert. Die Konzentrationen der Hauptaromakomponenten waren vergleichbar mit den in Schüttelkolben bestimmten Gehalten und bestätigten die erfolgreiche Maßstabsvergrößerung.

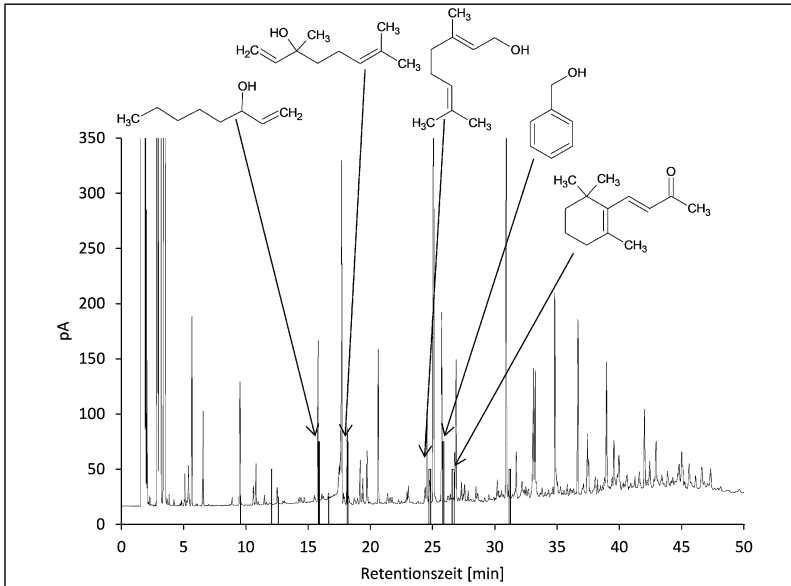


Abb. 1: GC/FID-Chromatogramm eines organischen Extraktes der Biotransformation von Kaktusrosen durch *W. cocos* im 7,5-L-Fermenter zusammen mit ODP-Spur (schwarz); *interner Standard.

Literatur:

- [1] M. Guentert. In: R. G. Berger (Hrsg.) *Flavours and Fragrances*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2007, 1.
- [2] W. Grosch, *Chem. Unserer Zeit* 1990, 24, 82.

Das Vorhaben AiF 299 ZN des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotential der deutschen Lebensmittel- und Biotechnologie-Industrie

Schüttmann, I.¹, Gaida, B.², Mahro, B.², Zorn, H.¹

¹ Universität Gießen, Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie

² Hochschule Bremen, Institut für Umwelt- und Biotechnik

Die Bedeutung von Biomasse als Energie- und Rohstoffträger wird in den nächsten Jahren weiter zunehmen. Die Menge an land- und forstwirtschaftlich nutzbaren Flächen ist allerdings begrenzt. Dadurch werden zunehmend Nutzungskonflikte zwischen der Nutzung von Biomasse als Energieträger einerseits und der Sicherstellung einer ausreichenden Lebensmittelversorgung andererseits auftreten. Daher ist es wichtig, insbesondere solche Biomassereserven, die für eine unmittelbare Lebensmittelversorgung nicht mehr in Frage kommen, möglichst effizient zu nutzen. Untersuchungen zur Verwertung von Reststoffen der Lebensmittel- und Biotechnologieindustrie spielten bislang eine untergeordnete Rolle, obwohl gerade dort biogene Reststoffe in erheblichen Mengen sortenrein und regelmäßig anfallen.

Genauere Daten über Art und Menge der regional generierten Rückstände der Lebensmittelindustrie sind aus unterschiedlichen Gründen schwierig aufzunehmen. Die Reststoffströme werden unterschiedlich kategorisiert und das entstehende Rohstoffwasser zum Teil mit berechnet (**Tab. 1**).

Tab. 1: Berichtete Mengen an Verarbeitungsresten der Lebensmittelindustrie in Deutschland in 10³ Tonnen pro Jahr (Feuchtgewicht)

	KNAPPE et al. 2007	LAUFENBERG et al. 2003	BRANSCHIED 2001	AWARENET 2001-2004 (modifiziert)
Reststoffe aus Schlachthof und Fleischverarbeitung	1.249		2.127	2.667
Reststoffe aus Obst-, Gemüse- und Getreideverarbeitung	4.730	7.234		35.564

Erst eine regionalisierte und spezifische Auswertung der anfallenden Reststoffströme ermöglicht im Weiteren die Untersuchung alternativer Verwertungswege für biogene Reststoffe (**Abb. 1**).

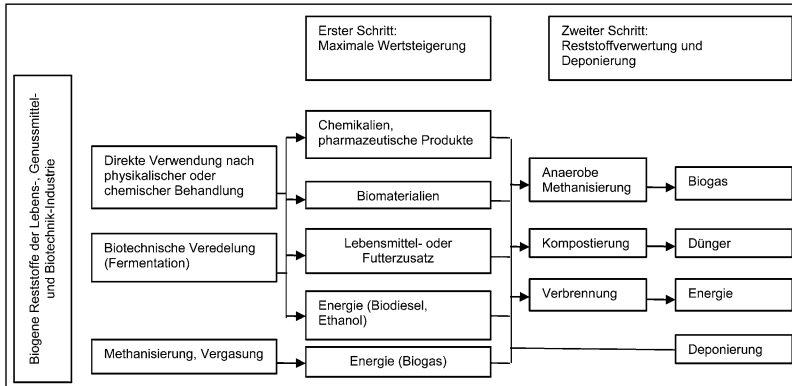


Abb. 1: Ansatz zur ganzheitlichen Nutzung von biogenen Reststoffen der Lebensmittelindustrie (mod. nach MAHRO und TIMM 2007).

Alternative Verwertungswege für biogene Reststoffe aus zum Beispiel der Wein- oder Kakaoproduktion sind u.a. die Isolierung von Coffein, Tannin, Pektin oder natürlichen Farbstoffen.

In diesem Projekt werden das regionale Aufkommen sowie die aktuellen Verwertungswege von Reststoffen der Lebensmittel- und Biotechnologie-Industrie ebenso erfasst wie die wichtigsten chemischen Charakteristika der biogenen Reststoffe. So soll eine breite Datenbasis zur zukünftig optimierten Nutzung von Biomasse-Fraktionen als Rohstoff geschaffen werden.

Literatur

- [1] Branscheid W (2001) Reststoffe der Schlachtung, Bilanz und Perspektiven. Bundesanstalt für Fleischforschung/Jahresbericht.
- [2] AWARENET (2004) Handbook for prevention and minimization of waste and valorisation of by-products in European agro-food industries.
- [3] Knappe F, Böß A, Fehrenbach H, Giegrich J, Vogt R, Dehoust G, Schüler D, Wiegmann K, Fritsche U (2007) Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. UBA Texte.
- [4] Laufenberg G, Kunz B, Nystroem M (2003) Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implements. Bioresour Technol 87:167-198.
- [5] Mahro B, Timm M (2007) Potential of biowaste from the food industry as a biomass resource. Eng Life Sci 7:457-468.

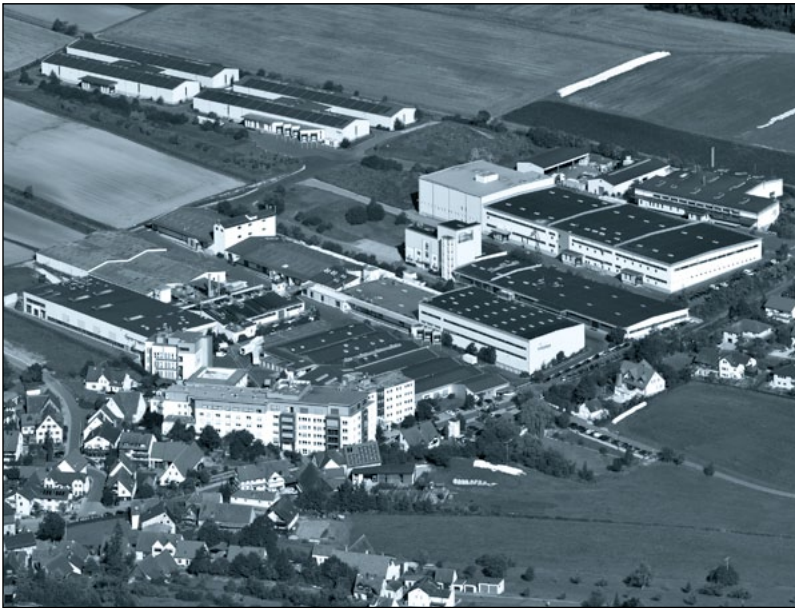
Das Projekt (Förderkennzeichen 22001910) wird über das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. finanziell gefördert.

Betriebsbesichtigung

Betriebsbesichtigung

Auf großes Interesse stieß die Betriebsbesichtigung in Vestenbergsgreuth, die den Abschluss der FEI-Jahrestagung 2011 bildete.

1930 als „Kräuterverarbeitungswerk Martin Bauer“ durch den Landwirt Martin Bauer in Vestenbergsgreuth gegründet, steht die heutige Unternehmensgruppe **the nature network**® nicht nur für Kräutertee, sondern für wirksame und innovative Produkte und Dienstleistungen rund um die Pflanze – vom Rohstoff, dessen Veredelung zu hochwertigen Grundstoffen bis hin zu Labor-, Beratungs- und Vertriebsdienstleistungen. Die als Familienunternehmen in dritter Generation geführte Gruppe mit weltweit rund 2.800 Mitarbeitern gliedert sich in drei Geschäftsbereiche: Martin Bauer Group, PhytoLab und Europlant Group sowie zahlreiche darunter versammelte Unternehmen. Am Hauptsitz in Vestenbergsgreuth (Region Nürnberg) arbeiten ca. 950 Mitarbeiter.



Die **Martin Bauer Group** ist der kompetente und zuverlässige Partner für hochwertige pflanzliche Grundstoffe, Extrakte sowie Kräuter- und Früchtetees mit Geschmack, Sicherheit und Wirksamkeit. Zu den Kunden des Geschäftsbereichs zählen vor allem Firmen aus der Tee-, Getränke- und phytopharmazeutischen Industrie. Unter der gemeinsamen Marke Martin Bauer Group agieren die drei

Business Units Martin Bauer, Plantextrakt und Finzelberg, die sich in mehrere Einzelunternehmen weltweit gliedern:

- Die Business Unit Martin Bauer ist Spezialist für Kräuter- und Früchtetees, Arzneitees, aromatisierte Schwarz- und Grüntees, Aromen sowie pflanzliche Pulver und pflanzliche Rohstoffe. Aus über 200 pflanzlichen Rohstoffen stellen die Unternehmen Tees individuell nach Kundenwunsch her.
- Die Business Unit Plantextrakt produziert Kräuter-, Früchte- und Tee-extrakte, entkoffeinierte Tees sowie Tee-Aromen. Auf der Basis von über 120 Pflanzen entwickelt die Business Unit mehr als 2.000 Rezepturen und kreiert maßgeschneiderte innovative Produktkonzepte.
- Die Business Unit Finzelberg ist ein langjähriger Partner, wenn es um die Entwicklung und Produktion phytopharmazeutischer Wirkstoffe und Extrakte für Nahrungsergänzungsmittel geht.

PhytoLab ist ein spezialisiertes Prüflabor für die Analytik, Entwicklung, Qualitätskontrolle und Zulassung pflanzlicher Arzneimittel, Lebensmittel und Kosmetika mit einem erfahrenen Team und modernstem Equipment – unabhängig, akkreditiert und behördlich anerkannt.

Die **Eurolant Group** ist der Partner in Osteuropa für pflanzliche Flüssigarzneimittel und Arzneitees für Apotheken mit Wirksamkeit, Sicherheit und Geschmack, basierend auf hochqualitativen Wirkstoffen.

Die gesamte Firmengruppe verpflichtet sich einer durchgängigen Qualitätsphilosophie: Sie beruht zum einen auf hochwertigen, nachhaltig angebauten Rohwaren und zum anderen auf zertifizierten Produktions- und Analysemethoden. Auf dieser Basis nutzt das Familienunternehmen sein Potenzial, um auf den Märkten weltweit seine Kunden optimal mit den gewünschten Produkten und Dienstleistungen zu versorgen.

Mehr Informationen: www.the-nature-network.com

Bilder von der Jahrestagung



Der „alte“ und der „neue“ 2. Stellvertretende Vorsitzende des FEI: Dr. Bernd Schartmann (Lindt & Sprüngli GmbH, Aachen) gratuliert Dr. Götz Kröner (Hermann Kröner GmbH, Ibbenbüren) zu seiner Wahl nach Abschluss der Mitgliederversammlung.



Blick ins Plenum während der Sitzung des Wissenschaftlichen Ausschusses: Nach dem FEI-Fachgutachterverfahren nehmen neue Forschungsanträge hier ihre zweite große Hürde.



Vertreter der Milchindustrie: Dr. Martin Kersten (Karwendel-Werke Huber GmbH & Co. KG, Buchloe), Dr. Gisela Runge (Milchindustrie-Verband e.V.) und Dr. Matthias Eisner (FrieslandCampina Innovation Europe, Wageningen (NL)).



Im Pausengespräch: Dr. Götz Kröner (Hermann Kröner GmbH, Ibbenbüren) mit Prof. Thomas Becker (TU München).



Diskutieren am Rande der WA-Sitzung: Prof. Rudolf Eggers (TU Hamburg-Harburg), Prof. Peter Winterhalter (TU Braunschweig), Prof. Peter Schieberle (DFA, Freising) und Prof. Ulrich Fischer (DLR Rheinpfalz, Neustadt a.d.W.).



