

Lebensmittel- verpackungskonzepte für die Kreislaufwirtschaft



Lebensmittelverpackungskonzepte für die Kreislaufwirtschaft

Autor:innen:

Alina Kleiner¹, Mara Strenger¹, Markus Schmid^{1,2}

¹Sustainable Packaging Institute SPI, Fakultät Life Sciences,
Hochschule Albstadt-Sigmaringen,
Anton-Günther-Str. 51, 72488 Sigmaringen

²Vorsitzender des DLG-Ausschusses Lebensmittelverpackung in der Supply Chain

Titelbild: © Robert Kneschke – stock.adobe.com / DLG

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung.

Herausgeber:

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

1. Auflage, Stand 3/2024

© 2024

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

1 Einführung

Die materielle Basis der Wirtschaft bilden Rohstoffe¹, die aus der Umwelt entnommen und nutzbar gemacht werden. In den letzten Jahrzehnten hat die Rohstoffentnahme weltweit drastisch zugenommen und die Wirtschaft hat kontinuierliches Wachstum erfahren. Im Vergleich zu 1970 werden heute fast dreimal so viele Rohstoffe verbraucht, wobei seit ca. 20 Jahren eine Verdopplung stattfand. [2, 3] Treiber für den zunehmenden Rohstoffverbrauch dürften nicht nur die sich seit 1970 mehr als verdoppelte Weltbevölkerung [4], sondern auch Konsumtrends entwickelter Länder sowie das in den bisherigen Schwellen- und Entwicklungsländern stattfindende Wirtschaftswachstum [5, 6] und der damit verbundene steigende Konsum sein [3]. Unendliches Wachstum kann es in einer Welt mit endlichen Rohstoffen aber nicht geben [7–9]. Dies betrifft sowohl den individuellen Konsum als auch die Neukonzeptionierung der Produktion zugrundeliegender Wertschöpfungsmuster [10]. Ressourceneffizienz [6], Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Lieferketten sind dabei ebenso erforderlich wie die Vermeidung von und der verantwortungsvolle Umgang mit „Abfällen“ [10]. Neben den ökologischen und sozialen Gründen sprechen aber auch ökonomische Gründe für einen grundlegenden Wandel von der heute weitgehend linearen Wirtschaftsweise hin zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft [5]. Die europäische Wirtschaft ist in vielen Fällen von Rohstoffimporten abhängig. Diese Abhängigkeit könnte in zunehmendem Maße zu einer Quelle der Verwundbarkeit werden, da der wachsende globale Wettbewerb um natürliche Ressourcen zu einem deutlichen Anstieg des Preisniveaus und der Preisvolatilität beigetragen hat. Selbst wenn Ressourcen in absoluten Zahlen nicht knapp sind, sind viele natürliche Ressourcen weltweit ungleich verteilt, was den Zugang und die Preise unbeständiger macht und das Konfliktpotenzial verschärft. [6]

Die Notwendigkeit des Wandels hin zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft betrifft auch die Verpackungsindustrie. Dies gilt insbesondere für Verpackungen von Fast Moving Consumer Goods (FMCG), zu denen auch die meisten Lebensmittel gehören. FMCG Verpackungen haben eine kurze Nutzungsdauer von wenigen Tagen oder Wochen [11] und stehen sinnbildlich für die heutige Wegwerfgesellschaft [12, 13], die auch als lineare Ökonomie bezeichnet und häufig als „take-make-waste“ beschrieben wird [13–16].

Die europäische Politik begegnet den ökologischen Herausforderungen mit einer Vielzahl an Fahrplänen und daraus resultierenden Regularien, unter anderem mit dem European Green Deal. Ein Ziel des Green Deals ist die Maßnahmen-erarbeitung zur Bekämpfung von überflüssigen Verpackungen, um eine Abfallreduktion zu erreichen [17]. Zur Förderung der Kreislaufwirtschaft ist der Circular Economy Action Plan (CEAP) ein zentrales Element des Green Deals. Der CEAP zielt darauf ab, das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung zu entkoppeln und zugleich die langfristige Wettbewerbsfähigkeit der EU zu sichern. [13]. Im Einklang mit dem Ziel des Green Deals, überflüssige Verpackungen zu bekämpfen [17], geht aus dem CEAP ein Vorschlag für eine neue europäische Verordnung über Verpackungen und Verpackungsabfälle hervor (Proposal for a Regulation on Packaging and Packaging Waste – PPWR) [18].

Neben der Politik sieht sich auch die Verpackungs- und Lebensmittelindustrie im Spannungsfeld zwischen Umweltschutz, Wirtschaftswachstum und sozialer Gerechtigkeit [19], in dem die nachhaltigere Verpackungskonzeptionierung eine Herausforderung darstellt. Die Schlüsselrolle für die Umweltverträglichkeit von Lebensmittelverpackungen liegt dabei in der spezifischen Abstimmung der Verpackungseigenschaften auf die Lebensmittelanforderungen. In den meisten Fällen ist der überwiegende Teil des gesamten Ressourcenverbrauchs des Produktverpackungssystems mit dem Lebensmittel und nicht mit der Verpackung verbunden. Funktionelle Verpackungen mit ausreichendem Produktschutz können Lebensmittelabfälle vermeiden [20, 21], bspw. durch Verlängerung des Mindesthaltbarkeits- bzw. Verbrauchsdatums [22]. Daher ist der Schutzfunktion der Verpackung bei der Reduktion von Ressourcenverschwendung und von ungünstigen potenziellen Umweltauswirkungen oberste Priorität einzuräumen. Vor allem Kunststoffe können bei verhältnismäßig geringem Materialeinsatz, im Vergleich zu anderen Packstoffen, die packgutseitig teils hohen Anforderungen an den Produktschutz erfüllen und weisen damit eine hohe Effizienz auf [23–25]. Dies dürfte einer der Gründe sein, weshalb kunststoffbasierte Lebensmittelverpackungen in Deutschland im Jahr 2020 mit 41 % den größten Marktanteil, gemessen am Umsatz, unter den Packstoffen ausmachen [26]. Dabei ist der Umweltnutzen durch vermiedene Lebensmittelabfälle, besonders bei ressourcenintensiven Lebensmitteln, wie bspw. Fleisch, etwa 5-10 Mal höher als die Umweltbelastung durch die Verpackung

¹ Als Rohstoffe sind geförderte Reserven, die für den Produktionsprozess von Gütern benötigt werden, zu verstehen. Im Gegensatz dazu sind Ressourcen nachgewiesene, aber derzeit technisch und/oder wirtschaftlich nicht gewinnbare sowie nicht nachgewiesene, aber geologisch mögliche, künftig gewinnbare Mengen an Rohstoffen. [1].

[22]. Funktionelle Verpackungen haben somit das Potenzial, potenzielle Umweltauswirkungen durch die Vermeidung von verpackungsbedingten Lebensmittelabfällen zu reduzieren [27].

Trotz des Potenzials von funktionellen Verpackungen, potenzielle Umweltwirkungen zu reduzieren [27], werden diese in Nachhaltigkeitsdebatten, u. a. aufgrund des steigenden Aufkommens an Verpackungen und Verpackungsabfällen, kontrovers diskutiert und ihr Beitrag zur Umweltentlastung wenig wertgeschätzt [28, 29]. Deutschland trug zu diesem steigenden Verpackungsaufkommen im Jahr 2018 mit einem neuen Höchststand von landesweit ca. 18,86 Mio. Tonnen Verpackungsverbrauch bei [30]. Dies kann zu unterschiedlichen Umweltproblematiken führen, wenn Verpackungsabfälle, bspw. durch unsachgemäße Entsorgung, in die Umwelt gelangen, was die bereits öffentlich thematisierten terrestrischen und aquatischen Umweltverschmutzungen zur Folge hat [19]. Explizit der Umwelteintritt von Kunststoffen ist ein Thema von zunehmender Bedeutung [31–33]. Neben direkt sichtbarer Landschaftverschmutzung durch Verpackungsabfälle, verursacht die Kunststoffverschmutzung, bspw. durch Nano- und Mikrokunststoff oder per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)² [34], in Boden-, Meeres- und Süßwasserökosystemen ernsthafte Probleme für bspw. lebende Organismen und kann die menschliche Gesundheit gefährden [32, 35–37]. Die genannten Umweltfolgen in Kombination mit der anteilmäßig hohen Einsatzmenge von Kunststoffen für Lebensmittelverpackungen sind Gründe, warum für keinen anderen Packstoff vergleichbare gesetzliche Maßnahmen, wie die sogenannte „Single-Use Plastics Directive“ [38] existieren. Dies hat jedoch nicht zu bedeuten, dass andere Packstoffe pauschal mit geringeren potenziellen Umweltwirkungen verbunden sind als Kunststoffe [39].

Tatsache ist, dass Wertstoffe, wie bspw. Verpackungsabfälle aus Kunststoff, die als Sekundärrohstoffe im Kreislauf geführt werden, seltener in die Umwelt gelangen als nicht recyclingfähige Produkte. Deshalb kann eine Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen einen Beitrag zur Verringerung des Kunststoffeintritts in die Umwelt und dessen Folgen leisten. [40]

Vor dem Hintergrund der globalen Herausforderungen, die eine Kreislaufwirtschaft erfordern, den daraus resultierenden rechtlichen Rahmenbedingungen und dem Spannungsfeld zwischen Funktionalität und Kreislauffähigkeit von Lebensmittelverpackungen, stellt sich die folgende Leitfrage dieses Expertenwissens.

„Inwiefern ist das Konzept einer Kreislaufwirtschaft unverzichtbar bei Lebensmittelverpackungen und welche Strategien ermöglichen eine erfolgreiche Umsetzung?“

2 Grundprinzipien der Kreislaufwirtschaft

2.1 Begriffsdefinition

Der Begriff der Kreislaufwirtschaft ist in Deutschland eng verknüpft mit dem Bewusstsein für eine funktionierende Abfallwirtschaft. Eine getrennte Abfallsammlung in Kombination mit stetig weiterentwickelten Sortier- und Behandlungsanlagen ermöglichen eine Recyclingwirtschaft, in der Abfälle als Rohstoffe gesehen und Stoffkreisläufe geschlossen werden sollen. [41] Kreislaufwirtschaft im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) umfasst ausdrücklich die Vermeidung, Wiederverwendung, stoffliche und thermische Verwertung sowie die Beseitigung von Abfällen [42].

Die Circular Economy (CE) gemäß des CEAP der EU geht über die bloße Behandlung von Abfällen hinaus. Die CE umfasst einen Systemwandel des Wirtschaftssystems. Dabei werden auch Handlungsfelder wie Beschäftigung und Wachstum, Klima und Energie, die sozialpolitische Agenda, industrielle Innovationen, Produktdesign, Verarbeitung und nicht zuletzt Ressourceneffizienz und Ressourcenschutz adressiert. [13]

Ergänzend existiert eine Vielzahl an Definitionen einer Kreislaufwirtschaft von unterschiedlichen Initiativen, wie bspw. der Ellen MacArthur Foundation oder für unterschiedliche Konzepte wie bspw. Zero-Waste oder Cradle-to-Cradle (C2C)

2 PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen sind sehr stabil, sowie wasser-, schmutz-, und fettabweisend. Aufgrund dieser Eigenschaften werden sie für verschiedenste Anwendungen wie z. B. Outdoor-Ausrüstung, Kochgeschirr, schmutzabweisende Teppiche oder Nahrungsmittelverpackungen eingesetzt. [34].

