

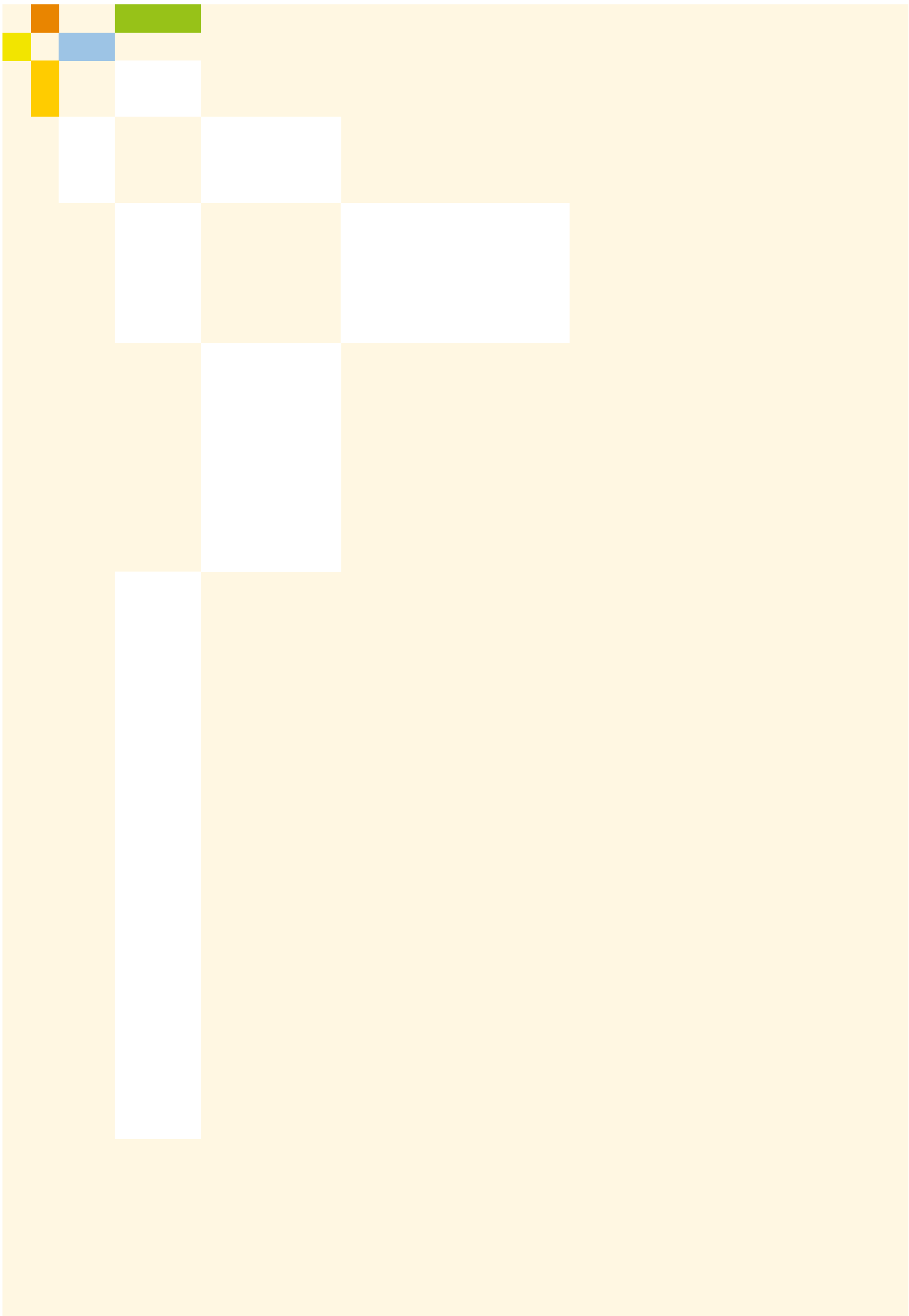


acatech IMPULS

Food Tech Made in Germany

Innovationen für eine resiliente,
souveräne und nachhaltige
Lebensmittelproduktion der Zukunft

Thomas Becker, Andrea Büttner (Hrsg.)



acatech IMPULS

Food Tech Made in Germany

Innovationen für eine resiliente,
souveräne und nachhaltige
Lebensmittelproduktion der Zukunft

Thomas Becker, Andrea Büttner (Hrsg.)



Die Reihe acatech IMPULS

In dieser Reihe erscheinen Debattenbeiträge und Denkanstöße zu technikk-
wissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Sie erörtern
Handlungsoptionen, richten sich an Politik, Wissenschaft und Wirtschaft
sowie die interessierte Öffentlichkeit. IMPULSE liegen in der inhaltlichen
Verantwortung der jeweiligen Autorinnen und Autoren.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter
www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Vorwort | 5 |
| Projekt | 6 |
| 1 Lebensmittelproduktion zwischen Transformationsdruck und Wachstumschance | 7 |
| 2 Resilienz, Nachhaltigkeit und Souveränität in der Lebensmittelproduktion | 9 |
| 3 Technologische Innovationen als Schlüssel | 12 |
| 3.1 Primärproduktion | 13 |
| 3.2 Verarbeitung und industrielle Lebensmittelproduktion | 13 |
| 3.3 Verpackung und Distribution | 14 |
| 3.4 Handel und Markt | 15 |
| 3.5 Verbrauch und Kreislaufwirtschaft | 15 |
| 4 Gesellschaftliche Wahrnehmung und regulatorische Rahmenbedingungen | 17 |
| 4.1 Gesellschaftliche Wahrnehmung | 17 |
| 4.2 Rechtlicher Rahmen | 17 |
| 5 Handlungsbedarfe für Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft | 19 |
| Literatur | 21 |

Vorwort

Die etablierten Lebensmittelsysteme stehen heute vor enormen Herausforderungen: Das rapide Weltbevölkerungswachstum, die Verknappung landwirtschaftlicher Nutzflächen, veränderte Verzehrsgewohnheiten – insbesondere hin zu höher veredelten Produkten –, der Klimawandel und unerwartete Ereignisse wie Pandemien oder geopolitische Konflikte machen die Lebensmittelversorgung anfällig für innere und äußere Schocks. Die damit verbundenen Risiken erfordern es, das Ziel der Resilienz in der deutschen und europäischen Lebensmittelproduktion nicht isoliert, sondern eingebettet im internationalen Kontext zu adressieren und dabei auch die Aspekte der Souveränität und der Nachhaltigkeit mitzudenken. Dabei ist die Politik gefragt, die Rahmenbedingungen für die Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft weiterzuentwickeln. Neue Technologien und ein kreativer Translationsgedanke sind in diesem Zusammenhang der Schlüssel, um für diese globale Thematik einen entscheidenden Beitrag zu leisten.

Die Komplexität der genannten Herausforderungen und die des Wertschöpfungsnetzwerks in der Lebensmittelversorgung verlangen nach Lösungsansätzen, die auf einer ganzheitlichen Analyse des Systems von der Primärproduktion bis zum Verbrauch beruhen. Technologische Innovationen aus verschiedenen Disziplinen wie Agrarwissenschaften, Bio- und Lebensmitteltechnologie sowie Material- und Ingenieurwissenschaften müssen interdisziplinär und integriert betrachtet werden, um effektive Lösungen für die Zukunft der Lebensmittelproduktion

zu realisieren. Dabei gilt es auch innovative Methoden auf Basis vollkommen neuer Technologien in Betracht zu ziehen, um die Versorgung mit sicheren, hochwertigen und gesunden Lebensmitteln zu gewährleisten.

Der vorliegende acatech IMPULS zeigt strategische Handlungsbedarfe für eine grundsätzlich zukunftsfähige Ausrichtung der Lebensmittelproduktion auf, die sich resilient gegenüber den skizzierten globalen Herausforderungen zeigen muss, nachhaltig ist und sowohl Deutschland als auch Europa Souveränität ermöglicht. Zu diesem Zweck wird an verschiedenen Beispielen die Bedeutung von neuen Technologien und Innovation entlang der Wertschöpfungskette veranschaulicht. Deutlich wird so, dass Deutschland eine transdisziplinär aufgestellte Initiative benötigt, die den Sektor der Lebensmittelproduktion systemisch betrachtet, diesen weiterentwickelt und die Perspektiven der Stakeholder aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zu integrieren versteht. Ziel einer solchen Initiative muss es sein, Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zu identifizieren und über Use Cases und Leuchtturmprojekte hinaus wirksame Impulse zur Überführung und Skalierung geeigneter technologischer Innovationen im Lebensmittelsektor zu setzen.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Becker

Technische Universität München (TUM)

Prof. Dr. Andrea Büttner

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV)



Projekt

Projektgruppe

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Becker (Hrsg.), Technische Universität München (TUM)
- Prof. Dr. Andrea Büttner (Hrsg.), Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV)
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Dr. Stefan Oschmann, acatech
- Prof. Dr. Andrea A. Robitzki, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Konzeption, Text, Interviews

- Dr. Steffen Steglich, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Martin Bimmer, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Sandra Fendl, ehemals acatech Geschäftsstelle

Projektlaufzeit

02/2025–08/2025

1 Lebensmittelproduktion zwischen Transformationsdruck und Wachstumschance

Die Lebensmittelsysteme in Europa und weltweit sind eng miteinander verflochten und stehen gemeinsam vor enormen Herausforderungen. So gehen offizielle Schätzungen bereits für das Jahr 2050 von einer Weltbevölkerung von rund 9,7 Milliarden Menschen aus, was einen starken Anstieg des Nahrungsmittelbedarfs ab 2010 um circa 60 Prozent zur Folge haben dürfte.¹ Der steigende Nahrungsmittelbedarf, aber auch veränderte Ernährungsgewohnheiten führen insbesondere zu einer insgesamt höheren Nachfrage nach Proteinen: Während in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern der Fleischkonsum infolge wachsender Einkommen zunimmt, steigt in Industrieländern gleichzeitig die Nachfrage nach pflanzenbasierten Proteinquellen. Landwirtschaft und Lebensmittelproduzenten stehen darüber hinaus vor der Herausforderung, ausreichende Mengen an Nahrungsmitteln bereitzustellen, die nicht nur den steigenden Kalorienbedarf decken, sondern auch eine ausgewogene Versorgung mit Vitaminen, Mineral- und Ballaststoffen gewährleisten. Damit verbunden ist wiederum ein wachsender Bedarf an landwirtschaftlich genutzten Ressourcen wie Wasser, Anbaufläche und Energie. Die langfristig immer größere Nachfrage einer wachsenden Weltbevölkerung trifft dabei allerdings auf das Angebot einer Lebensmittelproduktion, die unter immer schwierigeren und volatileren Bedingungen stattfindet. Die Verknappung landwirtschaftlicher Nutzflächen und natürlicher Ressourcen wie Wasser, Biodiversitätsverluste sowie Klimawandel und extreme Wetterbedingungen gefährden Ernten und erschweren die landwirtschaftliche Lebensmittelproduktion. Verschärft wird diese Situation schließlich noch durch unerwartete Ereignisse wie die Covid-19-Pandemie, internationale Konflikte und zunehmend unbeständige Handelsbeziehungen, die in Zukunft verstärkt zu Versorgungsengpässen führen und Lieferketten stören können. Starke Preisanstiege infolge des Kriegs in der Ukraine, aber auch Prognosen² für die negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die Inflation am Lebensmittelmarkt zeigen, dass die Lebenshaltungskosten künftig steigen werden und insbesondere einkommensschwache Haushalte weiter unter Druck geraten können.³

Insgesamt führen die zuvor skizzierten Entwicklungen im weltweiten Maßstab, aber auch in Europa⁴ und Deutschland zu zunehmender Unsicherheit, und sie verdeutlichen die langfristigen Herausforderungen an die Ernährungssicherung für eine qualitativ hochwertige und gesunde Versorgung. Das Problem, das sich in diesem Zusammenhang zeigt: Die Effizienz traditioneller, überwiegend im Freiland betriebener landwirtschaftlicher Praktiken und der konventionellen Lebensmittelproduktionssysteme kann nicht im erforderlichen Maße gesteigert und optimiert werden. Es braucht daher auch Veränderungen im Konsum- und Ernährungsverhalten sowie Effizienzsteigerungen in der Logistik, alternative Verteilungsstrategien und ein wesentlich höheres Maß an Abfallvermeidung. Wie im Folgenden gezeigt wird, können neue Technologien einen entscheidenden Beitrag leisten, um das Ernährungssystem resilient gegenüber endogenen und exogenen Schocks zu machen. Hierfür sind die genannten Herausforderungen aber sozioökonomisch, wirtschaftlich und politisch sowie auf internationaler Ebene anzugehen, denn angesichts der Verflechtung im globalen, wie im europäischen Lebensmittelsektor kann Deutschland hier isoliert keine Lösungen vorantreiben.

