Bedeutung von Protein und Lipidphase bei der Entwicklung veganer Milch- und Sahnealternativen



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungseinrichtungen:	Technische Universität Berlin Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie FG Lebensmitteltechnologie und -materialwissenschaften Prof. Dr. Stephan Drusch/M.Sc. Kerstin Risse
	Technische Universität Berlin Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie FG Lebensmittelverfahrenstechnik Prof. Dr. Eckhard Flöter
	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik Teilinstitut I: Lebensmittelverfahrenstechnik Prof. Dr. Ulrike van der Schaaf/M.Sc. Philipp Schochat
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin
Projektkoordinatorin:	Dr. Katja Bode DMK Deutsches Milchkontor GmbH, Zeven
Laufzeit:	2023 – 2026
Zuwendungssumme:	€ 457.462,--

Ausgangssituation

Milchprodukte, wie Trinkmilch, Milchmischgetränke, Sahne und Sahneerzeugnisse, sind Beispiele für Öl-in-Wasser-Emulsionen. Neben einem direkten Konsum oder Einsatz im Haushalt sind sie in flüssiger oder aufgeschlagener Form in Cremes, Füllungen, Aufstrichen oder Heißgetränken auch Zutat in einer Vielzahl weiterer Lebensmittel. Vor dem Hintergrund eines wachsenden Gesundheitsbewusstseins der Verbraucher und einem grundsätzlichen Wandel hin zu einem vermehrten Konsum pflanzenbasierter Lebensmittel besteht von Seiten der Lebensmittelindustrie großes Interesse an der Entwicklung von Produkten, in denen tierische Fette und Proteine durch pflanzliche Alternativen ersetzt sind; im besonderen Fokus stehen hierbei vegane Milch- und Sahnealternativen.

Entsprechend des breiten Produktspektrums existiert eine Vielzahl von Anforderungen sowohl von Seiten der produzierenden und weiterverarbeitenden Industrie an die Prozessierbarkeit (Temperatur-, Scher-, pH-Stabilität) als auch von Seiten der Konsumenten an die Funktionalität der Produkte (Lagerstabilität, Sensorik, Stabilität in der Endanwendung). Der Grad, in dem ein Produkt diese Anforderungen erfüllt, hängt maßgeblich von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der eingesetzten emulgierenden Zutaten, der Zusatzstoffe und der Fettphase sowie deren Prozessierung ab.

Abhängig von der Formulierung führen z.B. Scherstress in Rühr-, Förder- oder Abfüllschritten sowie Temperaturänderungen im Laufe der Prozessierung zu einer unerwünschten Zunahme der Öltropfengröße. Ursache hierfür ist eine unzureichende Prozessstabilität des Emulgatorfilms an der Öl-Wasser-Phasengrenze, die durch eine gezielte Kombination von Pflanzenproteinen und Phospholipiden reduziert werden kann.

Alternativprodukte mit pflanzlichen Ölen weisen aufgrund des veränderten Fettsäure- und Triglyceridspektrums zudem häufig ein weniger cremiges Mundgefühl sowie eine geringere Aufschlagfähigkeit und Funktionalität in der Anwendung auf. Strategien, um dieser Herausforderung zu begegnen, sind eine Strukturierung des Öls durch hochschmelzende Pflanzenfette (Triglycerid-Strukturierung) oder eine Gelierung der Ölphase (Oleogelierung).

Eine stressinduzierte Re- bzw. Umkristallisation von hochschmelzenden Triglyceridfraktionen kann auch zur Aggregation der Öltropfen und zur Konsistenzveränderung führen, die die Lagerstabilität begrenzt. Dieser Prozess wird durch die Öltropfengrößenverteilung beeinflusst. Er kann bei ausreichender Ähnlichkeit eingesetzter niedermolekularer Emulgatoren mit der Struktur der Triglyceride (TAG) der Ölphase verlangsamt werden. Die Stabilität der Emulsionen kann damit über die Wahl eines geeigneten Größenbereichs der TAG-Phase und der dazu passenden Emulgatoren erhöht werden.

Existierende kommerzielle Produkte weisen aufgrund der zuvor dargestellten Herausforderungen häufig eine geringe Prozess- und Produktstabilität bzw. Funktionalität in der Anwendung und demzufolge eine geringe Konsumentenakzeptanz auf. Eine gezielte Formulierung und eine präzise Einstellung und Kontrolle von Temperaturprofilen in einzelnen Prozessschritten würde die Möglichkeit bieten, aktiv auf die Struktur der Fettphase, deren Integrität sowie auf die Kristallisationskinetik und entstehende Kristallstruktur Einfluss zu nehmen, und damit stabilere und qualitativ hochwertigere Produkte herzustellen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die damit im Zusammenhang stehenden Vorgänge grundlegend zu untersuchen und darauf aufbauend Handlungsempfehlungen für die Produkt- und Prozessgestaltung zur Erhöhung der Stabilität und Akzeptanz von pflanzlich basierten Lebensmittelemulsionen, insbesondere von veganen Alternativen zu Milch- und Sahneprodukten, zu erarbeiten.

