

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Innovationswettbewerb

„Künstliche Intelligenz als Treiber für  
volkswirtschaftlich relevante  
Ökosysteme“



RESOURCE-  
EFFICIENT,  
ECONOMIC AND  
INTELLIGENT  
FOODCHAIN

Anwendungspotentiale  
künstlicher Intelligenz zur  
Verlustvermeidung in der  
Lebensmittelwertschöpfungskette

### Konsortialpartner



### Assoziierte Partner



## HERAUSFORDERUNGEN

In Deutschland werden jedes Jahr mehrere Millionen Tonnen an Lebensmitteln vernichtet, da diese aus verschiedenen Gründen nicht mehr für den Verzehr geeignet sind. Studien belegen, dass je nach Produkt bis zu 60 % der Verluste während des Herstellungsprozesses entlang der Wertschöpfungskette entstehen [1–3]. Bisher konnten diese offensichtlichen und umfangreichen Defizite nicht behoben werden, weil Lebensmittelverarbeitung und Bereitstellung hochkomplexe Systeme mit vielen unterschiedlichen Akteuren bilden. Die strengen Anforderungen an die Produktsicherheit, die geringe Planbarkeit in der Landwirtschaft und unzählige produktspezifische Randbedingungen verhindern einfache Lösungen.

Lebensmittel unterliegen starken Nachfrageschwankungen, die oftmals von einer Vielzahl von interagierenden und schwer vorherzusagenden Faktoren abhängen. In der Regel bevorzugen Lebensmittelproduzenten eine Überproduktion und Vernichtung von Lebensmitteln gegenüber der Gefahr, bei einer plötzlich steigenden Nachfrage nicht lieferfähig zu sein. Die Gründe für Lebensmittelverluste in einer Stufe der Wertschöpfungskette liegen somit oftmals in den ihr nachgelagerten Stufen. Insbesondere im Bereich der leicht bzw. schnell verderblichen Produkte, welche den größten Anteil der Lebensmittelverschwendung ausmachen, fehlt eine ganzheitliche Produktionsplanung unter Einbeziehung aller Wertschöpfungsstufen – von der Erzeugung über die Verarbeitung bis hin zum Verbraucher. Diese hohe Planungskomplexität ist mit konventionellen Ansätzen nicht zu beherrschen.

Lebensmittel sind Naturprodukte und unterliegen somit saisonalen Qualitätsschwankungen. Gepaart mit starren Verarbeitungsprozessen und einem hohen Verbraucheranspruch an die Qualität der weiterverarbeiteten Produkte führt dies einerseits dazu, dass Lebensmittel erst gar nicht verarbeitet werden und andererseits zu qualitätsbedingtem Ausschuss in den Produktionsbetrieben.

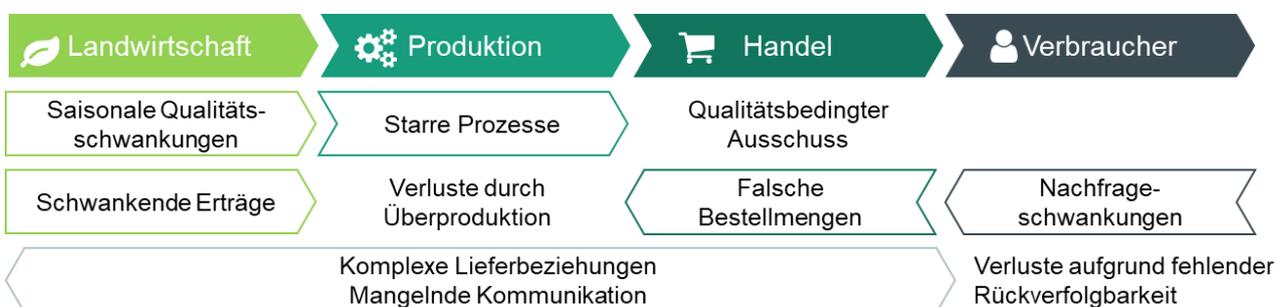


Abbildung 1: Gründe für Lebensmittelverluste entlang der Wertschöpfungskette

Weiterhin ist die vom Gesetzgeber geforderte lückenlose Rückverfolgbarkeit durch alle Wertschöpfungsstufen aktuell nicht immer gewährleistet, da die Lebensmittelindustrie ein

hochkomplexes Netzwerk mit vielfältigen Lieferbeziehungen darstellt und mit konventionellen Methoden oftmals der Überblick über die Lieferkette verloren geht. Dadurch sehen sich Akteure immer wieder gezwungen, Lebensmittel zu vernichten, die eigentlich noch essbar wären. Auf Grund der strengen gesetzlichen Regelungen werden in der Lebensmittelindustrie jedoch überdurchschnittlich viele Daten generiert, die den Nährstoff eines jeden Ansatzes von künstlicher Intelligenz (KI) bilden.