Darüber hinaus gilt es die Souveränität in der Lebensmittelproduktion und den betreffenden Technologiedomänen zu steigern und Risiken durch Abhängigkeit von wenigen Märkten, Staaten oder Unternehmen zu minimieren. Gezielte Investitionen in Forschung und Entwicklung können dazu beitragen, weltweit erfolgreiche Innovationen im Bereich der Lebensmittelproduktion zu fördern und damit Unternehmen wie Start-ups und Wissen für den Wirtschaftsstandort Deutschland zu sichern und vor Abwanderung zu schützen. Langfristige Resilienz und Souveränität im Ernährungssystem sind gleichwohl nur möglich, wenn dessen ökologische, soziale und ökonomische Grundlagen nachhaltig genutzt und entwickelt werden. Aber Technologie ist nicht nur das Werkzeug, mit dem sich den oben genannten Risiken und Herausforderungen begegnen lässt; vielmehr bietet die technologische Weiterentwicklung des Ernährungssystems auch Chancen für Gesundheit, Wohlergehen und Wohlstand.

Wettbewerbsfähigkeit, wirtschaftlicher Faktor für Deutschland

Ein leistungsfähiges, innovatives und digital vernetztes Lebensmittelsystem ist nicht nur notwendige Bedingung für die Versorgungssicherheit hierzulande, sondern auch ein bedeutender Standortvorteil im internationalen Wettbewerb. Dabei geht es sowohl um Innovationen in der Lebensmittelproduktion als auch um neue Lebensmittelprodukte, einschließlich sogenannter

1 | Vgl. FAO 2009, als Schätzungsreferenz auch nachfolgend immer wieder zitiert.

2 | Vgl. Kotz et al. 2024.

3 | Vgl. Sanktionsfrei e.V. 2025.

4 | Vgl. Rat der Europäischen Union 2025.



Novel Foods (siehe Kapitel 4). Beide Bereiche bieten enorme Wachstumschancen für den deutschen Standort: So können landwirtschaftliche Betriebe neue Wege in der Erzeugung qualitativ hochwertiger Lebensmittel beschreiten, wobei der Maschinen- und Anlagenbau hierzulande als Branchenvorreiter gehalten ist, die industriellen Produktionsanlagen weiterzuentwickeln; gleichzeitig haben Lebensmittelproduzenten in einem entsprechend entwicklungsfreudigen Umfeld die Möglichkeit, mit innovativen Produkten neue Märkte zu erschließen. Ein beispielhafter Blick auf sogenannte Smart-Farming-Technologien veranschaulicht das Potenzial: Hier liegt der prognostizierte Mehrwert des Weltmarkts für das Jahr 2027 gegenüber 2025 bei etwa 38 Prozent (auf 33 Milliarden US-Dollar).⁵ Der Begriff des Smart Farming umfasst das Precision Farming, das Livestock Monitoring and Management, sogenanntes Indoor Farming, Contained Environment und die Aquakultur. Dabei ist Smart Farming allerdings nur ein Technologiefeld unter vielen in der landwirtschaftlichen Primärproduktion. Auch die Entwicklung kreislauforientierter Produktions- und Verwertungssysteme durch Nutzung von Nebenströmen oder biobasierter Verpackungen bietet wirtschaftliches Potenzial und trägt zur effizienten Nutzung von Ressourcen bei. Ein weiteres Beispiel für wirtschaftliche Chancen sowohl in der Produktinnovation als auch in der Produktion eröffnet sich zudem im Bereich der sogenannten alternativen Proteinquellen – neue Produkte auf Basis pflanzenbasierter, fermentierter oder kultivierter Proteine. Laut einer aktuellen Studie könnte Protein diversifizierung die deutsche Wirtschaft bis 2045 um bis zu 65 Milliarden Euro wachsen lassen und bis zu 250.000 zukunftssichere Arbeitsplätze hierzulande schaffen.⁶ Deutschland hat hier angesichts seiner bestehenden Stärken im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Biotechnologie sehr gute Grundvoraussetzungen, bleibt bislang aber hinter seinem Potenzial zurück. In Anbetracht der neuen und schnell wachsenden Märkte gilt es also den Anschluss an die Hochtechnologie im Lebensmittelsektor nicht zu verpassen und Synergiepotenziale zwischen

den verschiedenen Lebensmittelbranchen und Wissenschaftsdisziplinen zu erschließen – indem beispielsweise regionale Wertschöpfungsketten für alternative Proteinquellen weiter aufgebaut und in die Lebensmittelproduktion integriert werden.

Des Weiteren gibt es Potenziale für den Export von Lebensmittelprodukten, Produktionssystemen und Technologien. Wissenschaftsbasierte, technologische Innovationen mit ausgeklügelten Energie- und Stoffstromkonzepten werden außerdem ein Schlüssel sein, um eine dicht besiedelte, flächenbegrenzte und urbane Umgebung, wie sie Megastädte darstellen, sicher und nachhaltig mit nahrhaften Lebensmitteln zu versorgen. Untersuchungen sagen voraus, dass im Jahr 2030 weltweit bereits 43 Megastädte mehr als 10 Millionen Einwohnerinnen und Einwohner haben werden; bis 2050 werden zudem voraussichtlich 68 Prozent der knapp 10 Milliarden Menschen in städtischen Gebieten leben.⁷ Zu den dann dringend benötigten Innovationen gehören hochdigitalisierte agrartechnische Systeme (beispielsweise Indoor-Farming-Systeme), eine technologiegetriebene nachhaltige Lebensmittelverarbeitung (beispielsweise mittels additiver Fertigungsansätze) und eine fundierte Wissensbasis für die gezielte Nährstoff- und Trinkwasserversorgung einer ganzen Gesellschaft.

Ein widerstandsfähiges, nachhaltiges und technologisch fortschrittliches Lebensmittelsystem stärkt somit nicht nur die Ernährungssouveränität, sondern auch die wirtschaftliche Position Deutschlands in der Welt. Die Voraussetzung für eine solche Entwicklung ist allerdings, dass die entsprechende Wertschöpfung nicht nur von Großunternehmen getragen wird: Die Stärkung von Kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU), von Start-ups und landwirtschaftlichen Familienbetrieben ist zentral, um wirtschaftliche Resilienz durch strukturelle Diversität, kreative Innovationskraft und regionale Verankerung zu gewährleisten.

5 | Vgl. Statista 2023.

6 | Vgl. Systemiq 2025.

7 | Vgl. UN DESA 2019.

2 Resilienz, Nachhaltigkeit und Souveränität in der Lebensmittelproduktion

Die langfristig sichere Versorgung mit hochwertigen und gesunden Lebensmitteln setzt die Integration neuer Perspektiven und innovativer Ansätze in der Lebensmittelproduktion voraus. Wie oben bereits dargelegt, sind die aktuell bestehenden Produktionspraktiken und Produktportfolios im Lebensmittelsektor allein den Anforderungen einer Welt im Umbruch in den kommenden Jahrzehnten nicht mehr gewachsen. Die sich daraus ableitenden, übergeordneten Ziele sind **Resilienz, Souveränität und Nachhaltigkeit** des Lebensmittelsystems in Deutschland voranzutreiben (vergleiche Abbildung 1). Ein entscheidendes Instrument, um diese Ziele auch tatsächlich zu erreichen, sind technologische Innovationen, die den Lebensmittelsektor auf ganz verschiedene Weise weiterentwickeln können.

Resilienz ist die Fähigkeit, sich auf negative Ereignisse (Schocks) vorzubereiten, diese zu bewältigen und auf Basis entsprechender Erfahrungen Systeme anzupassen und zu verbessern.⁸ Das heißt, Resilienz ist kein Zustand, sondern ein kontinuierlicher Prozess, der mit sich schnell verändernden Rahmenbedingungen in Politik, Ökologie und Ökonomie in Einklang gebracht werden muss. Ein resilientes System lernt aus Störungen und passt sich mithilfe systematischer Fehleranalysen und partizipativer Feedbackprozesse in der strategischen Planung den realen Bedingungen und möglichen Risiken weiter an. In der Lebensmittelproduktion ist Resilienz entscheidend, um mögliche Krisen infolge von Extremwetterereignissen, globalen (Handels-)Konflikten oder Pandemien besser bewältigen zu können. Erfahrungen mit der Covid-19-Pandemie,⁹ Tierseuchen und Pflanzenkrankheiten oder den Auswirkungen von internationalen Konflikten auf Lebensmittelproduktion und Handelsketten lassen sich somit nutzen, um die Funktionalität von Lebensmittelsystemen im Fall einer Krise zu wahren oder möglichst schnell wiederherzustellen. Vorrangiger Zweck eines resilienten Lebensmittelsystems ist also die dauerhafte und durchgängige Versorgung von Menschen mit Lebensmitteln in ausreichender Qualität, Quantität und Vielfalt.

Neue Technologien und Innovationen können hierbei einen entscheidenden Beitrag leisten: So lassen sich zum Beispiel mithilfe

neuer Züchtungsmethoden widerstandsfähigere Pflanzen hervorbringen, die Extremwetterlagen und Schädlingen besser standhalten. Die verstärkte Integration alternativer Proteinquellen könnte zudem die Wertschöpfungskette im Lebensmittelsektor hierzulande stabilisieren, weil regional angebaute Leguminosen wie Ackerbohne, Lupine oder Erbse anstatt Importen direkt in Wertschöpfungsketten integriert werden können. Grundprinzipien eines ökonomischen Resilienzkonzepts wie die Diversifizierung von Rohstoffen und Lieferketten oder eine dezentrale Produktionsstruktur tragen zusätzlich dazu bei, systemische Risiken abzufedern und Ausweichoptionen zu schaffen, die auch im Krisenfall zur Verfügung stünden. Neue Technologien im Bereich des Indoor Farming, des Vertical Farming oder der alternativ produzierten Proteine aus Bioreaktoren können das bestehende landwirtschaftliche System schließlich komplementieren. In solchen kontrollierten Anbauumgebungen lassen sich die Auswirkungen von Tierseuchen, Pflanzenkrankheiten und extremen Wetterereignissen vermeiden; sie funktionieren außerdem trotz Verknappung der landwirtschaftlichen Nutzflächen und entlasten den klassischen Flächenanbau. Die Konzepte zur Lebensmittelproduktion in kontrollierter Umgebung inkludieren zudem neuartige Produktionsschemata: Digitalisierung und Automatisierung schaffen die Grundlage für eine smarte Logistik und stärken die Widerstandsfähigkeit von Lieferketten. Unternehmen können so flexibler auf Störungen reagieren und schneller alternative Ressourcen und Routen nutzen. Mittels Künstlicher Intelligenz (KI) lassen sich darüber hinaus große Datenmengen in Echtzeit analysieren, potenzielle Risiken wie Produktionsvariabilitäten, Lieferengpässe oder Qualitätsprobleme frühzeitig erkennen und die Entwicklung wirksamer Notfallpläne unterstützen. Zentral für eine widerstandsfähige Lebensmittelproduktion ist außerdem der Aufbau gemeinsamer Datenräume, interoperabler Plattformen und digitaler Frühwarnsysteme. All diese Elemente ermöglichen Zusammenarbeit, verbessern die Entscheidungsfindung und stärken die vorausschauende Steuerung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Besonders in Krisenzeiten – wie jüngst während der Covid-19-Pandemie – tragen schließlich Remote-Technologien und Homeoffice wesentlich zur effizienten Koordination logistischer Prozesse bei, weshalb sie einen zentralen Baustein für die Resilienz in Produktion und Logistik darstellen. Mithilfe neuer Technologien kann ein Lebensmittelsystem somit insgesamt flexibel auf Herausforderungen reagieren, Ernteauffälle reduzieren und langfristig die Versorgungssicherheit gewährleisten. Resilienz ist also als systemisches Prinzip zu verstehen, das technische, organisatorische, ökologische, soziale und ökonomische Aspekte integriert. Erst das Zusammenspiel resilienter Produktionssysteme, vernetzter Infrastrukturen und

8 | Vgl. Kagermann et al. 2021a, allgemein zu Resilienz.