Forschungsergebnis

Im Vorhaben wurden die Protein- und Fettphasen sowie deren Zusammenwirken an der Öl-Wasser-Grenzfläche systematisch untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Für die Arbeiten wurden globulinreiche Pflanzenproteinfraktionen aus Erbse und Hafer hergestellt und charakterisiert. Aus Erbsenmehl konnte eine globulinreiche Proteinfraktion mit etwa 90 % Proteingehalt gewonnen werden. Zusätzlich wurde globulinreiches Haferprotein mit 86 % Proteingehalt hergestellt. Damit standen geeignete pflanzliche Proteinfraktionen für die weiteren Untersuchungen zur Verfügung.

Die Untersuchungen zum Grenzflächenverhalten zeigten, dass Erbsen- und Haferprotein allein nur begrenzt stabile Emulsionen bilden. Durch die Kombination mit Phospholipiden konnte die Emulsionsbildung jedoch deutlich verbessert werden. Die Öltropfen wurden kleiner und homogener, und die Koaleszenz während der Emulsionsbildung wurde reduziert. Besonders gesättigte Phosphatidylcholine verbesserten die Lagerstabilität und erhöhten die Elastizität der Grenzfläche.

Für die Fettphase wurden verschiedene Ansätze zur Strukturierung pflanzlicher Öle bewertet. Wachsbasierte Oleogele konnten Sonnenblumenöl zwar wirksam strukturieren, zeigten jedoch häufig ein brüchiges mechanisches Verhalten und kein ausreichend milchfettähnliches Schmelzprofil. Ethylcellulose-Oleogele waren technologisch interessant, sind aufgrund der notwendigen Herstellungstemperaturen von etwa 160 °C für eine direkte Produktherstellung jedoch nur eingeschränkt geeignet. Als alternative Fettquellen zeigten sowohl Allanblackia-Fett als auch eine Mischung aus Morellafett, Sonnenblumenöl und Kokosfett (Morella-Fettmischung) ein kakaobutterähnliches bzw. milchfettnahes Schmelzprofil.

Die Stabilität von Protein-Phospholipid-Grenzflächen wurde auch unter thermisch-mechanischer Belastung untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine Vorbehandlung des Erbsenproteins durch Hochdruckhomogenisation die Proteinstruktur und Grenzflächeneigenschaften nur geringfügig beeinflusste. Proteine und Protein-Phospholipid-Mischungen bildeten viskoelastische Filme an der Grenzfläche. Gesättigte Phospholipide erhöhten die elastischen Filmanteile, während ungesättigte Phospholipide bei zu hoher Konzentration Protein-Protein-Wechselwirkungen schwächten.

Die Kristallisation der Fettphase im Tropfen beeinflusste Tropfenform, Stabilität und Struktur der Emulsionen deutlich. Bereits geringe Wachsanteile konnten die Nukleation fördern und zur Ausbildung großer Kristalle sowie zur Tropfendeformation führen. Proteine in der Grenzfläche konnten die Ausbildung großer Kristallstrukturen teilweise unterdrücken. Gleichzeitig zeigte sich, dass eine Überdosierung von Lecithin Brückenbildung und unerwünschte Aggregation begünstigen kann.

In produktnahen Modellanwendungen wurde gezeigt, dass sich das Mundgefühl pflanzlicher Milch- und Sahnealternativen nicht allein über die Viskosität beschreiben lässt. Emulsionen mit ähnlichem Fließverhalten konnten sich tribologisch deutlich unterscheiden. Die Fettkristallinität erwies sich daher als wichtiger Hebel zur Anpassung des Reibungsverhaltens als Kennwert für die Cremigkeit und damit potenziell des sensorischen Eindrucks.

Der Einfluss der Tropfengröße auf das Reibungsverhalten als ein Kennwert für die Cremigkeit wurde an produktnahen Modellanwendungen untersucht. Im betrachteten Größenbereich von etwa 1,2 µm bis 5,5 µm hatte die Tropfengröße keinen dominierenden Einfluss auf das Reibungsverhalten. Entscheidend war vielmehr die Festigkeit bzw. Kristallinität der dispersen Fettphase. Teilkristalline Fettphasen führten zu höheren Reibungskoeffizienten als flüssige Ölphasen. Gesättigte Phospholipide verbesserten zudem die Lagerstabilität und halfen, Tropfenform und Kristallinität über die Lagerung zu erhalten.

Beim Einsatz strukturierter Fettphasen in Sahnealternativen zeigte sich, dass wachsbasierte Oleogele für milchfettähnliche Anwendungen nur eingeschränkt geeignet sind. Dagegen lagen sowohl eine 50:50-Fettmischung aus Sonnenblumenöl und Kokosfett als auch eine Morella-Fettmischung beim Festfettgehalt nahe an Milchfett. Besonders die Morella-Fettmischung zeigte ähnliche thermische und mechanische Eigenschaften.