Dieses Jahr im Schloss Atzelsberg: Der Abendempfang des FEI.



Der FEI-Vorsitzende Dr. Jürgen Kohnke begrüßt die Gäste im Foyer des Schlosses.



Zuhörer in der ersten Reihe: Dipl.-Ing. Mario Dechent (Eckes-Granini Group GmbH, Nieder-Olm), Prof. Heike P. Schuchmann (KIT, Karlsruhe), Dr. Stefan Kaufmann (Nestlé Research Center, Lausanne (CH)), Prof. Rudolf Eggert (TU Hamburg-Harburg) und Dipl.-oec.troph. Markus Tschoepe (Institut Prof. Dr. Georg Kurz GmbH, Köln).



FEI-Geschäftsführer Dr. Volker Häusser (Mitte) im Gespräch mit seinen Gästen Prof. Frank-Jürgen Methner (TU Berlin; links) und Prof. Hans Steinhart (Universität Hamburg; rechts).



Industrie trifft Forschung: Dr. Dieter Böttger (MDS Prozesstechnik GmbH, Moers) mit Prof. Ulrich Kulozik und Prof. Knut Heller (MRI, Kiel).



Gern gesehene Gäste: Leb.chem. Bettina und Dipl.-Kfm. Hanns-Erwin Muermann (vormals DVAI, Meckenheim) mit Dr. Elke Stich (GNT Europa GmbH, Aachen).



Vertreter einer weiteren AiF-Mitgliedsorganisation: Dipl.-Verwaltungswirt Rolf-Michael Blume (IFF, Braunschweig; rechts); hier im Gespräch mit Prof. Rudolf Eggert (TU Hamburg-Harburg; links).



Im Fachgespräch: Prof. Peter Schieberle (DFA, Freising) und Dr. Petra Först (TU München).



Der Moderator und die Referenten: Prof. Peter Schieberle (DFA, Freising), Prof. Ulrich Kulozik (TU München), Prof. Rudi F. Vogel (TU München), Dr. Rainer Benning (Universität Erlangen-Nürnberg), Prof. Bertrand Matthäus (MRI, Detmold), Prof. Holger Zorn (Universität Gießen) und Prof. Stefan Töpfl (DIL, Quakenbrück).



Blick ins Plenum: Aufmerksame Zuhörer bei den Vorträgen der FEI-Projektleiter.



Mittelstand trifft Vorstand: Dipl.-Ing. Philipp Hengstenberg (Rich. Hengstenberg GmbH & Co. KG, Esslingen) im Gespräch mit dem FEI-Vorsitzenden Dr. Jürgen Kohnke.



Nutzen die Pause für ein Gespräch: Dr. Ronald Schrödter (Intersnack Knabber-Gebäck GmbH & Co. KG, Köln) und Prof. Dr. Reinhard Matissek (LCI, Köln).



Institutsbesichtigung, Teil 1: Dr. Rainer Benning (Universität Erlangen-Nürnberg; rechts vorne) erläutert die verschiedenen Forschungsschwerpunkte am Lehrstuhl für Strömungsmechanik (LSTM) der Universität Erlangen-Nürnberg.



Die Teilnehmer der Institutsbesichtigung erhalten spannende Einblicke in die Prozessautomatisierung von Strömungen. Im Vordergrund: Dipl.-Ing. Mario Dechent (Eckes-Granini Group GmbH, Nieder-Olm).



Interessierte Zuhörer: Dr. Uwe Bretschneider (Bahlsen GmbH & Co. KG, Hannover), Dr. Georg Böcker (Ernst Böcker GmbH & Co. KG, Minden), Dipl.-Ing. Mario Dechent (Eckes-Granini Group GmbH, Nieder-Olm), Prof. Rudolf Eggers (TU Hamburg-Harburg) und Dr. Jörg Kowalczyk (Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt).



Institutsbesichtigung, Teil 2: Dr. Cornelia Rauh (Universität Erlangen-Nürnberg; rechts) beim Rundgang mit den Teilnehmern.



Institutsbesichtigung, Teil 3: Dr. Thomas Roick (Jäckering Mühlen und Nahrungsmittelwerke GmbH, Hamm) am Demo-Prüfstand zur Porenbrennertechnik.



Der Lehrstuhl-Star: Das Seepferdchen und dessen Fortbewegung ist für die Strömungslehre hochinteressant.



Der FEI-Geschäftsführer Dr. Volker Häusser (links) und der FEI-Vorsitzende Dr. Jürgen Kohnke (rechts) bedanken sich bei dem geschäftsführenden Gesellschafter der Martin Bauer Group, Adolf Wedel (Mitte) für die Einladung nach Vestenbergsreuth.



Schwärmt von der guten Laborausstattung: Prof. Hans Steinhart (Universität Hamburg). Neben ihm: Dr. Klaus Reif (Martin Bauer Group, Vestenbergsreuth).



Dr. Klaus Reif (Martin Bauer Group, Vestenbergsgreuth; rechts) erläutert beim Rundgang durch das Phytolab-Prüflabor die Analytik pflanzlicher Arzneimittel, Lebensmittel und Kosmetika.



Spannende Einblicke für die Teilnehmer der Betriebsbesichtigung in Vestenbergsgreuth.

FEI-Projekte 2011/2012

(Stand: 01.12.2011)

Anwendungsbereich Ei, Eiprodukte, Proteine

Eiklarproteinfraktionierung zur Verbesserung der Verschäumungseigenschaften und Pasteurisierbarkeit der entstandenen Fraktionen

AiF 9517/11 N (in Vorbereitung)

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Technologie

Prof. Dr. U. Kulozik/Dipl.-Ing. J. Brand

Technologische Potenziale zur Fraktionierung von Milchproteinhydrolysaten

AiF 16541 N, 2010-2012

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Biotechnologie

Prof. Dr. L. Fischer/Dr. B. Kranz

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Technologie

Prof. Dr. U. Kulozik/Dr. S. Cheison/E. Leeb

Fraktionierung von Proteinen aus Molke mit adsorptiven Membranen

AiF 16540 N, 2010-2012

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Technologie

Prof. Dr. U. Kulozik/Dipl.-Ing. L. Voswinkel

In-vivo-Untersuchungen der probiotischen Effekte von in Milchproteinen mikroverkapselten probiotischen Keimen

AiF 16537 N, 2010-2012

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Technologie

Prof. Dr. U. Kulozik/Dr. P. Först

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Biofunktionalität

Prof. Dr. D. Haller

Optimierung von Eiprodukten für den Einsatz in Feinen Backwaren

AiF 16264 N, 2009-2012

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. K. Franke

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Zentrum für Lebensmittelwissenschaften,
Institut für Lebensmitteltoxikologie und Chemische Analytik,
Abteilung Chemische Analytik
Prof. Dr. W. Ternes

Fraktionierung und getrennte Ausnutzung des technologisch-funktionellen Potentials der Eigelbhauptfraktionen Plasma und Granula

AiF 16009 N, 2009-2011

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik/Dipl.-Ing. T. Strixner

Entwicklung eines neuen Verfahrens zur kostengünstigen Gewinnung von technologisch und physiologisch wertvollen Eigelbfraktionen

AiF 15512 N, 2007-2010

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Zentrum für Lebensmittelwissenschaften,
Institut für Lebensmitteltoxikologie und Chemische Analytik,
Abteilung Chemische Analytik
Prof. Dr. W. Ternes

Anwendungsbereich Fisch, Fleisch

Einsatz von nicht-thermischen Konservierungsverfahren auf Basis von UV-, Infrarot- und gepulsten Lichtsystemen für Lebensmittel (BEAMS)

CORNET AiF 116/12 EN (in Vorbereitung)

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl

Virusinaktivierung durch Erhitzungs- und Räucherverfahren bei Fleischerzeugnissen – Erarbeitung von Prozessvorgaben anhand geeigneter Modellviren

AiF 11641/11 BR (in Vorbereitung)

Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät,
Zentrum für Veterinary Public Health,
Institut für Lebensmittelhygiene
Prof. Dr. P. Braun/Dr. T. Albert

Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät,
Zentrum für Veterinary Public Health,
Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen
Prof. Dr. U. Truyen/Dr. J. Straube
Universität Hohenheim

Untersuchungen zur Formulierung und Strukturgebung von koextrudierten Geflügelkollagenhüllen

AiF 9516/11 N (in Vorbereitung)
Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Technologie funktioneller Lebensmittel
Prof. Dr. J. Weiss

Entwicklung eines mikrowellenunterstützten Vakuumtrocknungsverfahrens zur schonenden und effizienten Herstellung von mikrobiellen Kulturen

AiF 9515/11 N (in Vorbereitung)
Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik/Dr. P. Först/M.Sc. S. Bauer
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik,
Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik
Prof. Dr. H. P. Schuchmann/Dr. V. Gaukel

Prozessinduzierte Veränderungen physikalischer Verpackungsmaterialeigenschaften als Marker für eine Hochdruck- oder Temperaturbehandlung verpackter Lebensmittel

AiF 7377/11 N (in Vorbereitung)
Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl/ B. Hukelmann
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/M.Sc. M. Hussein
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,
Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik
Prof. Dr. H.-C. Langowski

Tenazität und Inaktivierung von humanem Norovirus auf unterschiedlichen Werkstoffen von Bedarfsgegenständen in der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung

AiF 16970 N, 2011-2013

Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachbereich Life Science Technologies,
Labor Mikrobiologie
Prof. Dr. B. Becker

Design und Funktionalität antimikrobieller Wirkstoffkombinationen für den Einsatz in Fleischerzeugnissen

AiF 16969 N, 2011-2013

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Technologie funktioneller Lebensmittel
Prof. Dr. J. Weiss

Mikrobiologische Sicherheit von Rohwurstprodukten - Wirkung von Nitrit und Pflanzenextrakten auf enterohämorrhagische *Escherichia coli* und *Salmonella* spp.

AiF 16908 N, 2011-2014

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,
Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie,
- Standort Kulmbach -
Prof. Dr. Dr. M. Gareis/Dr. R. Pichner
Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Mikrobiologie
Prof. Dr. S. Scherer/Dr. S. Müller

DFG/AiF-Cluster 4

Minimal Processing in automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung am Beispiel der Feinzerlegung von Schweinefleisch (Schinken)

AiF 16692 N „Analysenmethoden zur online-Beurteilung“

AiF 16691 N „Hygieneorientiertes Maschinenkonzept“

AiF 16690 N „Minimal Processing Schweinefleisch“

Entwicklung von Analysenmethoden zur Etablierung einer online-fähigen Beurteilung von Fleisch

AiF 16692 N, 2010-2013

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,
Arbeitsgruppe Analytik,
- Standort Kulmbach -
Prof. Dr. F. Schwägele/Dr. R. Scheuer

Universität Bayreuth, Forschungsstelle für Nahrungsmittelqualität
Prof. Dr. O. Meyer/Dr. H. Schmidt
Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL),
Erlangen
Dr. H. Diepolder/J. Denhöfer

Reinigungs- und hygieneorientiertes Maschinenkonzept zur ganzheitlichen Umsetzung von Minimal Processing bei der Fleischverarbeitung

AiF 16691 N, 2010-2013
Fraunhofer Anwendungszentrum für Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik (AVV), Dresden
Prof. Dr. J.-P. Majschak

Minimal Processing in der automatisierten Feinzerlegung von Schweinefleisch

AiF 16690 N, 2010-2013
Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning/Q. Xie
Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. K. Franke

Bildung sicherheits- und aromarelevanter Metabolite durch Starterorganismen in der Rohwurstreifung

AiF 16608 N, 2010-2013
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie
Prof. Dr. R.F. Vogel
Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle

Untersuchung zur Wirkung von Starter- und Schutzkulturen hinsichtlich einer gezielten Inaktivierung von ausgewählten viralen Erregern während der Herstellung und Lagerung von Rohwurstprodukten

AiF 16509 BR, 2010-2012
Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät,
Zentrum für Veterinary Public Health,
Institut für Lebensmittelhygiene
Prof. Dr. P. Braun/Dr. T. Albert

Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät,
Zentrum für Veterinary Public Health,
Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen
Prof. Dr. U. Truyen/Dr. J. Straube

Strukturbildung bei Fleischerzeugnissen durch Optimierung und Neugestaltung eines kontinuierlichen Produktionssystems auf Basis der Füllwolftechnologie

AiF 16461 N, 2010-2012

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Technologie funktioneller Lebensmittel
Prof. Dr. J. Weiss

Minimierung der PAK-Gehalte in Fleischerzeugnissen durch Optimierung der Prozessführung bei konventioneller Räucherung

AiF 16460 N, 2010-2012

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,
Arbeitsgruppe Analytik,
- Standort Kulmbach -
Prof. Dr. F. Schwägele/Dr. W. Jira

Packaging Material for High Pressure Treatment (HiPP)

CORNET AiF 26 EN, 2010-2011

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl

Innovative Management Systems for a sustainable Food Industry (IMSFood)

CORNET AiF 25 EN, 2010-2011

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. H. Steinkamp

Hochdruckbehandlung mariniertes Geflügelfleischprodukte zur Verbesserung der Haltbarkeit sowie der Produkt- und Absatzsicherheit

AiF 16263 N, 2009-2012

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl

Modellbasierte Optimierungsstrategien zur automatisierten Hochdruckhaltung von Lebensmitteln am Beispiel von Fleischerzeugnissen

AiF 16114 N, 2009-2011

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl

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

Aufarbeitung von Schlachtierblut mit Hilfe gepulster elektrischer Felder (PEF) zur Keimverminderung und nachhaltigem Einsatz in Lebensmitteln tierischen Ursprungs