9 | Vgl. acatech 2020.



lernfähiger Organisationen ermöglicht es dem Lebensmittelsektor, Belastungsphasen nicht nur zu überstehen, sondern gestärkt aus ihnen hervorzugehen.

Souveränität steht für die Fähigkeit, selbstbestimmt zu handeln und zu entscheiden, ohne dabei ausschließlich auf eigene Ressourcen zurückgreifen zu müssen. In dieser Hinsicht geht es darum, die Lebensmittelversorgung selbstständig sicherzustellen. Im Fall des Lebensmittelsystems bedeutet Souveränität also, dass Politik, Wirtschaft und Gesellschaft hierzulande unabhängig von außenpolitischen, wirtschaftlichen, logistischen oder geografischen Zwängen entscheiden können, wo, wie und nach welchen Kriterien Lebensmittel für die Versorgung in Deutschland künftig produziert und Innovationen in diesem Feld gestaltet werden sollen.¹⁰ Aus der Perspektive von Konsumentinnen und Konsumenten stehen die freie Entscheidung bei der Lebensmittelwahl und deren Verfügbarkeit (Zugang, Preisniveau etc.) im Vordergrund. Hierfür braucht es Transparenz über Lebensmittel. Mit Blick auf die oben skizzierten Herausforderungen zeigt sich, dass eine Stärkung der Souveränität unabdingbare Voraussetzung für ein zukunftsfähiges und resilientes Lebensmittelsystem ist. Dazu ist es von Bedeutung, die Abhängigkeit von einseitigen globalen Lieferketten als mögliche Ursache externer Störungen zu vermeiden.

Technologische Innovationen spielen dabei wiederum eine zentrale Rolle: Automatisierung und Digitalisierung steigern die Effizienz von Produktions- und Logistikprozessen, ermöglichen einen gezielteren Ressourceneinsatz und stärken so den heimischen Produktionsstandort im internationalen Wettbewerb; zugleich sinkt die Abhängigkeit von importierten Ressourcen und von globalen Lieferketten. Neue biotechnologische Verfahren nutzen so etwa mikrobiologische Lösungen, um Pflanzen im Anbau widerstandsfähiger zu machen, ihre Nährstoffaufnahme zu verbessern und den Einsatz synthetischer, erdölbasierter Zusatzstoffe zu reduzieren, wodurch sich künftig mehr Agrarrohstoffe im Inland produzieren und globale Lieferkettenabhängigkeiten verringern lassen. Durch den Einsatz smarter Anbausysteme oder geschlossener Kreislaufkonzepte kann die Lebensmittelproduktion zudem stärker regionalisiert werden. Doch das Souveränitätspostulat betrifft nicht nur Produktionsweise und Logistikverfahren im Lebensmittelsystem, sondern auch Entwicklung, Verfügbarkeit und Beherrschung der neuen Technologien, die dort zum Einsatz kommen – und diese müssen auch in Krisenzeiten gewährleistet sein. Während der Standort Deutschland mit seinem Maschinen- und Anlagenbau und der Biotechnologie im

Bereich der Entwicklung eine gute Ausgangsposition hat, liegen die Entwicklungen bei der praktischen Umsetzung durch die Lebensmittelproduzenten hierzulande jedoch oftmals im globalen Vergleich zurück. Unternehmen und Fachkräfte brauchen aber die Kompetenzen, um Innovationen voranzubringen und langfristig erfolgreich einzusetzen. Innovative Lebensmittelhersteller wachsen bislang allerdings insbesondere im Ausland; vor allem die USA und Israel ziehen geeignete Fachkräfte an. Zugleich gilt es, internationale Partnerschaften zu nutzen, um Innovationspotenziale gemeinsam zu erschließen und globale Standards mitzugestalten. Eine auf Souveränität hin ausgerichtete Technologiepolitik kann somit sowohl Importabhängigkeit reduzieren als auch Exportmärkte für deutsche Produktionslösungen erschließen.

Nachhaltigkeit umfasst als Konzept eine ökologische, eine ökonomische und eine soziale Zieldimension. So bedeutet Nachhaltigkeit im ökologischen Sinne Bewahrung von Natur und Umwelt (zum Beispiel durch Reduktion des Ressourcenverbrauchs, Erhalt der Biodiversität und Pflege von Kultur- und Landschaftsräumen) sowie Klimaschutz (zum Beispiel durch Reduktion von Treibhausgasemissionen). Ökonomische Nachhaltigkeit bezeichnet hingegen die langfristige Sicherung wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit und eine Ressourcenbewirtschaftung, die die Grundlagen für zukünftigen Wohlstand und künftiges Wachstum nicht gefährdet. Zu einer nachhaltigen Ökonomie beitragen können innovative Produkte, Produktionsmethoden und Geschäftsmodelle. Soziale Nachhaltigkeit schließlich zielt auf eine langfristig stabile, gerechte und lebenswerte Gesellschaft ab, an der alle gleichermaßen teilhaben.

Nachhaltigkeit als Ziel der Lebensmittelproduktion bedeutet also, die Nachfrage an Lebensmitteln dauerhaft und durchgängig für alle Glieder einer Gesellschaft so zu erfüllen, dass die ökologischen und wirtschaftlichen Grundlagen und Möglichkeiten künftiger Generationen nicht eingeschränkt werden. Vor diesem Hintergrund sollten innovative Technologien für den Einsatz im Lebensmittelsektor unter ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten betrachtet und (weiter-)entwickelt werden.¹¹ Zur Steigerung der ökologischen Nachhaltigkeit bietet eine sogenannte „nachhaltig intensiviert Landwirtschaft“¹² viele Möglichkeiten, um die globalen Herausforderungen in der Lebensmittelproduktion anzugehen. Sie beschreibt langfristig nachhaltiges Wirtschaften, das alle zur Verfügung stehenden Methoden und Konzepte sowie Technologien einschließt und dabei auf Forschung und Entwicklung setzt. Innovative Verfahrenstechnik

10 | Vgl. Kagermann et. al. 2021b, allgemein zu Souveränität.

11 | Vgl. Wörner/Schmidt 2022, allgemein zu Nachhaltigkeit.

12 | Vgl. acatech 2019.

erlaubt beispielsweise einen energieeffizienteren Betrieb von Produktionsanlagen oder den Einsatz alternativer Energieträger wie Biomasse, wodurch sich Emissionen im Lebensmittelsystem reduzieren lassen. Im Sinne der Nachhaltigkeit im Lebensmittelsektor müssen innovative Produktionskonzepte wie das Precision Farming, das Indoor Farming oder die Herstellung einiger Novel Foods hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen analysiert und entsprechend weiterentwickelt werden. Sie verbrauchen bisherigen Erkenntnissen zufolge zwar weniger Wasser und weniger oder keine Dünger, Pflanzenschutz-, Tierarznei- und Futtermittel; allerdings ist der Energieaufwand einiger Produktionstechnologien in der Praxis derzeit noch sehr hoch. Unter Berücksichtigung ökologischer Nachhaltigkeit bieten technologisch bedingte Innovationen jedoch auch langfristige Chancen für eine leistungsfähige Wirtschaft und ökonomische Nachhaltigkeit. Dazu gehören innovative Maschinen und Anlagen in der Lebensmittelproduktion sowie neue Produkte, die gegebenenfalls durch den Aufbau neuer Märkte und innovativer Geschäftsmodelle ergänzt werden müssen. Zusätzlich ist die Etablierung zirkulärer Wertschöpfungsketten entscheidend, wie die Nutzung von Nebenströmen, die Verwertung organischer Reststoffe und die Herstellung biobasierter Verpackungslösungen sowie

umfassende Strategien zur Vermeidung von Lebensmittelverlusten und -verschwendung. Grundvoraussetzung für den Erfolg solcher Konzepte ist aber eben auch die Sicherstellung der sozialen Nachhaltigkeit: Innovative Produktionsmethoden und Produkte müssen auf gesellschaftliche Akzeptanz stoßen und zu einer Stabilisierung des allgemeinen Preisniveaus beitragen. Zudem sind eine transparente Kommunikation und ein gesellschaftlicher Dialog über Chancen und Risiken neuer Technologien entscheidend, um technologische Entwicklung und gesellschaftliche Erwartungen in Einklang zu bringen und Gestaltungsspielräume frühzeitig zu erschließen. Neue Technologien können schließlich auch dazu beitragen, landwirtschaftliche Kleinbetriebe wettbewerbsfähig zu halten. Eine nachhaltige Entwicklung des Lebensmittelsystems in Deutschland und Europa kann jedenfalls nur gelingen, wenn alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit gemeinsam betrachtet und durch technologischen Fortschritt gezielt bedient werden. Resilienz, Souveränität und Nachhaltigkeit des heimischen Lebensmittelsystems lassen sich aber nur dann gewährleisten, wenn Akteure aus Forschung, Industrie, Politik und Gesellschaft in diesem Feld strategisch handeln und koordiniert dazu beitragen, technologische Entwicklungen in die Praxis zu überführen.

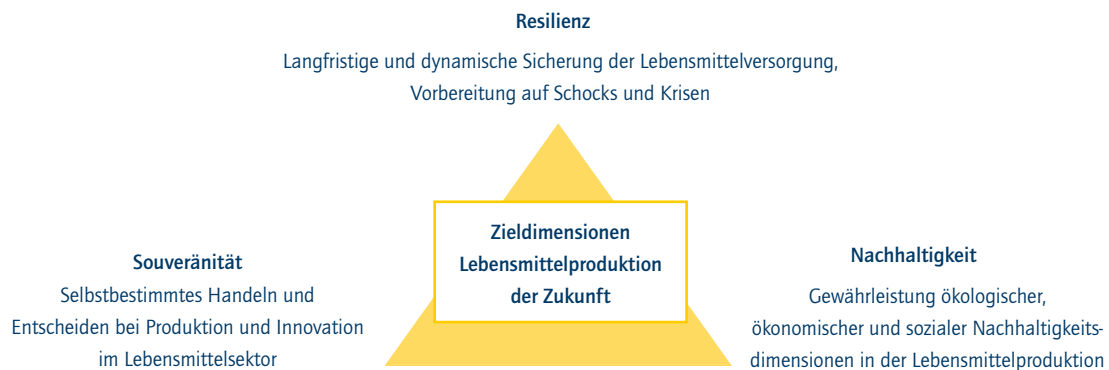


Abbildung 1: Entwicklungspotenziale neuer Technologien entlang des Wertschöpfungskreislaufs der Lebensmittelproduktion (Quelle: eigene Darstellung)



3 Technologische Innovationen als Schlüssel

Technologische Innovationen sind zentrale Treiber für gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Fortschritt, sie revolutionieren seit jeher Produktionsweisen, fördern Wirtschaftswachstum und Lebensqualität. Hierfür braucht es allerdings ein ausgewogenes Zusammenspiel von Entwicklungsgeist, Regulierung und gesellschaftlicher Akzeptanz. Zentrale Voraussetzung ist daher ein gesellschaftlicher Dialog über Chancen, Risiken und ethische Aspekte technologischer Innovation auch in diesem Bereich. Insbesondere bedarf es aber gerade in Zeiten von Krisen und hybriden Bedrohungslagen eines geschärften Blicks

auf Technologien, die vor allem Resilienz und Souveränität stärken – allem voran im Versorgungsbereich Ernährung.

