



## **Biokunststoffe in der Verpackung von Lebensmitteln**

Hintergrund und  
Anwendungsmöglichkeiten

.....

Dr. Victoria Krauter, Ing. Ulla Gürlich, BSc,  
und Vivienne Nieuwenhuizen, BSc,  
Fachbereich Verpackungs- und Ressourcenmanagement,  
FH Campus Wien

## Biokunststoffe in der Verpackung von Lebensmitteln

### Hintergrund und Anwendungsmöglichkeiten

Dr. Victoria Krauter, Ing. Ulla Gürlich, BSc, und Vivienne Nieuwenhuizen, BSc, Fachbereich Verpackungs- und Ressourcenmanagement, FH Campus Wien

#### ZUSAMMENFASSUNG

Das Thema Nachhaltigkeit in all seinen Dimensionen – im Besonderen die ökologische Nachhaltigkeit – erfährt aktuell weltweit höchste Aufmerksamkeit. Dabei wird die Notwendigkeit von Verpackungen teils heftig diskutiert und angesichts fortschreitender Umweltprobleme geraten diese, trotz Sinnhaftigkeit ihrer Funktionen, in Bedrängnis. Entsprechend stehen nach wie vor Verpackungsoptimierung und -reduktion, jedoch aktuell auch Substitution von Materialien und Kreislaufwirtschaft auf der Agenda und üben einen massiven Innovationsdruck auf verpackungsproduzierende und -anwendende Unternehmen aus, nachhaltig und zukunftsorientiert zu handeln.

Der aktuelle Beitrag fokussiert zu Beginn auf die Notwendigkeit der Verpackung, deren Funktionen und Eigenschaften sowie Nachhaltigkeitskriterien. Im Anschluss findet eine Vertiefung im Bereich Biokunststoffe statt. Hier werden Unterschiede zwischen biobasierten und bioabbaubaren Kunststoffen aufgezeigt, Beispiele gegeben und deren Anwendung in der Verpackung von Lebensmitteln dargestellt. Abschließend stehen Nachhaltigkeitsaspekte der Biokunststoffe im Mittelpunkt. Essentiell ist eine klare Unterscheidung zwischen biobasierten und nicht abbaubaren, biobasierten und bioabbaubaren sowie petrobasierten und bioabbaubaren Kunststoffen. Hier muss eine eindeutige Kommunikation und Aufklärung erfolgen, da der Begriff „Biokunststoff“ nicht eindeutig definiert verwendet wird.

#### EINLEITUNG

Der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) zufolge gehen jährlich bis zu einem Drittel der für den menschlichen Verzehr produzierten Lebensmittel entlang der Versorgungskette verloren oder werden verschwendet. Dies entspricht einem gigantischen Ausmaß

von rund 1,3 Milliarden Tonnen. Der Begriff Lebensmittelverluste (engl. Food Losses) bezieht sich dabei auf die Reduktion der Lebensmittel zwischen der Primärproduktion und dem Handel während Ernte, Bearbeitung, Lagerung, Verpackung und Transport. Ein oft gewähltes Beispiel hierfür sind Obst und Gemüse, die aufgrund inadäquater Verpackung während des Transports beschädigt werden. Lebensmittelverschwendung (engl. Food Waste)

hingegen bezieht sich auf die Entsorgung oder alternative Nutzung von Lebensmitteln. Beispiele hierfür sind Produkte, die aufgrund nicht der Norm entsprechender Größe, Form oder Farbe aussortiert werden, überzählige Lebensmittel in Haushalt und Gemeinschaftsverpflegung sowie nahe oder am Mindesthaltbarkeitsdatum entsorgte Produkte, die noch verzehrtauglich wären [1, 2].

