

Einsatz von künstlicher Intelligenz und laseroptischer Verfahren zur Beurteilung von hochkonzentrierten Milcherzeugnissen



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungseinrichtung(en):	Technische Universität München School of Life Sciences Forschungsdepartment Life Science Engineering Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie Prof. Dr. Thomas Becker/Dipl.-Ing. Dominik Geier
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin Weihenstephaner Förderverein für Brau-, Getränke- und Getreidetechnologie e.V., Freising
Projektkoordinatorin:	Salvador Donat Luis Kraft Foods R&D Inc. (Mondelèz International), Unterhaching
Laufzeit:	2022 - 2025
Zuwendungssumme:	€ 267.328,--

Forschungsziel

Hochkonzentrierte Milcherzeugnisse werden durch Wasserentzug hergestellt und dienen einerseits dem direkten Konsum, andererseits sind sie eine bedeutende Zwischenstufe bei der Herstellung unterschiedlicher Milcherzeugnisse. Bei der Prozessierung werden relevante Parameter zur Charakterisierung der Produktqualität, wie rheologische Kennzahlen (komplexer Modul, Viskosität), die Partikelgrößenverteilung verschiedener Partikel (Milchfettkugeln und Caseinmicellen) sowie der Fett- und Proteingehalt derzeit überwiegend mit Laboranalysen ermittelt, die geschultes Personal erfordern und mit einer zeitlichen Verzögerung zum Prozess behaftet sind. Messtechniken, die mit Atline- oder Bypass-Lösungen arbeiten, ermitteln Parameter ohne manuelle Entnahme aus dem Produktionsprozess, stellen aber aufgrund eines komplexeren Aufbaus hohe Anforderungen an Reinigung und Desinfektion, sind wartungsintensiv und teuer. Inline-Methoden hingegen messen direkt im Prozess und schnell, sind aber aufgrund der hohen Anschaffungskosten bisher nicht verbreitet. Zudem ist für die Bestimmung der genannten Parameter jeweils ein eigenständiges Messsystem notwendig, was gerade für KMU die Investitionskosten weiter erhöht. Auch die Koordinierung und zeitliche Einordnung der Ergebnisse ist eine Herausforderung, da jedes Messsystem eine individuelle Analysendauer und -frequenz aufweist. Somit spiegeln diese Analyseergebnisse nicht den aktuellen Prozesszustand wider und können nicht zu einer autonomen Prozesssteuerung eingesetzt werden.

Auf der Analyse von Laser Speckle basierende laseroptische Verfahren sind nicht-invasiv und inline-fähig und wurden in Labor-Versuchsaufbauten genutzt, um basierend auf der Lichtstreuung die genannten Parameter zu bestimmen. Die Labor-Versuchsaufbauten wurden jedoch bisher nur unabhängig voneinander eingesetzt und sind aufgrund eines hohen Rechenaufwands bei der Auswertung nicht echtzeitfähig.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines auf der Analyse von Laser Speckle basierenden kombinierten laseroptischen Verfahrens, das die gleichzeitige Erfassung folgender Parameter inline ermöglicht:

- a) Komplexer Modul und Viskosität über die Laser Speckle Rheology,
- b) Partikelgrößenverteilung (PGV) (Fettkugeln und Caseinmicellen) über das diffuse Reflexionsprofil sowie die Korrelation zu den optischen Kennzahlen (Streuungskoeffizient μ_s , reduzierter Streuungskoeffizient μ_s' , Absorptionskoeffizient μ_a),
- c) Fett- und Proteingehalt über den Absorptionskoeffizient μ_a sowie die Intensität der Rückstreuung,
- d) Strömungsgeschwindigkeit über Laser-Speckle-Flowmetry.

Durch die Integration der Auswertelgorithmen der genannten laseroptischen Verfahren und von physikalischem Wissen (zugrundeliegende Gleichungen zur Diffusion, zum Photonenimpuls, zum Strahlungstransport und zur Advektion) in künstliche neuronale Netze soll die Berechnung der Parameter so optimiert werden, dass das kombinierte laseroptische Verfahren in Echtzeit und mit vergleichsweise geringem Rechenaufwand ablaufen kann.

Wirtschaftliche Bedeutung

Die Ergebnisse werden milchverarbeitende Unternehmen in die Lage versetzen, die Qualität ihrer Produkte kontinuierlich inline zu überwachen und regelnd in den Prozess einzugreifen. Hierdurch können Fehlproduktionen, z.B. durch Flokkulation oder Gelierung, vermindert werden.

Die detaillierte Untersuchung und Aufklärung des laseroptischen Verfahrens ermöglicht die Umsetzung einer echtzeit- und inlinefähigen kombinierten KI-gestützten Erfassung der Partikelgrößenverteilung, des Fett- und Proteingehalts und rheologischer Kennzahlen (komplexer Modul, Viskosität). Eine Umsetzung in neuen Anlagen bzw. eine Erweiterung oder Nachrüstung in der Praxis vorhandener Systeme könnte innerhalb weniger Jahre nach Projektende Einzug in die Wirtschaft halten. Das entwickelte Verfahren ist eine direkte, nicht-invasive Methode ohne nennenswerte zeitliche Verzögerung. Folglich können die so erfassten Parameter inline überwacht und zur Prozesssteuerung genutzt werden. Die Kosten für ein auf dem Verfahren basierendes laseroptisches Inline-System zur Prozessüberwachung werden auf etwa 6.000 € geschätzt und decken den Laser, das Kamerasystem und die dazugehörige Hardware zur Bereitstellung der KI bei Einzelfertigung ab.

Weiteres Informationsmaterial

Technische Universität München
School of Life Sciences
Forschungsdepartment Life Science Engineering
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Weihenstephaner Steig 20, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3262
Fax: +49 8161 71-3883
E-Mail: tb@tum.de

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:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



FORSCHUNGSKREIS
DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE E.V.



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: © Krause, Johansen - MIV

Stand: 7. Juli 2025