AiF 15885 N, 2008-2010

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. S. Töpfl

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Zentrum für Lebensmittelwissenschaften,
Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit,
Prof. Dr. G. Klein/Dr. A. Boulaaba/Dr. T. von Müffling

Anwendung elektrohydraulischer Stoßwellen zur Desintegration biologischer Gewebe am Beispiel der Zartmachung von Rindfleisch

AiF 15884 N, 2008-2011

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,
Arbeitsgruppe Analytik,
- Standort Kulmbach -
Prof. Dr. F. Schwägele

Wirkung von Nitrit auf Gram positive Infektionserreger in Rohwurstzeugnissen

AiF 15835 N, 2008-2011

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,

Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie,
- Standort Kulmbach -

Prof. Dr. Dr. M. Gareis/Dr. R. Pichner

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Mikrobiologie

Prof. Dr. S. Scherer/Dr. S. Müller

Verfahrenstechnische Prozessoptimierung des Zerkleinerungs- und Mischprozesses von Fleischmatrices unter besonderer Berücksichtigung der Messergeometrie

AiF 15658 N, 2008-2010

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,

Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch,

- Standort Kulmbach -

Prof. Dr. K. Troeger/PD Dr. Dr. G. F. Hammer

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,

Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Prof. Dr. A. Delgado/Dr. C. Rauh

Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe e.V. (IFW), Remscheid

Dr. P. Dültgen/Dr. C. Pelshenke

Entwicklung eines Niedertemperatur-Vakuumtrocknungsverfahrens zur Herstellung von Starterkulturen

AiF 15616 N, 2008-2010

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Technologie

Prof. Dr. U. Kulozik/Dr. P. Först

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW, Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,

Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie

Prof. Dr. R.F. Vogel

Einsatz gepulster elektrischer Felder zur Verbesserung von Massentransportprozessen innerhalb fester biologischer Produkte am Beispiel der Behandlung von Rohpökelwaren

AiF 15460 N, 2008-2010

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück

Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpl

Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachbereich Life Science Technologies,

Labor Fleischtechnologie

Prof. Dr. A. Stiebing/B.Sc. B. Schmidt

Beitrag des Peptid- und Aminosäurestoffwechsels von Starterkulturen zur Bildung qualitätsbestimmender Inhaltsstoffe bei der Rohwurstreifung

AiF 15458 N, 2008-2010

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW, Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,

Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie

Prof. Dr. R.F. Vogel

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
FG Biotechnologie der Naturstoffe
Prof. Dr. W. Schwab

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle

Verbesserung der Hygiene bei der Fleischverarbeitung durch Ausnutzung photokatalytischer Effekte zur Entkeimung von Oberflächen

AiF 249 ZN, 2007-2009

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück

Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl

FGK Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe - Glas/Keramik - gGmbH,
Höhr-Grenzhausen

Dr. R. Diedel/Dr. J. Werner

Anwendungsbereich Getränke (Säfte, Bier, Wein, Spirituosen)

Optimierung der Rekonstituierung von Orangensaft aus Konzentrat auf der Basis aroma- und geschmacksaktiver Verbindungen

AiF 9513/11 N (in Vorbereitung)

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Dr. M. Steinhaus

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,

Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik

Prof. Dr. T. Hofmann/LM-Chem. A. Dunkel

Aktivierungsorientierte Charakterisierung antioxidativer Schlüsselinhaltsstoffe und deren Wirkung auf die sensorische Qualität von Bier

AiF 7337/11 N (in Vorbereitung)

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene

Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Prof. Dr. T. Becker/Dr. M. Gastl

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik
Prof. Dr. T. Hofmann

Variationen des Hopfenmanagements zur gezielten Ausfällung oxidationsfördernder Metallionen im Verlauf des Brauprozesses

AiF 7336/11 N (in Vorbereitung)
Technische Universität Berlin, Institut für Biotechnologie,
Fachgebiet Brauwesen
Prof. Dr. F.-J. Methner/Dipl.-Ing P. Wietstock

Nachweis, Isolation und Charakterisierung nachtrübungsrelevanter Weinproteine sowie Verfahren zur Vermeidung von Eiweißtrübungen in Weinen und Traubensäften

AiF 17338 N, 2011-2014
Forschungsanstalt Geisenheim, Institut für Önologie und Getränkforschung,
FG Weinanalytik und Getränkforschung
Prof. Dr. H. Dietrich/Prof. Dr. F. Will
Universität Mainz, Institut für Molekulare Biophysik
Prof. Dr. H. Decker/Dr. P. Wigand

Vergleichende Identifikation von filtrationshemmenden Stoffen bei der Membran- und Kieselgurfiltration in Bier

AiF 17314 N, 2011-2013
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/PD Dr. M. Krottenthaler

Einfluss unterschiedlicher Verarbeitungsverfahren auf Mikroflora und Qualität spontan vergorener Weine

AiF 17180 N, 2011-2013
Forschungsanstalt Geisenheim, Institut für Önologie und Getränkforschung,
FG Mikrobiologie und Biochemie
Prof. Dr. M. Großmann/Dr. C. von Wallbrunn

Verwertung von Biertrebern durch hydrothermale Spaltung mit dem Ziel der Entwicklung genussfähiger Getränkegrundstoffe

AiF 17170 N (in Vorbereitung)
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing M. Zarnkow
Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl

Präparative Proteinfractionierung zur Analyse und Technologieoptimierung bezüglich der Vollmundigkeit und Trübungsstabilität in Bier

AiF 17037 N, 2011-2013
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dr. M. Gastl
Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebens-
mittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik

Aromawert-Index als Kriterium zur Bewertung des Einflusses der Rearomatisierung und nicht-flüchtiger Geschmacksstoffe auf die Qualität von Apfelsäften aus Konzentrat

AiF 17010 N, 2011-2013
Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihen-
stephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/LM-Chem. J. Kreissl
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik
Prof. Dr. T. Hofmann/LM-Chem. A. Dunkel

Formalkinetische Beschreibung der Umsatzraten wesentlicher Prozessmarker bei brautechnologischen Kochprozessen zur Kontrolle und Optimierung von Kochsystemen

AiF 16968 N, 2011-2013
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/PD Dr. M. Krottenthaler

Inaktivierung bakterieller Endosporen durch kombinierte Anwendung gepulster elektrischer Felder und thermischer Energie

AiF 16798 N, 2010-2012
Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl/Dr. C. Hertel

Optimierung der Fermentation von Bierwürze in den Phasen der Gärung und Reifung durch adaptive Strömungsgestaltung

AiF 16754 BG, 2010-2012

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,

Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning

Fachhochschule Stralsund, Fachbereich Maschinenbau,

Fachgebiet Strömungslehre und Strömungsmaschinen

Prof. Dr. J. Szymczyk/Dr. H. Meironke

Technische Universität Berlin, Institut für Biotechnologie,

Fachgebiet Brauwesen

Prof. Dr. F.-J. Methner

Bestimmung von Authentizitäts- und Qualitätsmerkmalen von Cranberry, Granatapfel, Heidelbeere und Preiselbeere

AiF 16645 N (in Vorbereitung)

Universität Bonn, Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,

FG Lebensmittelchemie,

Prof. Dr. R. Galensa/Dr. R. Wollseifen/PD Dr. F. Marx

Schnellerfassung von Aromavorstufen in Traubenmost und Sektgrundweinen mittels FT-MIR und ihre gesteuerte Freisetzung während der Gärung

AiF 16627 N, 2011-2014

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) - Rheinland, Abteilung Weinbau und Oenologie

Dr. H.-P. Lorenz/Prof. Dr. U. Fischer

Technische Universität Braunschweig, Institut für Lebensmittelchemie

Prof. Dr. P. Winterhalter/Dr. G. Jerz

Optimierung der Biogasfermentation durch energetisch verbesserte Substratzerkleinerung und optimierte Biomasserückhaltung

AiF 16620 N, 2011-2013

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW, Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,

Lehrstuhl für Verfahrenstechnik disperser Systeme

Prof. Dr. U. Kulozik (kommissarisch)/Dr. J. Voigt

Maischprozesssimulation – Modellbasierte Unterstützung bei der Entwicklung, Führung und Überwachung der Depolymerisation von Naturpolymeren am Beispiel des Maischprozesses

AiF 16542 N, 2011-2013

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Verfahrenstechnik disperser Systeme
Prof. Dr. K. Sommer/Dr. J. Voigt

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik
Prof. Dr. H. Briesen/Dipl.-Ing K. Mathmann

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/PD Dr. M. Krottenthaler

Schnellverfahren zur Qualitätsbewertung von Traubenmaischen bei der Traubenannahme

AiF 16539 N, 2010-2012

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Lebensmittel pflanzlicher Herkunft
Prof. Dr. Dr. R. Carle/Dr. D. R. Kammerer

Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau, Weinsberg
– Referat Analytik –
Dr. M. Pour Nikfardjam/Dr. J. Sturm

Evaluierung technologischer Maßnahmen zur Reduzierung des Hydrophobin-verursachten Gushings

AiF 16508 N, 2010-2013

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie
Prof. Dr. R.F. Vogel/PD Dr. L. Niessen

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dr. M. Gastl

Untersuchungen zur Bildung unerwünschter Trübungspartikel in Bier und deren Verzögerung durch technologische Maßnahmen

AiF 16463 N, 2010-2012

Technische Universität Berlin, Institut für Biotechnologie,
Fachgebiet Brauwesen

Prof. Dr. F.-J. Methner/Dipl.-Ing. T. Kunz

Technische Universität Braunschweig, Institut für Lebensmittelchemie

Prof. Dr. P. Winterhalter/Dr. P. Fleischmann

Reduktion des Gehaltes allergener Weinbehandlungsmittel im Endprodukt Wein durch technologische Verarbeitung

AiF 16330 N, 2010-2012

Universität Hamburg, Fachbereich Chemie,

Institut für Lebensmittelchemie

Prof. Dr. M. Fischer/Dr. A. Paschke

Forschungsanstalt Geisenheim, Institut für Weinbau und Rebenzüchtung,
FG Kellerwirtschaft

Prof. Dr. M. Christmann

Technische Universität München, Klinik und Poliklinik für Dermatologie und
Allergologie am Biederstein,

Prof. Dr. Dr. J. Ring/PD Dr. K. Brockow

Optimierung technologischer Parameter zur Minimierung der Bildung von 4-Vinylbenzol (Styrol) beim Brauprozess unter Erhaltung des typischen Aromas von Weizenbier

AiF 16301 N, 2010-2012

Technische Universität Berlin, Institut für Biotechnologie,
Fachgebiet Brauwesen

Prof. Dr. F.-J. Methner/Dipl.-Chem. T. Schön

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Dr. M. Granvogel

Heterogenitäten beim Mälzen – ein chronisches Problem für die Bierbrauerei: Erfassung der Ursachen und Erarbeitung von Strategien zu deren Vermeidung

AiF 16299 N, 2010-2012

Technische Universität Braunschweig, Institut für Pflanzenbiologie,

Arbeitsbereich Angewandte Pflanzenbiologie

Prof. Dr. D. Selmar

Technische Universität Berlin, Institut für Biotechnologie,

Fachgebiet Brauwesen

Prof. Dr. F.-J. Methner

Optimierung von Rezeptur und Herstellungsverfahren zur Vermeidung qualitätsmindernder Aromastoffe in hopfenhaltigen Getränken

AiF 16010 N, 2009-2011

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dr. M. Gastl

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/LM-Chem. J. Kreissl

Untersuchung natürlicher standortspezifischer Hefepopulationen und ihre Bedeutung für die Qualität spontan vergorener Weine

AiF 16008 N, 2009-2011

Forschungsanstalt Geisenheim, Institut für Önologie und Getränkeforschung,
FG Mikrobiologie und Biochemie
Prof. Dr. M. Großmann/Dr. C. von Wallbrunn

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittel-
mittelforschung,
Abteilung Mikrobiologie
Prof. Dr. S. Scherer/Dr. M. Wenning

Molekular-sensorische Charakterisierung und technologische Vermeidung des bitteren Fehlgeschmacks in Weißwein

AiF 16006 N, 2009-2011

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) - Rheinpfalz, Abteilung Weinbau
und Oenologie
Prof. Dr. U. Fischer

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik
Prof. Dr. T. Hofmann

Verbesserung der Anthocyanstabilität in flüssigen, pastösen und stückigen Fruchtprodukten

AiF 16005 N, 2009-2012

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Lebensmittel pflanzlicher Herkunft
Prof. Dr. Dr. R. Carle/Dr. D. R. Kammerer

Forschungsanstalt Geisenheim, Institut für Oenologie und Getränkeforschung,
FG Weinanalytik und Getränkeforschung
Prof. Dr. H. Dietrich/Prof. Dr. F. Will

Zeitnahe Identifizierung von biogene Amine und Fehlgeruch bildenden Bakterien während der Weinbereitung und Prävention ihrer Vermehrung

AiF 15833 N, 2008-2010

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) - Rheinland, Abteilung Weinbau und Oenologie

Prof. Dr. U. Fischer

Universität Mainz, Institut für Mikrobiologie und Weinforschung

Prof. Dr. H. König

Bioaktive Inhaltsstoffe mit gesundheitsförderndem Potenzial aus Nebenprodukten der Apfelsaftherstellung und der Apfelpektinengewinnung: In-vitro-Charakterisierung des Wirkprofils und Anreicherung wertgebender Komponenten

AiF 15617 N, 2008-2010

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel pflanzlicher Herkunft

Prof. Dr. Dr. R. Carle/Dr. D. R. Kammerer

Universität Wien, Institut für Lebensmittelchemie und Toxikologie

Prof. Dr. D. Marko

Anwendungsbereich Getreide u. Getreideerzeugnisse

(Stärke, modifizierte Stärke, Backwaren, Backmittel, Knabberartikel, Teigwaren)