## HOHE POTENTIALE BEI MILCH, FLEISCH UND BACKWAREN

Basierend auf durchgeführten Analyse, sollen im Forschungsprojekts REIF die drei Wertschöpfungsnetzwerke Molkerei, Fleisch und Backwaren adressiert werden. Hierfür gibt es mehrere Gründe: Zum einen finden in diesen drei Branchen mitunter aufgrund der leichten Verderblichkeit besonders hohe Lebensmittelverluste statt. Zudem erfordert die Herstellung und Verarbeitung entsprechender Produkte einen hohen Aufwand und führt somit zu hohen Produktionskosten. Ferner ist insbesondere bei Molkereiprodukten und Fleischwaren ein großer ökologischer Fußabdruck ersichtlich [4, 5], der eine Verschwendung besonders problematisch macht.

Die Molkereiindustrie stellt aufgrund der aus dem Ausgangsprodukt Milch erzielbaren Produktvariation (Milch, Käse etc.) eine sehr komplexe Wertschöpfungskette dar. In der Herstellung und dem Handel werden in Deutschland dabei über 1,2 Mio. t (eigene Berechnung) als Lebensmittelverlust aufgezeigt. Nach der Vorverarbeitung (Entrahmung etc.) teilt sich die Produktion in die gelbe Linie (Käseprodukte etc.) und die weiße Linie (Frischmilchprodukte) auf. Als Ursache für die hohe Verschwendung sind die durch eine falsche Bedarfsermittlung bedingte Überproduktion sowie der qualitäts- und steuerungsbedingte Ausschuss im Produktionssystem zu nennen.

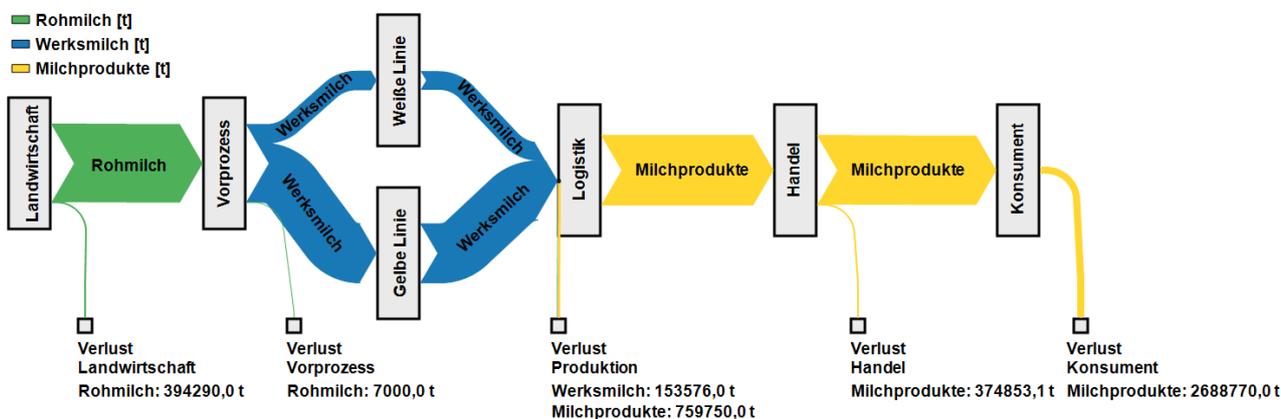


Abbildung 2: Wertschöpfungskette Molkereiindustrie

Die Wertschöpfungskette der deutschen Fleischindustrie weist einen Gesamtverlust von über 1,4 Mio. t auf [1]. Nach der Aufzucht wird das Tier der Schlachtung, der Zerteilung und der Verpackung zugeführt. Zudem kann hier auch eine Weiterverarbeitung zu Wurstwaren erfolgen. Ein Hauptgrund für den hohen Lebensmittelverlust liegt vor allem bei den stark schwankenden, derzeit nur schwer vorherzusehenden Bestellmengen des Handels gegenüber den Produzenten. Basierend auf ungenügenden Absatzplänen lassen sich keine optimalen Produktionspläne in Form von Schneidplänen ableiten. Des Weiteren treten prozessuale Lebensmittelverluste aufgrund mangelhafter Verfügbarkeit und Effizienz der Verarbeitungsanlagen auf. Hinzukommend haben Experteninterviews im Rahmen der Wettbewerbsphase ergeben, dass besonders in der Fleischindustrie eine ungenügende Rückverfolgbarkeit ein Grund für die Vernichtung von Lebensmitteln ist.

