

Künstliche Intelligenz in der Lebensmittelverarbeitung

Möglichkeiten und Grenzen für die Qualitätssicherung
von Lebensmitteln und Getränken

Teil 1: Aktuelle Konzepte und Vorgehensweise
Ergebnisse einer internationalen Literaturrecherche

Künstliche Intelligenz in der Lebensmittelverarbeitung

Möglichkeiten und Grenzen für die Qualitätssicherung von Lebensmitteln und Getränken

Teil 1: Aktuelle Konzepte und Vorgehensweise

Ergebnisse einer internationalen Literaturrecherche

Autorinnen:

- Dr. Désirée Schneider
DLG e.V., Fachzentrum Lebensmittel, Projektleiterin;
Hochschule Fulda, Fachbereich Lebensmitteltechnologie, Wissenschaftliche Mitarbeiterin
- Franziska Karoline Sander
Nestlé Purina PetCare Deutschland GmbH, Quality Expert
- Prof. Dr. Annikka Zurwehme
Hochschule Fulda, Fachbereich Lebensmitteltechnologie,
Professorin für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Qualitätsmanagement

Kontakt:

DLG-Ausschuss Lebensmittelqualität und Sensorik

Bianca Schneider-Häder, DLG e.V., Fachzentrum Lebensmittel, Projektleiterin, sensorik@DLG.org

Die Literaturliste kann unter sensorik@DLG.org angefordert werden.

Titelbild: © pixabay.com

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung.

Herausgeber:

DLG e.V.
Fachzentrum Lebensmittel
Eschborner Landstraße 122 · 60489 Frankfurt am Main

1. Auflage, Stand 6/2024

© 2024

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung.
Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder – auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung – nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Marketing, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main.

Hintergrund

Ein Ziel der Lebensmittelindustrie besteht darin die Prozesse fortlaufend zu optimieren, um die Qualität der Produkte sicherzustellen und zu verbessern. Künstliche Intelligenz bzw. (KI)-gestützte Technologien erfahren verstärkte Beachtung als Möglichkeit zur Unterstützung der Qualitätssicherung. Diese basieren unter anderem auf Bilderkennung und auf intelligenten Sensoren, mit denen sich Lebensmittelqualitäten kontinuierlich überwachen lassen. Dies kann beispielsweise zur Reduzierung von Lebensmittelverschwendung, Qualitätsdefekten und Kosten beitragen. Gleichwohl bleibt der Einsatz von KI im Bereich der Qualitätssicherung aus mehreren Gründen hinter anderen lebensmittelbezogenen Bereichen zurück. Davon ausgehend werden Potenziale von KI für die Qualitätssicherung in der Lebensmittelverarbeitung bislang offenbar nicht ausgeschöpft.

Dieses aus zwei Teilen bestehende Expertenwissen gibt einen Überblick über aktuelle Einsatzmöglichkeiten von KI im Bereich Qualitätssicherung und beleuchtet die Möglichkeiten und Grenzen von KI-gestützten Technologien, um Barrieren und zukünftige Chancen von KI zu identifizieren. Es wird dargestellt, welche hindernden und fördernden Faktoren bei der Implementierung von KI in der Qualitätssicherung und Lebensmittelverarbeitung eine Rolle spielen. Davon ausgehend werden Handlungsempfehlungen für produzierende Unternehmen abgeleitet, um Potenziale von KI für den Bereich freisetzen zu können. Die dargestellten Erkenntnisse resultieren aus einer Literaturrecherche, die im ersten Teil dargestellt werden, und aus im zweiten Teil abgedruckten Experteninterviews, die im Frühjahr 2024 durchgeführt wurden.

1. Definition

Unter KI wird dem deutschen Bundesamt für Sicherheit der Informationstechnik (BSI 2024) zufolge „die Technologie und die wissenschaftliche Disziplin, die mehrere Ansätze und Techniken wie zum Beispiel maschinelles Lernen, maschinelles Schließen und die Robotik umfassen“, verstanden. KI basiert auf Daten und deren statistischer Auswertung mit Hilfe von Algorithmen. Sie trägt beispielsweise zur Entscheidungsfindung bei oder dient der kontinuierlichen Weiterentwicklung von Prozessen.

KI – Künstliche Intelligenz

Die Technologie und die wissenschaftliche Disziplin, die mehrere Ansätze und Techniken wie zum Beispiel maschinelles Lernen, maschinelles Schließen und die Robotik umfassen.

Quelle: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik

2. Anwendungsbereiche in der Lebensmittelindustrie

Die Anwendungsbereiche für KI im Lebensmittelbereich lassen sich in vier Hauptkategorien gliedern. Diese sind in Abbildung 1 dargestellt.