[43]. Die grundlegenden Ziele und Prinzipien einer Kreislaufwirtschaft mit den unterschiedlichen Konzepten weisen dabei häufig Schnittmengen auf und lassen sich folgendermaßen beschreiben:

2.2 Ziele und Prinzipien

Ziel einer Kreislaufwirtschaft ist es, den Wert von Produkten und den dafür eingesetzten Ressourcen so lange wie möglich zu erhalten und so wenig wie möglich – im Idealfall sogar gar keinen – Abfall zu erzeugen [5, 41, 43, 44]. Das schließt die Wiederverwendung gebrauchter Produkte und Materialien ebenso ein wie den längeren Gebrauch, anstatt eines Verbrauchs, im Sinne einer Verlängerung der Lebensdauer, von Produkten und die intensivierete Nutzung von Konsum- und Industriegütern. [5] Auf diese Weise soll eine Kreislaufwirtschaft zur Schonung natürlicher Ressourcen einschließlich des Klimaschutzes, dem Schutz der Umwelt [45] und der menschlichen Gesundheit beitragen [41]. Natürliche Ressourcen und die menschliche Gesundheit können bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen dadurch geschützt werden, dass umwelt- und klimaschonende Entsorgungsverfahren zum Einsatz kommen und Schadstoffe in Stoffkreisläufen vermindert oder vermieden [6, 46] bzw. gezielt aus Stoffkreisläufen entfernt werden [41]. Die ungünstigen potenziellen Umweltwirkungen entlang des Lebenszyklus von Produkten und Materialien sollen durch Einsparung von Primärmaterialien und deren Substitution mit Sekundärmaterialien reduziert werden [41]. Dabei ist der gesamte Lebenszyklus, von der Rohstoffgewinnung über die Produktion, die Lagerung und den Konsum bis hin zur Entsorgung bzw. Kreislaufführung am Lebensende sowohl auf stofflicher als auch auf energetischer Ebene zu betrachten [43].

Das **Cradle-to-Cradle-Konzept** orientiert sich an natürlichen Stoffkreisläufen. Dabei gibt es keine Abfälle, sondern nur wertvolle Ressourcen. Jeder Output eines Prozesses stellt den Input für einen anderen Prozess dar. Das Konzept unterteilt Materialien und Ressourcen in zwei Kreisläufe – den biologischen und den technischen Kreislauf. In beiden Kreisläufen sollen alle Materialien ohne schädliche Umweltauswirkungen sein und dauerhaft zirkulieren können. Produkte, die für den biologischen Kreislauf konzipiert sind, werden als Verbrauchsprodukte bezeichnet. Dazu gehören z. B. Produkte, die während ihrer Lebensdauer tatsächlich verbraucht werden können (z. B. durch physischen Abbau oder Abnutzung). Im technischen Kreislauf hingegen werden Materialien oder Ressourcen zirkuliert, die das Potenzial haben, in einem geschlossenen Kreislauf über viele Produktlebenszyklen hinweg ohne Qualitätsverlust geführt werden zu können. [47] In der Praxis sind geschlossene Kreisläufe, sogenannte closed-loop Systeme, jedoch stets rohstoffseitig mit Verlusten verbunden [41, 48].

Die „**3 R's**“ – **reduce, reuse, recycle** – sind Prinzipien, die zu einer Kreislaufwirtschaft beitragen [43, 49]. Das Prinzip der Verringerung bzw. Vermeidung (reduce) zielt darauf ab, die Gesamtmenge der im Wirtschaftsmodell erzeugten Materialien, Ressourcen [50] und Abfälle zu minimieren, um damit auch die schädlichen Auswirkungen des erzeugten Abfalls auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit zu reduzieren [51]. Zum Ansatz der Vermeidung können auch unterschiedliche Zero-Waste-Initiativen gezählt werden [41]. Die Wiederverwendung umfasst Verfahren, bei denen Produkte oder einzelne Produktbestandteile nicht zu Abfall werden, sondern für denselben Zweck wiederverwendet werden [51]. Die Wiederverwertung im Sinne des Recyclings bezieht sich auf jedes Verfahren, bei dem Abfallstoffe zu Produkten oder Materialien wiederaufbereitet werden, sei es für den ursprünglichen oder einen anderen Zweck [51]. Im Rahmen der 3 R's spielt die Abfallvermeidung, nicht zuletzt aufgrund der Abfallhierarchie gemäß RL 2008/98/EC (siehe Kapitel 3.4), eine übergeordnete Rolle [43]. Die Vermeidung von Abfällen und Reststoffen ist der Kreislaufführung grundsätzlich vorzuziehen, da letztere immer verlustbehaftet und mit Energieaufwendungen verbunden ist [41]. Abfallvermeidung kann quantitativer (Abfallmenge reduzieren) und qualitativer (Minderung des Gehalts an schädlichen Stoffen in Materialien) Art sein [41, 51]. Die qualitative Abfallvermeidung wie die Produktion schadstoffarmer und -freier Produkte dient der verminderten Freisetzung von Schadstoffen während der Nutzungsphase und der Schadstoffakkumulierung bei der Kreislaufführung [41]. Die Verringerung des Abfallaufkommens [6] kann bspw. durch eine längere Nutzungsdauer oder die Wiederverwendung von Produkten erreicht werden [41]. An dieser Stelle kommt es zu Schnittmengen der Prinzipien reduce und reuse.

Um einen tatsächlichen Beitrag zur Senkung des Primärressourcenbedarfs zu leisten, ist es hinsichtlich des **Recyclings** erforderlich, **hochwertige Kreisläufe** zu realisieren [6], in denen die Materialqualitäten der Rezyklate mit denen der entsprechenden Primärrohstoffe vergleichbar sind. Diese Voraussetzung liegt auch dem Cradle-to-Cradle Prinzip zugrunde [47]. Ein Downcycling, bei dem qualitätsgeminderte Rezyklate erzeugt werden, in denen Funktionsmaterialien unwiederbringlich verlorengehen oder sich Kontaminationen anreichern, ist möglichst zu vermeiden [6]. Die so erzeugten qualitativ minderwertigeren Rezyklate gelangen häufig in (technisch) weniger anspruchsvolle Anwendungen, in denen sie nicht

dasselbe Umweltentlastungspotenzial entfalten. Andernfalls müssen die minderwertigeren Rezyklate soweit mit Primärrohstoffen versetzt werden, dass sie wieder technischen oder regulatorischen Qualitätsanforderungen genügen. [41] Wo kein hochwertiges Recycling möglich ist, ist eine Kaskadennutzung³ von Produkten und Materialien anzustreben [6].

Werden die Abfallvermeidung, Wiederverwendung und ein hochwertiges Recycling sowie das Konzept Cradle-to-Cradle schon im Designprozess von Produkten berücksichtigt, können von Anfang an Produkte konzeptioniert werden, die nicht zu Abfall werden [6] bzw. bei denen am Ende eines Produktlebenszyklus eine Kreislaufführung steht [43].

2.3 Ökodesign und Design for Recycling

Bis zu 80 % der potenziellen Umweltwirkungen eines Produkts werden bereits in dessen Designprozess vorbestimmt [53, 54]. Designansätze wie ein Design for Recycling (D4R) oder Ökodesign sind daher unverzichtbare Elemente, wenn es um die Reduktion der potenziellen Auswirkungen von Produkten auf die Umwelt geht. Ökodesign ist ein Ansatz, der darauf abzielt, Umweltbelange des Lebenszyklus von Produkten schon frühzeitig in der Produktplanung, -entwicklung und -gestaltung mit einzubeziehen. Dabei wird die Entwicklung von Produkten angestrebt, die bei optimaler Funktionsfähigkeit möglichst wenig Ressourcen und Energie benötigen und nur ein Minimum an Schadstoffen – oder gar keine – enthalten [6]. Ökodesign zielt auch auf die Verminderung von entstehenden Emissionen und Abfall ab. [53] Die Ziele des Ökodesigns überschneiden sich größtenteils mit denen einer Kreislaufwirtschaft. Einige Produktaspekte, die im Vorschlag für eine neue Ökodesign-Verordnung [55] adressiert werden und im Kontext der Kreislaufwirtschaft stehen, sind bspw.

- der Einsatz von Rezyklaten
- die Wiederverwendbarkeit
- die Nachrüst- und Reparierbarkeit
- das Vorhandensein besorgniserregender Stoffe
- voraussichtlich entstehende Abfallstoffe
- die Möglichkeit der Wiederaufbereitung und des Recyclings sowie der Verwertung von Materialien.

Verschiedene Leitfäden bieten Hilfestellungen beim Ökodesign von Produkten [56–58]. Speziell für das Ökodesign von Kunststoffverpackungen existiert der Leitfaden des Runden Tisches von Kunststoffverpackungen [59].

Die Recyclingfähigkeit stellt einen relevanten Produktaspekt im übergeordneten Kontext Ökodesign dar [60]. Um Produkte recyclingfähig zu konzeptionieren, sind unterschiedliche Anforderungen zu berücksichtigen. Speziell für Verpackungen gibt der Mindeststandard zur Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen [61] eine Orientierung, unter welchen Bedingungen Verpackungen in Deutschland als recyclingfähig gelten. Dabei werden das Vorhandensein einer Sortier- und Verwertungsinfrastruktur, die Sortierbarkeit und Trennbarkeit der Verpackung sowie etwaige vorhandene Recyclingunverträglichkeiten berücksichtigt. [61]

Weitere Leitfäden, Bewertungskataloge und Guidelines unterschiedlicher Institutionen, wie bspw. von Interseroh [60], Recoup [29, 62] oder RecyClass [63], berücksichtigen teilweise den Mindeststandard der Zentralen Stelle Verpackungsregister (ZSVR) oder ergänzen diesen noch. Diese Leitfäden, Bewertungskataloge und Guidelines bieten eine Hilfestellung, wie Verpackungen für Länder des europäischen Raums kreislauffähig konzeptioniert werden können. Design for Recycling umfasst dabei alle Komponenten einer Verpackung: vom Packstoff über den Klebstoff des Etiketts bis hin zu Druckfarbe [64]. Mit Blick auf die potenziellen Gesamtumweltwirkungen eines Produktverpackungssystems darf das Ziel, die Recyclingfähigkeit der Verpackung zu verbessern, nicht die Produktsicherheit, die Funktionalität oder die allgemeine Verbraucherakzeptanz beeinträchtigen. Die Erhöhung der Recyclingfähigkeit sollte zu einer allgemeinen Verringerung der potenziellen Umweltauswirkungen des Produktverpackungssystems beitragen, wobei die stoffliche Verwertung von Verpackungen nicht in allen Fällen die ökologisch oder wirtschaftlich günstigste Option ist. [29]

³ Unter Kaskadennutzung wird die Nutzung von Ressourcen und Produkten in aufeinanderfolgenden Schritten mit jeweils verringerten Anforderungen an die Eigenschaften verstanden. Das Ziel ist es, Ressourcen und Produkte möglichst lange im System zu halten, sodass ein hohes Wertschöpfungsniveau bestehen bleibt. [52].

3 Regulatorische Rahmenbedingungen

Im Kontext Lebensmittelverpackungen und Kreislaufwirtschaft sind u. a. die in Abbildung 1 dargestellten regulatorischen Rahmenbedingungen relevant. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln 3.1 bis 3.6 näher betrachtet.



Abbildung 1: Übersicht ausgewählter regulatorischer Rahmenbedingungen und ihrer Zusammenhänge im Kontext Kreislaufwirtschaft und Lebensmittelverpackungen. Ein übergreifendes, gemeinsames Ziel der dargestellten regulatorischen Rahmenbedingungen ist die Reduzierung der Auswirkungen von Verpackungen und Verpackungsabfällen auf die Umwelt.