Analyse von Porenanteil und Dichte in getreidebasierten Teigen zur Bewertung der Produktqualität

AiF 9518/11 N (in Vorbereitung)

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW, Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Prof. Dr. T. Becker/M.Sc. M. Hussein

Untersuchung stofflicher Ursachen von Qualitätsmängeln bei klassischen Roggenbrot und Ableitung von Lösungsstrategien

AiF 17339 BG (in Vorbereitung)

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück

Dr. V. Heinz/Dr. U. Bindrich/Dr. U. Strijowski

Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V. (ILU), Nuthetal

Dr. P. Kretschmer/Dr. H. Kaiser

Enzymatische Modifikation der Arabinoxylan- und Proteinfraction zur Aufklärung und Optimierung der Strukturbildungseigenschaften von Roggenteigen

AiF 17315 N, 2011-2013

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Jekle

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Freising-
Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Einsatz eines neuartigen Antifreeze-Proteins aus marinen Ressourcen (Kieselalgen) in tiefgekühlten Teiglingen

AiF 17181 N, 2011-2013

ttz Bremerhaven, BILB - EIBT, Bremerhaven
Prof. Dr. K. Lösche/Dipl.-Ing. A. Sont

Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerha-
ven

Prof. Dr. K. Lochte/Dr. G. Dieckmann

Einfluss der Inhaltsstoffe von Weizenmahlprodukten auf das Extrudierverhalten direkt expandierter Erzeugnisse

AiF 17036 BG, 2011-2013

Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V. (ILU), Nuthetal
Dr. P. Kretschmer/Dipl.-Ing. R. Schneeweiß

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. U. Bindrich/Dr. A. Knoch

Erzielung der Zöliakieverträglichkeit von Bier durch Malz mit hoher Peptidasenaktivität unter Beibehalt einschlägiger Qualitätsmerkmale

AiF 16971 N, 2011-2013

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihen-
stephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Zarnkow

Verbesserung der technologischen Funktionalität von Amaranth, Buchweizen und Quinoa durch Nutzung der endogenen Substrateigenschaften und physiologischen Eigenschaften der Fermentationsorganismen

AiF 16847 N, 2011-2012

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Jekle
Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. C. Hertel

Entwicklung redoxreaktiver Backzutaten zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und Textur von glutenfreien Teigen und Backwaren

AiF 16907 N, 2011-2014

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie
Prof. Dr. R.F. Vogel/Dr. J. Behr
Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Freising-
Weihenstephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Beeinflussung des Aromas glutenfreier Backwaren durch aromaaktive Backmittel auf Malzbasis

AiF 16797 N, 2010-2012

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Freising-
Weihenstephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Beeinflussung rheologisch relevanter Charakteristika von Weizenteigen durch Sauerstoffanreicherung zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit

AiF 16755 N, 2010-2012

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieur-
wesen,
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning
ttz Bremerhaven, BILB - EIBT, Bremerhaven
Prof. Dr. K. Lösche/Dipl.-Ing J. Schick

Korrelation von Teigeigenschaften und Oberflächenstrukturen mittels optischer Messmethoden

AiF 16747 N, 2010-2013

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/M.Sc. M. Hussein

Entwicklung eines Biosensorarrays zur schnellen Bestimmung von Mykotoxinen in Getreide

AiF 381 ZN, 2011-2013

Universität München, Lehrstuhl für Hygiene und Technologie der Milch
Prof. Dr. Dr. E. Märtlbauer/Dr. R. Dietrich
Technische Universität München, Department Chemie,
Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie,
Prof. Dr. R. Nießner/Prof. Dr. D. Knopp

Gewinnung, Charakterisierung und Einsatz von Chitinasen aus kälteangepassten Bakterien zur Konservierung von flüssigen, halbfesten und festen Lebensmitteln - vor allem Backwaren

AiF 380 ZN, 2011-2013

ttz Bremerhaven, BILB - EIBT, Bremerhaven
Prof. Dr. K. Lösche/S. Guttman
Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
Prof. Dr. K. Lochte/Dr. E. Helmke

Anwendung von β -glucanreichen Endospermfraktionen in getreidebasierten Lebensmitteln

AiF 16651 BG, 2010-2012

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. U. Bindrich/Dr. U. Strijowski
Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V. (ILU), Nuthetal
Dr. P. Kretschmer/Dr. H. Kaiser

Vorfermentierte Teige mit Nebenströmen der Lebensmittelindustrie zur Verbesserung des Aromas von Teigen

AiF 16538 N, 2010-2012

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. C. Hertel

Untersuchungen zu potentiell gesundheitsförderlichen Wirkungsmechanismen von Nüssen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Röstgrade

AiF 16535 BR (in Vorbereitung)

Universität Jena, Institut für Ernährungswissenschaften,
Lehrstuhl für Ernährungstoxikologie
PD Dr. M. Gleis

Universität Jena, Institut für Ernährungswissenschaften,
Lehrbereich Biochemie der Ernährung
Prof. Dr. S. Lorkowski

Entwicklung verbesserter Methoden zur Beurteilung der Kleberqualität von Weizenmehlen

AiF 16464 N, 2010-2012

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Freising-Weihenstephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Klärung der Ursache eines off-flavours bei Mohn und Erarbeitung von Parametern für die Rohstoffkontrolle

AiF 16297 N, 2011-2013

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik
Prof. Dr. T. Hofmann

Gestaltung der Eigenschaften expandierter stärkebasierter Produkte mittels Hochgeschwindigkeitsextrusion auf der Grundlage einer neuronumerischen Prozessführungsstrategie

AiF 332 ZN, 2009-2012

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik,

Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik
Prof. Dr. H. P. Schuchmann/Dipl.-Ing. M. Horvat

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik
Prof. Dr. N. Willenbacher/Dr. B. Hochstein

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

Minimierung des Einsatzes von Kochsalz in der Brotrezeptur unter Beibehaltung der Backeigenschaften und der Geschmacksqualität

AiF 16015 N, 2009-2011

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Jekle

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Freising-
Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Einfluss von Textur, Herstellungsbedingungen und Brotalter auf die Verfügbarkeit wichtiger Brotaromastoffe unter Verzehrbedingungen

AiF 16013 N, 2009-2011

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Jekle

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihen-
stephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Dr. K. Buhr

Funktionalisierung von Getreidemahlprodukten aus Weizen durch Anwendung von Hochdruck

AiF 16007 N, 2009-2011

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. U. Bindrich

ttz Bremerhaven, BILB - EIBT, Bremerhaven

Prof. Dr. K. Lösche/Dipl.-Ing. L. Ringer

Qualitätsbewertung von Hartweizen, Hartweizengrieß und Hartweizenprodukten durch die Auswertung digitaler Bilder

AiF 15832 N, 2008-2011

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Prof. Dr. T. Becker/M.Sc. M. Hussein

Aromastoff-Optimierung in Vorteigen zur Steuerung des Aromas von Backwaren

AiF 15762 N, 2008-2011

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Freising-Weihenstephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie
Prof. Dr. R.F. Vogel

Entwicklung eines intelligenten Backofens (IBO) zum optimierten Backen in industriellen Backöfen mittels digitaler Bildauswertung und erfahrungsbasierter Fuzzyregelung

AiF 15659 N, 2008-2010

Universität Hannover, Institut für Technische Chemie
Prof. Dr. T. Scheper

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Jekle

Entwicklung von Methoden zur Bestimmung von Weizenanteilen in Dinkelprodukten

AiF 15619 N, 2008-2010

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Freising-Weihenstephan
Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Universität Hamburg, Fachbereich Chemie,
Institut für Lebensmittelchemie
Prof. Dr. M. Fischer/Dr. A. Paschke/Dr. I. Haase

Entwicklung eines Niedertemperatur-Vakuumtrocknungsverfahrens zur Herstellung von Starterkulturen

AiF 15616 N, 2008-2010

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik/Dr. P. Först

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie
Prof. Dr. R.F. Vogel

Untersuchungen zu präbiotischen Eigenschaften und zum chemopräventiven Potential von Backwaren und ballaststoffangereicherten Backwaren

AiF 15513 BG, 2008-2010

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,

Institut für Sicherheit und Qualität bei Getreide,

- Standort Detmold -

Prof. Dr. M. G. Lindhauer

Universität Jena, Institut für Ernährungswissenschaften,

Lehrstuhl für Ernährungstoxikologie

PD Dr. M. Gleis

Neuartige Prozessführung zum Trocknen von Teigwaren zur Steigerung der Prozesseffizienz und Produktqualität

AiF 284 ZN, 2008-2010

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,

Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück

Dr. V. Heinz/Dr. U. Bindrich

Verbesserung der technologischen Eigenschaften von Roggenteigen und -backwaren mit Transglutaminase und Peptidasen

AiF 15457 N, 2008-2010

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW, Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene

Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Jekle

Modifizierung der technofunktionellen Eigenschaften von Weizenkleber durch Hochdruckbehandlung in Gegenwart von Zusätzen

AiF 15456 N, 2008-2009

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Garching

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Speisepilze als neue Quelle für Oxidoreduktasen zur Backwarenherstellung

AiF 15305 N, 2007-2010

Universität Hannover, Institut für Lebensmittelchemie

Prof. Dr. Dr. R. G. Berger/Dr. U. Krings

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi), Garching

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. P. Köhler

Anwendungsbereich Gewürze, Würzmittel, Aromen, etherische Öle, Essig, Senf, Salz

Einfluss von schmelzbaren Überzugsmaterialien auf die Eigenschaften überzogener pulverförmiger Rohstoffe der Lebensmittelindustrie

AiF 16304 N, 2010-2012

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,

Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene

Rohstoffe,

Lehrstuhl für Verfahrenstechnik disperser Systeme

Prof. Dr. K. Sommer/Dr. S. Grüner/Dr. J. Voigt

Einfluss von Textur, Herstellungsbedingungen und Brotalter auf die Verfügbarkeit wichtiger Brotaromastoffe unter Verzehrbedingungen

AiF 16013 N, 2009-2011

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,

Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene

Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Jekle

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Dr. K. Buhr

Biotechnologische Erzeugung von hochwertigen Aromastoffen aus Nebenströmen der Lebensmittelindustrie

AiF 299 ZN, 2008-2011

Universität Hannover, Institut für Lebensmittelchemie

Prof. Dr. Dr. R. G. Berger/Dr. U. Krings

Universität Gießen, Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie

Prof. Dr. H. Zorn/Dr. M. A. Fraatz

Anwendungsbereich Kaffee, Kaffeemittel, Tee

Einfluss der Vorbehandlung und der Röstung auf Bitterstoffe in Kaffeegetränken

AiF 15752 N, 2008-2011

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik
Prof. Dr. T. Hofmann/Dr. O. Frank

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik,
Arbeitsgruppe Wärme- und Stofftransport
Prof. Dr. R. Eggers

Beeinflussung der Produkteigenschaften von Instantkaffee durch gezielte Imprägnierung von Flüssigkaffee mit Inertgas vor der Sprühtrocknung

AiF 15618 N, 2008-2010

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik,
Arbeitsgruppe Wärme- und Stofftransport
Prof. Dr. R. Eggers

Flavonoide in ausgewählten Kräutertees - Bestimmung, Nutrikinetik, Veränderungen bei Extraktion und Lagerung

AiF 15303 N, 2007-2010

Technische Universität Braunschweig, Institut für Lebensmittelchemie
Prof. Dr. P. Winterhalter/Prof. Dr. U. Engelhardt

Universität Hannover, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Ökotrophologie,
Abt. Ernährungsphysiologie und Humanernährung
Prof. Dr. A. Hahn/Dipl.-Oec. troph. B. Trunz

Anwendungsbereich Milch

Strukturbildung und -regenerierung in fermentierten Milchprodukten durch Laccasen in Speisepilzen

AiF 9512/11 N (in Vorbereitung)

Universität Hannover, Institut für Lebensmittelchemie

Prof. Dr. Dr. R. G. Berger

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs

Enteropathogene *Bacillus cereus* in Lebensmitteln: Identifizierung und Risikoabschätzung

AiF 5297/11 N (in Vorbereitung)

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Mikrobiologie

Prof. Dr. S. Scherer/Dr. G. Lücking

Universität München, Lehrstuhl für Hygiene und Technologie der Milch

Prof. Dr. Dr. E. Märklbauer/Dr. R. Dietrich

Veterinärmedizinische Universität Wien, Department für Pathobiologie,

Institut für Funktionelle Mikrobiologie

Prof. Dr. M. Ehling-Schulz

DFG/AiF-Cluster 5

Proteinschäume in der Lebensmittelproduktion: Mechanismenaufklärung, Modellierung und Simulation“

AiF 17126 N „Einfluss der Schaumkomposition“

AiF 17125 N „Simulation strömungsinduzierter Effekte“

AiF 17124 N „Dynamik proteinstabilisierter Schäume“

Einfluss von Schaumkomposition und -struktur auf die Aromastofffreisetzung und Aromawahrnehmung gasbeaufschlagter Lebensmittelsysteme

AiF 17126 N, 2011-2014

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle

Experimentell validierte Simulation strömungsinduzierter Effekte auf Proteinschäume mittels Lattice-Boltzmann-Methoden

AiF 17125 N, 2011-2014

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,

Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Prof. Dr. A. Delgado/Dipl.-Ing. J. Forstner