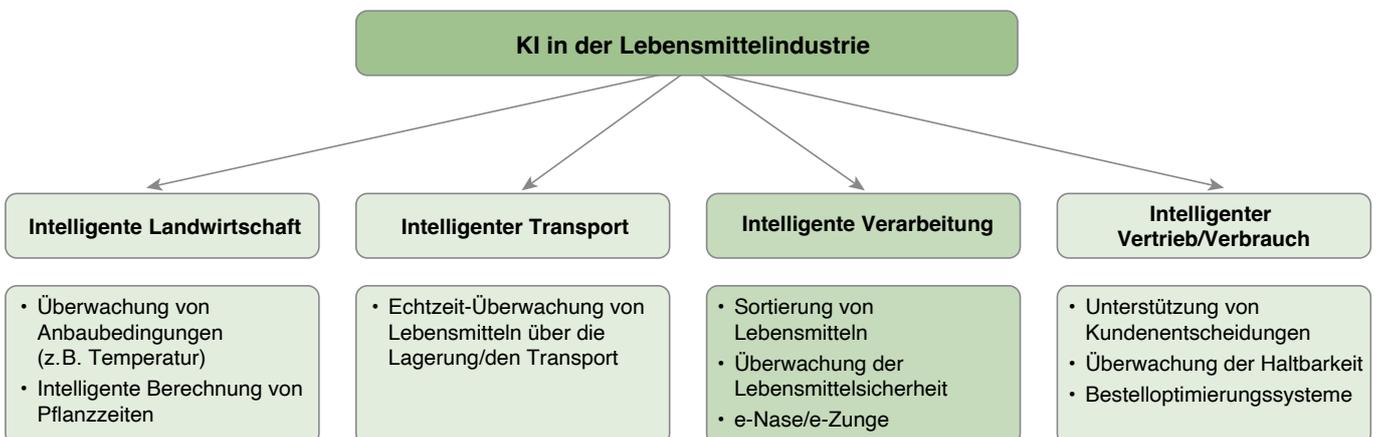


Abbildung 1: Einsatzmöglichkeiten von KI in der Lebensmittelindustrie [eigene Darstellung nach Misra et al. 2022]

Im Folgenden wird das Augenmerk ausschließlich auf die Potenziale KI-getriebener Technologien für die Qualitätssicherung in der Lebensmittelverarbeitung gerichtet.

Im Fokus stehen folgende Fragestellungen:

- Welche KI-getriebenen Technologien werden bereits bei der Lebensmittelverarbeitung eingesetzt und welche Zielsetzungen werden damit verfolgt?
- Welche Potenziale birgt der Einsatz von KI im Bereich der Qualitätssicherung im Hinblick auf Qualitätsverbesserung, Kostenreduktion sowie Effizienzsteigerung?
- Welche Potenziale können KI-getriebene Technologien bei der Verarbeitung von Lebensmitteln noch freisetzen?
- Welchen Grenzen unterliegt der Einsatz von KI-getriebenen Technologien bei der Verarbeitung von Lebensmitteln?

3. Einsatzbereiche von KI in der Qualitätssicherung

Im Hinblick auf die aktuellen, in der Literatur dargestellten Anwendungsgebiete für den Einsatz von KI in der Qualitätssicherung, ist festzustellen, dass der Fokus im Bereich der KI-gestützten Entscheidungsfindung sowie im Bereich der Automatisierung von Aufgaben liegt. Ziel ist es hiermit, die Lebensmittelqualität und das Sicherheitsmanagement zu erleichtern, Risiken zu minimieren und die Qualität und Produktivität zu steigern. Verbreitete Anwendung findet KI zur Detektion von Fremdkörpern, Pathogenen oder Qualitätsmängeln. Hierfür wird „Computer Vision“ genutzt, also der Teilbereich des maschinellen Lernens, der auf optischen Analysen und visuellen Informationen basiert. [Qian et al. 2023]

Eine weitere Möglichkeit für die Verwendung von KI ist die Nutzung von optischen Sensoren beim Monitoring und zur Verbesserung von Reinigungsprozessen. So können Sensoren zum Beispiel die Entstehung von Fouling überwachen oder die Sauberkeit von Produktionsequipment beobachten und durch gesammelte Daten bei der Optimierung von Reinigungsvorgängen unterstützen. Diese Art der KI kann ferner bei Inspektions- und Instandhaltungsvorgängen von Maschinen genutzt werden, um den Verschleiß und die damit verbundenen Risiken für die Lebensmittelsicherheit zu überwachen. [Qian et al. 2023]

Neben der „Computer Vision“ findet ein weiterer Bereich des Maschinellen Lernens Anwendung in der Qualitätssicherung. Das „Natural Language Processing (NLP)“ wird zum Zweck der Identifizierung von Lebensmittelsicherheitsrisiken und der Kundenzufriedenheit eingesetzt. Mittels NLP können unstrukturierte Daten, wie Kundenreklamationen oder Online-Bewertungen, analysiert und ausgewertet werden. Auf diese Weise können Unternehmen potenzielle Gefahren und Probleme frühzeitig erkennen, die ansonsten ggf. nicht entdeckt würden. [Moholkar et al. (o.J)] Eine letzte Art des Maschinellen Lernens wird als „Analytical Tool“ bezeichnet und umfasst zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten zur Unterstützung von Monitoringprozessen, Gefahrenprognosen oder Optimierungsvorgängen. [Qian et al. 2023] In diese Kategorie fällt beispielsweise der Einsatz von Nahinfrarotspektroskopie. Diese ist vielseitig einsetzbar und kann neben dem Monitoring von Inhaltsstoffen und Nährwerten auch das Risiko von Food Fraud minimieren.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit von KI dient der sensorischen Bewertung. Dabei kommen vor allem Maschinelles Lernen in Kombination mit physikalisch-chemischen oder elektronischen Messsensoren zum Einsatz. Durch die Unterstützung von intelligenten Messsensoren im Bereich der Sensorik lässt sich die Qualität des Lebensmittels kontinuierlich überwachen. Dies trägt dazu bei, den Arbeitsaufwand und die Kosten des sonst notwendigen Managements und der Schulung der Panelmitglieder zu reduzieren [Nunes et al. 2023, Qian et al. 2023].