3.1 UN-Ziele für eine nachhaltige Entwicklung – Sustainable Development Goals (SDGs)

Die 17 SDGs (siehe Abbildung 2) sind politische Zielsetzungen der Vereinten Nationen, die weltweit der Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung auf ökonomischer, sozialer und ökologischer Ebene dienen sollen. Lebensmittelverpackungen mit effektivem Produktschutz und effizientem Materialeinsatz haben das Potenzial, zur Erreichung der SDGs beizutragen.



Abbildung 2: Die 17 Sustainable Development Goals (SDGs) sind politische Zielsetzungen der Vereinten Nationen, die weltweit der Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung auf ökonomischer, sozialer und ökologischer Ebene dienen sollen.

Insbesondere das SDG 12.3⁴ wird durch Lebensmittelverpackungen adressiert [66]. Indirekt können Lebensmittelverpackungen auch bei der Erreichung des SDG 2⁵ helfen, da es hauptsächlich in ärmeren Ländern an Kapazitäten für u. a. Verpackungen fehlt [68], diese aber Logistik und Distribution unterstützen und damit zur Ernährungssicherheit beitragen können. Verpackungen, die neben ausreichendem Produktschutz gleichzeitig material- und damit ressourceneffizient konzipiert sind, adressieren zudem die SDGs 12.2⁶ und 12.5⁷ [69]. Sollen Verpackungsfunktionalität, hohe Materialeffizienz und Kreislauffähigkeit in gleichem Maße realisiert werden, können sich hieraus Zielkonflikte ergeben. Eine erhöhte Schutzfunktion durch z. B. Mehrschichtverbunde ist i. d. R. mit verminderter Recyclingfähigkeit verbunden, wobei der ökologische Nutzen verbesserter Schutzfunktion oft höher als der ökologische Nachteil verringerter Recyclingfähigkeit ist [70].

Der Beitrag zu den SDGs, welcher durch Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft im Unternehmen geleistet wird, kann in die Nachhaltigkeitsstrategie des Unternehmens aufgenommen werden oder potenziell auch in einem Nachhaltigkeitsbericht veröffentlicht werden.

3.2 EU-Kunststoffstrategie

Die EU-Kunststoffstrategie von 2018 ist Teil des (alten) EU-Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft und ein Schlüsselement für den Übergang Europas zu einer kohlenstoffarmen Kreislaufwirtschaft. Die Kunststoffstrategie soll dazu beitragen, die Ziele für nachhaltige Entwicklung bis 2030 zu erreichen. Sie zielt darauf ab, die Art und Weise, wie Kunststoffprodukte in der EU entworfen, hergestellt, verwendet und recycelt werden, zu verändern. Auf diese Weise soll auch die Abhängigkeit der EU von importierten fossilen Brennstoffen verringert werden. Weiterhin wird ein höherer Umweltschutz sowie die Reduktion von Treibhausgasen und Abfällen im Meer angestrebt. Um dies zu erreichen, geht aus der EU-Kunststoffstrategie u. a. die EU-Richtlinie zu Einwegartikeln aus Kunststoff (RL (EU) 2019/904 – Single Use Plastics Directive (SUPD)) hervor. [71] Die SUPD zielt auf die Vermeidung und Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt, insbesondere die Meeresumwelt und auf die menschliche Gesundheit ab. Hierfür verbietet die SUPD bspw. das Inverkehrbringen von Einwegkunststoff Besteck, Tellern und Trinkhalmen. [72]

Das Verbot bestimmter Einwegkunststoffartikel führte jedoch weniger zu einer Reduktion von Einwegartikeln im Allgemeinen, vielmehr wurden diese durch Einwegartikel aus z. B. Papier, Pappe oder Karton (PPK) ersetzt [73]. Dabei resultiert der Ersatz von leichten Kunststoffverpackungen durch schwerere Materialien aufgrund des erhöhten Materialeinsatzes in einer Zunahme des Verpackungsabfallaufkommens [74]. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass auch andere Packstoffe als Kunststoff mit potenziellen Umweltwirkungen verbunden sind, die die von Kunststoffen sogar übersteigen können. Die Substitution von Kunststoffen durch andere Packstoffe hat daher eher eine Verschiebung der Umweltlasten als deren Verminderung zur Folge. [39] Im Falle des Einsatzes von Materialien mit geringerer Funktionalität, wie bspw. PPK [75], können zudem mehr verpackungsbedingte Lebensmittelabfälle entstehen, die die potenzielle Gesamtwirkung des Produktverpackungssystems zusätzlich erhöhen [76]. Zudem sind zur Funktionalisierung von PPK-Verpackungen häufig Alu- oder Kunststoffbeschichtungen erforderlich, damit PPK-Verpackungen Lebensmittel ausreichend schützen können [39]. Diese Verbunde sind wiederum nur begrenzt oder gar nicht recyclingfähig [74].

3.3 Europäischer Aktionsplan für eine Kreislaufwirtschaft – Circular Economy Action Plan (CEAP)

Der CEAP zielt auf die Ausweitung der Kreislaufwirtschaft ab und soll auch dazu beitragen, das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung zu entkoppeln. Gleichzeitig soll die langfristige Wettbewerbsfähigkeit der EU gesichert werden. Hierfür sieht der CEAP vor, Abfälle zu verringern und sicherzustellen, dass die EU über einen gut funktionierenden Binnenmarkt für hochwertige Sekundärrohstoffe verfügt. Durch ergänzende Legislativvorschläge sollen bspw. der Rezyklatanteil in Produkten erhöht und die Wiederaufbereitung sowie ein hochwertiges Recycling ermöglicht werden. [13]

4 Halbierung der Lebensmittelabfälle pro Kopf auf Einzelhandels- und Verbraucherebene und die Verringerung entlang der Produktions- und Lieferkette bis 2030 ([65])

5 Bis 2030 eine Welt ohne Hunger schaffen ([67])

6 Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen ([65])

7 Bis 2030 das Abfallaufkommen durch Vermeidung, Verminderung, Wiederverwertung und Wiederverwendung deutlich verringern ([65])

Lebensmittelverpackungskonzepte für die Kreislaufwirtschaft

Dabei werden zentrale Produktwertschöpfungsketten vorrangig behandelt. Diese werden auf Basis ihrer potenziellen Umweltwirkungen und ihres Kreislaufpotenzials ausgewählt. Auch Verpackungen stellen eine solche zentrale Produktwertschöpfungskette dar. Diesbezüglich sieht der CEAP vor, die bestehende Verpackungsrichtlinie (RL 94/62/EG) zu überprüfen und Maßnahmen zu folgenden Aspekten in Erwägung zu ziehen: [13]

- Verringerung von Verpackungen und Verpackungsabfällen
- Förderung eines Designs mit Blick auf die Wiederverwendung und Recyclingfähigkeit von Verpackungen
- Prüfung der Verringerung der Komplexität von Verpackungsmaterialien, einschließlich der Anzahl der verwendeten Materialien und Polymere
- Verbindliche Anforderungen an den Rezyklatanteil speziell bei Kunststoffverpackungen
- Überprüfung der Möglichkeit, ob eine EU-weite Kennzeichnung eingeführt werden kann, die die korrekte Trennung von Verpackungsabfällen an der Quelle erleichtert.

Diese Aspekte werden im Vorschlag für eine Verordnung über Verpackungen und Verpackungsabfälle (siehe Kapitel 3.6) adressiert.

Weiterhin sieht der CEAP vor, Regeln für das sichere Recycling von anderen Kunststoffen als Polyethylenterephthalat (PET) zur Verwendung als Lebensmittelkontaktmaterialien festzulegen. [13] Der Einsatz von Kunststoffrezyklaten in Lebensmittelverpackungen wird durch die VO (EU) 2022/1616 über Materialien und Gegenstände aus recyceltem Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen, reguliert [77]. Derzeit sind nach der VO (EU) 2022/1616 zwei Recyclingtechnologien für PET zugelassen, aus denen Rezyklate hervorgehen, die für den Kontakt mit Lebensmitteln angewendet werden können.

3.4 Europäische Abfallrahmenrichtlinie und deutsches Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)

Das KrWG in der Fassung vom März 2023 dient der Umsetzung der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (RL 2008/98/EG). Ziel des KrWG ist es, die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen. Dabei macht das KrWG Vorschriften zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen sowie zu sonstigen Maßnahmen der Abfallbewirtschaftung. Gemäß der Abfallhierarchie stehen die Maßnahmen der Vermeidung und Abfallbewirtschaftung in folgender Reihenfolge: [42]



Im Kontext Lebensmittelverpackungen ist dabei zu berücksichtigen, dass die Vermeidung von Verpackungen, gemäß Stufe 1 der Abfallhierarchie, nicht zwingend in einer Reduktion des Gesamtabfallaufkommens resultiert. **Die Materialreduktion von Lebensmittelverpackungen oder der vollständige Verzicht darauf kann zu vermehrten Lebensmittelabfällen führen. Dies geschieht, wenn der Schutz der Produkte durch die reduzierte oder vermiedene Verpackung nicht mehr gewährleistet oder ausreichend erfüllt wird [20].** Zur Erfüllung des Produktschutzes können für Lebensmittelverpackungen materialeffiziente Verbundmaterialien eingesetzt werden [70]. Diese Verbundmaterialien gehen in der Regel jedoch mit einer verminderten Recyclingfähigkeit (Stufe 3 der Abfallhierarchie) einher [41]. Im Gegensatz hierzu können viele Verpackungen aus sog. Monomaterialien einem stofflichen Recycling zugeführt werden. Zu diesen in der Industrie sog. Monomaterialien können auch Verbundmaterialien zählen, wenn die Hauptkomponente einen

Massenanteil von 95 % am Verpackungsverbund überschreitet und einem Recycling zugeführt wird [78]. Die ZSVR versteht unter Recyclingfähigkeit einer Verpackung, dass diese Verpackung grundsätzlich dafür geeignet ist, nach Durchlaufen industriell verfügbarer Rückgewinnungsprozesse, Neuware in werkstoffspezifischen Anwendungen zu ersetzen [61]. Es wird zwischen theoretischer, praktischer und realer Recyclingfähigkeit unterschieden und die nachfolgenden Definitionen zugrunde gelegt. **Theoretisch recyclingfähig** sind Verpackungen, die hinsichtlich des Werkstoffs, aus dem sie bestehen, und im Originalzustand ohne Verschmutzung stofflich verwertet werden können. Dabei wird nicht berücksichtigt, ob eine Recyclinginfrastruktur für diesen Werkstoff existiert und es werden keine Tests zur theoretischen Recyclingfähigkeit durchgeführt. Als **praktisch recyclingfähig** gilt eine Verpackung, wenn diese in einer Sortieranlage erkannt und in eine Fraktion sortiert werden kann. Weiterhin muss für den Werkstoff, aus dem die Verpackung besteht, ein Recyclingverfahren existieren, die ein werkstoffliches Recycling ermöglicht. Damit eine Verpackung als **real recyclingfähig** gilt, müssen zusätzlich zu deren Erkennbarkeit, Sortierbarkeit und der Existenz eines Verfahrens für ein werkstoffliches Recycling weitere Kriterien erfüllt sein. Erst wenn eine Verpackung in der Region, in der die Verpackung als Abfall anfällt, tatsächlich gesammelt, ausgeschleust, vermarktet und als Sekundärrohstoff verwertet wird, gilt eine Verpackung als real recyclingfähig. [79, 80] Auch für Verpackungen, die als real recyclingfähig einzustufen sind, gibt es Hürden, für deren stoffliche Verwertung, bspw. wenn Verbraucher die Verpackungen nicht dem passenden Verwertungsstrom zuführen. Für theoretisch und teilweise auch praktisch recyclingfähige Verpackungsmaterialien, die in verhältnismäßig geringen Mengen im Umlauf sind, ist die Etablierung einer getrennten Sammlung sowie Sortier- und Verwertungsinfrastruktur wirtschaftlich oftmals nicht rentabel. Verpackungen, die keinem Recycling im Sinne einer stofflichen Verwertung zugeführt werden können, gelangen oftmals in die energetische Verwertung. Die durch Verbrennung, im Sinne einer energetischen Verwertung, zurückgewonnene Energie kann den Einsatz von (fossilen) Brennstoffen teilweise kompensieren. Da die Energie aus der Verbrennung jedoch nur einmal verwendet werden kann und somit Materialien aus dem Kreislauf entnommen werden, sind stoffliche Wiederverwendungs- und -verwertungsverfahren der Verbrennung, wo immer technisch und wirtschaftlich möglich, vorzuziehen [6]. Im Kontext der thermischen Verwertung von Kunststoffverpackungen ergibt sich durch die mögliche zukünftige Anwendung von **Carbon Capture and Utilisation (CCU)** ein aussichtsreicher Ausblick. CCU ermöglicht nicht nur die Reduzierung von CO₂-Emissionen aus der Verbrennung, sondern eröffnet auch die Möglichkeit, den abgeschiedenen Kohlenstoff als Rohstoff für die Produktion von Kunststoffen und anderen Materialien zu nutzen. Dies trägt zur Kreislaufwirtschaft bei, indem Materialien, die sonst ausschließlich energetisch verwertet und somit aus dem Kreislauf entfernt würden, als Quelle für neue Produkte dienen. Diese Integration von CCU in die Abfallwirtschaft könnte somit die Effizienz der Ressourcennutzung steigern und gleichzeitig die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen reduzieren. [81]