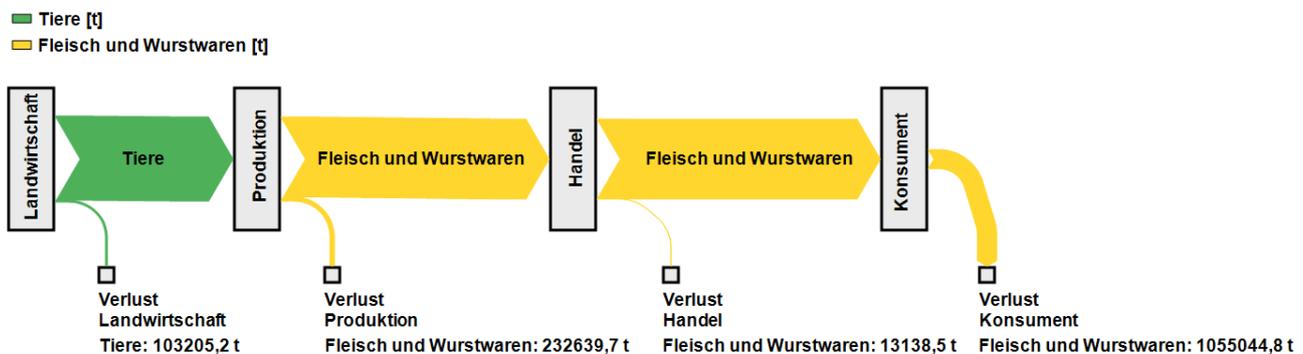


Abbildung 3: Wertschöpfungskette Fleischindustrie

Mit einem Verlust von 1,8 Mio. t. (eigene Berechnung) besitzt die Backwarenindustrie in Deutschland eine hohe Lebensmittelverschwendung in allen Gliedern des Netzwerks. Nach der agrarwirtschaftlichen Getreideerzeugung erfolgt die Weiterverarbeitung zu Mehlprodukten und schließlich unter Einsatz weiterer Zusätze (Salz, Hefe etc.) zu Backwaren. Im Bereich der Produktion ist dabei in Frisch- und Tiefkühlware zu unterscheiden. Hohe Lebensmittelverluste treten neben dem Endverbraucher vor allem in der Backwarenproduktion (z. B. hohe Rate an Brotfehlern, starre Produktionsprozesse) und im Handel (Überproduktion, unzureichend abgestimmte Bedarfszahlen) auf. Hier kann durch qualitätsgeführte Herstellungsprozesse der Ausschuss in der Bäckerei vermindert und durch exakte Bedarfsprognosen die richtige Menge an Backwaren in den Verkauf gebracht werden.