In Tabelle 1 sind weitere Beispieltechnologien in der Qualitätssicherung von Lebensmitteln aufgeführt; untergliedert nach Einsatzbereichen und bewertet im Hinblick auf Kosten, Qualität und Effizienzsteigerung durch deren Nutzung.



Künstliche Intelligenz in der Lebensmittelverarbeitung – Teil 1

Tabelle 1: Beispieltechnologien in der Qualitätssicherung von Lebensmitteln

Technologie	Einsatzbereich	Kosten	Qualität	Effizienzsteigerung
Optische Sensoren (Computer Vision) [Isamail und Malik 2022, Zhu et al. 2021, Mavani et al. 2022]	Frischegradbestimmung, Fehlerdetektion, Sortierung, Fremdkörpererkennung, Verschmutzungsdetektion (Fouling)	5.000-20.000 \$	<ul style="list-style-type: none"> Echtzeitüberwachung des Prozesses hochauflösende Bilder für eine vielseitige Auswertung Daten unterstützen die operative Entscheidung 	<ul style="list-style-type: none"> geringere Personalkosten geringerer Ausschuss direkter Einfluss auf Qualität und Lebensmittelsicherheit
e-Zunge [Ross 2021; Mavani et al. 2022]	Detektion von Fehlgeschmack, Überwachung von Haltbarkeit/Frischegrad, Kontrolle von Rückständen	90.000 \$	<ul style="list-style-type: none"> Echtzeitüberwachung des Prozesses Untersuchung der Grundgeschmacksarten, sowie weitere Richtungen vergleichbare Ergebnisse und keine Ermüdung Sensoren sind z.T. nicht ganz spezifisch für das jeweilige Anwendungsgebiet nur mit flüssigen Proben nutzbar (Probenvorbereitung) 	<ul style="list-style-type: none"> geringere Anzahl an Panellisten (Kosten) Erste Kontrolle -> Reduzierung der Musteranzahl Unterstützung einer gleichbleibenden sensorischen Qualität
e-Nase [Zhang et al. 2020]	Detektion von Fehlgerüchen, Überwachung von Haltbarkeit/Frischegrad	Ca. 11.000-150.000 \$	<ul style="list-style-type: none"> Echtzeitüberwachung des Prozesses Vielseitige Einsetzbarkeit Empfindlichkeit und Systemzuverlässigkeit z.T. noch nicht für industriellen Maßstab geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> geringere Anzahl an Panellisten (Kosten) Unterstützung einer gleichbleibenden sensorischen Qualität
Weitere Intelligente Sensoren (z. B. NIR oder pH-Sensoren) [Mavani et al. 2022, Moholkar et al. o.J., Wang et al. 2022]	Frischegradbestimmung, Überwachung der Lebensmittelzusammensetzung, Food Defense	12.000-25.000 \$	<ul style="list-style-type: none"> Echtzeitüberwachung des Prozesses Frühzeitige Erkennung von potenziellen Kontaminanten und Qualitätsdefekten Untersuchung verschiedener Inhaltsstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> Schnelle Reaktionsgeschwindigkeit bei Abweichungen und geringerer Ausschuss

Die in der Tabelle genannten Technologien im Bereich Qualitätssicherung werden im Folgenden tiefergehend beschrieben und die aktuellen wissenschaftlichen Entwicklungen in diesem Bereich dargelegt.

3.1 Optische Sensoren (Computer Vision)

Bei der sogenannten „Image Recognition“ soll aus digitalen Bildern ein bestimmtes Objekt erkannt und dessen Bedeutung entschlüsselt werden. Dafür wird Computer Vision in Kombination mit Deep Learning genutzt, worunter das Lernen der Maschine ohne menschliche Unterstützung verstanden wird. Die Maschine lernt dementsprechend selbstständig auf der Grundlage eigener Analysen und Erfahrungen. [Mockenhaupt 2021]

Der Aufbau eines bildverarbeitenden Systems ist in Abbildung 2 dargestellt.

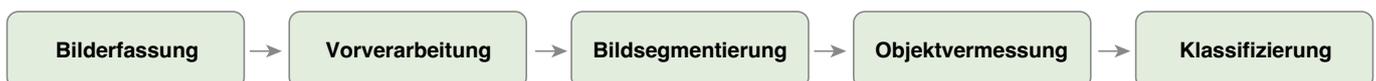


Abbildung 2: Aufbau eines bildverarbeitenden Systems [eigene Darstellung nach Du und Sun 2004]

Schwierigkeiten bei der Bilderkennung treten vor allem beim Perspektivenwechsel, d.h. beim Wechsel vom Betrachten des Gesamtbildes zu einer Detailansicht auf. Infolgedessen kann – je nach Anforderung – keine genaue Aussage über den beobachteten Gegenstand getroffen werden.