3.5 EU-Verpackungsrichtlinie und VerpackG für Deutschland

Das Verpackungsgesetz in der Fassung vom Oktober 2023 dient der Umsetzung der europäischen Verpackungsrichtlinie (RL 94/62/EG) in nationales Recht. Das VerpackG gibt für Deutschland geltende abfallwirtschaftliche Ziele vor und stellt allgemeine Anforderungen an Verpackungen. Im Kontext der Kreislaufwirtschaft sind dabei die nachfolgenden Anforderungen relevant. Das VerpackG regelt die Systembeteiligungspflicht, Sammlung, Rücknahme und Verwertung von Verpackungen. Hinsichtlich der Beteiligungsentgelte fordert das VerpackG die ökologische Gestaltung dieser. Damit werden Systeme verpflichtet, finanzielle Anreize zu schaffen, um den Einsatz von recyclingfähigen Materialien, Rezyklaten oder nachwachsenden Rohstoffen zu fördern. Zur Bemessung der Recyclingfähigkeit verweist das VerpackG auf den Mindeststandard der Zentralen Stelle Verpackungsregister. Für Einweggetränkeverpackungen werden Pfand- und Rücknahmepflichten sowie der Mindestrezyklatanteil bestimmter Einwegkunststoffgetränkeflaschen vorgeschrieben. Auch die Minderung des Verbrauchs bestimmter Einwegverpackungen ist Ziel des VerpackG, bspw. durch Mehrwegalternativen für Einwegkunststofflebensmittelverpackungen und Einweggetränkebecher. [78]

Das VerpackG sowie die EU-Verpackungsrichtlinie geben Ziele für das Recycling von Verpackungen in Deutschland bzw. in der EU vor. Diese Zielvorgaben sind als SOLL mit dem jeweiligen Zeithorizont in der Tabelle 1 dargestellt und werden mit den tatsächlichen Recyclingquoten (IST) in Deutschland bzw. in der EU verglichen.

Lebensmittelverpackungskonzepte für die Kreislaufwirtschaft

Tabelle 1: Zielvorgaben für das Recycling von Verpackungen (SOLL) gemäß VerpackG und Richtlinie 94/62/EG sowie tatsächliche Recyclingquoten (IST) von Verpackungen nach Verpackungsart in D und EU. [78, 82] Die Recyclingquoten gemäß VerpackG (SOLL) und ZSVR (IST) beziehen sich auf ein werkstoffliches und energetisches Recycling. Einzig für Kunststoffe wird der Anteil des werkstofflichen Recyclings, wie im VerpackG vorgegeben, gesondert aufgeführt. Die Recyclingquoten der RL 94/62/EG (SOLL) und von eurostat (IST) beziehen sich auf das werkstoffliche Recycling.

Die IST-Werte der Recyclingquoten von Deutschland setzen sich folgendermaßen zusammen:

Spalte eurostat: recycelter Anteil am Verpackungsabfallaufkommen des jeweiligen Packstoffs [83]

Spalte ZSVR: Verpackungsmengen, die einer Verwertung zugeführt wurden, im Verhältnis zu den im Rahmen der Systembeteiligungspflicht gemeldeten Verpackungsmengen des jeweiligen Packstoffs. Da für manche Packstoffe widerrechtlich mengenmäßig weniger Verpackungen im Rahmen der Systembeteiligungspflicht gemeldet sind, als tatsächlich in Verkehr gebracht werden, kommt es hier zu Recyclingquoten über 100 % [84].

Packstoff	Recyclingquoten in Deutschland			Recyclingquoten in der EU	
	IST in 2021*		SOLL ab 2022 nach VerpackG [78]	IST in 2021 [83]	SOLL bis 2025 nach RL 94/62/EG [82]
	eurostat [83]	ZSVR [84]			
PPK	85 %	91 %	90 %	83 %	75 %
Kunststoff (werkstofflich und energetisch)	k. A.	110 %	90 %	k. A.	k. A.
Kunststoff (werkstofflich)	48 %	66 %	63 %	40 %	50 %
Glas	80 %	85 %	90 %	76 %	70%
Metall	83 %	k. A.	90 %	75 %*	k.A.
Aluminium	k. A.	113 %	90 %	k.A.	50 %
Eisenmetalle	k. A.	100 %	90 %	k.A.	70 %

*IST-Wert wird nicht getrennt für Aluminium und Eisenmetalle angegeben, überschreitet jedoch beide Zielvorgaben

Wie in Tabelle 1 dargestellt, werden im Jahr 2021 die Zielvorgaben der EU für das Jahr 2025 von den EU-Mitgliedstaaten im Durchschnitt und insbesondere von Deutschland für Verpackungen aus PPK, Glas und Metall erreicht bzw. übererfüllt. Die Zielvorgabe für das werkstoffliche Recycling von Kunststoffen ist noch nicht erreicht. Die Zielerreichung der deutschen Zielvorgaben gemäß VerpackG wird an den von der ZSVR ermittelten Recyclingquoten gemessen. Dabei wird lediglich die Zielquote für Glas nicht erreicht. Bei den IST-Werten für Deutschland stammt der jeweils erstgenannte Wert von eurostat [83], wobei der Anteil der recycelten Verpackungsabfälle am Verpackungsabfallaufkommen des jeweiligen Packstoffs angegeben wird. Der jeweils zweitgenannte Wert stammt von der ZSVR [84], wobei das Verhältnis von Verwertungszuführungsmengen zu den im Rahmen der Systembeteiligungspflicht gemeldeten Verpackungsmengen des jeweiligen Packstoffs angegeben wird. Die IST-Werte der ZSVR sind deutlich höher als die IST-Werte von eurostat und übersteigen teilweise sogar die 100 %. Die Werte über 100 % sind darauf zurückzuführen, dass im Jahr 2021 weniger Verpackungen im Rahmen der Systembeteiligungspflicht gemeldet waren, als im Jahr 2021 tatsächlich in Verkehr gebracht wurden und als Verpackungsabfall anfallen. Dies spricht für eine Unterbeteiligung der Inverkehrbringer von Verpackungen an den Systemen [84].

Die geltende europäische Verpackungsrichtlinie zielt darauf ab, Vorschriften der Mitgliedstaaten im Bereich der Verpackungs- und der Verpackungsabfallwirtschaft zu harmonisieren. Dadurch sollen Auswirkungen dieser Abfälle in allen Mitgliedstaaten sowie in dritten Ländern auf die Umwelt vermieden bzw. verringert werden, um so ein hohes Umweltschutzniveau sicherzustellen [84]. Die Form einer Richtlinie lässt jedoch unterschiedliche nationale Umsetzungskonzepte zu, weshalb durch die Verpackungsrichtlinie nicht die gewünschte Harmonisierung erreicht werden konnte. Zudem konnte festgestellt werden, dass durch die bestehende Verpackungsrichtlinie Herausforderungen, wie das wachsende Verpackungsabfallaufkommen, Hindernisse für die stoffliche Verwertung und Wiederverwendung von Verpackungen sowie die geringe Rezyklatqualität bei Kunststoffverpackungen nicht ausreichend adressiert wurden. Dies hat deutlich gemacht, dass eine stärkere Harmonisierung notwendig ist und dass die harmonisierten verpackungsspezifischen Vorschriften die Form einer Verordnung und nicht die einer Überarbeitung der derzeitigen Richtlinie haben sollten. Vor diesem Hintergrund veröffentlichte die Europäische Kommission am 30. November 2022 einen Vorschlag für eine Verordnung über Verpackungen und Verpackungsabfälle – PPWR. [18]

3.6 Vorschlag für eine Verordnung über Verpackungen und Verpackungsabfälle

Der Vorschlag für eine Verordnung über Verpackungen und Verpackungsabfälle – Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR) verfolgt drei Hauptziele.

1. Minimierung von Verpackungen und die Förderung wiederverwendbarer und nachfüllbarer Verpackungen zur Reduktion des Verpackungsabfallaufkommens.
2. Förderung eines hochwertigen geschlossenen Recyclingkreislaufs, indem bis 2030 alle in der EU in Verkehr gebrachten Verpackungen wirtschaftlich recycelt werden können.
3. Senkung des Primärrohstoffbedarfs und Schaffung eines gut funktionierenden Markts für Sekundärrohstoffe, indem durch verbindliche Ziele der Rezyklatanteil in Verpackungsmaterialien erhöht wird. [18]

Die Erreichung der Ziele für den Rezyklatanteil in Verpackungen stellt für die Kunststoffverpackungsindustrie eine Herausforderung dar. Aufgrund der gemäß VO (EU) 2022/1616 geringen Anzahl zugelassener Recyclingverfahren ist keine ausreichende Menge an Kunststoffrezyklaten in entsprechender Qualität vorhanden. Vor allem bei den mengenmäßig bedeutenden Polyolefinen müsste die verarbeitete Menge an Rezyklat um mehr als das Fünffache gesteigert werden. Mit Ausnahme von PET existieren für den Einsatz in Verpackungen mit direktem Lebensmittelkontakt derzeit noch keine zugelassenen Kunststoffrezyklate. Andere Kunststoffrezyklate als PET dürfen in Lebensmittelverpackungen lediglich hinter einer funktionellen Barriere eingesetzt werden. In kürzester Zeit müssten Recyclingtechnologien fortentwickelt und zugelassen werden, Kapazitäten aufgebaut und die getrennte Abfallsammlung in ganz Europa angekurbelt werden, um die benötigten Mengen und Qualitäten an Kunststoffrezyklaten für den Verpackungsmarkt bereitzustellen. [74]

Die Änderungen des Europäischen Parlaments am Vorschlag zur PPWR adressieren die Herausforderung des Rezyklatanteils in Kunststoffverpackungen, vor allem in solchen für Lebensmittel. Daher befreit das Europäische Parlament Verpackungen vom verpflichtenden Rezyklatanteil, wenn dieser Rezyklatanteil den europäischen Anforderungen an die Lebensmittelsicherheit widerspricht. Zudem fordert das Europäische Parlament, dass die Möglichkeit überprüft wird, inwiefern auch der Einsatz biobasierter Rohstoffe zur Erreichung der verpflichtenden Rezyklatanteile angerechnet werden dürfen. [85]

4 Anreiz und Potenziale

Die Kreislauffähigkeit von Lebensmittelverpackungen wird nicht zuletzt durch das voraussichtliche Inkrafttreten von regulatorischen Rahmenbedingungen wie den Vorschlägen für die PPWR und die Ökodesign-Verordnung voraussichtlich spätestens ab 2030 verstärkt gesetzlich vorgeschrieben. Die Erfüllung dieser gesetzlichen Vorgaben wird obligatorisch, um weiterhin Produkte bzw. Lebensmittelverpackungen am Markt platzieren zu können. Doch auch über die rechtliche Obligation hinaus gibt es ökonomische, ökologische und soziale Anreize für eine kreislauffähige Konzeptionierung von Lebensmittelverpackungen.