Während Lebensmittelverluste besonders in Ländern mit durchschnittlich niedrigem Einkommen eine Herausforderung darstellen, steht in Ländern mit hohem Durchschnittseinkommen die Lebensmittelverschwendung klar im Fokus [2]. Die Quantifizierung erweist sich dabei oftmals als schwierig [3]. Eine in Europa (EU-28) durchgeführte Studie konnte zum Beispiel zeigen, dass rund 20% der Lebensmittel (173 kg pro Person und Jahr) verloren gehen oder verschwendet werden. Der größte Teil davon am Ende der Versorgungskette (Verbrauch), nämlich im Bereich des Haushaltes (53%) und des Lebensmittel Dienstleistungssektors (12%). Im Bereich der vorgelagerten Stufen der Distribution (Groß- und Einzelhandel), der Verarbeitung und der Produktion hingegen traten 5, 19 und 11% Abfall auf [4].

Im übertragenen Sinne kann die immense Menge an nicht konsumierten Lebensmitteln als Spitze eines Eisbergs gesehen werden. Unter ihr verbergen sich die enorme Verschwendung wertvoller Ressourcen wie etwa Wasser, Land und Energie, aber auch von Arbeit und Kapital. Zudem tragen unnötig produzierte Treibhausgasemissionen zur globalen Erwärmung und dem Klimawandel bei. Nicht zuletzt wird die durch die ohnehin stetig wachsende Weltbevölkerung angespannte Situation der Nahrungsunsicherheit befeuert [1, 2]. Entsprechend machen die Umweltauswirkungen von Verpackungen oftmals nur einige wenige Prozent im Vergleich zum Füllgut aus [5, 6].

Vor diesem Hintergrund scheint es mehr als gerechtfertigt, dass bereits seit einigen Jahren Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen auf nationaler

sowie internationaler Ebene die Reduktion von Lebensmittelverlusten und -abfällen vorantreiben [1, 7, 8, 9]. Ähnlich der Abfallhierarchie (EU-Abfallrichtlinie 2008/98/EG), die die Vermeidung von Abfällen, die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling beziehungsweise die sonstige Verwertung (z. B. energetische Verwertung) und zuletzt die Beseitigung umfasst, wird bei der Thematik Lebensmittelverluste und -abfälle primär die Vermeidung dergleichen fokussiert. Dahinter folgen die Umverteilung von Lebensmitteln (z. B. die Weitergabe von Lebensmitteln an karitative Einrichtungen), die Nutzung dergleichen als Futtermittel, Kompostierung und Erzeugung erneuerbarer Energie sowie deren Entsorgung [7, 10]. Um tatsächlich eine Reduktion der Verluste und Abfälle zu erreichen, ist es essentiell, deren Mengen und Ursachen zu identifizieren und letztere auf Mikro-, Meso- und Makroebene zu analysieren. Entsprechend können in Folge maßgeschneiderte Lösungen erarbeitet werden [10].

Eine sehr bedeutende Ursache, jedoch auch Lösung, ist oftmals die Verpackung. Während eine fehlende oder hinsichtlich ihrer Funktionen falsch gewählte und eingesetzte Verpackung Ursache für Lebensmittelverluste und -abfälle sein kann, kann eine dem Produkt und dessen Lebenszyklus angepasste Verpackung die Lösung hierfür sein. Interessant sind in diesem Zusammenhang auch die Möglichkeiten, die sich durch moderne Verpackungen, wie „aktive“ und „intelligente“ Verpackungen, eröffnen. Ein Beispiel für aktive Verpackungen wären Sauerstoffabsorber, für intelligente Verpackungen solche, die als Zeit-Temperatur-Indikator fungieren [10].

Während diese Herangehensweise die Notwendigkeit und den Einsatz von Verpackungen rechtfertigt, stellen Verpackungen heute zugleich ein Umweltproblem dar und werden heftig diskutiert. Aktuelle Entwicklungen und Rahmenbedingungen üben daher einen hohen Innovationsdruck auf verpackungsproduzierende und -anwendende Unternehmen aus und fordern nachhaltiges und zukunftsorientiertes Handeln. Neben dem reduzierten Einsatz von Ver-

packungen stehen unter anderem Recyclingfähigkeit und Substitution von Kunststoffen (z. B. durch Papier) sowie Biokunststoffe im Zentrum der aktuellen Diskussion [11, 12, 13].