Verschiedene Studien untersuchen den Einsatz von Computer Vision im Bereich Qualitätssicherung. Eine Übersicht dieser Studien, deren Anwendungsbereich und Zielsetzung ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Übersicht Studien zum Thema Computer Vision

Anwendung	Zielsetzung	Referenz
Äpfel	Bestimmung des Reifegrades; Erkennung von Anomalien durch Vergleich von physio-chemischen und farblichen Parametern	Cárdenas-Pérez et al. (2017)
Kaffeebohnen	Überwachung der Maillard-Reaktion während des Röstvorganges durch Nutzung einer Thermalkamera und eines Temperatursensors	Harsawardana et al. (2020)
Kaffeebohnen	Klassifizierung von grünen Kaffeebohnen in verschiedene Qualitätskategorien	De Oliveira et al. (2016)
Insekten	Überwachung der Umgebungsbedingungen und Phänotypisierung von Insekten	Nawoya et al. (2024)
Karotten	In-line Monitoring von Karottenstücken während des Trocknungsvorganges	Chakravartula et al. (2023)

Aktuell wird die optische Qualitätssicherung eingesetzt, um beispielsweise Größen, Formen, Farben oder auch Defekte eines Lebensmittels zu erkennen. Die optische Überwachung kann entweder in 2-D- oder in 3-D-Ansicht erfolgen. Die Beobachtungen werden anschließend mit einer speziellen Software analysiert und sie lassen sich dann beispielsweise zur Bestimmung des Reifegrads von Äpfeln oder Bananen nutzen. Dafür werden vorher zahlreiche Beispielbilder in Kategorien eingeteilt, nach denen im Anschluss die zu untersuchende Grafik bewertet wird. Alle gesammelten Daten können dazu dienen, einen Sortierprozess zu steuern und die Frische des Lebensmittels in Echtzeit zu überwachen. [Ismail und Malik 2022, Mavani et al. 2022]

Weitere aktuelle Forschungsansätze befassen sich mit der kontinuierlichen Überwachung von Insekten, die zu Ernährungszwecken gezüchtet werden. Computer Vision wird hier beispielsweise genutzt, um den Phänotyp des Insekts zu beobachten sowie um die Umgebungsbedingungen zu kontrollieren und bei Bedarf anzupassen. Dafür werden Daten wie die Anzahl, Länge oder das Wachstumsstadium erfasst. Die Nutzung dieser KI-gestützten Technologie trägt dadurch zu einer optimierten Züchtung bei und verbessert Effektivität sowie Produktivität des gesamten Prozesses. [Nawoya et al. 2024] Darüber hinaus kann Computer Vision auch für die technische Prozessüberwachung genutzt werden. Optische In-process-Kontrollen von Lebensmitteln bei Röst- oder Trocknungsvorgängen sind mögliche Anwendungen in diesem Zusammenhang. Die in Echtzeit gemessenen Daten der Thermalkamera lassen sich für eine direkte Regulierung der Prozessparameter nutzen und unterstützen somit eine gleichbleibende Qualität des Lebensmittels. [Chakravartula et al. 2023; Harsawardana et al. 2020]

3.2 Sensorische Überwachung durch e-Zungen

Sensorische Qualitätsüberwachung spielt in der Lebensmittelindustrie eine entscheidende Rolle. Kontinuierlich müssen Produkte von einem geschulten Panel bewertet werden, um eine gleichbleibende Qualität zu gewährleisten. Da jedoch die sensorische Bewertung eine große Anzahl an Panellisten zeitlich bindet, wird im Bereich der KI an e-Nasen und e-Zungen geforscht. Die Grundgeschmacksarten sowie der Schärfegrad und Nachgeschmack eines Produktes können bereits abgebildet werden. [Ross 2021]

Bei der sogenannten e-Zunge handelt es sich um ein multi-sensorisches System, welches flüssige Proben mittels enthaltener Sensoren analysieren kann. Es werden aktuell verschiedene Arten von e-Zungen angeboten, die sich hinsichtlich der Arbeitsweise der Sensoren, beispielsweise elektrochemisch oder optisch, unterscheiden. Die am häufigsten verwendeten Systeme sind potentiometrisch und voltametrisch, d. h. sie beruhen auf der Analyse eines unterschiedlichen Elektrodenpotentials. Die Arbeitsweise der e-Zunge basiert auf der Interaktion mit den Bestandteilen des zu analysierenden Reagenzes. Aus diesen Reaktionen wird ein „Fingerabdruck“ erstellt, welcher dazu verwendet wird, die verschiedenen Geschmacksrichtungen abzubilden. Dafür werden mathematische Modelle genutzt, die den menschlichen Geschmack imitieren können. [Mavani et al. 2022, Ross 2021]

Die Funktionsweise einer e-Zunge ist in Abbildung 3 dargestellt.

Neben der Sicherstellung der sensorischen Qualität können durch die Messdaten auch Aussagen über die allgemeine Lebensmittelqualität, den Reifegrad, die Reinheit sowie mögliche Kontaminationsrückstände getroffen werden. Studien haben sich beispielsweise mit der Untersuchung von tierischen Lebensmitteln auf Antibiotika-Rückstände beschäftigt.

Künstliche Intelligenz in der Lebensmittelverarbeitung – Teil 1



Abbildung 3: System e-Zunge [eigene Darstellung nach Mavani et al. 2022].