4.1 Ökonomische Anreize – Systembeteiligungsentgelte und Herstellungskosten

Das VerpackG schreibt in § 21 die Schaffung von Anreizen im Rahmen der ökologischen Gestaltung der Systembeteiligungsentgelte vor (siehe Kapitel 3.5) [78]. Das VerpackG legt jedoch nicht fest, wie diese Vorgaben quantitativ umzusetzen sind und überlässt die ökologische Gestaltung der Systembeteiligungsentgelte damit den Systemen⁸. Demnach können die geforderten Anreize von System zu System unterschiedlich sein und zudem so gering, dass sie von Herstellern möglicherweise nicht als Anreize wahrgenommen werden. Daher ist es zu begrüßen, dass im Rahmen der Überarbeitungen des VerpackG die Weiterentwicklung einer konkreten rechtlichen Umsetzung der ökologischen Gestaltung der Beteiligungsentgelte geplant ist [86].

Laut eurostat importiert die EU ca. 40 % der von ihr verbrauchten Rohstoffe [87]. Durch die Erhaltung von in Produkten verarbeiteten Materialien, die repariert oder wiederverwendet werden sowie durch die Rückführung von Abfällen als hochwertige Sekundärrohstoffe, kann eine Kreislaufwirtschaft den Primärressourcenbedarf reduzieren [13, 46].

⁸ Ein System erfasst die in seinem Einzugsgebiet bei privaten Endverbrauchern als Abfall anfallende restentleerte Verpackungen und führt diese einer Verwertung zu [78], z. B. gelber Sack bzw. gelbe Tonne.

Dies würde dazu beitragen, Europas Importabhängigkeit zu verringern. Auch die Lieferketten vieler Industriesektoren wären weniger anfällig für die Preisschwankungen auf den internationalen Rohstoffmärkten sowie für die Versorgungssicherheit aufgrund der Rohstoffknappheit und/oder geopolitischen Faktoren. [6].

In Deutschland würden die Kosten in den Lebensbereichen Mobilität, Lebensmittel und Wohnraum durch eine Kreislaufwirtschaft im Vergleich zum Jahr 2012 bis zum Jahr 2030 um 25 % (300 Mrd. Euro) sinken [88], in der EU um ebenfalls 25 % (1.800 Mrd. Euro) [15]. Europäische Haushalte können durch die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft bis 2050 in den Lebensbereichen Mobilität, Lebensmittel und Wohnraum im Vergleich zu den im Jahr 2012 durchschnittlich anfallenden Haushaltsausgaben bis zu 80 %⁹ ihrer Kosten sparen [88].

4.2 Ökologische Anreize – Ressourcenschonung und Reduktion potenzieller Umweltwirkungen

Die Wiederverwendung und das Recycling von Produkten verlangsamt die Nutzung natürlicher Ressourcen. So kann die Zerstörung von Landschaften und Lebensräumen verringert sowie der Verlust der biologischen Vielfalt eingedämmt werden. Ein weiterer Vorteil der Kreislaufwirtschaft ist eine Reduzierung der gesamten jährlichen Treibhausgasemissionen. [54] Einer Studie der Ellen MacArthur Foundation zufolge könnte eine europäische Kreislaufwirtschaft in den Sektoren Mobilität, Lebensmittel und Wohnraum die CO₂-Emissionen bis 2030 im Vergleich zum Jahr 2012 um 48 %¹⁰ verringern. Bis 2050 wird eine Verringerung um 83 %¹¹ prognostiziert. [15] Mit Blick auf Verpackungen ist festzustellen, dass der Einsatz von Rezyklaten häufig mit einem verringerten Energiebedarf in der Packstoffherstellung und damit mit geringeren potenziellen Umweltwirkungen verbunden ist, als der Einsatz von Primärrohstoffen [89, 90]. Jede Tonne Recyclingkunststoff, die anstelle einer Neuware eingesetzt wird, vermeidet zwischen 1,4 bis 3,2 Tonnen CO₂-Äquivalent [91]. Bei einer aus 100 % recyceltem Aluminium hergestellten Dose ist der Energiebedarf für die Herstellung beispielsweise um 95 % geringer als bei einer herkömmlichen Dose aus Rohaluminium [92]. Der Einsatz von recyceltem Glas kann pro 10 % Scherbeneinsatz die benötigte Schmelzenergie um 3 % und die damit verbundenen CO₂-Emissionen um 3,6 % senken [93]. Beim Recycling von Weißblech können bis zu 75 % der für die Primärerzeugung notwendigen Energie eingespart werden. Gleichzeitig sinken die damit verbundenen CO₂-Emissionen um bis zu 80 % und der Wasserverbrauch um bis zu 40 %. [94] Beim Recycling von Papier können im Vergleich zur Herstellung von Primärfaserpapier etwa 50 % der benötigten Energie und ca. 67 % der benötigten Wassermenge eingespart werden. Für die Herstellung von einem Kilogramm Sekundärfaserpapier werden ca. 1,2 Kilogramm Altpapier eingesetzt, wodurch bis zu 2,2 Kilogramm Holz eingespart werden können. [95]

4.3 Soziale Anreize – Erfüllung von Verbrauchererwartungen

Die Erfüllung von Verbrauchererwartungen stellt einen weiteren Anreiz zur kreislauffähigen Konzeptionierung von Lebensmittelverpackungen dar. Verbraucher fordern die Steigerung des Recyclings von Verpackungen bzw. den Einsatz recyclebarer Materialien [96] sowie die stärkere Umstellung auf Nachfüllsysteme im Handel. Auch eine Ausweitung des Mehrweg- [96] und Pfandsystems wird von Verbrauchern begrüßt. [97] Die wahrgenommene Recyclingfähigkeit von Lebensmittelverpackungen beeinflusst die Kaufentscheidung von Verbrauchern [98, 99]. Daher sind auch Informationen zur Recyclingfähigkeit von Verpackungen [100] sowie zu deren umweltgerechter Entsorgung [101] für Verbraucher relevant. Verpackungen, die von Verbrauchern als schlecht recyclebar eingeschätzt werden, werden gleichzeitig als weniger umweltfreundlich empfunden als gut recyclingfähige Verpackungen [101].

Weiterhin kann der Übergang zu einer stärker kreislauforientierten Wirtschaft die Wettbewerbsfähigkeit Europas steigern, Innovationen anregen, das Wirtschaftswachstum ankurbeln und Arbeitsplätze schaffen¹² [54]. Die Studie „Economic Growth Potential of More Circular Economics“ des Waste Resources Action Programmes zeigt, dass bis 2030 voraussichtlich 1,2 bis 3 Millionen zusätzliche Arbeitsplätze in der europäischen Kreislaufwirtschaft entstehen könnten. Allein in Deutschland wird mit rund 330.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen gerechnet. [5]

9 Angabe eines quantitativen Wertes auf Basis der angegebenen Quelle nicht möglich.

10 Angabe eines absoluten Wertes auf Basis der angegebenen Quelle nicht möglich.

11 Angabe eines absoluten Wertes auf Basis der angegebenen Quelle nicht möglich.

12 Dabei stützt sich das Europäische Parlament auf einen Bericht der Ellen MacArthur Foundation. Dieser Bericht zeigt auf, wie eine Kreislaufwirtschaft in Europas ressourcenintensivsten Wertschöpfungsketten – Mobilität, Lebensmittel und Gebäudesektor – aussehen könnte. Für eine quantitative Prognose der mit einer Kreislaufwirtschaft verbundenen Arbeitsplätze war die Studienlage nicht ausreichend. Insgesamt deuten die von der Ellen MacArthur Foundation untersuchten Studien jedoch auf vorteilhafte Beschäftigungseffekte hin.

5 Herausforderungen und Limitationen

Neben den beschriebenen Potenzialen einer Kreislaufwirtschaft ist diese gleichzeitig mit Herausforderungen und Limitationen verbunden.

Für eine vollständige und damit absolute¹³ Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch bietet das Prinzip vollständig geschlossener biologischer und technischer Kreisläufe (siehe auch Cradle-to-Cradle in Kapitel 2.2) Potenzial. Bislang sind solche closed-loop Systeme jedoch nicht ohne potentielle Umweltwirkungen umsetzbar, da sie rohstoffseitig stets verlustbehaftet und mit Energieaufwand verbunden sind [41, 48]. Nicht nur in der Realität sind vollständig geschlossenen Stoffkreisläufe eine ferne Utopie. Auch in der Theorie widersprechen vollständig geschlossene Stoffkreisläufe den grundlegenden Naturgesetzen, wie bspw. der Thermodynamik, da gewisse Verluste an Menge oder Qualität unvermeidbar sind. Zudem ist auch eine Kreislaufführung von Materialien nicht ohne Energieaufwand oder weiterer Inputs, wie bspw. Wasser, möglich. [41, 43] Stammt die für die Kreislaufführung genutzte Energie dabei aus fossilen Energieträgern, stellt dies einen Widerspruch zur Kreislaufwirtschaft dar. Dies zeigt auch, dass eine ausschließlich auf stoffliche Kreislaufführung fokussierte Kreislaufwirtschaft nicht hinreichend zur Erreichung einer langfristigen Unabhängigkeit von endlichen Ressourcen ist [40]. Ein weiterer, damit zusammenhängender Punkt ist die grundsätzliche Verfügbarkeit von Ressourcen. Beispielsweise Ressourcen, die für einzelne Prozesse oder Produkte und vor allem Technologien im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien unverzichtbar sind.