In der Lebensmittelproduktion haben technologische Innovationen über Jahrhunderte und Jahrtausende hinweg immer wieder entscheidende Veränderungen bewirkt: Die Erfindung des Pflugs, der Einsatz von Fermentation und weiteren Konservierungsmethoden, die Mechanisierung der Landwirtschaft, oder die Entdeckung der Pasteurisierung von Milch waren Meilensteine, die Ernährungssicherheit erhöht haben. Diese technologischen Innovationen ermöglichten es, die gewachsene Weltbevölkerung effizient zu versorgen, indem sie die Produktionskapazitäten der Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie vergrößerten und gleichzeitig die Lebensmittelsicherheit verbesserten.

Heute stehen neue Herausforderungen im Fokus: In Anbetracht des globalen Klimawandels, begrenzter Ressourcen und einer

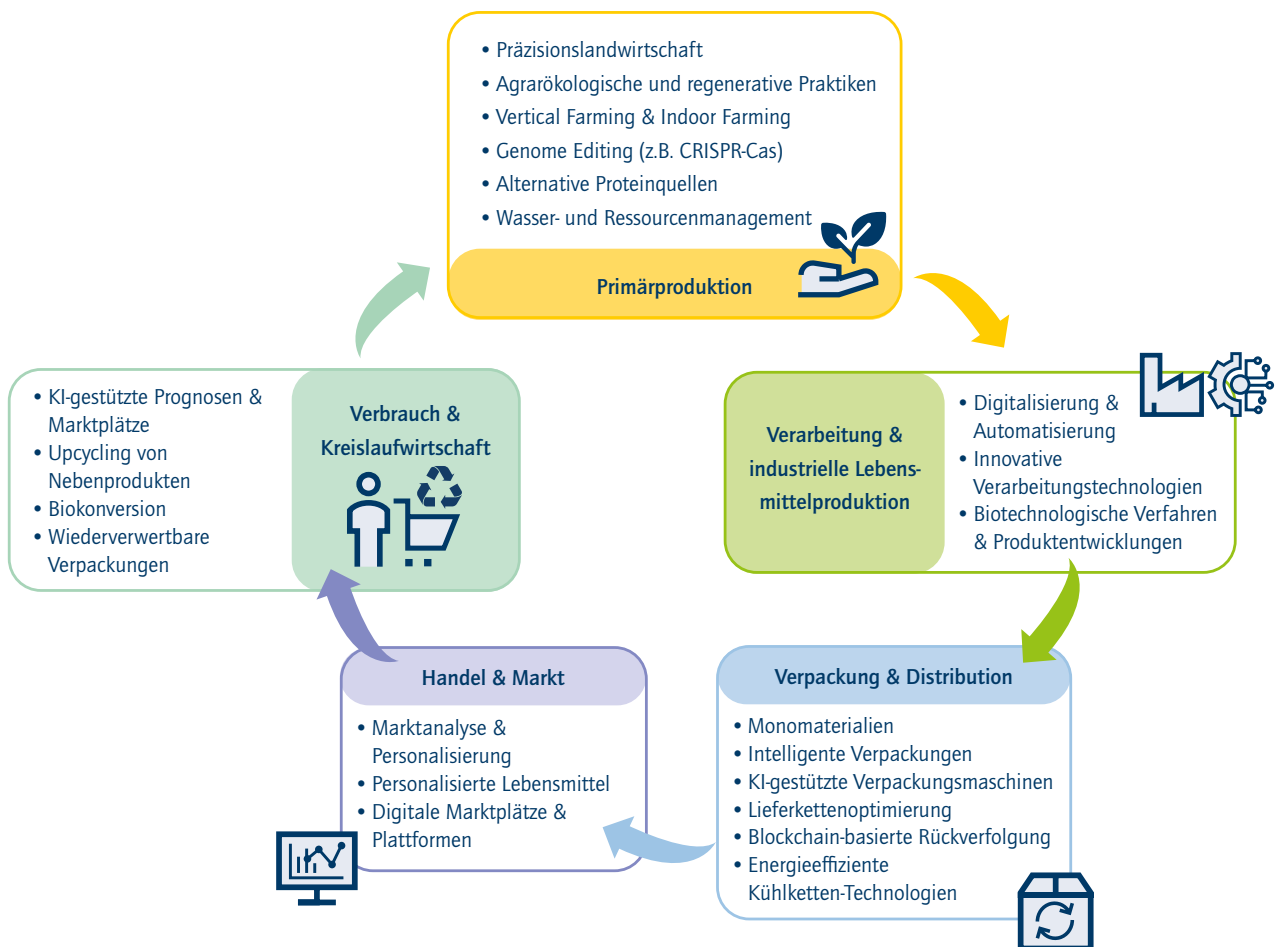


Abbildung 2: Zieldimensionen für die Lebensmittelproduktion der Zukunft (Quelle: eigene Darstellung)

weiterhin stark wachsenden Weltbevölkerung bleibt Ernährungssicherheit nach wie vor eine zentrale Herausforderung, die innovative Lösungen nötig macht. Neue Ansätze denken Lebensmittel zum Beispiel als Materialien mit klar definierten sensorischen, chemischen und physikalischen Eigenschaftsprofilen und überdachten (bio-)technologischen Prozess- und Produktionskonzepten. Inspiration zur Weiterentwicklung bieten hier die Arbeitsabläufe und Perspektiven anderer Sektoren wie der Kunststoff-, der Halbleiter-, der Baustoff- oder der Textilindustrie.

Im Folgenden wird der Überblick über relevante technologische Domänen und deren Potenziale entlang der gesamten Wertschöpfungskette im Lebensmittelsystem (Food Value Chain) näher ausgeführt (vergleiche Abbildung 2). Insbesondere Querschnittstechnologien wie die zunehmende Digitalisierung spielen dabei eine zentrale Rolle: Diese ermöglichen datenbasierte Entscheidungen, verbessern Transparenz und Rückverfolgbarkeit und schaffen die Voraussetzung für Automatisierung, Vernetzung und Echtzeitreaktion. Viele Technologien, die die Zukunft der Lebensmittelproduktion in einigen Jahren prägen könnten, befinden sich gegenwärtig in einem frühen Entwicklungsstadium und sind noch nicht ausgereift, müssen also weiterentwickelt werden, bevor sie großflächig eingesetzt werden können. Zudem stellt sich die Frage, wie diese Technologien effizient in bestehende regionale und wirtschaftliche Kontexte überführt werden können.

3.1 Primärproduktion

Die Primärproduktion im Lebensmittelsektor umfasst die Gewinnung von Rohstoffen, beispielsweise durch Anbau von Pflanzen, Tierhaltung, Wasserförderung und -regeneration sowie Bodennutzung und -regeneration. Sie bezeichnet die erste Stufe der Lebensmittelproduktion mit dem Ziel der Erzeugung von Lebensmitteln oder deren Ausgangsstoffen, bevor diese weiterverarbeitet oder vermarktet werden. Neue Technologien in der Primärproduktion tragen nun dazu bei, nachhaltiger und effizienter zu wirtschaften. Die sogenannte **Präzisionslandwirtschaft** beispielsweise entwickelt die bestehende Agrarproduktion weiter, indem satellitengesteuerte Landmaschinen, Drohnen, Boden- und Pflanzensensoren sowie KI-gestützte Datenanalysen gezieltere und ressourcensparsamere Maßnahmen ermöglichen; so lassen sich Dünge- und Pflanzenschutzmittel präzise dosieren und Erträge steigern, während Umweltbelastungen und Betriebskosten reduziert werden. Zukunftsweisend sind auch **agrärökologische und regenerative Praktiken**, die auf Bodengesundheit, Biodiversität und langfristigen Humusaufbau setzen. Digitale Methoden, die Schädigungen und Gefährdungen in Anbau und Kultivierung

frühzeitig erkennen und darauf basierend zielgerichtet eliminieren, nehmen an Bedeutung zu. Ein gesunder Boden spielt als Kohlenstoffdioxidsenke eine essenzielle Rolle im Klimasystem – er wird, unter falscher Bearbeitung, allerdings auch zu einer relevanten Emissionsquelle. **Vertical Farming und Indoor Farming** nutzen automatisierte Systeme, Robotik, LED-Beleuchtung und kontrollierte Klimabedingungen, um unabhängig von Wetter und Boden ertragreich hochwertige Nahrungsmittel auf kleinem Raum zu erzeugen. Zentrale Voraussetzung für den breiten Einsatz dieser Technologien ist eine belastbare digitale Infrastruktur mit hoher Konnektivität und interoperablen Datenplattformen. Beim sogenannten **Genome Editing** wiederum – etwa mithilfe der CRISPR-Cas-Technologie – können Pflanzen kurzfristig und gezielt so verändert werden, dass sie widerstandsfähiger gegen Schädlinge, Krankheiten oder Klimastress sind. Solche präzisen Eingriffe beschleunigen die Pflanzenzüchtung erheblich und können damit vor allem zur Versorgungssicherheit beitragen. Pflanzenbasierte **alternative Proteinquellen** wie Leguminosen (zum Beispiel Soja, Erbse, Lupine oder Ackerbohne) ergänzen die Versorgung mit Fleisch, weisen neue Wege zur Ernährungssicherung und verringern die landwirtschaftsbedingte Umwelt- und Klimabelastung. Ferner lassen sich für die Proteingewinnung auch Insekten wie Mehlwürmer oder Schwarze Soldatenfliegen in automatisierten Anlagen züchten, die mit Sensorik, Robotik und KI optimiert und effizient gesteuert werden. Ein **effizienteres Wasser- und Ressourcenmanagement** lässt sich schließlich mithilfe digitaler Überwachungssysteme, smarter Bewässerungstechniken wie Tropfbewässerung sowie geschlossener Wasserkreisläufe erreichen. Solche Technologien helfen, Wasser gezielt einzusetzen und Verluste zu minimieren, was angesichts zunehmender Wasserknappheit von zentraler Bedeutung für die Ernährungssicherheit sowie für Umwelt- und Klimaschutz ist. Technologische Innovationen in der Primärproduktion leisten somit einen wesentlichen Beitrag zur Resilienz gegenüber klimatischen, wirtschaftlichen und geopolitischen Risiken. Durch die Diversifizierung von Produktionssystemen, durch Automatisierung und durch Digitalisierung kann die Verwundbarkeit des Lebensmittelsystems gegenüber exogenen Schocks hier wie anderswo auf der Welt also signifikant reduziert werden.