Universität Erlangen-Nürnberg, Department Informatik,

Lehrstuhl für Systemsimulation

Prof. Dr. U. Rude/Dr. H. Köstler

Charakterisierung der Struktur und Dynamik von proteinstabilisierten Schäumen

AiF 17124 N, 2011-2014

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Technologie

Prof. Dr. U. Kulozik/Dipl.-Ing. J. Dombrowski

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS), Entwicklungszentrum

Röntgentechnik (EZRT), Fürth

Prof. Dr. R. Hanke/Dr. N. Uhlmann/Dipl.-Phys. F. Nachtrab

Charakterisierung von „Emmentaler“ Hartkäse auf der Basis neuer physikalischer, biochemischer und molekular-sensorischer Kriterien

AiF 17068 N, 2011-2013

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,

Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,

Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik

Prof. Dr. T. Hofmann

Entwicklung einer routinetauglichen Quantifizierungsmethode von Cereulid aus *B. cereus* und Studien zur Bildung und Stabilität des Toxins in Lebensmitteln

AiF 16845 N, 2011-2013

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,

Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,

Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik

Prof. Dr. T. Hofmann/Dr. T. Stark

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Mikrobiologie
Prof. Dr. S. Scherer

Veterinärmedizinische Universität Wien, Department für Pathobiologie,
Institut für Funktionelle Mikrobiologie
Prof. Dr. M. Ehling-Schulz

Integrierte Kaskadenschaltung von dynamischen und Crossflow-Membranverfahren zum Hochkonzentrieren von Magermilch und Molke

AiF 16836 N, 2011-2014

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik

Optimierung von Nachweis und Differenzierung von *Salmonella enterica*, *Cronobacter sakazakii* und *Bacillus cereus* in Milch und Milcherzeugnissen durch den Einsatz von Zellwand-bindenden Phagenproteinen

AiF 16756 N, 2010-2012

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Lebensmittelmikrobiologie
Prof. Dr. H. Schmidt/ A. Weiss

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Lebensmittelwissenschaften, Ernährung und Gesundheit,
Laboratorium Lebensmittelmikrobiologie
Prof. Dr. M. J. Loessner/Dr. M. Schuppler

Bestimmung der Fließigenschaften kohäsiver, milchbasierter Pulver

AiF 16624 BR, 2011-2014

Hochschule Anhalt (FH), Fachbereich Angewandte Biowissenschaften und Prozesstechnik,
FG Lebensmittelverfahrenstechnik/Milchtechnologie
Prof. Dr. T. Kleinschmidt/M.Sc. F. Schulnies

Hitzestabile mikrobielle Enzyme in Rohstoffen zur Milchverarbeitung - Qualitätssicherung, Entwicklung eines Testsystems und technologische Optionen

AiF 16588 N, 2011-2014

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Mikrobiologie
Prof. Dr. S. Scherer/Dr. M. Wenning

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

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Biotechnologie
Prof. Dr. L. Fischer/Dr. B. Kranz

Technologische Potenziale zur Fraktionierung von Milchproteinhydrolysaten

AiF 16541 N, 2010-2012

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Biotechnologie
Prof. Dr. L. Fischer/Dr. B. Kranz

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

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik/Dr. S. Cheison/E. Leeb

Fraktionierung von Proteinen aus Molke mit adsorptiven Membranen

AiF 16540 N, 2010-2012

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik/Dipl.-Ing. L. Voswinkel

In-vivo-Untersuchungen der probiotischen Effekte von in Milchproteinen mikroverkapselten probiotischen Keimen

AiF 16537 N, 2010-2012

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik/Dr. P. Först

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Biofunktionalität
Prof. Dr. D. Haller

Einstellen thermophysikalischer Eigenschaften von Käse durch die Milchvorbehandlung

AiF 16462 N, 2010-2012

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs

Untersuchungen zur Integration der Simultanen Homogenisier- und Misch-(SHM-) Technologie in konventionelle Homogenisationsprozesse mit Flachventilen zur Verarbeitung von Milchprodukten

AiF 16303 N, 2010-2012

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik,

Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik

Prof. Dr. H. P. Schuchmann/Dipl.-Wirtsch.-Ing. K. Köhler

Ultraschallbasiertes Messsystem zur Verfolgung von Fouling in Wärmetauschern und zur Validierung des Reinigungserfolgs

AiF 16302 N, 2010-2012

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW, Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Prof. Dr. T. Becker/M.Sc. M. Hussein

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs

Optimierung der Ultrafiltrationsleistung sowie Verbesserung der mikrobiologischen Qualität bei der Herstellung von Molkekonzentraten durch vorgeschaltete Mikrofiltration (MF)

AiF 16300 N, 2010-2012

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Technologie

Prof. Dr. U. Kulozik/Dipl.-Ing. T. Steinhauer

Nachweis von *Staphylococcus aureus* und *Bacillus cereus* in Milchprodukten nach Bioaffinitätsanreicherung

AiF 331 ZN, 2009-2012

Universität München, Lehrstuhl für Hygiene und Technologie der Milch

Prof. Dr. Dr. E. Märtlbauer/Dr. R. Dietrich

Universität Hamburg, Fachbereich Chemie,
Institut für Lebensmittelchemie
Prof. Dr. M. Fischer/Prof. Dr. U. Hahn

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- u. Bioingenieurwesen,
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning

Technische Universität München, Department Chemie,
Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie,
Prof. Dr. R. Nießner/Dr. M. Seidel

Prozessentwicklung zur Fraktionierung von Milchfettkugelmembran

AiF 16226 N, 2011-2013

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik

Entwicklung eines Verfahrens zur Isolierung von Phospholipiden aus Molkenrahm und Nachweis des gesundheitlichen Potentials von Phospholipiden

AiF 316 ZBG, 2009-2012

Hochschule Anhalt (FH), Fachbereich Angewandte Biowissenschaften und Prozesstechnik,
FG Lebensmittelverfahrenstechnik/Milchtechnologie
Prof. Dr. T. Kleinschmidt/Dr. G. Konrad

Universität Jena, Institut für Ernährungswissenschaften,
Lehrstuhl für Ernährungsphysiologie
Prof. Dr. G. Jahreis/PD Dr. R. Schubert

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,
Institut für Physiologie und Biochemie der Ernährung,
- Standort Karlsruhe -
Prof. Dr. B. Watzl/Dr. M. Pfeuffer

„Emerging Spores“ – Bestimmung von Prävalenz und thermischen Inaktivierungsdaten von hitzeresistenten Sporenbildnern in Milchprodukten für eine erhöhte Prozesssicherheit

AiF 16012 N, 2009-2011

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

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Mikrobiologie
Prof. Dr. S. Scherer/Prof. Dr. M. Ehling-Schulz

DFG/AiF-Cluster 3

Molekulare, physiko-chemische und zelluläre Mechanismen der sensorischen Wahrnehmung von Lipiden und Lipoiden sowie deren Einfluss auf die Sättigungsregulation: Erkenntnisbasierter Ansatz zur Entwicklung fettreduzierter Lebensmittel

AiF 15963 N „Konsumentenorientierte sensorische Untersuchungen

AiF 15962 N „Simulation und Vorhersage des Mundgefühls“

AiF 15961 N „Sättigungsregulierende Fettinhaltsstoffe“

AiF 15960 N „Modulatoren der „Fett“-Wahrnehmung“

Analytische und konsumentenorientierte sensorische Untersuchungen und Wahrnehmungen an ausgewählten Matrices und Lebensmitteln mit unterschiedlichen Fettgehalten

AiF 15963 N, 2009-2012

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fakultät Life Sciences,

Department Ökotrophologie

Prof. Dr. M. Busch-Stockfisch

Simulation und Vorhersage des mechanisch induzierten Mundgefühls beim Verzehr von fettreduzierten, nicht stückigen, fließfähigen Lebensmitteln

AiF 15962 N, 2009-2012

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,

Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Prof. Dr. A. Delgado/Dr. C. Rauh

Identifizierung von sättigungsregulierenden Inhaltsstoffen in Nahrungsfetten und Optimierung von fettarmen Lebensmitteln durch Zusatz von lipoiden Verbindungen mit hoher Sättigungswirkung

AiF 15961 N, 2009-2012

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Prof. Dr. V. Somoza

Mikro- und makrostrukturelle Matrixeigenschaften als Modulatoren der „Fett“-Wahrnehmung in Milchprodukten

AiF 15960 N, 2009-2012

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs

Bewertung der an das Suspensionsmedium adaptierten Thermostabilität von Leuconostoc-Phagen als Grundlage für eine verbesserte Prozesssicherheit

AiF 15886 N, 2008-2010

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs/M.Sc. Z. Dogan

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,

Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie,

- Standort Kiel -

Prof. Dr. K. J. Heller/Dr. H. Neve

Herstellung und funktionelle Eigenschaften von individuell mikropartikulierten Molkenproteinfraktionen

AiF 15834 N, 2008-2011

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Technologie

Prof. Dr. U. Kulozik/Dipl.-Ing. A. Tolkach

Screening und Bereitstellung neuer, industrietauglicher Beta-Galactosidasen für die Milchindustrie

AiF 15801 N, 2008-2011

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Biotechnologie

Prof. Dr. L. Fischer/Dr. S. Lutz-Wahl

Entwicklung eines Niedertemperatur-Vakuumtrocknungsverfahrens zur Herstellung von Starterkulturen

AiF 15616 N, 2008-2010

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Technologie

Prof. Dr. U. Kulozik/Dr. P. Först

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW, Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,

Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie

Prof. Dr. R.F. Vogel

DFG/AiF-Cluster 1

Biofunktionale Wirkstoffe aus Multikapselsystemen: Einsatz mikrostrukturierter Träger zur Untersuchung molekularer Wechselwirkungen und zur Steuerung der Freisetzungsmechanismen von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen und deren Auswirkung auf krebpräventive Signalparameter (am Beispiel ausgewählter Inhaltsstoffe der Wildheidelbeere)

AiF 15614 N „Biologische Wirksamkeit von Blaubeer-Anthocyanen“

AiF 15613 N „Verkapselung von Anthocyanen durch Sprühverfahren“

AiF 15612 N „Mikrostrukturierte multidisperse Hüllkapseln“

AiF 15611 N „Milchproteinhydrogele“

AiF 15610 N „Prozessinduzierte Ausbeutesteigerung“

Biologische Wirksamkeit von Blaubeer-Anthocyanen im Vergleich zu mikro-/nano-verkapselten Anthocyan-Präparaten: Modulation von intestinaler Verfügbarkeit, Fermentation, antioxidativer Wirksamkeit und Wirkungen auf die DNA-Integrität

AiF 15614 N, 2008-2010

Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Chemie,

Fachrichtung Lebensmittelchemie und Toxikologie

Prof. Dr. E. Richling

Universität Wien, Institut für Lebensmittelchemie und Toxikologie

Prof. Dr. D. Marko

Mikroverkapselung von Anthocyanen durch Sprühverfahren unter Ausnutzung von stabilisierenden Effekten der natürlichen Zellsaftvakuole und Interaktionen von Inhaltsstoffen

AiF 15613 N, 2008-2011

Universität Kiel, Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde,

Abteilung Lebensmitteltechnologie

Prof. Dr. K. Schwarz

Mikrostrukturierte multidisperse Hüllkapseln als Träger bioaktiver Substanzen: Untersuchungen zum Einfluss von molekularen Wechselwirkungen und Diffusionsbarrieren auf die Stabilität und die Freisetzung von Inhaltsstoffen aus der Wildheidelbeere

AiF 15612 N, 2008-2011

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik,

Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik

Prof. Dr. H. P. Schuchmann/Dipl.-Ing. K. Frank

Milchproteinhydrogele als Trägerstoffe für bioaktive Substanzen: wasserunlösliche Mikrokapselsysteme zur Stabilisierung und kontrollierten Freisetzung von bioaktiven Inhaltsstoffen aus der Heidelbeere

AiF 15611 N, 2008-2011

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik/Dipl.-Ing. M. Betz

Prozessinduzierte Ausbeutesteigerung von wertgebenden sekundären Pflanzeninhaltsstoffen aus Blaubeeren und Vergleich ihrer Stabilität in Multikapselsystemen gegenüber konventionellen Produkten

AiF 15610 N, 2008-2011

Technische Universität Braunschweig, Institut für Lebensmittelchemie
Prof. Dr. P. Winterhalter/Dr. G. Jerz
Technische Universität Berlin, Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie,
FG Lebensmittelbiotechnologie und -prozessechnik
Prof. Dr. D. Knorr/Dipl.-Ing. H. Jäger

Technologischer Prozess als Modulator der Textureigenschaften von Frischkäse

AiF 15584 N, 2008-2010

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

Thermisch induzierte Beeinflussung der Sekundär- und Aggregatstruktur von unfraktionierten Molkenproteinen und ihre Auswirkung auf technofunktionelle Eigenschaften

AiF 15514 N, 2008-2010

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. H. Wackerbarth

Mikroverkapselung probiotischer Keime mittels enzymatisch induzierter Gelbildung von Milchproteinen

AiF 15327 N, 2007-2009

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik/Dr. P. Först/Dipl.-Ing. T. Heidebach

Emetische Toxinproduktion von *Bacillus cereus* in ausgewählten Lebensmitteln: Mechanismen und Präventionsmöglichkeiten

AiF 15186 N, 2007-2009

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,

Abteilung Mikrobiologie

Prof. Dr. S. Scherer/Dr. M. Ehling-Schulz

Interaktion von Aromastoff und Milchproduktmatrix

AiF 15158 N, 2007-2009

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,

FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Prof. Dr. Dr. J. Hinrichs

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle

Anwendungsbereich Nahrungsmittelmaschinen, Räucheranlagen, Sensoren

Prozessinduzierte Veränderungen physikalischer Verpackungsmaterialeigenschaften als Marker für eine Hochdruck- oder Temperaturbehandlung verpackter Lebensmittel