[Shripad Kulkarni et al. 2023, Taghizadeh-Behbahani et al. 2022] Auch im Lebensmittel enthaltene oder zugesetzte Mikroorganismen können eine große Auswirkung auf die Lebensmittelqualität und die damit einhergehende Sensorik haben. Eine weitere Studie beschäftigt sich deshalb mit der Untersuchung von Kokosnusswasser auf unerwünschte Metaboliten, die von Mikroorganismen gebildet werden. Die durchgeführten Analysen zeigen, dass der Einsatz einer e-Zunge dazu beitragen kann, geschmacksbeeinträchtigende Substanzen aus unerwünschten Reaktionen zu erkennen. [Shen et al. 2023]

Eine Übersicht dieser Studien ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Übersicht Studien zum Thema e-Zunge

Anwendung	Zielsetzung	Referenz
Diverse Lebensmittel	Bestimmung der Korrelation von Umami-Intensität/-Komponenten mit den Messungen einer e-Zunge	Zhu et al. (2022)
Milch und daraus hergestellte Produkte	Voltametrische Analyse; Feststellung der Auswirkungen der mikrobiellen Aktivität auf die Frische der Milch und die Bestimmung des Gehalts an Antibiotika in der Milch	Shripad Kulkarni et al. (2023)
Milch und Eier	Identifizierung von Antibiotika-Rückständen	Taghizadeh-Behbahani et al. (2022)
Kokosnusswasser	Untersuchung der geschmacklichen Eigenschaften von Kokosnusswasser auf Vorhandensein von Metaboliten als Reaktion auf eine Infektion mit <i>C. paradoxa</i> mittels e-Nase und e-Zunge	Shen et al. (2023)

3.3 Sensorische Überwachung durch e-Nasen

Neben der sensorischen Untersuchung mittels e-Zungen findet auch die e-Nase Einsatz in der Lebensmittelindustrie. Sie dient dazu, aromatische Substanzen zu detektieren und zu klassifizieren. [Zhang et al. 2020] Dadurch lassen sich, wie bei der e-Zunge, Kosten für eine sensorische Untersuchung reduzieren und eine Entscheidungsfindung mithilfe von Messdaten unterstützen. [Nunes et al. 2023] Darüber hinaus wird die e-Nase auch für die Detektion von Defekten und Kontaminationen in Lebensmitteln eingesetzt. Ferner kann beispielsweise der Reifegrad von verschiedenen Obstsorten bestimmt werden. [Mavani et al. 2022] Das Verfahren basiert ähnlich wie bei der e-Zunge auf elektrochemischen Sensoren, jedoch wird hier eine Probe im gasförmigen Zustand analysiert. Diese stimuliert dann je nach Stärke des aromatischen Stoffes den Sensor und unterteilt die unterschiedlichen molekularen Komponenten. Die meisten KI-Anwendungen für die sensorische Analyse beruhen auf der Entwicklung von Modellen unter Berücksichtigung der Produktzusammensetzung. Diese zeigen, dass physikalische oder chemische Messungen mit sensorischen Messungen korrelieren. [Nunes et al. 2023] Die Funktionsweise von elektronischen Nasen ist in Abbildung 4 veranschaulicht.



Abbildung 4: System der e-Nase [eigene Darstellung nach Mavani et al. 2022]

Studien belegen, dass die e-Nase wesentlich zur Bewertung sensorischer Qualitätsparameter beitragen kann. Vor allem die Einteilung der Lebensmittel in Qualitätsklassen lässt sich dadurch vereinfachen und unterstützt die Panellisten bei der Bewertung. [Shen et al. 2023, Peng et al. 2023] Neben der sensorischen Qualität lässt sich eine Analyse auf unerwünschte Kontaminationen, wie beispielsweise auf Pestizide, durchführen. [Mohindroo et al. 2023] Ferner kann eine e-Nase genutzt werden, um die Haltbarkeit eines Lebensmittels zu überwachen, eine Mindesthaltbarkeit festzulegen oder den Verbraucher über einen potenziellen Verderb zu informieren. [Singh & Gaur 2023] Ein Beispiel für die Überwachung des Verderbs führen Kim et al. 2022 in der Studie zur Untersuchung der Frische von Fleisch mittels einer e-Nase an. Durch den biochemischen Verderb des Fleisches entstehen biogene Amine und andere chemische Verbindungen, die als Indikatoren gelten können. Eine portable bioelektronische Nase kann mittels der integrierten amino-assoziierten Rezeptoren den Frischegrad durch die Wechselwirkung mit den genannten Indikatoren bestimmen und überwachen. [Kim et al. 2022] Ähnlich setzen sich weitere Studien mit dem Monitoring verschiedener Indikatoren auseinander, um die Frische des Lebensmittels zu überwachen. Neben Fleisch birgt vor allem der Verzehr von Fisch eine große Gefahr, da dieser bei falscher Lagerung schnell verderben kann. Mikrobiologische oder chemische Untersuchungen werden bereits flächendeckend genutzt, obwohl diese mit hohen Kosten und einer zeitintensiven Durchführung verbunden sind. Daher beschäftigen sich aktuelle Untersuchungen auch im Rahmen der Überwachung von Fisch mit dem Einsatz einer e-Nase zur Unterstützung bei der Einteilung des Lebensmittels in verschiedene Frischeklassen. [Grassi et al. 2022]

Die genannten Studien, deren Anwendung und Zielsetzung sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Übersicht Studien zum Thema e-Nase