3.2 Verarbeitung und industrielle Lebensmittelproduktion

Die industrielle Lebensmittelverarbeitung bildet das zentrale Bindeglied zwischen primärer Landwirtschaft und Konsum: Sie verwandelt Rohstoffe in veredelte, lager- und transportfähige



Produkte, sichert durch strikte Qualitäts- und Hygienestandards die Lebensmittelsicherheit und beeinflusst als integraler Bestandteil moderner Food Value Chains Effizienz und Nachhaltigkeit des Gesamtsystems. Angesichts der bereits beschriebenen Herausforderungen im Lebensmittelsektor gilt es hier Digitalisierung, Automatisierung und biotechnologische Innovationen für die Produktentwicklung, die Verarbeitung und die Produktion voranzutreiben, um eine sichere und resiliente Lebensmittelversorgung auch in Zukunft sicherstellen zu können. Die hohen Anforderungen an Hygiene und Lebensmittelsicherheit können durch eine weitere **Digitalisierung und Automatisierung** effektiver erreicht werden, beispielsweise durch den zunehmenden Einsatz von KI-gestützter Qualitätskontrolle und automatisierten Reinigungssystemen. Durch die Integration vernetzter Datenplattformen und sensorgestützter Nachverfolgungssysteme ist zudem eine lückenlose Rückverfolgbarkeit der Produktion gegeben – das stärkt Lebensmittelsicherheit, Resilienz und das Vertrauen der Verbraucherinnen und Verbraucher. Gleichzeitig tragen vollständig digitalisierte Produktionsumgebungen – sogenannte Smart Food Factories und digitale Zwillinge – dazu bei, die Herstellungsprozesse zu optimieren, Effizienz und Qualität der Lebensmittelproduktion zu steigern sowie Produktionsabfälle und unerwünschte Nebenprodukte zu reduzieren. Ein Fokus liegt hier auf der Steigerung der Energieeffizienz und der Reduktion des Ressourcenverbrauchs durch Wärmerückgewinnung, optimierte Reinigungssysteme, energieeffiziente Anlagentechnik und adaptive Steuerungssysteme, die Prozesse in der Lebensmittelproduktion dynamisch an die Energieverfügbarkeit anpassen. **Innovative Verarbeitungstechnologien** setzen ebenfalls bei unterschiedlichen Produktionsschritten an. Sogenannte Self-driving Labs – also vollautomatisierte Versuchs- und Produktionsreihen – werden bereits in der chemischen Industrie und der Materialentwicklung verwendet, bieten aber angesichts ähnlich standardisierter Produktions- und Entwicklungsprozesse großes Anwendungspotenzial auch im Lebensmittelsektor. Zudem gilt es Technologien zu entwickeln, die sichere Lebensmittel gewährleisten, dabei aber die Auswirkungen auf Geschmack, Textur und Nährwert geringhalten. **Biotechnologische Verfahren und Produktentwicklungen** sind wiederum ein jahrtausendealter Bestandteil der Lebensmittelproduktion, der in Anbetracht sich verändernder Rahmenbedingungen beständig weiterentwickelt wird. So werden heute unter anderem umweltschonendere und tierfreie Proteinquellen zunehmend nachgefragt; hier setzt die sogenannte Präzisionsfermentation an – durch den gezielten Einsatz von Mikroorganismen (Bakterien, Hefen oder Pilze) werden tierfreie Proteine sowie Produkte mit verbesserter Qualität und hochwertigeren Nährstoffprofilen hergestellt. Dazu zählt die Kultivierung von Mikroalgen und Cyanobakterien (zum Beispiel

Spirulina und Chlorella) mithilfe moderner Licht-, CO₂- und Nährstoffmanagementsysteme, die ein kontrolliertes Wachstum ermöglichen. Auch bieten zellkultivierte Lebensmittel und Fortschritte in der Enzymtechnologie Alternativen, um nachhaltige, pflanzenbasierte Lebensmittel mit neuen und optimierten Eigenschaften zu produzieren. Und innovative Produktionsanlagen ermöglichen mittels 3D-Druck schließlich neue Produktformen oder Funktionalitäten, was zur Produktakzeptanz beiträgt.

3.3 Verpackung und Distribution

Qualität, Sicherheit und Verfügbarkeit von Lebensmitteln werden maßgeblich von **Verpackung und Distribution** beeinflusst. Innerhalb der Wertschöpfungskette beschreiben diese Elemente den Kontaktpunkt von Herstellern auf der einen, Konsumentinnen und Konsumenten auf der anderen Seite. Verpackungen schützen Lebensmittel vor äußeren Einflüssen wie Licht, Feuchtigkeit, mikrobiologischer Kontamination und mechanischen Beschädigungen, dienen gleichzeitig als Informationsträger für Verbraucherinnen und Verbraucher und unterstützen eine effiziente Lagerung sowie den sicheren Transport. Die Distribution hingegen umfasst alle Prozesse, die notwendig sind, um Lebensmittel vom Hersteller über die verschiedenen Handelsstufen zum Endkunden zu bringen. Eine effiziente Logistik sorgt hier dafür, dass Ernährungsprodukte schnell, frisch und nachverfolgbar verfügbar sind. Zudem können durch gezielte Lagerung und effizienten Transport Kosten minimiert und Lebensmittelverluste reduziert werden.

Innovative Umverpackungen müssen vor diesem Hintergrund und in Anbetracht der aktuellen Herausforderungen viele Eigenschaften gleichzeitig aufweisen, denn sie haben sowohl Produktschutz- als auch Nachhaltigkeitsstandards zu erfüllen. Daher braucht es ausreichend **nachhaltige, hochbarriere- und recyclingfähige Monomaterialien**, die solchen Anforderungen genügen. Ergänzend unterstützen nachhaltige Bioverpackungen aus Nebenströmen wie Kartoffelschalen, Kaffeesatz oder Mikroalgen die Kreislaufwirtschaft und reduzieren die Abhängigkeit von fossilen Grundstoffen. Zudem gewinnt der Einsatz hochwertiger Rezyklate an Bedeutung, um fossile Ressourcen zu ersetzen und geschlossene Stoffkreisläufe zu realisieren. **Intelligente Verpackungen** (Smart Packaging) integrieren wiederum funktionelle Komponenten und kreislauffähige Beschichtungen sowie Sensoren, die etwa Temperatur, Feuchtigkeit oder Frische von Lebensmitteln regulieren und überwachen und so zur Lebensmittelsicherheit beitragen. Und auch die Einhaltung der Kühlkette und der Lagervorschriften lässt sich auf diese Weise erfassen, sodass sich die Haltbarkeit verlängert, Produktverluste

reduziert und Echtzeitdaten zur Produktqualität zur Verfügung gestellt werden. Ein zunehmender Einsatz von KI und Robotern in **Verpackungsmaschinen** sorgt darüber hinaus für eine schnelle und flexible Anpassung an unterschiedliche Produktgrößen und Gebinde. In Verbindung mit einer individueller werdenden Lebensmittelproduktion, aber auch an Szenarienbetrachtungen und Risikoabschätzungen ausgelegten Bevorratung lassen sich so kosteneffizient und mit reduzierter Fehlerquote auch geringe Chargen produzieren. Um auch in der Logistik und Distribution von Lebensmitteln **Emissionen zu reduzieren**, werden zudem bereits KI-gestützte Routenplanungsinstrumente eingesetzt, die Lieferwege optimieren und so Zeit und Treibstoff sowie Kosten und CO₂-Ausstoß sparen. Neben Effizienzgewinnen steht außerdem die Stärkung der Lieferkettenresilienz durch multiple Bezugsquellen, dezentrale Lagerstrukturen und flexible Logistikkonzepte im Fokus technologischer Innovationen; so auch bei der Logistik der „letzten Meile“, wo Mikrodepots die Verteilung der Lebensmittelprodukte näher am Endkunden organisieren und Drohnen oder autonome Fahrzeuge die flexible und schnelle Versorgung im urbanen Raum wie auch an schwer erreichbaren Orten sicherstellen können. Die sogenannte **Blockchain-Technologie** gewährleistet darüber hinaus eine lückenlose Nachverfolgung von Lebensmitteln entlang der gesamten Lieferkette; Produktfälschungen werden so verhindert, die Einhaltung von Produktstandards und Schutzpflichten wird zuverlässig dokumentiert. Das gilt auch für die **Einhaltung der Kühlkette**, die durch Technologien wie das Internet of Things (IoT) und Echtzeitdaten sammelnde Sensoren gewährleistet werden kann. Schließlich gilt es mit Blick auf Ressourcenverbrauch und Kosten in der Lebensmittellogistik Kühlsysteme und Kältemittel technologisch weiter zu optimieren.

3.4 Handel und Markt

Handel und Markt sind im modernen, marktwirtschaftlich organisierten Lebensmittelsystem für die Steuerung von Angebot, Nachfrage, Preisen, Innovationen und Markteinführung zuständig. Sie beeinflussen Qualität, Quantität und Vielfalt des Angebots sowie die Verteilung der Wertschöpfung entlang der Kette und sorgen für eine sichere wie resiliente Versorgung mit Lebensmitteln. Angesichts der seit Jahrzehnten zunehmenden Konzentration im Lebensmittelgroß- und -einzelhandel stehen heute viele Primärproduzenten sowie kleinere Verarbeitungsbetriebe unter Druck, da große Handelsketten durch ihre Marktmacht Einkaufspreise und Lieferbedingungen bestimmen. Zur Vernetzung der unterschiedlichen Akteure bedarf es ergänzend anpassungsfähiger Lieferbeziehungen, flexibler Lagerhaltung

und kooperativer Einkaufsverbände. Solche Ansätze helfen, bei Marktstörungen oder Versorgungsengpässen stabil zu bleiben und Abhängigkeiten zu verringern.

Die Anwendung technologischer Errungenschaften wie der Einsatz von KI kann Handel und Markt verändern und auch hier zum Innovationstreiber werden. **Marktanalyse und Personalisierung** auf Basis umfangreicher Kundendatensätze lassen sich so beispielsweise nutzen, um Konsumtrends vorherzusagen, Einkaufserlebnisse sowie Empfehlungen zu personalisieren und neue Dienstleistungsangebote (zum Beispiel individuelle Ernährungspläne und Warenkörbe) zu entwickeln. Händlern bieten sich dadurch Wettbewerbsvorteile, weil sie schneller auf Marktveränderungen reagieren, Sortimente optimieren sowie Kundenzufriedenheit und Umsatz steigern können. Die Nachfrage nach **personalisierter Ernährung und Lebensmittelvielfalt** wächst stetig. Gesundheitsbewusste Konsumentinnen und Konsumenten zeichnen physiologische, metabolische und Lifestyle-Daten kontinuierlich auf und lassen teilweise persönliche genetische Profile erstellen. Bei der Produktentwicklung und Vermarktung im Lebensmittelsektor können solche Daten genutzt werden, um passend zu den individuellen Bedürfnissen der Verbraucherinnen und Verbraucher maßgeschneiderte Produktinnovationen zu entwickeln. Die Anwendungsmöglichkeiten reichen von der Geschmacksgestaltung und der Zusammenstellung der Zutaten bis zur Nährstoffzusammensetzung eines Ernährungsprodukts. Auch Spezialnahrung bei häufigen, aber auch bei seltenen Krankheitsbildern lässt sich so entwickeln. Besonders zu berücksichtigen sind dabei auch Komorbiditäten und die damit verbundenen Herausforderungen für die Verträglichkeit einer individualisierten Medikamentierung im Zusammenspiel mit der Ernährung. Des Weiteren lassen sich gesundheitsbezogene und ökologische Informationen zum jeweiligen Produkt digital, verständlich und vergleichbar bereitstellen, sodass Menschen ihre Ernährung eigenverantwortlich und souverän gestalten können. In einem sicheren und resilienten Lebensmittelsystem spielen nachhaltiger und regionaler Konsum außerdem eine entscheidende Rolle; **digitale Marktplätze und Plattformen** erfahren bereits seit einiger Zeit eine zunehmende Nachfrage und bringen lokal und regional Produzenten mit Konsumentinnen und Konsumenten zusammen, was auch die Marktmechanismen grundlegend verändert: Algorithmen steuern Sichtbarkeit, Preise und Angebote, was die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle ermöglicht. Einerseits gehen mit einer solchen Entwicklung Risiken einher wie die Abhängigkeit von einigen wenigen Plattformbetreibern; andererseits bietet sich kleinen Erzeugern so der Zugang zu neuen Märkten – abseits von Direktvermarktung und klassischem Supermarkt. Dieser direkte Austausch erhöht zudem zusätzlich



die Transparenz in der Lebensmittelversorgung und kann durch Diversifizierung und Verteilung des Angebots auch zur Resilienz des Lebensmittelsystems beitragen.

3.5 Verbrauch und Kreislaufwirtschaft

Eine entscheidende Stellschraube auf dem Weg hin zu einem nachhaltigen, resilienten und souveränen Ernährungssystem stellt der Verbrauch dar: Klimaveränderungen, wachsende Weltbevölkerung und wandelnde Konsumgewohnheiten in urbanen Räumen steigern den Lebensmittelverbrauch stetig und verstärken zusätzlich den Druck auf natürliche Ressourcen und Umwelt. Zugleich geht nach dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) etwa ein Drittel aller weltweit erzeugten Lebensmittel entlang der Versorgungskette verloren oder wird verschwendet.¹³ Neue Technologien können dabei helfen, im Lebensmittelsystem eine Kreislaufwirtschaft zu etablieren, um im Sinne der sogenannten R-Strategien¹⁴ Abfälle zu minimieren, Rohstoffe und Materialien wiederzuverwenden, unvermeidbare Reststoffe zu verwerten und wichtige Ressourcen auf diese Weise möglichst lange in der Wertschöpfungskette zu halten.