AiF 7377/11 N (in Vorbereitung)

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück

Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl/B. Hukelmann

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,

Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene

Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Prof. Dr. T. Becker/M.Sc. M. Hussein

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,

Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene

Rohstoffe,

Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik

Prof. Dr. H.-C. Langowski

Vergleichende Identifikation von filtrationshemmenden Stoffen bei der Membran- und Kieselgurfiltration in Bier

AiF 17314 N, 2011-2014

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,

Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/PD Dr. M. Krottenthaler

Verbesserung von Trocknungsprozessen pflanzlicher Rohstoffe durch prozessinduzierte Verringerung von Stofftransportwiderständen

AiF 17161 N, 2011-2013

Technische Universität Berlin, Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie,
FG Lebensmittelbiotechnologie und -prozessentechnik
Prof. Dr. D. Knorr/Dipl.-Ing. H. Jäger
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik,
Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik
Prof. Dr. H. P. Schuchmann/Prof. Dr. M. Regier/Dr. V. Gaukel

Formalkinetische Beschreibung der Umsetzungsraten wesentlicher Prozessmarker bei brautechnologischen Kochprozessen zur Kontrolle und Optimierung von Kochsystemen

AiF 16968 N, 2011-2013

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/PD Dr. M. Krottenthaler

Integrierte Kaskadenschaltung von dynamischen und Crossflow-Membranverfahren zum Hochkonzentrieren von Magermilch und Molke

AiF 16836 N, 2011-2014

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik

Inaktivierung bakterieller Endosporen durch kombinierte Anwendung gepulster elektrischer Felder und thermischer Energie

AiF 16798 N, 2010-2012

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl/Dr. C. Hertel

Beeinflussung rheologisch relevanter Charakteristika von Weizenteigen durch Sauerstoffanreicherung zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit

AiF 16755 N, 2010-2012

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,

Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning

ttz Bremerhaven, BILB - EIBT, Bremerhaven

Prof. Dr. K. Lösche/Dipl.-Ing J. Schick

Korrelation von Teigeigenschaften und Oberflächenstrukturen mittels optischer Messmethoden

AiF 16747 N, 2010-2013

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW, Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Prof. Dr. T. Becker/M.Sc. M. Hussein

DFG/AiF-Cluster 4

Minimal Processing in automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung am Beispiel der Feinzerlegung von Schweinefleisch (Schinken)

AiF 16692 N „Analysenmethoden zur online-Beurteilung“

AiF 16691 N „Hygieneorientiertes Maschinenkonzept“

AiF 16690 N „Minimal Processing Schweinefleisch“

Entwicklung von Analysenmethoden zur Etablierung einer online-fähigen Beurteilung von Fleisch

AiF 16692 N, 2010-2013

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,

Arbeitsgruppe Analytik,

- Standort Kulmbach -

Prof. Dr. F. Schwägele/Dr. R. Scheuer

Universität Bayreuth, Forschungsstelle für Nahrungsmittelqualität

Prof. Dr. O. Meyer/Dr. H. Schmidt

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL), Erlangen

Dr. H. Diepolder/J. Denhöfer

Reinigungs- und hygieneorientiertes Maschinenkonzept zur ganzheitlichen Umsetzung von Minimal Processing bei der Fleischverarbeitung

AiF 16691 N, 2010-2013

Fraunhofer Anwendungszentrum für Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik (AVV), Dresden
Prof. Dr. J.-P. Majschak

Minimal Processing in der automatisierten Feinzerlegung von Schweinefleisch

AiF 16690 N, 2010-2013

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning
Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. K. Franke

Optimierung der Biogasfermentation durch energetisch verbesserte Substratzerkleinerung und optimierte Biomasserückhaltung

AiF 16620 N, 2011-2013

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe,
Lehrstuhl für Verfahrenstechnik disperser Systeme
Prof. Dr. U. Kulozik (kommissarisch)/Dr. J. Voigt

Strukturbildung bei Fleischerzeugnissen durch Optimierung und Neugestaltung eines kontinuierlichen Produktionssystems auf Basis der Füllwolftechnologie

AiF 16461 N, 2010-2012

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Technologie funktioneller Lebensmittel
Prof. Dr. J. Weiss

Minimierung der PAK-Gehalte in Fleischerzeugnissen durch Optimierung der Prozessführung bei konventioneller Räucherung

AiF 16460 N, 2010-2012

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,
Arbeitsgruppe Analytik,
- Standort Kulmbach -
Prof. Dr. F. Schwägele/Dr. W. Jira

Lösemittelfreie Gewinnung von Pflanzenöl mit CO₂-unterstützten Pressverfahren

AiF 16459 N, 2010-2012

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik,
Arbeitsgruppe Wärme- und Stofftransport
Prof. Dr. R. Eggers

Gestaltung der Eigenschaften expandierter stärkebasierter Produkte mittels Hochgeschwindigkeitsextrusion auf der Grundlage einer neuronumerischen Prozessführungsstrategie

AiF 332 ZN, 2009-2012

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik,

Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik

Prof. Dr. H. P. Schuchmann/Dipl.-Ing. M. Horvat

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik

Prof. Dr. N. Willenbacher/Dr. B. Hochstein

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- u. Bioingenieurwesen, Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Prof. Dr. A. Delgado/Dr. C. Rauh

Nachweis von *Staphylococcus aureus* und *Bacillus cereus* in Milchprodukten nach Bioaffinitätsanreicherung

AiF 331 ZN, 2009-2012

Universität München, Lehrstuhl für Hygiene und Technologie der Milch

Prof. Dr. Dr. E. Märtlbauer/Dr. R. Dietrich

Universität Hamburg, Fachbereich Chemie,

Institut für Lebensmittelchemie

Prof. Dr. M. Fischer/Prof. Dr. U. Hahn

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- u. Bioingenieurwesen, Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning

Technische Universität München, Department Chemie,

Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie,

Prof. Dr. R. Nießner/Dr. M. Seidel

Untersuchungen zur Integration der Simultanen Homogenisier- und Misch-(SHM-) Technologie in konventionelle Homogenisationsprozesse mit Flachventilen zur Verarbeitung von Milchprodukten

AiF 16303 N, 2010-2012

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik,

Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik

Prof. Dr. H. P. Schuchmann/Dipl.-Wirtsch.-Ing. K. Köhler

Optimierung der Ultrafiltrationsleistung sowie Verbesserung der mikrobiologischen Qualität bei der Herstellung von Molkekonzentraten durch vorgeschaltete Mikrofiltration (MF)

AiF 16300 N, 2010-2012

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung,
Abteilung Technologie
Prof. Dr. U. Kulozik/Dipl.-Ing. W. Kühnl/Dipl.-oec.-troph. V. Kaufmann

Modellbasierte Optimierungsstrategien zur automatisierten Hochdruckhaltbarmachung von Lebensmitteln am Beispiel von Fleischerzeugnissen

AiF 16114 N, 2009-2011

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. S. Töpfl
Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Prof. Dr. A. Delgado/Dr. C. Rauh

Aufarbeitung von Schlacht tierblut mit Hilfe gepulster elektrischer Felder (PEF) zur Keimverminderung und nachhaltigem Einsatz in Lebensmitteln tierischen Ursprungs

AiF 15885 N, 2008-2010

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Zentrum für Lebensmittelwissenschaften,
Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit,
Prof. Dr. G. Klein/Dr. A. Boulaaba/Dr. T. von Müffling

Anwendung elektrohydraulischer Stoßwellen zur Desintegration biologischer Gewebe am Beispiel der Zartmachung von Rindfleisch

AiF 15884 N, 2008-2011

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. S. Töpfl
Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,
Arbeitsgruppe Analytik,
- Standort Kulmbach -
Prof. Dr. F. Schwägele

Qualitätsbewertung von Hartweizen, Hartweizengrieß und Hartweizenprodukten durch die Auswertung digitaler Bilder

AiF 15832 N, 2008-2011

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/M.Sc. M. Hussein

Entwicklung eines intelligenten Backofens (IBO) zum optimierten Backen in industriellen Backöfen mittels digitaler Bildauswertung und erfahrungsbasierter Fuzzyregelung

AiF 15659 N, 2008-2010

Universität Hannover, Institut für Technische Chemie
Prof. Dr. T. Scheper

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW,
Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene
Rohstoffe,
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Jekle

Untersuchungen und Modellierung eines neuartigen Extrusionsprozesses für die Lebensmittelverarbeitung

AiF 15459 N, 2008-2010

Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (SKZ), Würzburg
Dr. M. Bastian/Dr. K. Kretschmer

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Prof. Dr. E. H. Reimerdes/Dr. K. Franke

Neuartige Multikontakt-Detektion als Basis eines innovativen hybriden Systems zur automatischen Erkennung von partikulären, festen Fremdkörpern in abgefüllten, fließfähigen, nicht-stückigen Lebensmitteln am Beispiel von Produkten ausgewählter rheologischer Konstitution

AiF 264 ZBG, 2007-2009

Universität Erlangen-Nürnberg, Department für Chemie- und Bioingenieurwesen,
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning
Fraunhofer-Anwendungszentrum für,
Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik, Dresden
Prof. Dr. J.-P. Majschak/Dipl.-Ing. S. Bach

Anwendungsbereich Obst, Gemüse, Hülsenfrüchte, Kartoffeln

Verbesserung von Trocknungsprozessen pflanzlicher Rohstoffe durch prozess-induzierte Verringerung von Stofftransportwiderständen

AiF 17161 N, 2011-2013

Technische Universität Berlin, Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie,

FG Lebensmittelbiotechnologie und -prozesstechnik

Prof. Dr. D. Knorr/Dipl.-Ing. H. Jäger

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik,

Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik

Prof. Dr. H. P. Schuchmann/Prof. Dr. M. Regier/Dr. V. Gaukel

Pilotstudie zur Bioverfügbarkeit und biologische Aktivität von anthocyanreichen Heidelbeeren in verkapselter und unverkapselter Form im Menschen

AiF 17039 N, 2011-2013

Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Chemie,

Fachrichtung Lebensmittelchemie und Toxikologie

Prof. Dr. E. Richling

Universität Wien, Institut für Lebensmittelchemie und Toxikologie

Prof. Dr. D. Marko

Entwicklung mikroverkapselter Polyphenolextrakte aus pflanzlichen Reststoffen zur Nutzung als Lebensmitteladditive

AiF 16014 N, 2009-2011

Universität Bonn, Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften,

FG Lebensmitteltechnologie und -mikrobiologie

Prof. Dr. B. Kunz/Dipl.-oec.troph. N. Schulze

Universität Bonn, Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften, FG Humanernährung

Prof. Dr. P. Stehle/Dr. S. Lesser

Anwendungsbereich Speisefette und -öle, Emulsionen, Margarine, Butter

Grundlagen für die großtechnische Anwendung von Verfahren zur Herstellung von Speisefetten und -ölen mit reduzierten Gehalten an 3-MCPD-Fettsäureestern und verwandten Verfahren

AiF 9514/11 BG (in Vorbereitung)

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,

Institut für Sicherheit und Qualität bei Getreide

- Standort Detmold -

Prof. Dr. M. G. Lindhauer/Prof. Dr. B. Matthäus

PPM Pilot Pflanzenöltechnologie e.V., Magdeburg

Dr. F. Pudel/T. Rudolph

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Dr. M. Granvogel

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück

Dr. V. Heinz/Dr. K. Franke

Lösemittelfreie Gewinnung von Pflanzenöl mit CO₂-unterstützten Pressverfahren

AiF 16459 N, 2010-2012

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik,

Arbeitsgruppe Wärme- und Stofftransport

Prof. Dr. R. Eggers

Untersuchungen zur Bildung von 3-Monochlorpropan-1,2-diol-Fettsäureestern (3-MCPD-FE) in Pflanzenölen und Entwicklung von Strategien zu deren Minimierung

AiF 16004 BG, 2009-2011

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel,

Institut für Sicherheit und Qualität bei Getreide,

- Standort Detmold -

Prof. Dr. M. G. Lindhauer/Prof. Dr. B. Matthäus/Dr. L. Brühl

PPM Pilot Pflanzenöltechnologie e.V., Magdeburg

Dr. F. Pudel/T. Rudolph

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Dr. M. Granvogel

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück

Dr. V. Heinz/Dr. K. Franke

Herstellen feindisperser Emulsionen mit langsam adsorbierenden Emulgatoren. Entwicklung eines Hochspannungsimpuls-unterstützten Verfahrens zur Verdrängungsextraktion von Ölen und funktionellen Proteinen aus Ölsaaten am Beispiel von Raps

AiF 15241 BG, 2007-2010

PPM Pilot Pflanzenöltechnologie e.V., Magdeburg

Dr. F. Pudel/Dr. J.-P. Krause

Technische Universität Berlin, Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie,

FG Lebensmittelbiotechnologie und -prozess Technik

Prof. Dr. D. Knorr

Polyphenolangereichertes Deodestillat zur Erhöhung der Oxidationsstabilität von speiseöhlhaltigen Nahrungsmitteln

AiF 15216 N, 2007-2009

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik,

Arbeitsgruppe Wärme- und Stofftransport

Prof. Dr. R. Eggers

Universität Kiel, Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde,

Abteilung Lebensmitteltechnologie

Prof. Dr. K. Schwarz

Anwendungsbereich Süßwaren, Kakao, Speiseeis, Honig

Untersuchungen zur Aromaentwicklung bei der Kakaoröstung unter besonderer Berücksichtigung der Steuerung des Temperaturzeitprofils

