

Digitales Prozess-Abbild durch maschinelles Lernen zum prädiktiven Erkennen kritischer Prozess-Zustände und Qualitätsparameter am Beispiel eines fermentierten und eines haltbaren Lebensmittels



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungseinrichtung(en):	Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Lebensmittelinformatik Jun.-Prof. Dr. Christian Krupitzer/N.N. Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Milchwissenschaft und -technologie Prof. Dr. Dr. Jörg Hinrichs/N.N.
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin
Projektkoordinator:	Dr. Christian Trgo J. Bauer GmbH & Co. KG, Wasserburg/Inn
Laufzeit:	2023 – 2026
Zuwendungssumme:	€ 501.453,--

Forschungsziel

Viele Unternehmen der Lebensmittelindustrie sehen in der Digitalisierung eine große Chance und ein wesentliches Element für eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. Zukünftig werden verstärkt Szenarien in den unternehmerischen Fokus rücken, die eine Digitalisierung voraussetzen, z. B. eine flexible Auftragsfertigung in Echtzeit oder die Herstellung individualisierter Lebensmittel. Für diese Prozesse werden u. a. Analysen der Produktionslinien benötigt, idealerweise in Echtzeit, damit Änderungen bei Rohstoffen und Zutaten und/oder den Prozessparametern unmittelbar nachvollzogen werden können. Technologien, wie eine Big-Data-Analyse durch maschinelles Lernen, intelligente Sensorik und Internet der Dinge (IoT), werden in anderen Industriebereichen bereits erfolgreich eingesetzt und haben ebenfalls Anwendungspotenzial in der Lebensmittelverarbeitung, z. B. zur Erkennung kritischer Zustände, zur Prognose von Qualitätsparametern oder zur Optimierung von Prozessen.

Ziel des Forschungsvorhabens in Hinblick auf die Integration von Datenanalyse-Verfahren des maschinellen Lernens zur Optimierung von Lebensmittelverarbeitungsprozessen ist es, die Potenziale dieser neuen Technologien zu untersuchen. Da die Produktionsprozesse von Lebensmitteln häufig sehr komplex sind und meist zahlreiche Prozessschritte umfassen, die wiederum von Unternehmen zu Unternehmen variieren, fokussiert das Vorhaben auf zwei ausgewählte Beispiele, nämlich a) die Herstellung eines fermentierten Milchprodukts und b) die Herstellung eines haltbaren Produkts, wie H-Milch oder eines pflanzlichen H-Drinks. Beim Beispiel fermentiertes Milchprodukt ist nicht nur der Milchrohstoff mit seinen jahreszeitlichen Schwankungen bzgl. seiner Zusammensetzung, sondern auch die Zusammensetzung der Starterkulturen und Zutaten, wie z. B. der

Fruchtzubereitungen, Gewürze und Stabilisatoren während der Be- und Verarbeitung, bedeutsam. Darüber hinaus determinieren die Abfolge der Prozessschritte und die gewählten Prozessparameter die technofunktionellen Eigenschaften, wie z. B. Fließverhalten, Partikelgröße und Voluminosität der fermentierten Matrix, welche wiederum mit den sensorischen Eigenschaften, wie z. B. der Cremigkeit, korrelieren. In Unternehmen werden physikalische Produktdaten bisher nicht systematisch erhoben, obwohl diese in Ergänzung zu chemischen Markern geeignet wären, um die Endprodukte analytisch zu differenzieren und mögliche Qualitätsabweichungen zu prognostizieren. Beim zweiten Beispiel (H-Milch oder pflanzlicher H-Drink) ist das Processing im Vergleich zum fermentierten Produkt zwar weniger komplex, allerdings erfordert die lange Haltbarkeit bzgl. der Matrix andere physikalische Qualitätseigenschaften, wie z. B. eine Minimierung der Sedimentbildung bei pflanzlichen Drinks.

In der industriellen Praxis werden aktuell vor allem White-box-Ansätze angewendet, die eine phänomenologische Modellierung, z. B. von physikalischen oder experimentell ermittelten Zusammenhängen, bieten. Die prinzipiellen Zusammenhänge von Produkteigenschaften und Prozessschritten können damit zwar gut beschrieben werden, schließen aber Abstraktionen ein. Black-box-Methoden beruhen auf einer rein Datenbasierten Modellidentifikation mittels maschinellen Lernens (ML), jedoch sind die resultierenden Prognosemodelle produktspezifisch und damit beschränkt übertragbar; zudem fehlt in vielen Unternehmen Personal mit IT-Kompetenzen, um solche Verfahren anwenden zu können.

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines ML-Lernansatzes, der in einem digitalen Prozess-Abbild beide Welten (Grey-box) vereint. Da auch ein datenbasiertes Prozess-Abbild nicht frei von Unsicherheiten ist, wird dabei auf datengestützte Verfahren aus dem Bereich der Erklärbaren Künstlichen Intelligenz (Explainable Artificial Intelligence, XAI) fokussiert. Zur Erklärbarkeit werden existierende White-box-Modelle sowie Beobachtungen aus Technikumsexperimenten integriert. Im Mittelpunkt stehen dabei folgende Fragen:

- Welche existierenden Datenquellen in Produktionslinien können genutzt werden?
- Können mit einem systematisierten ML-Verfahren zur Analyse der Daten eines Produktionsprozesses Anomalien zuverlässig von Messdatenfehlern bzw. -lücken differenziert werden?
- Wie kann Expertenwissen für XAI integriert werden, um Anomalien mittels einer Prognose von Qualitätsparametern zu bewerten, um hieraus Handlungsempfehlungen für die industrielle Praxis abzuleiten?

Wirtschaftliche Bedeutung

Mit dem im Rahmen des Vorhabens entwickelten Prozessmodell können spezifische Daten, wie Informationen über die Rohstoff- und Produktcharakteristika (chemisch, mikrobiologisch, physikalisch, sensorisch), die im Labor ermittelt werden, mit weiteren Informationen aus Lagertests und Rückmeldungen aus dem Markt (wie z. B. Reklamationen) kombiniert werden, um hieraus Produktionsentscheidungen treffen zu können. Die Ergebnisse werden als Open-Source-Software den Unternehmen zur Verfügung gestellt.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) von wirtschaftlicher Bedeutung, da diese damit maschinelles Lernen einsetzen können, ohne spezialisierte und i. d. R. teure Datenanalysten beschäftigen zu müssen. Die deutsche Milchindustrie ist mittelständisch strukturiert und verzeichnet mit über 40.000 Beschäftigten einen Jahresumsatz von ca. 28,5 Mrd. €.

Eine automatisierte Datenanalyse wird KMU die Möglichkeit eröffnen, Varianzen in den Produkteigenschaften mithilfe des digitalen Abbilds schnell zu identifizieren und wird den Aufwand für Fehler-Ursachen-Analysen reduzieren. Durch das proaktive Erkennen von kritischen Systemzuständen wird zudem eine kontinuierliche Verifikation stattfinden, da aus den gesammelten Daten Rückschlüsse auf kritische Systemparameter gezogen werden können.

Weiteres Informationsmaterial

Universität Hohenheim
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie
FG Lebensmittelinformatik
Fruwirthstraße 21, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-23664
Fax: +49 711 459-22298
E-Mail: christian.krupitzer@uni-hohenheim.de

Universität Hohenheim
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie
FG Milchwissenschaft und -technologie
Garbenstraße 21, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-23792
Fax: +49 711 459-23617
E-Mail: j.hinrichs@uni-hohenheim.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



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: © Universität Hohenheim / Max Kovalenko

Stand: 27. August 2025