Anwendung	Zielsetzung	Referenz
Tee	Untersuchung von flüchtigen Verbindungen in Jiuqu-Hongmei-Tee mithilfe einer e-Nase und e-Zunge zur Bestimmung der Qualitätsklasse	Peng et al. (2023)
Fleisch	Untersuchung des Geschmacksprofils von gegrillten Lamm-Spießen mithilfe einer e-Nase und e-Zunge in Kombination mit Gas-Chromatographie	Shen et al. (2023)
Verschiedene Gemüsesorten und Milch	Untersuchung verschiedener Lebensmittel auf Pestizidrückstände	Mohindroo et al. (2023)
Saat	Bestimmung der Haltbarkeit von essbaren Saaten auf Basis von Fehlgerüchen	Singh & Gaur (2023)
Fleisch	Untersuchung der Frische und des Verderbs verschiedener Lebensmittel mithilfe einer portablen e-Nase	Kim et al. (2022)
Fisch	Überwachung der Frische von Fisch während Lagerung und Transport mittels einer e-Nase	Grassi et al. (2022)

3.4 Weitere intelligente Messsensoren

Neben den bereits vorgestellten sensorischen und optischen Überwachungsmethoden finden auch weitere intelligente Messsensoren Anwendung in verschiedenen Herstellprozessen. Dazu zählen beispielsweise auch Nahinfrarotspektroskopie-Sensoren (im Folgenden NIRS-Sensoren). Die NIRS-Sensoren basieren auf Nahinfrarotspektroskopie und sind vielseitig einsetzbar. So können sie den Fettgehalt in Echtzeit bestimmen oder auch den Frischegrad eines Lebensmittels ermitteln. [Mavani et al. 2022]

Weitere Einsatzmöglichkeiten bestehen im Kontext der Analyse auf Kontaminanten sowie der Prävention von Food Fraud-Risiken. [Moholkar et al. o.J.] Der Vorteil dieser zerstörungsfreien Messmethode besteht in einer hohen Kosteneffektivität und Umweltfreundlichkeit, da sie ohne Zugabe von Chemikalien funktioniert und daher auch unter dem Gesichtspunkt der Arbeitssicherheit als unbedenklich einzustufen ist. Der Analysevorgang besteht aus dem Anstrahlen des Lebensmittels mit einer Lichtquelle, dem Erfassen der daraus resultierenden Spektren des Lichtes und der Analyse derselben. Die verschiedenen Spektren werden durch Reflektion, Interaktion sowie Transmission beeinflusst und können beim Abgleich mit den Referenzspektren eine qualitative oder quantitative Aussage über die Zusammensetzung der Probe ermöglichen. [Mavani et al. 2022]

Viele Studien von NIRS-Sensoren in der Lebensmittelindustrie beschäftigen sich aktuell mit der Ermittlung von bestimmten Nährwerten, wie beispielsweise der Quantifizierung von freien Fettsäuren. [Arslan et al. 2023] Darüber hinaus wird

die Technologie zur Untersuchung möglicher Kontaminationen durch Allergene genutzt. Da Allergene ein potenzielles Risiko für den Konsumenten darstellen, kann die Nutzung von NIRS einen entscheidenden Einfluss auf die Produktsicherheit haben. Laboranalysen der Produkte auf potenzielle Allergene sind zumeist sehr kosten- und zeitintensiv in der Anwendung. Eine Untersuchung mittels eines NIRS-Sensors hingegen ermöglicht eine schnelle, akkurate sowie nicht-zerstörende Durchführung. [Rady & Watson 2022; Wu et al. 2023] Weitere unterstützende Messsensoren in der Lebensmittelherstellung können beispielsweise Temperaturfühler, Druck- oder pH-Sensoren sein. Aus deren Datenerfassung ergeben sich Möglichkeiten, den Herstellprozess zu optimieren und aus Qualitätssicht zu überwachen. Ein Beispiel für eine mögliche Anwendung zur Prozessoptimierung ist die Verwendung eines pH-Indikator basierten Messensors, um in Kombination mit gemessenen Spektren eine Bewertung des Verwelkungsgrades von Schwarzem Tee zu überwachen. [Wang et al. 2022] Alle vorgestellten Techniken ermöglichen bei Abweichungen ein zeitnahes Eingreifen. Daraus ergeben sich Potenziale, um eine Verschwendung von Lebensmitteln zu reduzieren und eine gleichbleibende Qualität zu garantieren.

Die beschriebenen Studien zum Thema intelligente Messsensoren sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Übersicht Studien zum Thema intelligenter Messsensoren

Anwendung	Zielsetzung	Referenz
Schwarzer Tee	pH-Indikator basierende Sensoren in Kombination mit hyperspektraler Bildgebung zur Bewertung des Verwelkungsgrades	Wang et al. (2022)
Reis	Quantifizierung von freien Fettsäuren durch synergetische Datenfusion von kolorimetrischen Sensorarrays, NIR- und MIR-Spektroskopie	Arslan et al. (2023)
Knoblauchpulver	Nachweis und Quantifizierung von Kreuzkontamination mit Erdnüssen in Knoblauchpulver mithilfe von NIR-Sensoren und Maschinellem Lernen	Rady; Watson (2022)
Getreide	Nutzung eines portablen NIR-Systems für die Analyse pulverförmiger Lebensmittel mit Hilfe von Deep Learning	Zhou et al. (2022)
Glutenfreies Mehl	Untersuchung auf verschiedene Allergene mithilfe von NIR-Sensoren	Wu et al. (2023)
Iberico Schwein	Authentifizierung von spezifischen Qualitätskategorien von iberischem Schweinefleisch mit einem tragbaren NIR-Gerät	Horcada et al. (2020)

Die skizzierten Studien über die verschiedenen Technologien hinweg illustrieren, dass an KI zur Optimierung von Prozessen in der Lebensmittelindustrie ein großes Interesse besteht. Diesem Interesse steht gegenwärtig eine vergleichsweise geringe Nutzung von KI für die Qualitätssicherung in der Praxis der Lebensmittelverarbeitung gegenüber.