Besonders Biokunststoffe sind für viele anwendende Personen/Unternehmen mit Unklarheit behaftet. Der vorliegende Artikel zielt daher darauf ab, Grundlagenwissen im Bereich Verpackung und Nachhaltigkeit zu vermitteln und im Speziellen auf Biokunststoffe und deren Sinnhaftigkeit beziehungsweise Anwendungstauglichkeit im Lebensmittelsektor einzugehen.

## VERPACKUNGEN: FUNKTIONEN UND MATERIALEIGENSCHAFTEN

### Funktionen

Verpackungen sind Spiegel der Gesellschaft und in vielen Bereichen unverzichtbar, um Güter und insbesondere Lebensmittel vor Qualitätsverlust entlang der Versorgungskette zu schützen. Sie erfüllen also keinen Selbstzweck. Die Art und Ausführung der gewählten Verpackung hängt dabei untrennbar mit den jeweiligen Füllguteigenschaften und -anforderungen zusammen. So vielfältig die dadurch am Markt zu findenden Verpackungen auch sein mögen, in ihren Funktionen finden sie doch einen gemeinsamen Nenner. Nur wenn diese sorgfältig gewählt und aufeinander abgestimmt sind, kann ein Produkt-Verpackungs-System erfolgreich sein und bestehen (siehe Abbildung 1) [14, 15, 16].

Eine oft nicht wahrgenommene, jedoch zugrundeliegende Funktion ist die **Aufbewahrung** von Lebensmitteln. Bis auf einige wenige stückige, relativ große Produkte ist es meist notwendig, Produktverlusten und/oder -verunreinigung vorzubeugen und somit Lagerung, Transport und Distribution erst zu ermöglichen. Ein Beispiel für Produkte mit relativ hoher Anforderung an diese Funktion sind flüssige Lebensmittel, ein Beispiel für niedrige Anforderungen hingegen Obst und Gemüse [16, 17].

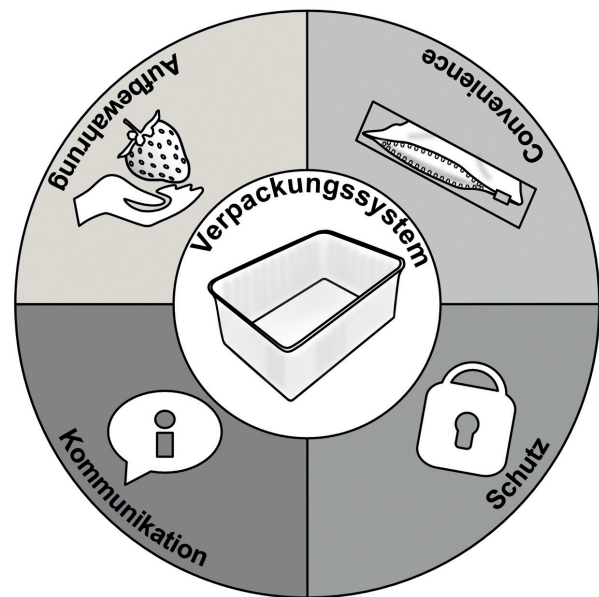


Abbildung 1: Verpackungsfunktionen (Grafik erstellt auf Basis von [18])

Die **Schutzfunktion** kann als wichtigste Rolle der Verpackung erachtet werden. Durch sie werden die die Qualität der Lebensmittel negativ beeinflussenden extrinsischen, jedoch auch intrinsischen Einflüsse physikalischer, chemischer sowie biologischer Art reduziert oder abgehalten. Dadurch wird im Idealfall die Haltbarkeit der Produkte gefördert. Ein Integritätsverlust der Verpackung hingegen kann das Gegenteil bewirken. Bei der Auswahl einer Verpackung ist es daher besonders wichtig, auf Produkteigenschaften und -anforderungen im Detail einzugehen. Beispiele für Lebensmittel mit hoher Anforderung an die Schutzfunktion der Verpackung sind frische Lebensmittel wie Milch und Fleisch, zerbrechliche Produkte wie Eier, aber auch oxidationsempfindliche Produkte wie Öle. Niedrige Anforderungen hingegen haben etwa trockene Produkte wie Salz oder Teigwaren [16, 17].