So lassen sich Lebensmittelverluste durch eine bedarfsgerechte Produktion und Bereitstellung reduzieren. **Digitale Marktplätze und KI-gestützte Prognosen** ermöglichen in diesem Zusammenhang eine bessere Abschätzung von Absatzmengen und Bedarf, wobei Wetter, Feiertage und weitere für den Verbrauch relevante Ereignisse berücksichtigt werden. Außerdem lassen sich so gezielt auch Marktplätze für Lebensmittel mit kurzfristigem Mindesthaltbarkeitsdatum oder kurzzeitiger Lagerungsfähigkeit schaffen. In der Lebensmittelproduktion fallen darüber hinaus bisher nicht genutzte Nebenprodukte an; neue Separations- und Filtrationstechnologien können in diesem Zusammenhang verwendet werden, um aus den erwünschten oder unerwünschten Nebenprodukten hochwertige Inhaltsstoffe zu extrahieren und diese entweder in der Produktion neuer Lebensmittel zu verarbeiten oder als funktionelle Bestandteile in anderen industriellen Sektoren weiterzuverwenden. Zudem können compatible, integrative Umverteilungsplattformen und Datenräume dazu genutzt werden, um Warenströme, die aufgrund externer Einflüsse keinen Absatz finden, gezielt einer Verwertung zuzuführen. Ähnlich wie in der

Primärproduktion von Lebensmitteln existiert allerdings auch im Verbrauchssektor in Europa bisher eine Masse an inkompatiblen Datenräumen für die Umverteilung und Logistik der Produkte, was kosteneffiziente und resilienzstärkende dezentrale Lösungen erschwert. Die Effizienz der eingesetzten Ressourcen wird so gesteigert, was nicht nur Umwelt und Klima dient, sondern auch neue Wertschöpfungspotenziale erschließt und Abfallströme reduziert. Zur Bewertung von Ressourceneffizienz und Abfallvermeidung im Lebensmittelsystem braucht es zudem geeignete Kennzahlen und digitale Monitoringsysteme, die ebenfalls auf technologische Innovation angewiesen sind. Bei der Nutzung von Nebenströmen bietet darüber hinaus die sogenannte **Bio-konversion** eine weitere Möglichkeit zur Schließung von Stoffkreisläufen: Bereits heute eingesetzte Fermentationsverfahren zur Haltbarmachung werden so ergänzt durch den gezielten Einsatz von Mikroorganismen, nicht nur als Stoffwechselprodukt, sondern als Nahrungsmittel selbst. **Wiederverwendbare Verpackungen** beschränken sich bisher in erster Linie auf Glas-Mehrweg-Verpackungen. Neue Technologien können die Entwicklung robuster, wiederverwendbarer Kunststoffverpackungen allerdings zügig vorantreiben, um so den Materialverbrauch im Lebensmittelsystem deutlich zu reduzieren und Verpackungen auf einer hohen Gebrauchsstufe wiederzuverwerten und die Kreislaufwirtschaft weiter stärken.

Technologischer Fortschritt allein reicht jedoch nicht aus, um ein nachhaltiges, resilientes und souveränes Lebensmittelsystem zu etablieren. Dafür braucht es vielmehr eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit, um technologische Innovationen praxisnah wie bedarfsgerecht zu gestalten und nachhaltig ins bestehende Lebensmittelsystem zu integrieren: Agrarwissenschaft, Biotechnologie, Ernährungswissenschaft, Ingenieurwesen und Umweltwissenschaften müssen daher mit sozialwissenschaftlichen und regulatorischen Perspektiven verknüpft werden, was auch eine transparente Einbindung von Konsumentinnen und Konsumenten umfasst. Diese interdisziplinäre Kooperation muss zudem durch transdisziplinären Austausch und gemeinsame Umsetzung komplettiert werden. Die vielfältigen Herausforderungen der Lebensmittelproduktion von morgen lassen sich nur im Zusammenspiel und Austausch aller relevanten Akteure – von Wissenschaft über Wirtschaft und Politik bis hin zur Gesellschaft – bewältigen, denn effektive Lösungen müssen nicht nur technologisch tragfähig sein.

13 | Vgl. UNEP 2024.

14 | Reduce, Reuse, Repair, Refurbish/Remanufacture, Recycle, Rethink, Redesign, Reduce-First/Remodel.

4 Gesellschaftliche Wahrnehmung und regulatorische Rahmenbedingungen

Neben technologischen Möglichkeiten und Limitationen wirkt eine Vielzahl von gesellschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen auf das Innovationsgeschehen im Lebensmittelsystem ein. Das gilt unter anderem für die bereits oben erwähnten Veränderungen von Ernährungsgewohnheiten, das Bevölkerungswachstum oder die zahlreichen Standards zur Lebensmittelsicherheit. Zudem gewinnen die aktuellen geopolitischen Entwicklungen an Momentum, sodass eine Steigerung der sogenannten *preparedness* dringend angezeigt ist. All diese Rahmenbedingungen müssen ebenfalls berücksichtigt werden, um die Lebensmittelproduktion in Deutschland, in Europa und weltweit zukunftsfähig weiterzuentwickeln.

4.1 Gesellschaftliche Wahrnehmung

Die **gesellschaftliche Akzeptanz** neuartiger Lebensmittel ist naturgemäß eine zentrale Voraussetzung für deren Marktfähigkeit und somit auch für die künftige Gestaltung des Ernährungssystems im Zeichen von Nachhaltigkeit, Souveränität und Resilienz. Wie das acatech *TechnikRadar 2025* zeigt,¹⁵ wird beispielsweise die gentechnische Veränderung von Nutzpflanzen für die Lebensmittelversorgung, die mit Blick auf die Folgen des Klimawandels sowie steigendem Kalorien- und Nährstoffbedarf einen wichtigen Innovationsansatz darstellt, in Deutschland nach wie vor als besonders riskante Technologie gesehen. Diese Bewertung zeigt, dass man bei der Entwicklung neuer Technologien frühzeitig unabhängige und faktenbasierte Information benötigt, die die Grundlage für vorbehaltsfreie, tragfähige und dialogorientierte Kommunikation bilden – anders drohen auch zukünftig Innovationen ohne Diskurs zu scheitern. Insgesamt werden Nachhaltigkeits- und Gesundheitsaspekte für die Bewertung von Lebensmitteln auch in der Bevölkerung immer wichtiger, und sie verändern so die gesellschaftlichen Einstellungen gegenüber Fleischalternativen, neuen Proteinquellen

oder innovativen Herstellungsmethoden. Globale kulturelle Unterschiede in den Essgewohnheiten und grundsätzliche Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Lebensmitteln sind bei der Entwicklung und Markteinführung zu berücksichtigen – manche Märkte bieten sich folglich eher als Testumgebung an, als andere. Sicherheit, Vertrauen und die Gewissheit, souveräne Entscheidungen bei der Lebensmittelwahl treffen zu können, bilden die Voraussetzung, damit sich Ernährungsgewohnheiten auch in der Breite weiterentwickeln und ein nachhaltiges, resilientes und souveränes Ernährungssystem aufgebaut werden kann.

4.2 Rechtlicher Rahmen

Die regulatorischen Rahmenbedingungen des deutschen und des europäischen Lebensmittelsystems zielen primär auf den Schutz der Verbraucherinnen und Verbraucher, die Lebensmittelsicherheit sowie die Transparenz und Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln ab, wobei sich beide Regulierungsregime ergänzen. Die europäische **Allgemeine Lebensmittelverordnung**¹⁶ legt in diesem Zusammenhang allgemeine Grundsätze und Anforderungen fest, darunter das sogenannte Vorsorgeprinzip, die Risikoanalyse und die Rückverfolgbarkeit von Lebens- und Futtermitteln. Des Weiteren wurde die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority – EFSA) im Rahmen dieser Norm als Kontrollbehörde eingerichtet. Das Inverkehrbringen neuartiger Lebensmittel wurde zudem in der sogenannten **Novel-Food-Verordnung**¹⁷ geregelt; darunter fallen beispielsweise Lebensmittel mit neuer oder gezielt veränderter Molekularstruktur, die aus Mikroorganismen, Pilzen oder Algen, Zell- oder Gewebekulturen oder durch ein neuartiges, nicht-übliches Verfahren hergestellt wurden. Zusätzlich regelt die **Lebensmittelinformationsverordnung** (LMIV)¹⁸ Kennzeichnungspflichten, wodurch sie Transparenz bei Herstellungsprozessen und Produktqualität für Verbraucherinnen und Verbraucher gewährleisten soll. Ergänzend zu den bestehenden Verordnungen hat die Europäische Kommission 2020 schließlich noch die sogenannte **Farm-to-Fork-Strategie** (F2F)¹⁹ („vom Hof auf den Tisch“) als Teil des *European Green Deal* eingeführt. Sie verfolgt das Ziel, das europäische Lebensmittelsystem gerechter, gesünder und umweltfreundlicher zu gestalten – und setzt damit auch Impulse für die zukünftige regulatorische Entwicklung auf europäischer Ebene.

15 | Vgl. acatech 2025.

16 | Verordnung (EG) Nr. 178/2002.

17 | Verordnung (EU) Nr. 2015/2283.

18 | Verordnung (EU) Nr. 1169/2011.

19 | Vgl. Europäische Union 2020.



Die **deutsche Gesetzgebung** hat die europäischen Verordnungen integriert. Zu nennen sind hier unter anderem das Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB), die Lebensmittelzusatzstoff-Durchführungsverordnung (LMZDV) und die Verordnung über Nahrungsergänzungsmittel (NemV). Als zuständige Kontrollbehörde auf nationaler Ebene fungiert das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), während das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH), in dessen Geschäftsbereich das BVL tätig ist, ernährungspolitische Strategien und Normen formuliert.

Aus den hier skizzierten regulatorischen Rahmenbedingungen für den Ernährungssektor in Deutschland und Europa resultiert allerdings nicht nur ein hohes Maß an Lebensmittelsicherheit für Verbraucherinnen und Verbraucher, sondern es ergeben sich auch massive Hemmnisse für die unabdingbare Entwicklung neuartiger Lebensmittel. So hat vor der Marktzulassung eines spezifischen Ernährungsprodukts eine umfassende gesundheitliche Risikobewertung durch die EFSA zu erfolgen, um etwaige Risiken für die menschliche Gesundheit, mögliche Allergene in der Zusammensetzung und toxische Wirkungen auszuschließen. Die hierfür erforderlichen, umfangreichen wissenschaftlichen Studien verhindern folglich eine schnelle Entwicklung und Markteinführung innovativer Lebensmittelprodukte und sind mit hohen Investitionen verbunden. Der hohe Stellenwert

der Sicherheitsbewertung geht zudem mit einem großen Dokumentationsaufwand einher, der den gesamten Herstellungsprozess betrifft, und resultiert in langen Zulassungsverfahren. Der ungewisse Ausgang solcher Verfahren schafft wiederum wirtschaftliche Hürden, führt zur Zurückhaltung bei Investitionen in Forschung und Entwicklung und bremst folglich Innovation und Gründungsaktivität. Daher braucht es bei der Regulierung des europäischen und deutschen Lebensmittelsystems künftig einen Ausgleich, der Vorsorgeprinzip, Verbraucherschutz und Innovationsoffenheit nicht gegeneinanderstellt und einen Abbau bürokratischer Entwicklungshemmnisse zur Folge hat.

Über die hier beispielhaft dargestellten Technologien, Entwicklungsbedarfe, gesellschaftlichen Herausforderungen und regulatorischen Hürden hinaus bedarf es jedoch einer ganzheitlichen und systematischen Analyse, um das Lebensmittelsystem hierzulande nachhaltig, souverän und resilient aufzustellen. Nur durch eine gemeinsame Initiative aller Stakeholder unter Berücksichtigung sämtlicher Perspektiven entlang der Wertschöpfungskette lässt sich ermitteln, welche Technologien langfristig tatsächlich das Potenzial haben, die Lebensmittelproduktion in Deutschland und Europa zukunftsfähig zu machen. Erst eine solch flächendeckende Grundlage ermöglicht eine sichere Identifizierung standortspezifischer Innovationslücken, die gezielte Ableitung von Forschungs- und Entwicklungsbedarfen und die Planung konkreter Maßnahmen.