Ein Grund dafür könnte sein, dass technische Aspekte für eine Nutzung von KI in den zitierten Studien nicht umfassend im industriellen Maßstab untersucht wurden. Zudem beschränken sich viele der vorgestellten Studien auf die Untersuchung einzelner Lebensmittelgruppen. Daher gilt es zu überprüfen, ob die Technologien auch für eine breitere Anzahl von verschiedenen Produkten angewendet werden können.

Außerdem bleibt die Frage offen, ob und inwieweit eine Übertragung der Anwendungsmöglichkeiten auf einen größeren Maßstab aktuell möglich ist und welche Risiken damit einhergehen. Dabei müsste außerdem geprüft werden, auf welche spezifischen Rahmenbedingungen in der Lebensmittelverarbeitung geachtet werden muss. Zum anderen wird in den betrachteten Studien die Frage, welche sozialen Aspekte bei der Implementierung von KI berücksichtigt werden müssen, nicht aufgegriffen.

Um diese theoretischen Erkenntnisse hinsichtlich ihrer praktischen Anwendbarkeit zu überprüfen, wurden verschiedene Experteninterviews durchgeführt, deren Ergebnisse im Fokus des nachfolgenden Teils zur praktischen Umsetzung stehen.



4 Zielsetzungen der Nutzung von KI in der Qualitätssicherung

Aus den zuvor dargestellten Überlegungen wird deutlich, dass der Einsatz von KI-Technologien aus unterschiedlichen Zielsetzungen heraus erfolgt, die in Abbildung 5 zusammenfassend dargestellt sind.

Diese Zielsetzungen werden im Folgenden auf ihre Bedeutung für die befragten Experten hin reflektiert und tiefergehend erläutert.

4.1 Qualitätsverbesserung

Ein von den Experten häufig thematisiertes Ziel sind die zahlreichen Potenziale von KI für die Verbesserung der Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln.

Dabei wird ein wesentlicher Nutzen vor allem im Bereich der Durchführung und Auswertung von Qualitätsprüfungen gesehen, um so eine zutreffende Beurteilung der Ergebnisse zu erreichen und geeignete Maßnahmen einleiten zu können. Zudem bieten KI-gestützte Technologien den entscheidenden Vorteil, eine Vergleichbarkeit zu schaffen und reproduzierbar zu sein, unabhängig vom Nutzer. Die Ergebnisse sind homogener und besser skalierbar, um so beispielweise unabhängig vom Produktionsstandort eine gleichbleibende Qualität zu erzielen. Die Abhängigkeit von hochqualifizierten Sensorik-Panels wird dadurch geringer.

Des Weiteren ist durch KI eine in-line Überwachung möglich und die Sensitivität möglicherweise erhöht, sodass auftretende Abweichungen in den Prozessen entdeckt werden, die ggf. ohne technische Unterstützung unentdeckt geblieben wären. KI kann außerdem im Herstellprozess zur Prognose der Qualität von Lebensmitteln dienen. Dafür werden transparente Daten benötigt, welche in einem zweiten Schritt durch die KI für die Qualitätsprognose herangezogen werden können. Anwendungen werden somit vor allem in den Bereichen gesehen, in denen viele Daten anfallen.

4.2 Arbeitserleichterung

Eine weitere Zielsetzung besteht in der Erleichterung bestehender Arbeitsprozesse. Hier wird vor allem eine Vereinfachung im Bereich der Auswertung und Vorbewertung der erfassten Daten gesehen. Dieser Aspekt geht mit einer ansteigenden Menge an Daten einher, die den Arbeitsaufwand einer Auswertung für die Mitarbeitenden zunehmend erhöht. Des Weiteren liegt ein Vorteil darin, Maßnahmen zur Qualitätsoptimierung mit Hilfe KI-gestützter Datenauswertung besser vergleichen und begründen zu können. KI kann auf Basis von Messdaten Signale an die Produktionslinien geben und damit die Steuerung des Herstellprozesses unterstützen. Eine weitere Arbeitserleichterung liegt in der kontinuierlichen Überwachung der Linie, bei der KI beispielsweise einen Anlagenführer frühzeitig auf Fehler oder Störungen hinweist und auf diese Weise negative Folgen reduziert.

KI kann nicht zuletzt Mitarbeitende in einem abgestuften Warnsystem darüber informieren, wann sich ein Eingreifen lohnt oder wann eine Prozessunterbrechung notwendig ist.

4.3 Effizienzsteigerung

Die Effizienz eines Unternehmens und seiner Prozesse sind ein entscheidender Einflussfaktor für den Erfolg eines Lebensmittelherstellers. Der Einsatz KI-getriebener Technologien kann die Produktivität steigern. Dies kann unter der Voraussetzung gelingen, dass eine KI mit hoher Sicherheit ein Ergebnis produziert. Dadurch können sich Prozesse vereinfachen und beschleunigen lassen. Zudem kann eine KI gewisse Tätigkeiten besser, also mit gleichbleibend hoher Qualität, ausführen als ein Mensch, zum Beispiel das Sortieren von Lebensmitteln.