Die Herstellung der Modellanwendung ließ sich erfolgreich von einer Membranemulgieranlage auf den Zahnkranzdispergierer übertragen. Die Überprüfung im Technikumsmaßstab bestätigte die grundsätzliche Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Hochdruckhomogenisation. 20-l-Suspoemulsionen konnten mittels Rotor-Stator-Voremulgierung und Hochdruckhomogenisation erfolgreich hergestellt werden. Der Zusammenhang zwischen Festigkeit bzw. Kristallinität der dispersen Fettphase und dem tribologischen Verhalten blieb erhalten. Im mundrelevanten Gleitgeschwindigkeitsbereich waren die Unterschiede zwischen den hochdruckhomogenisierten Proben jedoch geringer ausgeprägt als bei den membranemulgierten Modellproben. Sensorisch zeigten die Proben ähnliche Texturprofile; Unterschiede in Dickflüssigkeit und Sämigkeit korrelierten nicht mit dem Festfettanteil.

Aus den Ergebnissen wurden praxisnahe Empfehlungen für die Entwicklung pflanzlicher Milch- und Sahnealternativen abgeleitet. Pflanzenproteine allein waren in den untersuchten Systemen nur begrenzt ausreichend; die Kombination mit geeigneten Phospholipiden ist technologisch vorteilhaft. Die Fettphase sollte nicht nur nach Festfettgehalt, sondern auch nach Schmelzprofil, Festigkeit, Kristallisationsverhalten und Anwendung ausgewählt werden. Für trinkbare Produkte kann flüssiges Öl ausreichend sein, während für schlagfähige Sahnealternativen eine teilkristalline Fettphase wichtig ist.

Wirtschaftliche Bedeutung

Pflanzliche Milch- und Sahnealternativen spielen eine wesentliche Rolle bei der Transformation hin zu einer nachhaltigeren Lebensmittelproduktion. Der Konsum pflanzlicher Alternativen tierischer Lebensmittel steigt in Deutschland und Europa seit Jahren signifikant an. So verdoppelte sich der Absatz von veganen Milchalternativen im Lebensmitteleinzelhandel in nur drei Jahren von ca. 120.000 t (2017) auf 260.000 t im Jahr 2020; der Umsatz stieg entsprechend von ca. 270 Mio € auf ca. 520 Mio €.

In Deutschland existiert eine sehr innovative Start-up-Szene im Bereich pflanzlicher Lebensmittel, zudem ist der Markt für pflanzliche Milchalternativen inzwischen auch in den Fokus etablierter Unternehmen der Lebensmittelindustrie gerückt, die ohnehin von einer Vielzahl kleiner und mittelständischer Unternehmen (KMU) geprägt ist. Betrachtet man die Start-up-Szene, so liegt deren Zahl in Deutschland derzeit bei ca. 70.000, von denen ca. 10 % dem Lebensmittelbereich zuzuordnen sind. Diese Unternehmen werden als Innovationsmotoren angesehen, verfügen aber häufig weder über die personellen Ressourcen noch über die Infrastruktur, Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im notwendigen Maß zu realisieren. Inländische KMU stehen daher unter hohem Innovationsdruck, um sich gegenüber Wettbewerbern zu behaupten. Durch eine verbesserte Stabilität pflanzlicher Milchalternativen können von diesen Unternehmen neue Märkte erschlossen sowie durch ein kurzes Mindesthaltbarkeitsdatum verursachte Lebensmittelabfälle auf Ebene des Lebensmitteleinzelhandels reduziert werden.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2026
2. Schochat, P., Lepp, L., Karbstein, H., Leister, N.: Changing the Oral Tribology of Emulsions Through Crystallization of the Dispersed Triglyceride Phase. Journal of Texture Studies. https://doi.org/10.1111/jtxs.12871 (2024)

Weiteres Informationsmaterial

Technische Universität Berlin
Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie
FG Lebensmitteltechnologie und -materialwissenschaften
Königin-Luise-Straße 22, 14195 Berlin
Tel.: +49 30 314-71819
Fax: +49 30 314-71492
E-Mail: stephan.drusch@tu-berlin.de

Technische Universität Berlin
Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie
FG Lebensmittelverfahrenstechnik
Straße des 17. Juni 135/TK 1, 10623 Berlin
Tel.: +49 30 314-27551
Fax: +49 30 314-27557
E-Mail: eckhard.floeter@tu-berlin.de

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik
Teilinstitut I: Lebensmittelverfahrenstechnik
Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608-43609
Fax: +49 721 608-45967
E-Mail: ulrike.schaaf@kit.edu

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn
Tel.: +49 228 3079699-0
Fax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

Förderhinweis

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

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

FORSCHUNGSKREIS DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE E.V.

INDUSTRIELLE GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG

Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Bildnachweis - Seite 1: ©llhedgehogll - stock.adobe.com #100530730

Stand: 28. Oktober 2026