AiF 17281 N, 2011-2013

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik,

Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik

Prof. Dr. H. P. Schuchmann/Dr. V. Gaukel

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Dr. M. Steinhaus

Gezielte Kristallisation von fettbasierten Systemen für Überzüge und Sperrschichten zur Minimierung des Stofftransports

AiF 17206 N, 2011-2013

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück

Dr. V. Heinz/Dr. U. Bindrich/Dr. K. Franke

Evaluierung chemisch-analytischer und molekularbiologischer Methoden zur Differenzierung von hochwertigem Arriba Edelkakao und Konsumkakao (CCN51)

AiF 16796 N, 2010-2012

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Prof. Dr. Dr. P. Schieberle/Dr. M. Steinhaus

Universität Hamburg, Fachbereich Chemie,

Institut für Lebensmittelchemie

Prof. Dr. M. Fischer/Dr. I. Haase

Optimierter Einsatz von alternativen Emulgatoren in Süßwarensuspensionen mit hoher Feststoffkonzentration mit dem Ziel der Einsparung von Kakaobutter

AiF 16757 N (in Vorbereitung)

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück

Dr. V. Heinz/Dr. U. Bindrich/Dr. U. Strijowski

Untersuchungen zu potentiell gesundheitsförderlichen Wirkungsmechanismen von Nüssen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Röstgrade

AiF 16535 BR (in Vorbereitung)

Universität Jena, Institut für Ernährungswissenschaften,

Lehrstuhl für Ernährungstoxikologie

PD Dr. M. Gleis

Universität Jena, Institut für Ernährungswissenschaften,

Lehrbereich Biochemie der Ernährung

Prof. Dr. S. Lorkowski

Entwicklung einer Screening-Methode zur Einschätzung von Pyrrolizidin-Alkaloidgehalten in Honig mittels melissopalynologischer Analysen

AiF 16223 BG, 2009-2012

Institut für Innovationen im Lebensmittel- und Umweltbereich e.V., Bremen

Dr. C. Lüllmann

Technische Universität Dresden, Institut für Lebensmittelchemie,

Professur für Spezielle Lebensmittelchemie/Lebensmittelproduktion

Prof. Dr. K. Speer

Technische Universität Braunschweig, Institut für Pharmazeutische Biologie (IPB)

Dr. T. Beuerle

Identifizierung von Markersubstanzen zur Charakterisierung von Sortenhonigen

AiF 16011 BG, 2009-2011

Institut für Innovationen im Lebensmittel- und Umweltbereich e.V., Bremen
Dr. C. Lüllmann

Technische Universität Dresden, Institut für Lebensmittelchemie,
Professur für Spezielle Lebensmittelchemie/Lebensmittelproduktion
Prof. Dr. K. Speer

Reinheitskontrolle von Marzipan mittels molekularbiologischer Methoden

AiF 15304 N, 2007-2010

Universität Hamburg, Fachbereich Chemie,
Institut für Lebensmittelchemie
Prof. Dr. M. Fischer/Dr. I. Haase

Untersuchungen zur Wirkung von grenzflächenaktiven Substanzen in konzentrierten, lipophilen Süßwarensuspensionen am Beispiel von Schokoladenmasse

AiF 15217 N, 2007-2009

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück
Dr. V. Heinz/Dr. K. Franke

Mitgliederverzeichnis

Vorstand

Vorsitzender:

Dr. Jürgen Kohnke, Köln

1. Stellvertretender Vorsitzender:

Prof. Dr. Dr. Peter Schieberle

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising

2. Stellvertretender Vorsitzender:

Dr. Götz Kröner

Hermann Kröner GmbH, Ibbenbüren

Vorstand:

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Bischof

Nestlé Deutschland AG, Frankfurt

Prof. Dr. Antonio Delgado

Universität Erlangen-Nürnberg, Department Chemie- und Bioingenieurwesen,
Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Dipl.-Ing. Karl Eismann

Kraft Foods Belgium Biscuits Production bvba, Herentals

Prof. Dr. Hans-Ulrich Endreß

Herbstreith & Fox KG, Neuenbürg

Dr. Karl Horst Gehlen

Westfälische Fleischwarenfabrik Stockmeyer GmbH, Sassenberg

Prof. Dr. Dr. Jörg Hinrichs

Universität Hohenheim, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Lebensmittel tierischer Herkunft

Dr. Thomas Kuhlmann

Pfeifer & Langen Kommanditgesellschaft, Köln

Dipl.-Ing. Reiner Küster

The Lorenz Bahlsen Snack-World GmbH & Co. KG, Neu-Isenburg

Dr. Bernd Schartmann

Chocoladefabriken Lindt & Sprüngli, Aachen

Prof. Dr. Siegfried Scherer

Technische Universität München, Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung, Abt. Mikrobiologie

Prof. Dr. Heike P. Schuchmann

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik, Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik

Dr. Udo Spiegel

Dr. August Oetker Nahrungsmittel KG, Bielefeld

Prof. Dr. Peter Stehle

Universität Bonn, Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften, FG
Humanernährung

Prof. Dr. Erich J. Windhab

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Lebensmittel-
wissenschaften, Ernährung und Gesundheit, Laboratorium Lebensmittelverfah-
renstechnik

Prof. Dr. Peter Winterhalter

Technische Universität Braunschweig, Institut für Lebensmittelchemie

Ehrenvorsitzender:

Dr. Fritz Ruf, Heilbronn

Mitgliedsverbände

- Alkoholfreie Getränke**, Wirtschaftsvereinigung Alkoholfreie Getränke e.V. (wafg)
- Aromenindustrie**, Deutscher Verband der Aromenindustrie e.V. (DVAI)
- Arzneimittel-Hersteller**, Forschungsvereinigung der Arzneimittel-Hersteller e.V. (FAH)
- Backzutaten**, Der Backzutatenverband e.V.
- Bäckerhandwerk**, Zentralverband des Deutschen Bäckerhandwerks e.V.
- Brauerei**, Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V.
- Brauwirtschaft**, Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. (Wifö)
- Diätverband**, Bundesverband der Hersteller von Lebensmitteln für eine besondere Ernährung e.V. – Diätverband
- Eier**, Zentralverband Eier e.V. (ZVE)
- Eiprodukten-Industrie**, Bundesverband der Deutschen Eiprodukten-Industrie e.V. (BVEP)
- Fischindustrie**, Bundesverband der deutschen Fischindustrie und des Fischgroßhandels e.V.
- Fleischer**, Deutscher Fleischer-Verband e.V. (DFV)
- Fleischwarenindustrie**, Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie e. V. (BVDF)
- Fleischwirtschaft**, Verband der Fleischwirtschaft e.V. (VDF)
- Fruchtsaft-Industrie**, Verband der deutschen Fruchtsaft-Industrie e. V. (VdF)
- Futtermitteltechnik**, Internationale Forschungsgemeinschaft Futtermitteltechnik e.V. (IFF)
- Geflügelschlachtereien**, Bundesverband der Geflügelschlachtereien e.V. (BVG)
- Getreideforschung**, Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (AGF)
- Getreidenährmittelverband**, Getreidenährmittelverband - Bundesverband der Hersteller von Nahrungsmitteln aus Getreide und Reis e.V.
- Gewürzindustrie**, Fachverband der Gewürzindustrie e.V.
- Großbäckereien**, Verband Deutscher Großbäckereien e.V.
- Hefeindustrie**, Versuchsanstalt der Hefeindustrie e.V. (VH Berlin)
- Honig**, Honig-Verband e.V.
- Hopfen**, Deutscher Hopfenwirtschaftsverband e.V. (DHWV)
- Kaffee**, Deutscher Kaffee-Verband e.V.
- Klein- und Obstbrenner**, Bundesverband der Deutschen Klein- und Obstbrenner e.V.
- Konditoren**, Deutscher Konditorenbund
- Kräuter- und Fruchtetee**, Wirtschaftsvereinigung Kräuter- und Fruchtetee e.V. (WKF)

Kulinaria (Feinkost – Suppen – Essig – Senf - Desserts), Verband der Hersteller kulinarischer Lebensmittel e.V.

Lebensmittelinstitut, Lebensmittelinstitut KIN e.V.

Lebensmitteltechnik, Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL)

Lebensmitteltechnologie, Industrievereinigung für Lebensmitteltechnologie und Verpackung e.V. (IVLV)

Mälzer, Deutscher Mälzerbund e.V.

Margarineindustrie, Verband der Deutschen Margarineindustrie e.V.

Mehl- und Eiweißforschung, Verein der Förderer des Hans-Dieter-Belitz-Instituts für Mehl- und Eiweißforschung e.V. (hdbi)

Milchindustrie, Milchindustrie-Verband e.V. (MIV)

Milchwissenschaft, Vereinigung zur Förderung der Milchwissenschaftlichen Forschung an der Technischen Universität München e.V.

Mineralbrunnen, Verband Deutscher Mineralbrunnen e.V. (VDM)

Mühlen, Verband Deutscher Mühlen e.V.

Nahrungsmittelmaschinen, VDMA Fachverband Nahrungsmittelmaschinen und Verpackungsmaschinen

Naturdarm, Zentralverband Naturdarm e.V.

Nüsse, Nucus e.V. Deutschland

Obst-, gemüse- und kartoffelverarbeitende Industrie, Bundesverband der obst-, gemüse- und kartoffelverarbeitenden Industrie e.V. (BOGK)

Oel- und Proteinpflanzen, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP)

Ölsaaten, Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland e.V. (OVID)

Pektin, Fachverband Pektin e.V.

Sektellereien, Verband Deutscher Sektellereien e.V.

Stärke-Industrie, Fachverband der Stärke-Industrie e.V.

Süßstoff, Süßstoff-Verband e.V.

Süßwarenindustrie, Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie e.V. (BDSI)

Tee, Deutscher Teeverband e.V.

Teigwarenhersteller, Verband der Teigwarenhersteller und Hartweizenmühlen Deutschlands e.V.

Tiefkühlinstitut, Deutsches Tiefkühlinstitut e.V. (dti)

Verfahrenstechnik, Kompetenznetz Verfahrenstechnik Pro3 e.V.

Weinbau, Deutscher Weinbauverband e.V. (dvw)

Zuckerindustrie, Verein der Zuckerindustrie e.V. (VdZ)

Mitgliedsunternehmen

aevotis GmbH, Potsdam
The Lorenz Bahlsen Snack-World GmbH & Co. KG Germany, Neu-Isenburg
Bayerische Milchindustrie eG (Bmi), Landshut
Ernst Böcker GmbH & Co. KG, Minden
bofrost* Dienstleistungs GmbH & Co. KG, Straelen
Brandt Zwieback-Schokoladen GmbH & Co. KG, Hagen
Martin Braun Backmittel und Essenzen KG, Hannover
Bühler AG, CH-Uzwil
Coca-Cola GmbH, Berlin
Cremilk GmbH, Kappeln
Norbert Deiters & Ulrich Florin GbR, Hamburg
DLG e.V. (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.), Frankfurt
durakult Gesellschaft für biologische Technologien mbH, Berlin
Eckes-Granini Group GmbH, Nieder-Olm
Ferrero Deutschland GmbH, Frankfurt
FRoSTA AG, Bremerhaven
Frutarom Savory Solutions GmbH, Korntal-Münchingen
GEA Westfalia Separator Group GmbH, Oelde
General Mills GmbH, Hamburg
GfL - Gesellschaft für Lebensmittel-Forschung mbH, Berlin
Givaudan Nederland BV, NL-Naarden
GNT Europa GmbH, Aachen
G. C. HAHN & Co. Stabilisierungstechnik GmbH, Lübeck
Rich. Hengstenberg GmbH & Co. KG, Esslingen
Herbstreith & Fox KG, Neuenbürg
Hydrosol Produktionsgesellschaft mbH & Co. KG, Ahrensburg
isolab GmbH - Laboratorium für Stabilisotopenanalytik, Hemmingen
Jäckering Mühlen und Nahrungsmittelwerke GmbH, Hamm
Kampffmeyer Mühlen GmbH, Hamburg
Peter Kölln KGaA Köllnflockenwerke, Elmshorn
Kräuter Mix GmbH, Abtswind
Kraft Foods R&D Inc., Zweigniederlassung München

Krüger GmbH & Co. KG, Bergisch Gladbach
Carl Kühne KG (GmbH & Co.), Hamburg
Chocoladefabriken Lindt & Sprüngli GmbH, Aachen
Mars GmbH, Verden
Molkerei Meggle Wasserburg GmbH & Co. KG, Wasserburg/Inn
Milupa GmbH, Friedrichsdorf/Ts.
Privatmolkerei Naarmann GmbH, Neuenkirchen
Nano Holding GmbH, Ulm
Nestlé Deutschland AG, Frankfurt
Nordzucker AG, Braunschweig
Dr. August Oetker Nahrungsmittel KG, Bielefeld
Pfeifer & Langen Kommanditgesellschaft, Köln
Adalbert-Raps-Lebensmittelforschung gGmbH, Kulmbach
Schwartauer Werke GmbH & Co. KGaA, Bad Schwartau
SciNuTec GmbH, Münzenberg
Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt, Grünstadt
SYMRISE GmbH & Co. KG, Holzminden
Tchibo GmbH, Hamburg
Unilever Deutschland GmbH, Werk Heilbronn
Rudolf Wild GmbH & Co. KG, Heidelberg/Eppelheim
Yakult Deutschland GmbH, Neuss
Zentis GmbH & Co. KG, Aachen
Zeppelin Reimelt GmbH, Rödermark

Forschungsinstitute

Forschungsinstitute der Hochschulen

Hochschule Anhalt (FH)

- Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie und Landschaftsentwicklung,
 - Professur für Lebensmittellehre, Bernburg
- Fachbereich Angewandte Biowissenschaften und Prozesstechnik,
 - FG Lebensmittelverfahrenstechnik/Milchtechnologie, Köthen

Universität Bayreuth

- Forschungsstelle für Nahrungsmittelqualität
- Laboratorium für Biochemie

Freie Universität Berlin

- Fachbereich Veterinärmedizin,
 - Institut für Lebensmittelhygiene

Technische Universität Berlin

- Institut für Biotechnologie,
 - FG Brauwesen
- Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie:
 - FG Lebensmittelchemie/Lebensmittelanalytik
 - FG Lebensmittelbiotechnologie und -prozesstechnik
 - FG Getreidetechnologie
 - FG Lebensmittelverfahrenstechnik

Universität Bochum

- BGFA – Forschungsinstitut für Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
- Institut für Thermo- und Fluidodynamik
 - Lehrstuhl Verfahrenstechnische Transportprozesse

Universität Bonn

- Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften
 - FG Humanernährung
 - FG Lebensmittelchemie
 - FG Bioanalytik/Lebensmittelchemie FG Lebensmitteltechnologie und -mikrobiologie

Technische Universität Braunschweig

- Institut für Pflanzenbiologie, Arbeitsbereich Angewandte Pflanzenbiologie
- Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Abt. Angewandte Physikalische Chemie
- Institut für Lebensmittelchemie
- Institut für Nachrichtentechnik
- Institut für Pharmazeutische Biologie (IPB)

Technische Universität Dortmund

Lehrstuhl für Physikalische Chemie II

Technische Universität Dresden

Institut für Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik

Institut für Lebensmittelchemie

– Professur für Lebensmittelchemie

– Professur für Spezielle Lebensmittelchemie/Lebensmittelproduktion

Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik

AG Mechanische Verfahrenstechnik

Universität Erlangen-Nürnberg

Department für Chemie- und Bioingenieurwesen:

– Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik

– Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Department für Chemie und Pharmazie

– Lehrstuhl für Lebensmittelchemie

Department Informatik

Lehrstuhl für Systemsimulation

Hochschule Fulda

Fachbereich Lebensmitteltechnologie, Professur für pflanzliche Lebensmitteltechnologie

Universität Gießen

Institut für Ernährungswissenschaft

Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft

Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie

Institut für Tierernährung und Ernährungsphysiologie

Universität Göttingen

Department für Nutzpflanzenwissenschaften:

– Abteilung Qualität Pflanzlicher Erzeugnisse

– Abteilung Agrartechnik

Universität Halle/Wittenberg

Institut für Pharmazie: Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Professur für Tierzucht

Zentrum für Ingenieurwissenschaften

– Institut für Verfahrenstechnik/TVT

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences, Department Ökotoxikologie

Universität Hamburg

Department Biologie:

– Biozentrum Klein Flottbek und Botanischer Garten, Abteilung Pflanzenökologie und Nutzpflanzenbiologie

Fachbereich Chemie:

- Institut für Lebensmittelchemie
- Institut für Organische Chemie
- Institut für Physikalische Chemie

Technische Universität Hamburg-Harburg

Institut für thermische Verfahrenstechnik, Arbeitsgruppe Wärme- und Stofftransport

Universität Hannover

Institut für Lebensmittelchemie

Institut für Lebensmittelwissenschaft und Ökotoxikologie, Abt. Ernährungsphysiologie und Humanernährung

Institut für Technische Chemie

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

Zentrum für Infektionsmedizin:

- Institut für Mikrobiologie

Zentrum für Lebensmittelwissenschaften:

- Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit
- Institut für Lebensmitteltoxikologie und Chemische Analytik, Abt. Chemische Analytik

Universität Hohenheim

Institut für Biologische Chemie und Ernährungswissenschaft

Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie:

- FG Lebensmittel pflanzlicher Herkunft
- FG Prozessanalytik und Getreidetechnologie
- FG Lebensmittelmikrobiologie
- FG Lebensmittel tierischer Herkunft
- FG Biotechnologie
- FG Gärungstechnologie
- FG Lebensmittelverfahrenstechnik
- FG Technologie funktioneller Lebensmittel

Universität Jena

Institut für Ernährungswissenschaften:

- Lehrbereich Biochemie der Ernährung
- Lehrstuhl Ernährungsphysiologie
- Lehrstuhl für Ernährungstoxikologie
- Lehrstuhl Humanernährung

Technische Universität Kaiserslautern

Fachbereich Chemie, Fachrichtung Lebensmittelchemie und Toxikologie

Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik:

- Lehrgebiet Bioverfahrenstechnik
- Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Institut für Angewandte Biowissenschaften, Abt. für Lebensmitteltoxikologie

Institut für Thermische Verfahrenstechnik

Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik:

- AG Angewandte Mechanik (AME)
- AG Verfahrenstechnische Maschinen (VM)

Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik, Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik

Universität Kiel

Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde:

- Abteilung Humanernährung
- Abteilung Molekulare Prävention
- Abteilung Lebensmittelwissenschaft
- Abteilung Lebensmitteltechnologie

Universität Leipzig

Veterinärmedizinische Fakultät, Zentrum für Veterinary Public Health

- Institut für Lebensmittelhygiene
- Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen

Universität Mainz

Institut für Mikrobiologie und Weinforschung

Institut für Molekulare Biophysik

Technische Universität München

Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW):

Department für Ingenieurwissenschaften für Lebensmittel und Biogene Rohstoffe:

- Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik
- Lehrstuhl für Verfahrenstechnik disperser Systeme
- Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie
- Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
- Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik

Department für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften:

- Fachgebiet Biotechnologie der Naturstoffe
- Lehrstuhl für Allgemeine Lebensmitteltechnologie
- Lehrstuhl für Chemisch-Technische Analyse und Chemische Lebensmitteltechnologie
- Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik
- Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie

Department Tierwissenschaften:

- Lehrstuhl für Tierhygiene
- Lehrstuhl für Tierernährung

Technische Universität München

Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung:

- Abteilung Mikrobiologie
- Abteilung Biofunktionalität
- Abteilung Technologie

Department Chemie:

- Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie
 - Lehrstuhl für Lebensmittelchemie
- Klinik und Poliklinik für Dermatologie und Allergologie am Biederstein

Universität München

Lehrstuhl für Hygiene und Technologie der Milch

Universität Münster

Institut für Lebensmittelchemie

Hochschule Niederrhein

FB Oecotrophologie, Labor Mikrobiologie

Fachhochschule Osnabrück

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur: Labor für Lebensmittelphysik

Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo

Fachbereich Life Science Technologies:

- Labor Mikrobiologie
- Labor Verfahrenstechnik
- Labor Fleischtechnologie
- Labor Getränketechnologie

Fachhochschule Stralsund

Fachbereich Maschinenbau, FG Strömungslehre und Strömungsmaschinen

Medizinische Universitätsklinik Tübingen

Medizinische Klinik und Poliklinik, Abt. Innere Medizin IV

Universität Tübingen

Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie

Institut für Pharmazie, Abt. Pharmakologie und Toxikologie

Universität Wien

Institut für Lebensmittelchemie und Toxikologie

Institut für Ernährungsphysiologie und Physiologische Chemie

Veterinärmedizinische Universität Wien

Department für Pathobiologie, Institut für Funktionelle Mikrobiologie

Universität Wuppertal

Institut für Lebensmittelchemie

Universität Würzburg

Institut für Pharmazie und Lebensmittelchemie

- Lehrstuhl für Lebensmittelchemie

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Institut für Lebensmittelwissenschaften, Ernährung und Gesundheit:

- Labor für Lebensmittelmikrobiologie
- Labor für Lebensmittelverfahrenstechnik

Forschungsinstitute des Bundes und der Länder

Julius-Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Berlin

Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, Quedlinburg

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

FG Oberflächentechnologien

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit K2, Erlangen

Max-Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel

Arbeitsgruppe Analytik, Standort Kulmbach

Institut für Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik, Standort Karlsruhe

Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie, Standorte Kiel/Kulmbach

Institut für Physiologie und Biochemie der Ernährung, Standort Karlsruhe

Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch, Standort Kulmbach

Institut für Sicherheit und Qualität bei Getreide, Standorte Detmold/Münster

Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Standorte Hamburg/Kiel

Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising-Weihenstephan

Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Gatersleben

Forschungsanstalt Geisenheim (FAG), Geisenheim

Institut für Önologie und Getränkeforschung:

- FG Weinanalytik und Getränkeforschung
- FG Mikrobiologie und Biochemie

Institut für Weinbau und Rebenzüchtung:

- FG Kellerwirtschaft

Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg

Abteilung Mikrobiologischer Verbraucherschutz

Paul-Ehrlich-Institut, Bundesinstitut für Impfstoffe und biomedizinische Arzneimittel,

Langen

Abteilung Allergologie

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL), Leipzig

Geschäftsbereich 6 (Labore Landwirtschaft)

*Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz, Neustadt an der Weinstraße
Abteilung Weinbau und Oenologie*

Deutsches Institut für Ernährungsforschung (DIFE) Potsdam-Rehbrücke, Nuthetal

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Potsdam

Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing

*Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau, Weinsberg
Abt. Analytik*

Forschungsinstitute diverser Rechtsträger

*Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie, Aachen/Schmalen-
lenberg*

GfL - Gesellschaft für Lebensmittel-Forschung mbH, Berlin

Fraunhofer-Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST), Braunschweig

*Forschungsinstitut Futtermitteltechnik der Internationalen Forschungsgemeinschaft
Futtermitteltechnik e.V. (IFF), Braunschweig*

Institut Nehring GmbH, Institut für Konserventechnologie, Braunschweig

Institut für Innovationen im Lebensmittel- und Umweltbereich e.V., Bremen

Quality Services International GmbH, Institut für Honiganalytik, Bremen

ttz Bremerhaven, BILB-EIBT, Bremerhaven

Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven

*Fraunhofer-Anwendungszentrum für Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstech-
nik, Dresden*

*Institut für Fleischforschung, Fleischtechnologie und Qualitätssicherung e.V. (IFF),
Frankfurt*

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV), Freising

Hans-Dieter-Belitz-Institut für Mehl- und Eiweißforschung e.V., Freising-Weihenstephan

*Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS), Entwicklungszentrum Röntgentech-
nik (EZRT), Fürth*

Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ), Göttingen

Institut für angewandte Biotechnologie der Tropen an der Universität Göttingen

FGK Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe – Glas/Keramik, Höhr-Grenzhausen

Institut Prof. Dr. Georg Kurz GmbH, Köln

Lebensmittelchemisches Institut (LCI) des Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie e.V., Köln

PPM - Pilot Pflanzenöltechnologie Magdeburg e.V.

IGV - Institut für Getreideverarbeitung GmbH, Nuthetal

ILU - Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V., Nuthetal

Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Abt. Grenzflächen, Potsdam

Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung (IAP), Potsdam

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL), Quakenbrück

Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe e.V. (IFW), Remscheid

Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (SKZ), Würzburg

FEI-Kurzprofil

FEI-Kurzprofil

Vorsitzender

Dr. Jürgen Kohnke

Geschäftsführer

Dr. Volker Häusser

Zweck

Förderung der Forschung auf dem Gebiet der Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaft

Gründung

1953 – als eingetragener, gemeinnütziger Verein

Mitglieder

- 60 Industrieunternehmen
- 55 Fachverbände/Organisationen der deutschen Lebensmittelwirtschaft
- 120 Forschungsinstitute

Aktivitäten

- Förderung von Projekten der Industriellen Gemeinschaftsforschung (jährlich rund 100 laufende Projekte)
- Vermittlung von Kontakten und Kooperationen zwischen Wirtschaft und Wissenschaft
- Durchführung von Tagungen
- Herausgabe von Publikationen

Veranstaltungen

- FEI-Jahrestagung (1x jährlich)
- FEI-Kooperationsforum (1x jährlich)
- FEI-Themenworkshop (unregelmäßig)
- Sitzungen des Wissenschaftlichen Ausschusses (3x jährlich)
- Sitzungen der Projektbegleitenden Ausschüsse (80-90x jährlich)
- Gremiensitzungen

Publikationen

- Dokumentationsband der FEI-Jahrestagung
- FEI-Handbuch
- Newsletter „FEI im Fokus“
- IGF-Branchenfolder
- FEI-Imagebroschüre
- F&E-Dokumentationen (Projektberichte)
- Forschungsreport (im Internet)

Dachorganisation

AiF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V.), Köln

www.aif.de



Der **Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)** ist die zentrale Forschungsorganisation der deutschen Lebensmittelwirtschaft und Mitglied der AiF. Selbstverständnis und Tätigkeit des FEI basieren auf der Idee, die Kooperation zwischen Wissenschaft und Industrie zu fördern und praxisrelevante Forschung über die Grenzen des Wettbewerbs einzelner Unternehmen hinaus gemeinsam, d.h. auf Branchenebene, zu organisieren.

Der FEI fördert in Zusammenarbeit mit 120 Instituten jährlich über **100 Projekte der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**, organisiert Tagungen und veröffentlicht Fachpublikationen. Im Fokus der FEI-Projekte stehen die Themenfelder Lebensmittelqualität, Lebensmittelproduktion, Lebensmittel & Gesundheit und Lebensmittelsicherheit.

Über 600 Unternehmen sind als direkte Mitglieder des FEI oder als Mitglieder der Projektbegleitenden Ausschüsse unmittelbar in seine Aktivitäten einbezogen.

Das Innovationsnetzwerk des FEI und seine Forschungsprojekte werden im Rahmen des Programms zur Förderung der IGF vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) finanziell unterstützt.