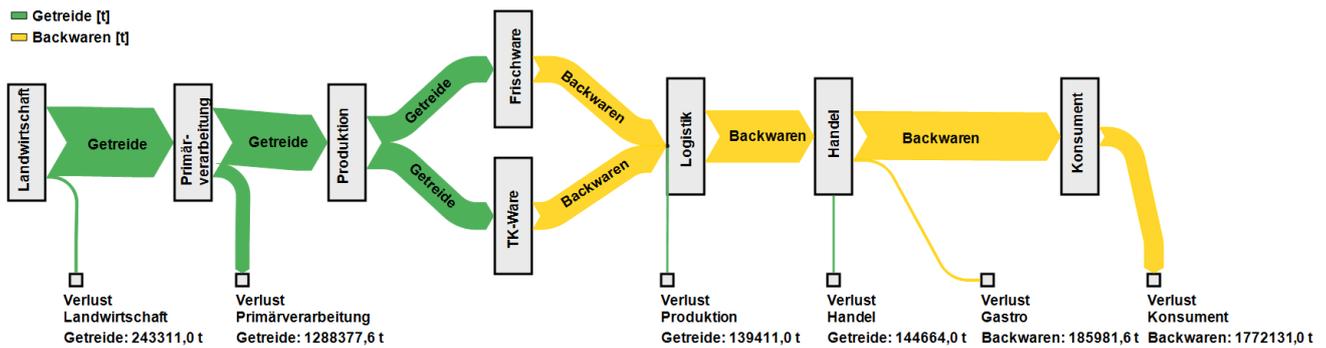


Abbildung 4: Wertschöpfungskette Backwarenindustrie

## LÖSUNGEN DURCH KÜNSTLICHE INTELLIGENZ – LOKAL UND GANZHEITLICH

Prozessbedingte Abhängigkeiten innerhalb lebensmittelverarbeitender Unternehmen und vielfältige Lieferrelationen zwischen interagierenden Akteuren führen zu enormer Komplexität in den Wertschöpfungsketten der Lebensmittelindustrie. Konventionelle Technologien stoßen hier an ihre Grenzen und sind nicht in der Lage, einen signifikanten Beitrag zur Vermeidung auftretender Lebensmittelverschwendung zu leisten. Im Gegensatz dazu versprechen innovative Ansätze wie der Einsatz von KI, die durch Überproduktion und Ausschuss verursachte Lebensmittelverschwendung zu reduzieren. So ist die Anwendung von KI-Methoden in der Lebensmittelindustrie aufgrund der verteilten Generierung enormer Datenmengen über den gesamten Wertschöpfungsprozess – z. B. zur Einhaltung der vom Gesetzgeber geforderten lückenlosen Rückverfolgbarkeit – gerade prädestiniert.

Für eine in REIF angestrebte Reduzierung der Lebensmittelverluste um bis zu 90 % sollen für einzelne Akteure und entlang der Wertschöpfungskette KI-Anwendungen in verschiedenen Teilprojekten (TP) entwickelt und damit folgende Teilziele verfolgt werden:

- Aufbau eines vernetzten KI-Ökosystems als Rahmen zur Erhöhung der Transparenz in den Wertschöpfungsnetzwerken der Lebensmittelindustrie (TP 1)
- Optimierung der Nachfrageprognose für verlustminimale Beschaffungs- & Verkaufsstrategien (TP 2)
- Unternehmensübergreifende Synchronisierung von Angebot und Nachfrage als Basis für die Koordination des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks (TP 3)
- Etablierung verschwendungsminimierender Produktionssysteme (TP 4)
- Ableitung bedarfsgerechter Produktionspläne auf Basis prognostizierter Bedarfe (TP 5)
- Erhöhung der Zuverlässigkeit der Produktion durch eine Verbesserung der Anlagensteuerung unter Einsatz von KI (TP 6)

- Verbesserung der Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln entlang der Wertschöpfungsketten (TP 7)
- Reduzierung von qualitätsbedingten Lebensmittelverlusten durch eine autonome Regelung von Verarbeitungsprozessen (TP 8)

Zur Erreichung dieser Ziele wurde ein Konzept mit insgesamt acht Teilprojekten erarbeitet, welche in Abbildung 5 visualisiert und dieser nachfolgend detailliert erläutert werden.