Für diese Ressourcen sind bislang keine geeigneten Substitute bekannt. Die Versorgung mit diesen Ressourcen ist gefährdet, weil die Nachfrage das Angebot übersteigt, die statische Reichweite¹⁴ erschreckend gering ist oder die Rohstoffvorkommen auf einzelne Regionen bzw. Länder konzentriert sind. Mit Blick auf die steigende Rohstoffnachfrage wären auch vollkommen geschlossene Stoffkreisläufe nicht ausreichend, um die prognostizierten Bedarfe der Industrie zu decken [104]. Dies verdeutlicht, dass die Kreislaufwirtschaft auch konzeptionell noch Herausforderungen beinhaltet [43]. Weiterhin ist der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft auch mit Kosten verbunden. Diese Übergangskosten umfassen bspw. Investitionen in Vermögenswerte oder in den Aufbau neuer Infrastruktur, Forschung und Entwicklung, Schulung von Mitarbeitenden, Kosten im Zusammenhang mit der Einführung neuer Anforderungen und vorübergehende Unterstützung für die betroffenen Branchen. [15, 49, 105] Eine Beschleunigung der Einführung der Kreislaufwirtschaft würde diese Übergangskosten erhöhen, was erklären dürfte, warum die Kreislaufwirtschaft noch nicht schneller und in größerem Umfang eingeführt wurde. [15]

Im Kontext Lebensmittelverpackungen sind für die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft zu wenig Rezyklate für den Lebensmittelkontakt zugelassen. Zudem ist die vollständige und getrennte Erfassung sowie die Materialrückgewinnung bei Post-Consumer-Abfällen besonders herausfordernd. [41] Gemischte Post-Consumer-Kunststoffabfälle aus der gelben Tonne müssen in unterschiedliche Stoffströme sortiert werden. Aufgrund von Zusatzstoffen und Verunreinigungen wird die Sortierung teilweise erschwert und die Post-Consumer-Kunststoffabfälle oft zu minderwertigem Rezyklat verarbeitet. Fortschritte in der Sortiertechnologie, basierend auf Digitalisierung, Robotik und künstlicher Intelligenz, könnten das werkstoffliche Recycling verbessern, sind jedoch aufgrund höherer Kosten noch nicht weit verbreitet. Alternativ bietet das chemische Recycling die Möglichkeit, Kunststoff in seine Grundbausteine zurückzuführen, die dann als Ausgangsmaterial für neuen Kunststoff oder für die chemische Industrie dienen können. Diese Technologie hat das Potenzial, auch schwer oder gar nicht werkstofflich recycelbare Kunststoffabfälle in hochwertige Produkte umzuwandeln, befindet sich jedoch noch in der Entwicklung. [106] Vor diesem Hintergrund stellen auch die im Vorschlag zur PPWR angestrebten Zielvorgaben für den Mindestanteil an Post-Consumer-Rezyklat in Lebensmittelverpackungen eine Herausforderung für die Lebensmittelverpackungsindustrie dar [74]. Dabei unterschreitet das Angebot an Rezyklaten, vor allem von solchen in ausreichender Qualität für den Einsatz in Lebensmittelverpackungen, derzeit die Nachfrage tendenziell. Folglich sind mit den Rezyklaten häufig noch höhere Kosten verbunden als mit Primärrohstoffen. [89, 107] Auch die Wiederverwendung von Produkten oder Verpackungen bspw. in Form von Mehrwegsystemen, kann nicht pauschal als vorteilhaft bewertet werden. Mehrwegsysteme können zwar einen Beitrag zur Vermeidung oder Verminderung von Abfällen leisten, ob diese

13 Bei einer absoluten Entkopplung bleibt der Ressourcenverbrauch konstant oder sinkt sogar. Bei einer relativen Entkopplung steigt der Ressourcenverbrauch weniger als das Wirtschaftswachstum, welches am Bruttoinlandsprodukt gemessen wird. [102].

14 Die statische Reichweite gibt die Zeitspanne an, für die die bekannten Rohstoffreserven bei der gegebenen jährlichen Fördermenge eines Rohstoffs ausreichen würden [103].

jedoch ökologisch und ökonomisch zielführender sind, hängt von vielen Faktoren, wie bspw. dem Transport- und Reinigungsaufwand, ab und muss für jeden Einzelfall bewertet werden. [108]

6 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

Zur Beantwortung der Leitfrage dieses Expertenwissens, inwiefern das Konzept einer Kreislaufwirtschaft unverzichtbar bei Lebensmittelverpackungen ist und welche Strategien eine erfolgreiche Umsetzung ermöglichen, lässt sich Folgendes zusammenfassen:

Vor dem Hintergrund der ökologischen Notwendigkeit und damit verbundener globaler Herausforderungen, wie dem steigenden Abfallaufkommen und der Verknappung endlicher Ressourcen, ist ein Wandel der linearen Wirtschaftsweise hin zu einer Kreislaufwirtschaft zwingend nötig. Dies gilt insbesondere für FMCG Verpackungen, wie bspw. Lebensmittelverpackungen, die aufgrund ihrer kurzen Nutzungsdauer [11] sinnbildlich für die heutige Wegwerfgesellschaft [12, 13] und damit lineare Wirtschaftsweise stehen [13–16]. Eine Kreislaufwirtschaft bietet das Potenzial zur Reduktion des Primärressourceneinsatzes, Abfallaufkommens und damit verbundener potenzieller Umweltwirkungen. Mit Blick auf die Verknappung endlicher Ressourcen führt die Kreislaufwirtschaft aufgrund von Verlusten während des Recyclingprozesses und bei Nutzung fossil-basierter Energiequellen jedoch nicht zur Unabhängigkeit von endlichen Ressourcen. Zur Adressierung dieser Limitation ist die Kombination mit einer ergänzenden alternativen Wirtschaftsweise – der Bioökonomie – erforderlich. Ebenso wichtig ist die Bereitstellung verbesserter Produktinformationen für Verbraucher. [6, 41, 49] Es bleibt zu betonen, dass selbst mit dem Übergang zur Kreislaufwirtschaft die grundlegende Notwendigkeit besteht, den Gesamtverbrauch natürlicher Ressourcen für eine nachhaltige Entwicklung erheblich zu reduzieren [43].

Weiterhin müssen, speziell im Kontext Lebensmittelverpackungen, entsprechende regulatorische und technische Rahmenbedingungen geschaffen werden, um die bereits thematisierten Herausforderungen beim Einsatz von Rezyklaten in Lebensmittelverpackungen zu überwinden. Unter Berücksichtigung der angestrebten Abfallreduktion sowie Verminderung von potenziellen Umweltwirkungen und Schonung von Ressourcen ist bei der Konzeptionierung von Lebensmittelverpackungen stets das gesamte Produktverpackungssystem zu betrachten. Dabei dürfen die Abfallhierarchie und/oder die Kreislauffähigkeit der Funktionalität der Verpackung nicht übergeordnet werden. Im Lebensmittel sind deutlich mehr Ressourcen gebunden als in dessen Verpackung. Wird die Funktionalität der Verpackung bspw. durch das Design for Recycling beeinträchtigt, können dadurch bei Zunahme der verpackungsbedingten Lebensmittelabfälle höhere potenzielle Umweltwirkungen als durch eine nicht kreislauffähige Verpackung entstehen. Auch der Verzicht auf funktionale Verpackungen im Sinne der ersten Stufe der Abfallhierarchie – Vermeidung – kann bei Betrachtung des Produktverpackungssystems und unter Berücksichtigung entstehender Lebensmittelabfälle in mehr potenziellen Umweltwirkungen resultieren, als durch die vermiedene Verpackung eingespart wurden. Die erste Stufe der Abfallhierarchie kann genauso in der Vermeidung von Lebensmittelabfällen gesehen werden, was häufig nicht mit der Vermeidung von Verpackungen einhergeht. Die Kreislauffähigkeit ist nicht gleichzusetzen mit dem Maß an Nachhaltigkeit einer Verpackung. Die reine Betrachtung dieses Aspekts verfälscht die Ergebnisse und kann im Zweifelsfall zu mehr ungünstigen potenziellen Umweltwirkungen führen und damit das Ziel der Umweltentlastung verfehlen. Ob eine funktionale Lebensmittelverpackung, auch wenn nicht kreislauffähig, mit geringeren potenziellen Umweltwirkungen verbunden ist, bedarf einer individuellen Überprüfung. Hierfür können Nachhaltigkeitsbewertungsmethoden wie bspw. das Life Cycle Assessment – Ökobilanz, das Life Cycle Costing oder ein social Life Cycle Assessment herangezogen werden.

Die einer Kreislaufwirtschaft in der Lebensmittelverpackungsindustrie entgegenstehenden Herausforderungen heben den Forschungsbedarf in diesem Bereich hervor. Für zukunftsfähige Innovationen ist im Rahmen dieser Forschung eine ganzheitliche Betrachtung von Produkt- und Stoffkreisläufen über ihren Lebensweg und mit ihren Abhängigkeiten zu anderen Kreisläufen hinweg grundlegende Voraussetzung. Das schließt die Berücksichtigung von ökologischen, ökonomischen, technologischen und sozialen Aspekten mit ein. [5] Neben der Forschung bedarf es auch eines gesamtgesellschaftlichen Prozesses zum Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft. Um das Verständnis und die Akzeptanz für Kreislaufwirtschaft zu fördern, spielt der aktive Dialog in allen Bereichen der Gesellschaft eine entscheidende Rolle. Dies beinhaltet intensive fachliche Diskussionen zwischen Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik, Medien, Umwelt- und Verbraucherschutzorganisationen sowie auf nationaler und lokaler Ebene. Für die Realisierung einer Kreislaufwirtschaft braucht es daher einen kollaborativen wertschöpfungskettenübergreifenden Ansatz.