5 Handlungsbedarfe für Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft

Die oben skizzierten Herausforderungen für das globale Lebensmittelsystem zeigen eindrucksvoll, wie dringlich der Handlungsbedarf für mehr Resilienz – unter Berücksichtigung von Souveränität und Nachhaltigkeit – in der deutschen und europäischen Lebensmittelproduktion heute schon ist. Europäische und nationale Gesetzgeber können durch gezielte Maßnahmen geeignete Rahmenbedingungen für Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft setzen, um ernährungsrelevante Technologien und Innovationen zu diesem Zweck zu fördern. Der deutsche Innovationsstandort verfügt mit zahlreichen Forschungseinrichtungen sowie dem starken, mittelständisch organisierten Maschinen- und Anlagenbau bereits über gute Grundvoraussetzungen in der Wissenschafts- und Unternehmenslandschaft. Speziell mit Blick auf die Wissenschaft ist das Potenzial für Forschung und Entwicklung zur Resilienz in verschiedenen Feldern der Technikwissenschaften wie auch interdisziplinär als sehr hoch einzuschätzen. Zu den entsprechenden Disziplinen zählen unter anderem Agrarwissenschaft, Lebensmittel- und Biotechnologie, Materialwissenschaft sowie Ingenieurwissenschaften. Deutschland ist jedoch in einigen Sektoren der Lebensmittelindustrie bislang nicht souverän. Innovationen in den Lebensmittelmarkt einzuführen und zu skalieren, erfolgt hierzulande daher vergleichsweise schwerfällig. Durch Technologie-Mapping (und sogenanntes Leapfrogging) könnten im Bereich von Forschung und Entwicklung bestehende Stärken ausgebaut und Schwächen gezielt ausgeglichen werden. Hierdurch würden sich große Potenziale für den Wirtschaftsstandort Deutschland ergeben, etwa für Lebensmittelproduzenten, im Maschinen- und Anlagenbau oder für biotechnologische Start-ups. Allerdings können die in diesen Feldern deutschlandweit dominierenden KMU eine forschungsbasierte Innovationsoffensive selbst nicht tragen, weshalb hier Unterstützungsbedarf besteht. Zudem erfordert ein resilientes und souveränes Lebensmittelsystem entsprechende Kompetenzen und ausreichend verfügbare Fachkräfte; daher braucht es zügig geeignete Maßnahmen, um die Abwanderung von Know-how und Fachkräften in andere Regionen der Welt zu verhindern.

Die deutschen und europäischen Gesetzgeber sind vor diesem Hintergrund gefragt, im vorwettbewerblichen Bereich die

rechtlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen für eine innovative und resiliente Lebensmittelproduktion zu verbessern und gleichzeitig die gesellschaftlichen Anforderungen zu berücksichtigen. Um Innovation und Technologie zu diesem Zweck zu fördern, ist die enge und kontinuierliche Zusammenarbeit bislang noch zu wenig vernetzter Stakeholder von entscheidender Bedeutung. Daher gilt es, neben interdisziplinärer Zusammenarbeit, den transdisziplinären Austausch von Wissenschaft, Industrie, Gesellschaft und Politik künftig zu intensivieren. Eine solche Zusammenarbeit ermöglicht es nämlich, technologische Innovationen nah an der Praxis zu entwickeln, bedarfsgerecht zu gestalten und nachhaltig in bestehende Systeme zu integrieren.

Die Inter- und Transdisziplinarität eines solchen Unterfangens ist der Schlüssel, um die komplexen Herausforderungen, mit denen der Ernährungssektor gegenwärtig und künftig konfrontiert ist, ganzheitlich zu lösen. Somit empfiehlt sich eine koordinierte Initiative aller Stakeholder im deutschen Lebensmittelsystem. Der Zusammenschluss sollte die verschiedenen Perspektiven für eine ganzheitliche, systemische und interdisziplinäre Analyse bündeln und damit Lösungen als Orientierung und ein koordiniertes strategisches Vorgehen für Politik, Wissenschaft und Wirtschaft am Standort Deutschland aufzeigen. Abgeordnete und Ministerien in Deutschland können für ihre Regulierungs-, Forschungsförderungs- und weiteren Maßnahmeninitiativen so auf evidenzbasiertes Know-how zugreifen; Unternehmen profitieren zudem von besseren Skalierungsmöglichkeiten, von Kooperationen und von Use Cases, während die relevanten Akteure in der Wissenschaft sowie die kommerzielle Forschung und Entwicklung hierzulande Orientierung im technologischen Umfeld und bei der strategischen Weiterentwicklung innovativer Ansätze gewinnen. Außerdem kann ein Zusammenschluss den gesellschaftlichen Dialog fördern und durch evidenzbasierte Beiträge (zum Beispiel im Rahmen von Reallaboren und Bürgerdialogen) zur Einführung und Akzeptanz neuer Technologien und zum gesellschaftlichen Nutzen beitragen.

Von der Bereitstellung von Handlungsoptionen für eine übergreifende strategische Vorgehensweise kann die Politik insbesondere in Hinblick darauf profitieren, dass deren Zuständigkeiten für ein resilientes Lebensmittelsystem über verschiedene Ressorts verteilt sind. Im Bereich **Forschung und Technologien** gilt es frühzeitig die Grundlagen für innovative Herstellungsverfahren zu schaffen, die das bestehende Lebensmittelproduktionssystem sinnvoll ergänzen. Damit wird ein strategisches Vorgehen in den Feldern Primärproduktion für eine nachhaltig intensivierte **Landwirtschaft und Ernährung** für eine qualitativ hochwertige Versorgung ermöglicht. Um Potenziale in innovativen Sektoren



des Lebensmittelsystems (zum Beispiel Novel Foods) zu nutzen, können gezielte Maßnahmen zur Förderung von Innovationsökosystemen (zum Beispiel Reallabore, Modellregionen und transdisziplinäre Pilotprojekte) erarbeitet werden, in denen Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft neue Ansätze gemeinsam erproben und skalieren. Im Bereich der **Wirtschaft** müssen die Lebensmittelverarbeitung, die Versorgungsketten und die Marktstabilität gewährleistet bleiben und sich über Innovationen flexibel an veränderte Rahmenbedingungen anpassen. Damit neue Technologien breit wirksam werden können, müssen außerdem auch KMU bei der Umsetzung unterstützt werden – etwa durch modulare, skalierbare Lösungen, Beratungsangebote und Fördermaßnahmen. Die **digitale Infrastruktur** zur Nutzung von Daten etwa im Rahmen der Krisenfrüherkennung, der Überwachung von Lebensmittelbeständen und KI-basierter Prognosen ist von großer Bedeutung, muss weiterentwickelt und großflächig bereitgestellt werden. Ein möglicher Schlüssel hierfür ist der Aufbau interoperabler, souveräner Datenräume zur sicheren, datenschutzkonformen Nutzung von Produktions- und Logistikdaten. Im Bereich des **Umwelt- und Klimaschutzes**

lassen sich außerdem Maßnahmen zur Nachhaltigkeit und zur Etablierung oder Stärkung der Kreislaufwirtschaft²⁰ durch neue Technologien umsetzen. Hierfür braucht es allerdings entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen und gezielte Förderprogramme. Perspektivisch sind zudem die ernährungsrelevante Krisenvorsorge und das Notfallmanagement im **Innern** wie in der **internationalen Entwicklungszusammenarbeit** zu planen. Zur Förderung der ressortübergreifenden Abstimmung zu diesen Themen könnten Strukturen für einen gemeinsamen Dialog etabliert werden.

Um die verschiedenen Dynamiken in Politik, Wirtschaft und Umwelt frühzeitig antizipieren zu können und die Resilienz des Lebensmittelsystems zu stärken, empfiehlt sich eine langfristig ausgerichtete Initiative oder Institution. Ziel sollte es sein, Deutschland durch die Weiterentwicklung landwirtschaftlicher Praktiken, neue Technologien und durch innovative Konzepte zum Vorreiter für ein integriertes, resilient, souverän und nachhaltig aufgestelltes sowie global wettbewerbsfähiges Lebensmittelsystem zu machen.

20 | Vgl. Büttner/Weidner 2022.

Literatur

acatech 2019

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Nachhaltige Landwirtschaft* (acatech Horizonte), München 2019. URL: <https://www.acatech.de/publikation/acatech-horizonte-nachhaltige-landwirtschaft/> [Stand: 16.07.2025].

acatech 2020

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Resiliente und nachhaltige Lebensmittelversorgung. Die Coronakrise und weitere Herausforderungen* (acatech AD HOC IMPULS), München 2020. URL: <https://www.acatech.de/publikation/resiliente-und-nachhaltige-lebensmittelversorgung/> [Stand: 16.07.2025].

acatech 2025

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *TechnikRadar 2025. Was die Deutschen über Technik denken. Schwerpunkt Digitale Transformation und KI*, München 2025. DOI: https://doi.org/10.48669/aca_2025-4

Büttner/Weidner 2025

Büttner, A./Weidner, E. (Hrsg.): Springer Handbook of Circular Plastics Economy, 2025. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-66209-6> [Stand: 10.10.2025].

Europäische Union 2020

Europäische Union: *Farm to Fork Strategy. For a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System*, 2020. URL: https://food.ec.europa.eu/document/download/472acca8-7f7b-4171-98b0-ed76720d68d3_en?filename=f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf [Stand: 21.07.2025].

FAO 2009

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): *How to Feed the World in 2050*, 2009. URL: https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf [Stand: 16.07.2025].

Kagermann et al. 2021a

Kagermann, H./Süssenguth, F./Körner, J./Liepold, A./Behrens, J. (Hrsg.): *Resilienz als wirtschafts- und innovationspolitisches Gestaltungsziel* (acatech IMPULS), München 2021. URL: <https://www.acatech.de/publikation/resilienz-als-wirtschafts-und-innovationspolitisches-gestaltungsziel/> [Stand: 16.07.2025].

Kagermann et al. 2021b

Kagermann, H./Streibich, K.-H./Suder, K. (Hrsg.): *Digitale Souveränität – Status quo und Handlungsfelder* (acatech IMPULS), München 2021. URL: <https://www.acatech.de/publikation/digitale-souveraenitaet-status-quo-und-handlungsfelder/> [Stand: 16.07.2025].

Kotz et al. 2024

Kotz, M./Kuik, F./Lis, E./Nickel, C.: „Global Warming and Heat Extremes to Enhance Inflationary Pressures“. In: *Communications Earth & Environment*, 5, 2024, Artikel 116. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01173-x>

Rat der Europäischen Union 2025

Rat der Europäischen Union: *Proteins for Food and Feed. Supply, Production and Sustainability. Exchange of Views*, 2025. URL: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-10940-2025-INIT/en/pdf> [Stand: 16.07.2025].

Sanktionsfrei e.V. 2025

Sanktionsfrei e.V.: *Wie geht es den Menschen im Bürgergeld-bezug?*, 2025. URL: <https://sanktionsfrei.de/studie25> [Stand: 16.07.2025].

Statista 2023

Statista: *Prognostizierter Marktwert von Smart Farming weltweit in den Jahren 2021 bis 2027*, 2025. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1331861/umfrage/marktwert-smart-farming-prognose-weltweit/> [Stand: 16.07.2025].

Systemiq 2025

Systemiq: *A Taste of Tomorrow. Wie sich die deutsche Wirtschaft durch Proteindiversifizierung voranbringen lässt*, 2025. URL: <https://gfiurope.org/de/wp-content/uploads/sites/2/2025/02/Systemiq-A-Taste-of-Tomorrow-Deutsche-Version.pdf> [Stand: 16.07.2025].

UN DESA 2019

United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA): *World Urbanization Prospects. The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*, 2019. URL: <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Report.pdf> [Stand: 16.07.2025].