**Convenience**, also Anwenderfreundlichkeit, beziehungsweise Praxistauglichkeit einer Verpackung entscheidet häufig über den Erfolg eines Produktes am Markt und orientiert sich zunehmend an den Bedürfnissen der jeweiligen Zielgruppen. Hierzu zählen zum Beispiel einfach zu öffnende und wie-

derverschließbare Verpackungen, Portionsverpackungen oder „frustfreie“ Verpackungen [16, 17].

**Kommunikation** ist eine weitere komplexe Verpackungsfunktion, die im Wesentlichen Information und Marketing umfasst. Hierzu gehören stetig zunehmende geforderte Informationen (durch Gesetze, Vorschriften) ebenso wie notwendige (z. B. Barcode) und freiwillige Angaben (Zertifikate, Anweisungen), aber auch Produkt- und Markenerkennung. Für letzteren Punkt gibt es viele Beispiele, bei denen das unverkennbare Design der Verpackung einen ebenso großen oder sogar größeren Erkennungswert hat als der Produktname [16, 17].

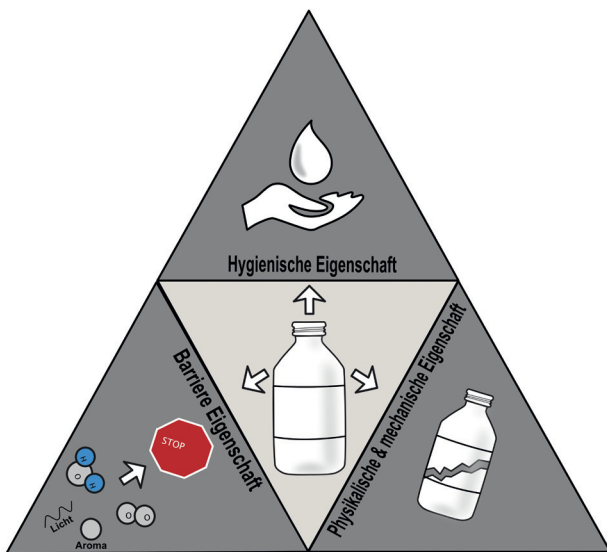


Abbildung 2: Eigenschaften von Verpackungsmaterialien (Grafik erstellt auf Basis von [18])

## Eigenschaften

Eine Schlüsselentscheidung in der Entwicklung einer spezifischen Verpackung ist oftmals die Auswahl der Materialien (Packstoffe) nach ihren Eigenschaften (siehe Abbildung 2). Allgemein gilt, dass jeder Packstoff, ob Glas, Metall, Kunststoff, Papier/Karton/Pappe, aber auch Verbundmaterialien daraus (z. B. mit Kunststoff beschichteter Karton), Vor- und Nachteile in den unterschiedlichsten Anforderungen/Eigenschaften hat (siehe Tabelle 1, Seite 6). Entsprechend ist im Gesamtkontext von

Lebensmittel, Verpackung und Versorgungskette zu entscheiden, welches Material zu bevorzugen ist. Während Eigenschaften bestimmter Verpackungen beziehungsweise deren Komponenten mitunter in Spezifikationen und Konformitätserklärungen festgehalten sind, empfiehlt es sich, die Eigenschaften zusätzlich unter Anwendungsbedingungen zu testen, um etwaige Abweichungen frühzeitig im Entwicklungsprozess zu erkennen [16, 17, 18]. Im Folgenden sind einige der wichtigsten Eigenschaften genannt.