Literatur

- [1] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), „Energierohstoffe 2009: Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit. Enthält Teil 1 bis 3. Stand: 10.11.2009.“ 2009. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energierohstoffe_2009_gesamt.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [2] International Resource Panel, „Assessing global resource use: A systems approach to resource efficiency and pollution reduction: A Report of the International Resource Panel.“ 2017. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.resourcepanel.org/reports/assessing-global-resource-use>
- [3] Circle Economy, „The circularity gap report 2023.“ 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://assets-global.website-files.com/5e185aa4d27bcf34840ed82/63ecb3ad94e12d3e5599cf54_CGR%202023%20-%20Report.pdf
- [4] Statista. „Weltbevölkerung 2023.“ Zugriff am: 18. Januar 2024. [Online]. Verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1716/umfrage/entwicklung-der-weltbevoelkerung/>
- [5] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft.“ 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/7/31419_Ressourceneffiziente_Kreislaufwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- [6] A. Reichel, M. de Schoenmakere und J. Gillabel, „Circular economy in Europe: Developing the knowledge base (EEA report No. 2/2016).“ Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016.
- [7] M. Schmelzer und A. Vetter, „Degrowth/Postwachstum zur Einführung.“ 3. Aufl. Hamburg: Junius, 2021.
- [8] R. Steuerer, „Die Wachstumskontroverse als Endlosschleife: Themen und Paradigmen im Rückblick.“ 2010. [Online]. Verfügbar unter: https://wachstumimwandel.at/wp-content/uploads/Steuerer_2010_Wachstumskontroverse-als-Endlosschleife_WipolitBlaetter.pdf
- [9] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers und W. W. Behrens, „The Limits to Growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind.“ 1972. [Online]. Verfügbar unter: https://collections.dartmouth.edu/content/deliver/inline/meadows/pdf/meadows_ltg-001.pdf
- [10] Die Bundesregierung, „Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie Weiterentwicklung 2021.“ 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998194/1875176/3d3b15cd92d0261e7a0bcd8f43b7839/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-2021-langfassung-download-bpa-data.pdf>
- [11] C. Lindner, J. Schmitt und J. Hein, „Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019.“ 7,9, 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.conversio-gmbh.com/res/News_Media/2020/Kurzfassung_Stoffstrombild_2019.pdf
- [12] B. Wohner, E. Pauer, V. Heinrich und M. Tacker, „Packaging-Related Food Losses and Waste: An Overview of Drivers and Issues“, Sustainability, Jg. 11, Nr. 1, S. 264, 2019, doi: 10.3390/su11010264.
- [13] Europäische Kommission, „Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft: Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa.“ 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
- [14] J. Balwada, S. Samaiya und R. P. Mishra, „Packaging Plastic Waste Management for a Circular Economy and Identifying a better Waste Collection System using Analytical Hierarchy Process (AHP).“ Procedia CIRP, Jg. 98, S. 270–275, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.01.102.
- [15] Ellen MacArthur Foundation und McKinsey Center for Business and Environment, „Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe.“ 2015. [Online]. Verfügbar unter: https://emf.thirdlight.com/file/24/_A-BkCs_h7gRYB_Am9L_JfbYWF/Growth%20within%3A%20a%20circular%20economy%20vision%20for%20a%20competitive%20Europe.pdf
- [16] R. Stark, G. Seliger und J. Bonvoisin, „Sustainable manufacturing: Challenges, solutions and implementation perspectives (Sustainable production, life cycle engineering and management).“ Cham: Springer Open, 2017. Zugriff am: 8. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/27791/1/1002214.pdf>
- [17] Europäische Kommission, „Der europäische Grüne Deal.“ 2019. Zugriff am: 4. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_19_6691
- [18] European Commission, „Proposal for a regulation on packaging and packaging waste.“ PPWR, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0677>
- [19] C. Ingrao, M. Gigli und V. Siracusa, „An attributional Life Cycle Assessment application experience to highlight environmental hotspots in the production of foamy polylactic acid trays for fresh-food packaging usage.“ Journal of Cleaner Production, Jg. 150, S. 93–103, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.007.
- [20] E. Pauer, B. Wohner, V. Heinrich und M. Tacker, „Assessing the Environmental Sustainability of Food Packaging: An Extended Life Cycle Assessment including Packaging-Related Food Losses and Waste and Circularity Assessment.“ Sustainability, Jg. 11, Nr. 3, S. 925, 2019, doi: 10.3390/su11030925.
- [21] L. M. Gruber, C. P. Brandstetter, U. Bos, J. P. Lindner und S. Albrecht, „LCA study of unconsumed food and the influence of consumer behavior.“ Int J Life Cycle Assess, Jg. 21, Nr. 5, S. 773–784, 2016, doi: 10.1007/s11367-015-0933-4.
- [22] Ecoplus, BOKU, denkstatt und OFI, „Lebensmittel Verpackungen Nachhaltigkeit: Ein Leitfaden für Verpackungshersteller, Lebensmittelverarbeiter, Handel, Politik & NGOs.“ 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H81000/H81300/upload-files/Forschung/Lebensmittel/Leitfaden_StopWaste_A4_final_web.pdf
- [23] G. Sposny, „Entwicklung und technische Umsetzung nachhaltiger thermoformbarer Verpackungen.“ in: Nachhaltiger Konsum, W. Wellbrock und D. Ludin, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021, S. 521–535.
- [24] S. Schmidt und W. Wellbrock, „Alltäglicher nachhaltiger Konsum – Bewusster Umgang mit Lebensmitteln vs. skandalträchtige Verschwendung.“ in: Nachhaltiger Konsum, W. Wellbrock und D. Ludin, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021, S. 719–741.
- [25] T. Decker et al., „Plastikverpackungen in der Lebensmittelindustrie: Eine Analyse aus Sicht von VerbraucherInnen, Industrie und Handel.“ 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://bmbf-plastik.de/sites/default/files/2019-11/Plastikverpackungen_in_der_Lebensmittelindustrie_Diskussionspapier_VerPlaPoS_2019-1.pdf
- [26] Market Data Forecast, EUROPE FOOD PACKAGING MARKET: Segmented by Material, Product, Application and Country – Industry Analysis, Market Size, Growth Trends and Y-o-Y Forecasts 2021-2026, 2021. Zugriff am: 15. Dezember 2022.
- [27] E. van den Beuken et al., „White paper I From #plasticfree to future-proof plastics.“ 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/en/documents/publications/2023/White-paper-From-plasticfree-to-future-proof-plastics.pdf>
- [28] Z. Boz, V. Korhonen und C. Koelsch Sand, „Consumer Considerations for the Implementation of Sustainable Packaging: A Review.“ Sustainability, Jg. 12, Nr. 6, S. 2192, 2020, doi: 10.3390/su12062192.

Lebensmittelverpackungskonzepte für die Kreislaufwirtschaft

- [29] RECOUP, „Recyclability by Design 2022 with BPF - RECOUP.“ Zugriff am: 11. Januar 2024. [Online]. Verfügbar: <https://www.recoup.org/research-and-reports/recyclability-by-design-2022-with-bpf/>
- [30] K. Schüler, GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH und Umweltbundesamt (UBA), „Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2018: Abschlussbericht. Projektnummer 105802.“ 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_166-2020_aufkommen_und_verwertung_von_verpackungsabfaellen_in_deutschland_im_jahr_2018.pdf
- [31] Y. Chae und Y.-J. An, „Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review,“ *Environmental pollution* (Barking, Essex : 1987), Early Access. doi: 10.1016/j.envpol.2018.05.008.
- [32] L. Henderson und C. Green, „Making sense of microplastics? Public understandings of plastic pollution,“ *Marine pollution bulletin*, Early Access. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.110908.
- [33] L. S. Dilkes-Hoffman, J. L. Lane, T. Grant, S. Pratt, P. A. Lant und B. Laycock, „Environmental impact of biodegradable food packaging when considering food waste,“ *Journal of Cleaner Production*, Jg. 180, S. 325–334, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.169.
- [34] Umweltbundesamt, „PFAS sollen EU-weit beschränkt werden.“ Zugriff am: 15. Januar 2024. [Online]. Verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/pfas-sollen-eu-weit-beschaenkt-werden>
- [35] W. Leal Filho et al., „An overview of the problems posed by plastic products and the role of extended producer responsibility in Europe,“ *Journal of Cleaner Production*, Jg. 214, S. 550–558, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.256.
- [36] M. Shen et al., „Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution?,“ *Environmental pollution* (Barking, Essex: 1987), Early Access. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114469.
- [37] M. Liebig-Gonglach und H. Bednarz, „Mikro- und Nanoplastik im Trinkwasser: ein Gesundheitsrisiko?,“ *Public Health Forum*, Jg. 30, Nr. 4, S. 247–251, 2022. doi: 10.1515/pubhef-2022-0082. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/pubhef-2022-0082/html>
- [38] Europäische Union, RICHTLINIE (EU) 2019/904 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt: EU 2019/904, 2019.
- [39] K. Istel, „Lebensmittelverpackungen im Vergleich,“ 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/konsumressourcenmuell/211025-nabu-factsheet_verpackungsvergleiche.pdf
- [40] A. Bardow et al., „KreislaufwirtschaftPLUS: Handlungsempfehlungen für eine Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie,“ 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://plasticseurope.org/de/wp-content/uploads/sites/3/2022/11/2022-10-13-Handlungsempfehlungen-Nationale-Kreislaufwirtschaftsstrategie.pdf>
- [41] F. Müller et al., „Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft,“ 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_04_27_leitlinie_kreislaufwirtschaft_bf.pdf
- [42] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG): KrWG. Zugriff am: 8. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/KrWG.pdf>
- [43] H. Wilts, „Deutschland auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft?,“ Jun. 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://library.fes.de/pdf-files/wiso/12576.pdf>
- [44] P. Connett, „The Zero Waste Solution: Unrashing the Planet One Community at a Time.“ White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing, 2013. [Online]. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5149131>
- [45] Ellen MacArthur Foundation, „Circular economy introduction: What is a circular economy?“ Zugriff am: 9. Januar 2024. [Online]. Verfügbar: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- [46] Ellen MacArthur Foundation, „Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition,“ 2013. [Online]. Verfügbar unter: <https://emf.thirdlight.com/file/24/xTyQj3oxiYNMO1xTFs9xT5LF3C/Towards%20the%20circular%20economy%20Vol%201%3A%20an%20economic%20and%20business%20rationale%20for%20an%20accelerated%20transition.pdf>
- [47] M. Braungart, W. McDonough und A. Bollinger, „Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design,“ *Journal of Cleaner Production*, Jg. 15, 13-14, S. 1337–1348, 2007, doi: 10.1016/j.jclepro.2006.08.003.
- [48] C. Wiese, N. Krebs und K. Ketelhake, „Your Goal –Your Action: Input - Die Konsistenzstrategie/ auch Ökoeffektivität genannt,“ Zugriff am: 4. Februar 2023. [Online]. Verfügbar: <https://www.uni-hildesheim.de/deinprojekt/topic/input-die-konsistenzstrategie-auch-o-CC%88koeffektivita-CC%88t-genannt/>
- [49] T. T. Tambovceva, L. H. Melnyk, I. B. Dehtyarova und S. O. Nikolaev, „Circular Economy: Tendencies and Development Perspectives,“ *Meh. regul. ekon.*, Jg. 2021, Nr. 2, S. 33–42, 2021, doi: 10.21272/mer.2021.92.04.
- [50] P. Ghisellini, C. Cialani und S. Ulgiati, „A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems,“ *Journal of Cleaner Production*, Jg. 114, S. 11–32, 2016. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012287>
- [51] Europäische Kommission, RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle: zuletzt geändert am 14.06.2018, 2008. Zugriff am: 4. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20180705>
- [52] U. Lange und K. Surdyk, „Ressourceneffizienz in der Wertschöpfungskette (Nr. 23).“ VDI Zentrum Ressourceneffizienz, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://digital.zlb.de/viewer/metadata/34163937/1/>
- [53] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). „Ökologische Produktgestaltung (Ökodesign).“ Zugriff am: 28. Juli 2023. [Online]. Verfügbar: <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/konsum-und-produkte/oekologische-produktgestaltung-oekodesign>
- [54] Europäisches Parlament, „Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile,“ *Aktuelles I Europäisches Parlament*, 2023. Zugriff am: 11. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile>
- [55] Europäische Kommission, „Vorschlag für eine VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG, 2022.“ Zugriff am: 11. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:bb8539b7-b1b5-11ec-9d96-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF

- [56] T. C. McAloone und N. Bey, „Environmental improvement through product development A guide,“ 2009. [Online]. Verfügbar unter: <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/3996106/mpu-elektronisk-uk.pdf>
- [57] T. C. McAloone und D. C. A. Pigosso, „Ökodesign,“ in Pahl/Beitz Konstruktionslehre, B. Bender und K. Gericke, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021, S. 975–1021.
- [58] M. Möller, „Methoden und Hilfsmittel des Ecodesigns von Kunststoffverpackungen - Technische Dokumentation,“ 2016. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bkv-gmbh.de/files/bkv-neu/studien/Studie_zum_Eco_Design_von_Kunststoffverpackungen.pdf
- [59] D. Jepsen, T. Zimmermann und L. Rödig, „Kernleitfaden Ökodesign von Kunststoffverpackungen.“ Zugriff am: 11. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://ecodesign-packaging.org/en/guidelines/overview/>
- [60] T. Pitschke, S. Kreibe, M. Schlummer und B. Hanschmann, „Recyclingfähigkeit von Verpackungen: Bewertungskatalog,“ 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.interzero.de/fileadmin/Verpackungsoptimierung/Bewertungskatalog_Recyclingfaehigkeit_Interseroh.pdf
- [61] Zentrale Stelle Verpackungsregister (ZSVR), „Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG: im Einvernehmen mit dem Umweltbundesamt,“ 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/files/Mindeststandard/Mindeststandard_VerpackG_Ausgabe_2022.pdf
- [62] RECOUP, „Recyclability by Design 2023 - RECOUP.“ Zugriff am: 11. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.recoup.org/research-and-reports/recoup-recyclability-by-design-2023/>
- [63] RecyClass, „Design for Recycling Guidelines - RecyClass.“ Zugriff am: 10. Januar 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://recyclclass.eu/recyclability/design-for-recycling-guidelines/>
- [64] Initiative Frosch, „Design for Recycling: Die Grundlage der Kreislaufwirtschaft | Initiative Frosch.“ Zugriff am: 9. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://initiative-frosch.de/design-for-recycling-die-grundlage-der-kreislaufwirtschaft/>
- [65] United Nations, „Sustainable Development Goals - SDG 12 Sustainable consumption and production.“ Zugriff am: 11. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>
- [66] F. Wikström, H. Williams, J. Trischler und Z. Rowe, „The Importance of Packaging Functions for Food Waste of Different Products in Households,“ Sustainability, Jg. Jg. 11., Nr. 9, S. 2641, 2019, doi: 10.3390/su11092641.
- [67] United Nations. „Goal 2: Zero Hunger - United Nations Sustainable Development.“ Zugriff am: 11. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/hunger/>
- [68] J. Martens und W. Obenland, „Die Agenda 2030: Globale Zukunftsziele für nachhaltige Entwicklung,“ 30. Aufl. Bonn, Osnabrück: Global Policy Forum; terre des hommes, 2017. Zugriff am: 8. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.2030agenda.de/sites/default/files/Agenda_2030_online.pdf
- [69] KUNSTSTOFF.swiss, „Kunststoffe für eine nachhaltige Zukunft.“ Zugriff am: 8. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://kunststoff.swiss/Nachhaltigkeit/Kunststoffe-f%C3%BCr-eine-nachhaltige-Zukunft>
- [70] Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung, denkstatt GmbH, „Nutzen von Verpackungen: „Verpackungen nutzen - auch in ökologischer Hinsicht“,“ Mainz, Apr. 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.agvu.de/wp-content/uploads/2018/09/Verpackungen-nutzen-auch-in-%C3%B6kologischer-Hinsicht.pdf>
- [71] Europäische Kommission, „MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft,“ 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_3&format=PDF
- [72] Europäische Union, RICHTLINIE (EU) 2019/904 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt: EU 2019/904, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904>
- [73] L. Copello, T. Mörsen, D. Napierska, J. Vahk und L. Veillard, „Feedback on the EU Packaging Regulation revision: Recommendations for an ambitious revision of the Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR),“ (Position Paper PPWR zerowasteurope.eu), 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2023/04/Position-Paper-PPWR-2.pdf>
- [74] F. Schoettker, „EU-Verpackungsordnung Ante Portas! - Statement der IK.“ Zugriff am: 13. November 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/2023/11/07/ik-jahresbericht-eu-verpackungsordnung-ante-portas/?utm_campaign=newsletter&utm_medium=email&utm_source=es
- [75] G. K. Deshwal, N. R. Panjagari und T. Alam, „An overview of paper and paper based food packaging materials: health safety and environmental concerns,“ J. Food. Sci. Technol. (New Delhi, India), Early Access. doi: 10.1007/s13197-019-03950-z.
- [76] K. Molina-Besch, F. Wikström und H. Williams, „The environmental impact of packaging in food supply chains—does life cycle assessment of food provide the full picture?,“ Int. J. Life Cycle Assess., Jg. 24, Nr. 1, S. 37–50, 2019, doi: 10.1007/s11367-018-1500-6.
- [77] Europäischen Union, Verordnung (EU) 2022/1616 über Materialien und Gegenstände aus recyceltem Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen, und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 282/2008: Verordnung (EU) 2022/1616, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1616>
- [78] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz – VerpackG): VerpackG. Zugriff am: 8. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/verpackg/VerpackG.pdf>
- [79] Lizenzero, „Nachhaltige Verpackungsgestaltung: Was bedeutet recyclingfähig?“ Zugriff am: 23. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.lizenzero.de/blog/nachhaltige-verpackungsgestaltung-was-bedeutet-recyclingfaehig/>
- [80] R. Pomberger, „Über theoretische und reale Recyclingfähigkeit,“ Österr Wasser- und Abfallw, Jg. 73, 1-2, S. 24–35, 2021, doi: 10.1007/s00506-020-00721-5.
- [81] D. Bechlarz, „Was ermöglicht Carbon Capture and Utilisation?,“ PLASTVERARBEITER, 18. Juli 2023. Zugriff am: 23. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.plastverarbeiter.de/roh-und-zusatzstoffe/was-ermoeglicht-carbon-capture-and-utilisation-839.html>
- [82] Europäisches Parlament, RICHTLINIE 94/62/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. Dezember 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:01994L0062-20180704>
- [83] eurostat, „Recycling von Verpackungsabfällen nach Art der Verpackung.“ Zugriff am: 15. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_wm020/default/table?lang=de

Lebensmittelverpackungskonzepte für die Kreislaufwirtschaft

- [84] Zentrale Stelle Verpackungsregister (ZSVR), „Recyclingquoten 2021,“ 2022. [Online].
Verfügbar unter: https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/Auswertungen/ZSVR_Auswertung_Recyclingquoten_2018-2021.pdf
- [85] European Parliament, „P9_TA(2023)0425 Packaging and packaging waste Amendments* adopted by the European Parliament on 22 November 2023 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC (COM(2022)0677 – C9-0400/2022 – 2022/0396(COD)),“ 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0425_EN.pdf
- [86] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) und www.bmuv.de, „Weniger Verpackungsmüll – mehr Wahlfreiheit – Schluss mit Mogelpackungen | ECKPUNKTE zum Gesetz für weniger Verpackungsmüll,“ 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/weniger_verpackungsmuell_eckpunkte_bf.pdf
- [87] eurostat, „Material flow accounts statistics - material footprints.“ Zugriff am: 19. Januar 2024. [Online]. Verfügbar: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Material_flow_accounts_statistics_-_material_footprints#EU.27s_material_footprint_by_material_category_over_time
- [88] Dr. Martin R. Stuchtey, „Circular Economy: Werte schöpfen, Kreisläufe schließen,“ Jan. 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://320grad.de/wp-content/uploads/2016/01/Studie1.pdf>
- [89] Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg, „Rezyklateinsatz stärken (RESAG): Bericht an die Umweltministerkonferenz (UMK),“ Jan. 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/RESAG-Bericht%202022-01-28.pdf>
- [90] Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), „Kreislaufwirtschaft: Von der Rhetorik zur Praxis,“ [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kap_03_Kreislaufwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [91] Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg, „Rezyklateinsatz stärken (RESAG): Bericht an die Umweltministerkonferenz (UMK),“ 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/RESAG-Bericht%202022-01-28.pdf>
- [92] V. Giordano und Andre de Fontaine, „Die Vorteile der Kreislaufwirtschaft,“ springerprofessional.de, 11. Mai 2021. Zugriff am: 11. Januar 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.springerprofessional.de/energie---nachhaltigkeit/entsorgung/die-vorteile-der-kreislaufwirtschaft/19138588>
- [93] Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt (AGVU), „Aktuelles zu Verpackung und Nachhaltigkeit: Materialfraktion Glas.“ Zugriff am: 15. Dezember 2023. [Online.] Verfügbar: <https://www.agvu.de/de/125-125/>
- [94] Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt (AGVU), „Aktuelles zu Verpackungen und Nachhaltigkeit: Materialfraktion Weißblech.“ Zugriff am: 15. Dezember 2023. [Online.] Verfügbar: <https://www.agvu.de/de/weissblech-153/>
- [95] Umweltbundesamt, „Recyclingpapier ist gut für die Umwelt.“ Zugriff am: 19. Januar 2024. [Online]. Verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/haushalt-wohnen/papier-recyclingpapier#hintergrund>
- [96] G. Bovensiepen, H. Fink, P. Schnücker, S. Rumpff und S. Raimund, „Verpackungen im Fokus: Die Rolle von Circular Economy auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit,“ 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pwc.de/de/handel-und-konsumguter/pwc-studie-verpackungen-im-fokus-februar-2018-final.pdf>
- [97] T. Decker et al., „Verbraucherreaktionen bei Plastik und dessen Vermeidungsmöglichkeiten am Point of Sale (VerPlaPoS). Abschlussbericht,“ 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Sven-Saengerlaub/publication/352440875_Verbraucherreaktionen_bei_Plastik_und_dessen_Vermeidungsmoeglichkeiten_am_Point_of_Sale_VerPlaPoS_Abschlussbericht/links/60c9d7f9458515dccee9377ac/Verbraucherreaktionen-bei-Plastik-und-dessen-Vermeidungsmoeglichkeiten-am-Point-of-Sale-VerPlaPoS-Abschlussbericht.pdf#page=132
- [98] Statista, „Österreich - Kaufentscheidungskriterien bei Produkten des täglichen Bedarfs 2018 | Statista.“ Zugriff am: 19. Januar 2024. [Online.] Verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/829315/umfrage/umfrage-zu-kaufentscheidungskriterien-bei-produkten-des-taeglichen-bedarfs-in-oesterreich/>
- [99] S. Otto, M. Strenger, A. Maier-Nöth und M. Schmid, „Food packaging and sustainability – Consumer perception vs. correlated scientific facts: A review,“ *Journal of Cleaner Production*, Jg. 298, S. 126733, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126733.
- [100] Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung, „Verbraucher wollen Informationen zur Recycelbarkeit auf Verpackungen: Herstellung, Material und Recycling: Das Interesse an Sustainable Packaging bleibt hoch, Verbraucher wollen klare Kommunikation und auch Zertifikate und Siegel sind relevant.“ Zugriff am: 5. Januar 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.bvse.de/recycling/recycling-nachrichten/7452-verbraucher-wollen-informationen-zur-recycelbarkeit-auf-verpackungen.html>
- [101] H. Buxel und S. Schiller, „DLG-Insights Sustainable Packaging 2024: Verbraucher, Labeling, Strategien für Food & Beverage, Teil 1: Verbraucher Bedeutung umweltfreundlicher Lebensmittelverpackungen aus Verbrauchersicht,“ 2024.
- [102] Lexikon der Nachhaltigkeit, „Lexikon der Nachhaltigkeit | Definitionen | Entkopplung.“ Zugriff am: 19. Januar 2024. [Online.] Verfügbar: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/entkopplung_1821.htm
- [103] Umweltbundesamt, „Umwelthesaurus - Statische Reichweite.“ Zugriff am: 19. Januar 2024. [Online.] Verfügbar: https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/_00657484.html
- [104] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Deutsche Rohstoffagentur (DERA), „DERA Rohstoffinformationen 50 (2021). Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021,“ 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-50.html?sessionid=7CBED26F6843DEFA6275617CBC153390.internet981?nn=1542132&__blob=publicationFile
- [105] B. Jaeger und A. Upadhyay, „Understanding barriers to circular economy: cases from the manufacturing industry,“ *JEIM*, Jg. 33, Nr. 4, S. 729–745, 2020, doi: 10.1108/JEIM-02-2019-0047.
- [106] X. Sun, F. Lettow und K. Neuhoff, „Klimaneutralität braucht koordinierte Maßnahmen zur Stärkung von hochwertigem Recycling,“ 2021, doi: 10.18723/DIW_WB:2021-26-1. Zugriff am: 19. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://d-nb.info/123859865X/34>
- [107] J. Boße et al., „Empfehlungen für die Revision der Verpackungsrichtlinie 1994/62/EG: Vorschläge zur Stärkung einer Kreislaufwirtschaft,“ 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/sciopap_verpack-rl_uba_de.pdf
- [108] Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU), „Mehrwegsysteme für Transportverpackungen.“ Zugriff am: 19. Januar 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/einzelhandel-und-umwelt/32307.html>

DLG-Expertenwissen. Wissen für die Praxis.

Lebensmitteltechnologie

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

Lebensmittelsensorik

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

Food Chain

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

Download unter www.DLG.org/Expertenwissen



DLG e.V.

Fachzentrum Lebensmittel

Eschborner Landstraße 122 · 60489 Frankfurt am Main

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

FachzentrumLM@DLG.org · www.DLG.org