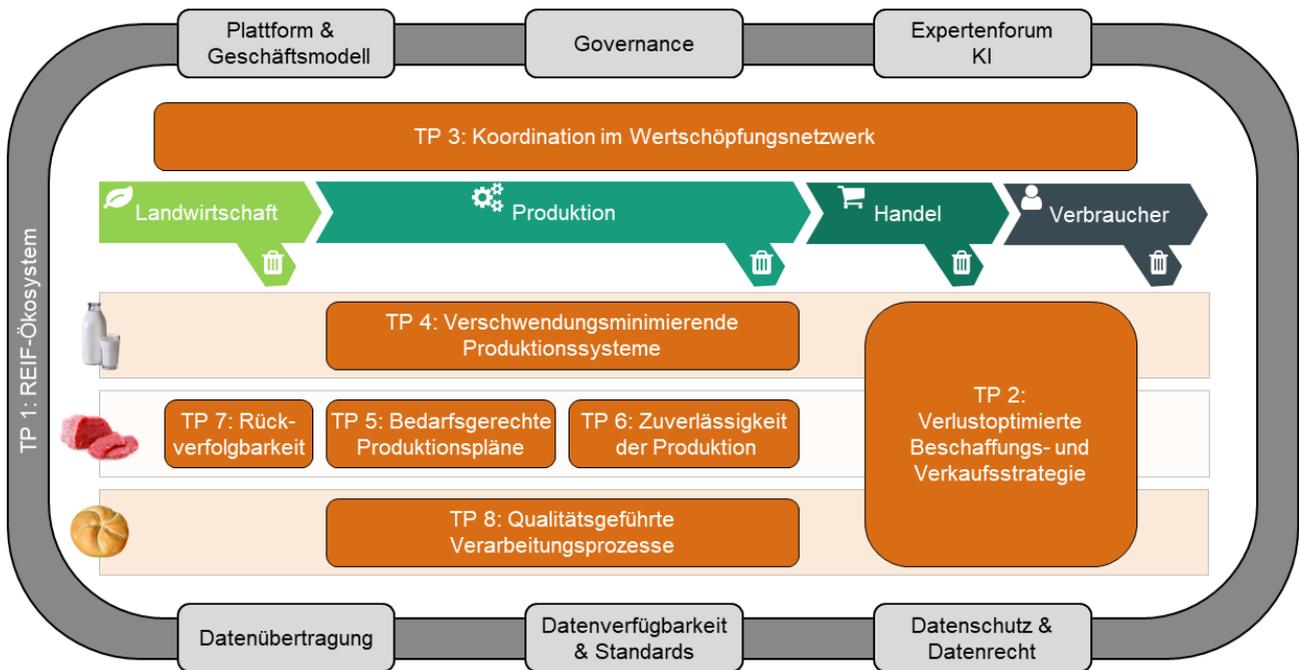


Abbildung 5: REIF Struktur mit Teilprojekten (TP)

Für eine ganzheitliche Betrachtung von Lebensmittelverlusten in den drei im Zuge von REIF adressierten Lebensmittelbranchen Molkerei, Fleisch und Backwaren widmet sich TP1 dem Aufbau eines hinsichtlich organisatorischer, wirtschaftlicher und technischer Aspekte gestalteten KI-Ökosystems, das Stakeholder sämtlicher Wertschöpfungsstufen integriert. Die REIF-Plattform als zentrale Instanz für diese Integration bildet den Kern des REIF-Ökosystems und ermöglicht das Interagieren von Wertschöpfungspartner in einem durch die Governance festgelegten Rahmen. Um dabei den optimalen Datenaustausch zwischen einzelnen Akteuren sicherzustellen, finden beim Aufbau Themen wie Datenverfügbarkeit und Standards, Datenübertragung und Datenschutz sowie Datenrecht Berücksichtigung. Ein zentral organisiertes Expertenforum sorgt begleitend für die stetige Weiterentwicklung der KI-Verfahren und für das Management des in REIF generierten Wissens.

Um die Lebensmittelverschwendung entlang der Wertschöpfungsketten zu reduzieren, werden im TP 2 unter Einbezug des Handels und des Endverbrauchers KI-basierte Prognose-

verfahren entwickelt und diese in für den Handel verlustminimale Beschaffungs- und Verkaufsstrategien überführt. Die prognostizierten Bedarfe bilden gleichzeitig die Basis für TP 3, in welchem eine unternehmensübergreifende Koordinationsinstanz über KI-Algorithmen für eine optimale netzwerkweite Synchronisierung von Angebot und Nachfrage sorgt. Weitere Potenziale werden durch die Gestaltung verschwendungsminimierender Produktionssysteme in TP 4 ausgeschöpft. Gerade in der Molkereiindustrie gehen Lebensmittelverluste mitunter auf mangelnde Effizienz und Effektivität im Produktionssystem zurück, sodass dieser Ansatz für REIF eine Verlustreduzierung um zusätzliche 10 % verspricht. Die KI findet hier bei der Prozess-Steuerung unter Berücksichtigung variierender Eingangsparameter sowie intelligenter Entscheidungsunterstützung für die Produktionssteuerung Anwendung. Weitere Lebensmittelverluste werden durch Ableitung bedarfsgerechter Produktionspläne in TP 5 adressiert. Auf Basis der in TP 2 genierten Nachfrageprognosen sollen im Zuge dessen Schneidpläne für die Fleischindustrie KI-basiert entwickelt und damit Ausschuss und Überproduktion bereits bei Zerlegung der Tiere vermieden werden. Um in der Fleischindustrie weitere Potenziale zu heben, wird in TP 6 eine Erhöhung der Zuverlässigkeit von Fleischverarbeitungsanlagen durch eine optimierte Anlagenregelung und in TP 7 die Entwicklung KI-basierter Verfahren für eine verbesserte Rückverfolgbarkeit von Waren entlang der gesamten Wertschöpfungskette angestrebt. Expertenaussagen zu Folge verspricht die Umsetzung der TPs für die Branche eine Reduzierung der Lebensmittelverluste um ca. 2-5 %. Um auf hohe Anfahrverluste bei Sortimentswechseln auf den Produktionslinien zu reagieren, werden in TP 8 KI-Verfahren zur Realisierung qualitätsgeführter Verarbeitungsprozesse in der Backwarenindustrie entwickelt. Lebensmittelverschwendungen i. H. v. bis zu 225.000 kg/a pro Produktionslinie, die laut eines in REIF beteiligten Anwendungspartners in dieser Branche hierauf zurückzuführen sind, sollen mit diesem Ansatz begegnet werden.