UNEP 2024

United Nations Environment Programme (UNEP). *Food Waste Index Report 2024. Think Eat Save: Tracking Progress to Halve Global Food Waste*. URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/45230>. [Stand: 25.08.2025].



Verordnung (EG) Nr. 178/2002

Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 31/1 vom 01.02.2002. URL: https://www.bfr.bund.de/cm/343/2002_178_de_efs_a.pdf [Stand: 21.07.2025].

Verordnung (EU) Nr. 1169/2011

Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2011 betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel, Amtsblatt der Europäischen Union, Nr. L 304/18 vom 22.11.2011

URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R1169&from=EN> [Stand: 21.07.2025].

Verordnung (EU) Nr. 2015/2283

Verordnung (EU) Nr. 2015/2283 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2015 über neuartige Lebensmittel, Amtsblatt der Europäischen Union, Nr. L 327/1 vom 11.12.2015. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R2283> [Stand: 21.07.2025].

Wörner/Schmidt 2022

Wörner, J.-D./Schmidt, C. (Hrsg.): *Sicherheit, Resilienz und Nachhaltigkeit* (acatech IMPULS), München 2022. URL: <https://www.acatech.de/publikation/sicherheit-resilienz-und-nachhaltigkeit/> [Stand: 16.07.2025].



Über acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de.



Herausgeberin und Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Thomas Becker
Technische Universität München
Weihenstephaner Steig 20
85354 Freising

Prof. Dr. Andrea Büttner
Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung
Giggenhauser Straße 35
85354 Freising

Reihenherausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2025

| | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Geschäftsstelle | Hauptstadtbüro | Brüssel-Büro |
| Karolinenplatz 4 | Georgenstraße 25 | Rue d'Egmont/Egmontstraat 13 |
| 80333 München | 10117 Berlin | 1000 Brüssel (Belgien) |
| T +49 (0)89/52 03 09-0 | T +49 (0)30/2 06 30 96-0 | T +32 (0)2/2 13 81-80 |
| F +49 (0)89/52 03 09-900 | F +49 (0)30/2 06 30 96-11 | F +32 (0)2/2 13 81-89 |

info@acatech.de
www.acatech.de
acatech @ LinkedIn | Instagram

(Vize-)Präsidentinnen und Präsidenten: Prof. Dr. Claudia Eckert, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner, Prof. Dr. Ursula Gather, Dr. Stefan Oschmann, Prof. Dr.-Ing. Siegfried Russwurm, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt

Registergericht AG München VR 20 20 21
Vorstand i. S. v. § 26 BGB: Prof. Dr. Claudia Eckert, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Wolfgang Siegel

Empfohlene Zitierweise:

Becker, T./Büttner, A. (Hrsg.): *Food Tech Made in Germany. Innovationen für eine resiliente, souveräne und nachhaltige Lebensmittelproduktion der Zukunft* (acatech IMPULS), München 2025. DOI: https://doi.org/10.48669/aca_2025-7

ISSN 2702-7627

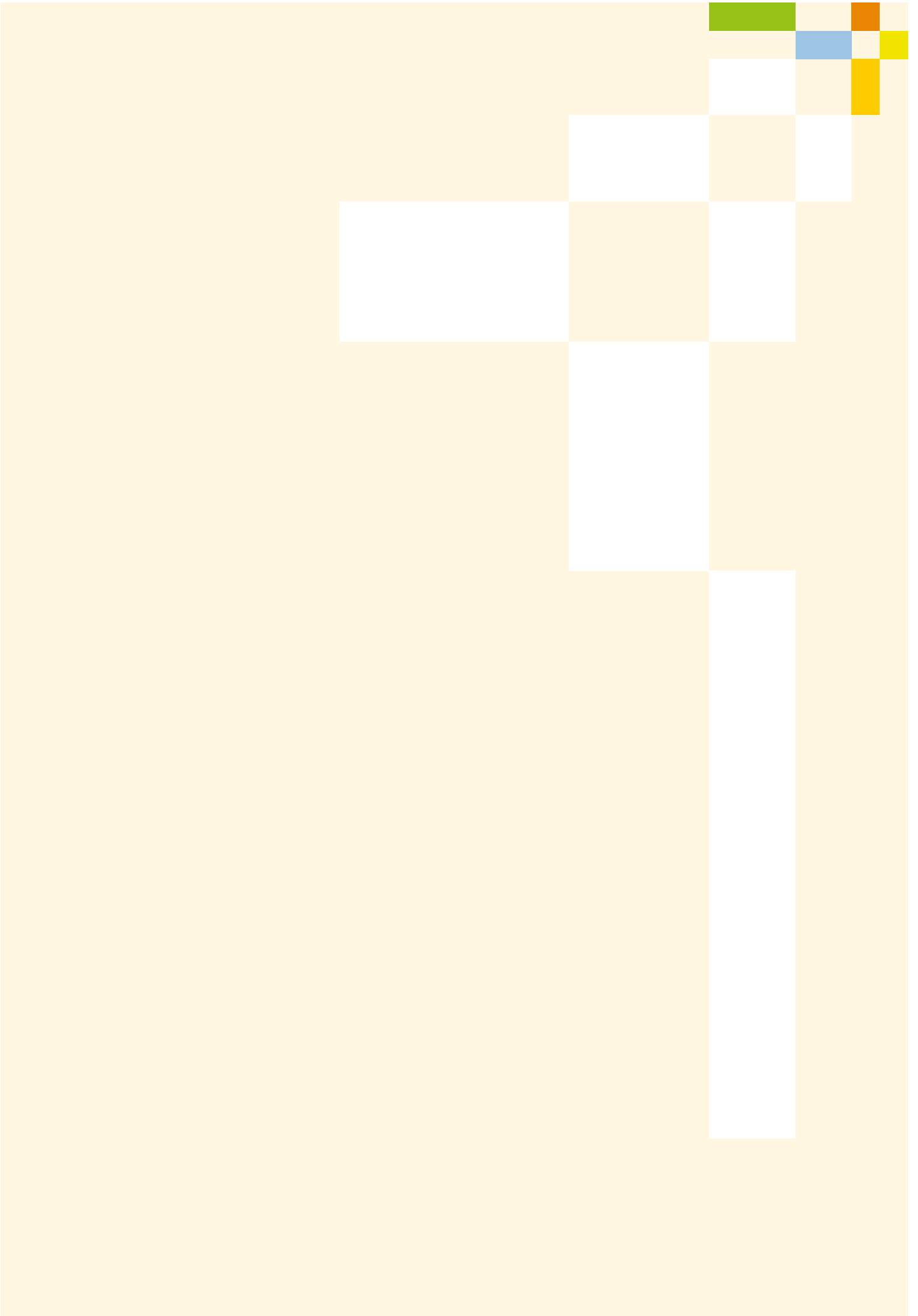
Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

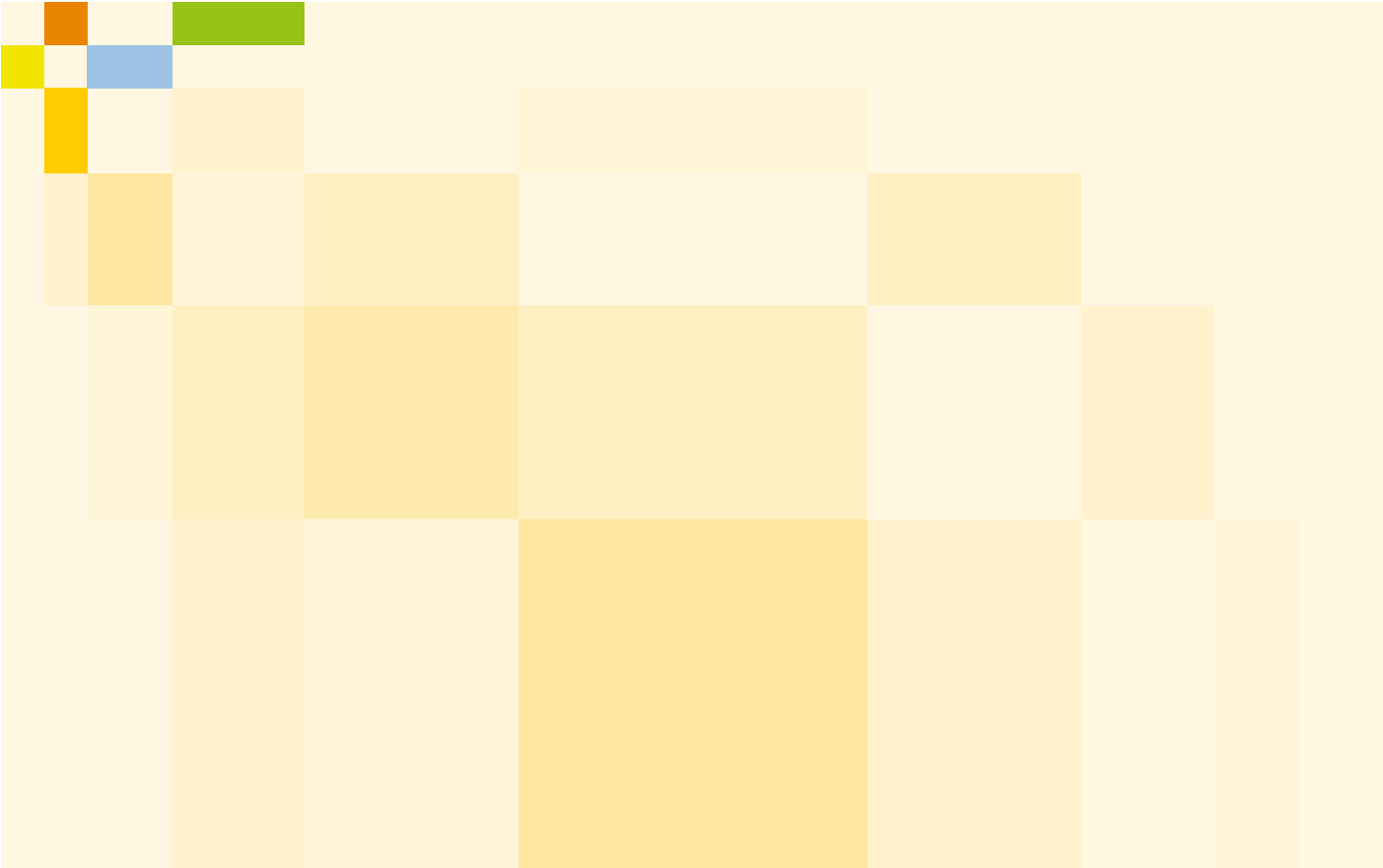
Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften • 2025

Koordination: Dr. Steffen Steglich, Dr. Martin Bimmer, Dr. Sandra Fendl
Lektorat: Textkuss – Werkstatt für Sprache und Struktur
Layoutkonzeption, Konvertierung und Satz: GROOTHUIS. Gesellschaft der Ideen und Passionen mbH für Kommunikation und Medien, Marketing und Gestaltung, groothuis.de
Titelbild: generiert mit midjourney

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.acatech.de.





Globale Herausforderungen wie Bevölkerungswachstum, Flächenknappheit, veränderte Essgewohnheiten, Klimawandel und unvorhersehbare Krisen oder Pandemien setzen bestehende Lebensmittelsysteme zunehmend unter Druck. Eine widerstandsfähige, nachhaltige und souveräne Lebensmittelproduktion ist entscheidend, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Erforderlich sind systemische und ganzheitliche Lösungsansätze entlang der gesamten Wertschöpfungskette – von der Primärproduktion bis zum Verbrauch. Technologische Innovationen aus Agrar-, Bio-, Lebensmittel- und Ingenieurwissenschaften bilden, wenn interdisziplinär gedacht und umgesetzt, ein zentrales Steuerelement.

Dieser acatech IMPULS zeigt strategischen Handlungsbedarf auf und fordert eine transdisziplinäre Initiative, die Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie Zivilgesellschaft zusammenführt. Ziel muss es sein, Forschung und Entwicklung strategisch zu fördern, Innovationen in der Praxis umzusetzen und damit die Grundlagen für ein zukunftsfähiges, resilientes Lebensmittelsystem zu schaffen.