Prozesse müssen möglichst stabil sein, Unterbrechungen und Stillstandzeiten sollten minimiert oder bestenfalls vermieden werden, um einerseits Energie aber andererseits auch Arbeitszeit einzusparen, was vor allem im Hinblick auf steigende Energiekosten und den Fachkräftemangel von Bedeutung ist. KI kann dazu beitragen, mögliche Prüfungen, wie



Abbildung 5: Zielsetzungen der Nutzung von KI [eigene Darstellung]

z. B. Kalibrierungen, zu reduzieren, um wiederum die Effizienz zu steigern. Darüber hinaus spielt die „prädiktive Analytik“ im Sinne einer Bildung von Prognosen eine entscheidende Rolle. Durch die Nutzung von KI können Lebensmittelverluste reduziert und der Bestellprozess verbessert werden. Dadurch lassen sich potenzielle Verschwendungen vermeiden und Qualitätsverbesserungen erzielen. Zudem kann KI auch im Kontext von Food Fraud Einsatz finden und helfen, Risiken für Lebensmittelfälschungen gerade auch im Rohwareneinkauf zu identifizieren und zu reduzieren.

4.4 Kostenreduktion

Die Anwendung von KI-basierten Technologien kann entscheidend zur Kostenreduktion und Zeitersparnis beitragen.

Eine kontinuierliche Messung und Überwachung mittels KI ermöglicht es unmittelbar auf Störungen zu reagieren oder diese wenigstens zeitlich einzugrenzen. In diesem Zusammenhang spielt auch die Nachhaltigkeit eine Rolle, da es bei Qualitätsabweichungen zu einer Entsorgung von Lebensmitteln kommen kann, was wiederum mit Kosten verbunden ist. Eine weitere Möglichkeit, um Kosten mittels KI zu reduzieren, ist die verbesserte Prozesseinstellung auf Basis der Auswertung zahlreicher Informationen wie beispielsweise der Energie- oder Rohstoffpreise. Sämtliche dieser Informationen können permanent in eine KI einfließen, sodass immer wieder Entscheidungen auf einer aktuellen Datenbasis getroffen werden können. Zudem kann durch die Verbesserung der Anlagen und die Vereinfachung verschiedener Prozesse der Einsatz von KI langfristig mit einer Kostenreduzierung einhergehen, wenngleich zu Beginn eine Investition in KI-gestützte Systeme notwendig ist.

4.5 Weitere Zielsetzungen

Ein weiteres Ziel kann in der Verbesserung der Datenqualität von Prüfungen und Geräteeinstellungen liegen, beispielsweise als „Schutz vor Fehleingaben“ oder durch eine „Anomalie-Detektion“, falls Mitarbeitende unbeabsichtigt falsche Angaben machen. KI kann solche Eingabefehler identifizieren, den Anwendern melden und so zu deren Vermeidung beitragen. Gerade ein derartiger Kontrollmechanismus kann auch Mitarbeitende mit niedriger fachlicher Expertise unterstützen. Denn gerade aktuell stellen der steigende Fachkräftemangel und die hohe Fluktuation von Mitarbeitenden ein Risiko für einen Wissensverlust dar. Auch hier kann KI dabei unterstützen einen Wissenstransfer bzw. -erhalt zu erleichtern.

DLG-Expertenwissen. Wissen für die Praxis.

Lebensmitteltechnologie

- DLG-Expertenwissen 7/2022
Roboter in der Lebensmittelindustrie
- DLG-Expertenwissen 4/2022
Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen
- DLG-Expertenwissen 2/2022
Extrusion
- DLG-Expertenwissen 5/2020
Weltweite Reduktionsstrategien im Vergleich – Großbritannien, Australien und die USA
- DLG-Expertenwissen 5/2019
Predictive Maintenance

Lebensmittelsensorik

- DLG-Expertenwissen 1/2024
Lebensmittel-Neophobie
- DLG-Expertenwissen 8/2022
Fehleransprachen bei der sensorischen Beurteilung von Süßwaren
- DLG-Expertenwissen 5/2022
Paneltraining und COVID-19
- DLG-Expertenwissen 3/2022
Food Fraud Teil 3
- DLG-Expertenwissen 6/2020
Die sensorische Schnellmethode CATA (Check all that apply)

Food Chain

- DLG-Expertenwissen 2/2023
Vertical Farming: Mögliche Unterschiede von Rohstoffen aus Indoor- und Outdoor-Anbau
- DLG-Expertenwissen 3/2021
Spirulina als Lebensmittel
- DLG-Expertenwissen 2/2021
Data Analytics
- DLG-Expertenwissen 1/2020
Onlinehandel mit Lebensmitteln und Getränken – Erfolgsfaktoren für mehr Qualität & Sicherheit
- DLG-Expertenwissen 6/2019
Blockchain in der Food Supply Chain

Download unter www.DLG.org/Expertenwissen



DLG e.V.

Fachzentrum Lebensmittel

Eschborner Landstraße 122 · 60489 Frankfurt am Main

Tel. +49 69 24788-311 · Fax +49 69 24788-8311

FachzentrumLM@DLG.org · www.DLG.org