## FAZIT

Die Zeit ist „REIF“, die Lebensmittelindustrie in Deutschland mit Hilfe der KI zu optimieren und eine möglichst verschwendungsfreie Versorgung zu gewährleisten. Methoden der KI sind bisher in diesem Wirtschaftsbereich wenig vertreten, besitzen aber die aufgezeigten Potenziale, die Verschwendung signifikant zu reduzieren. Das Forschungsprojekt „REIF – Resource-efficient, Economic and Intelligent Foodchain“ entwirft dazu ein gänzlich neues Ökosystem von dem die Lebensmittelindustrie, Anlagen- und Softwarehersteller und nicht zuletzt die Gesellschaft als Gesamtes profitieren können. Es folgt einem Zweiklang aus Minimierung von Überproduktion und Vermeidung von Ausschuss. Zum einen soll durch den verbesserten Daten- und Informationsaustausch entlang der Wertschöpfungskette nicht nur

der Bullwhip-Effekt minimiert, sondern mit Hilfe von KI auch die Nachfrage der Konsumenten genauer prognostiziert werden. Zum anderen sollen durch KI die Produktionsplanungen, -anlagen sowie -verfahren dazu befähigt werden, kurzfristig sowohl auf die schwankende Nachfrage als auch auf die schwankende Rohstoffqualität reagieren zu können. In Summe wird REIF mit der Bekämpfung der Lebensmittelverschwendung somit einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Lebensmittelproduktion leisten, wobei angesichts der absoluten Zahlen bereits kleine prozentuale Einsparungen einen großen Effekt haben. Durch die dabei realisierten Kosteneinsparungen wird REIF zur Stärkung der heimischen Lebensmittelindustrie beitragen. Mit 600.000 Beschäftigten und einem Umsatz von über 180 Mrd. € ist sie die viertgrößte Branche Deutschlands.

## INFORMATIONEN ZUM PROJEKT

Das KI Ökosystemkonzept *REIF* wurde in der Wettbewerbsphase des Innovationswettbewerbs „Künstliche Intelligenz als Treiber für volkswirtschaftlich relevante Ökosysteme“ des BMWi mit dem Ziel konzipiert, die Lebensmittelverschwendung in Deutschland durch den Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz signifikant zu reduzieren. Für die Umsetzung dieses Konzepts konnten 18 intensiv mitarbeitende sowie 12 assoziierte Partner aus Forschung, Industrie und Gesellschaft gewonnen werden. In einem wiederum durch das BMWi über die Jahre 2020-2023 mit einem Gesamtvolumen von über 10 Mio. € unterstützen Vorhaben, wird mit Vertretern aller relevanten Stakeholdern die Forschungs- und Entwicklungsarbeit für eine erfolgreiche Implementierung geleistet.

## LITERATUR

- [1] U. Eberle und J. Fels, „Environmental impacts of German food consumption and food losses“, *Int J Life Cycle Assess*, Jg. 21, Nr. 5, S. 759–772, 2016.
- [2] M. Kranert *et al.*, „Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland“, Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, 2012.
- [3] Å. Stenmarck, O. J. Hanssen, K. Silvennoinen, M. Katajajuuri und M. Werge, „Initiatives on prevention of food waste in the retail and wholesale trades“, 2011.
- [4] D. Jepsen, A. Vollmer, U. Eberle, J. Fels und T. Schomerus, „Entwicklung von Instrumenten zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen“, Dessau-Roßlau, 2014.
- [5] C. Göbel, N. Langen, A. Blumenthal, P. Teitscheid und G. Ritter, „Cutting Food Waste through Cooperation along the Food Supply Chain“, *Sustainability*, Jg. 7, Nr. 2, S. 1429–1445, 2015.