Entlang ihres Lebenszyklus sind Verpackungen zum Teil enormem **physikalischem und mechanischem Stress** ausgesetzt. Ursachen hierfür können der Herstellungsprozess und die folgende Wechselwirkung zwischen Verpackung und Füllgut sein, jedoch auch der Abpackprozess, die Lagerung oder der Transport. Statischer Stress (dauerhaft und langsam wirkend) tritt zum Beispiel bei Stapelung, der Ausbildung von Unterdruck in der Verpackung durch Vakuumverpacken, Heißabfüllung oder modifizierter Atmosphäre, aber auch bei kantigen Produkten auf. Dynamischer Stress hingegen kann beim Veredelungsprozess der Verpackung (z. B. Druck, Formen), beim Abpacken durch das Produkt oder den Prozess, beim Transport durch Vibration und Stoß auftreten. Eine Feststellung beziehungsweise Überprüfung der Eigenschaften kann etwa durch Feldtests (z. B. Transport- und Lagertests), jedoch auch durch Laborüberprüfungen (z. B. Kompressionstest, Fallversuch, Durchstoßfestigkeit) durchgeführt werden [16, 17, 18].

Neben den physikalischen und mechanischen Eigenschaften wird die Aufbewahrungs- und Schutzfunktion von Verpackungen maßgeblich von den **Barriereigenschaften** des gewählten Packstoffs bestimmt. In diesem Kontext ist insbesondere die Barriere gegen Sauerstoff und Wasserdampf hervorzuheben, da diese einen starken Einfluss auf die qualitäts-, deklarations- und sicherheitsbezogene Haltbarkeit von Lebensmitteln haben kann. Während Sauerstoff Oxidation, Verlust qualitätsbestimm-

# Nachrichten aus der Wissenschaft

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Verpackungen aus Kunststoff, Metall, Glas und Papier/Pappe im Überblick (Tabelle erstellt auf Basis von [18])

Packstoff	Vorteile	Nachteile
<b>Kunststoff</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Leichter Werkstoff (niedrige Dichte)</li> <li>· Sehr gute Formbarkeit</li> <li>· Niedrige Kosten</li> <li>· Vielseitige, kontrollierbare Eigenschaften (physikalische und mechanische Eigenschaften, Chemikalienbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Barriere)</li> <li>· Hohe Convenience (z.B. gute Transportfähigkeit, Leichtigkeit, Bruchsicherheit)</li> <li>· Nichtleiter</li> <li>· Im Verbund mit anderen Materialien einsetzbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Niedrige Temperaturbeständigkeit</li> <li>· Beständigkeit</li> <li>· Migrationspotential</li> <li>· Kostenintensive Trennung und Sortierung</li> <li>· Recycling bisher nur für einige Kunststoffe implementiert</li> <li>· Schlechtes Image</li> </ul>
<b>Metall (Aluminium, Weißblech)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sehr gute Barriereigenschaften</li> <li>· Hohe mechanische Stabilität</li> <li>· Temperaturbeständigkeit</li> <li>· Gute Gestaltbarkeit</li> <li>· Recyclingfähigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Energieintensive Herstellung</li> <li>· Schwerer Werkstoff (hohe Dichte)</li> <li>· Nicht transparent</li> <li>· Thermisch nicht verwertbar</li> <li>· Nicht wiederverwendbar</li> <li>· Oft schlechte Restentleerbarkeit</li> <li>· Nicht mikrowellentauglich</li> </ul>
<b>Glas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sehr gute Barriereigenschaften</li> <li>· Chemisch beständiger Werkstoff</li> <li>· Heißabfüllung und Hitzebehandlung möglich</li> <li>· Hygienisch, wasch- und sterilisierbar</li> <li>· Unterschiedliche Formen realisierbar</li> <li>· Hohe mechanische Stabilität, Starrheit</li> <li>· Druckbeständig</li> <li>· Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit</li> <li>· Transparent und farbig erhältlich</li> <li>· Ein- und Mehrweg möglich</li> <li>· Mikrowellentauglich</li> <li>· Gutes Image</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Energieintensive Produktion</li> <li>· Schwerer Werkstoff (hohe Dichte)</li> <li>· Hoher Logistikaufwand</li> <li>· Bruchgefahr</li> <li>· Keine Flexibilität</li> </ul>
<b>Papier/ Pappe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Gute mechanische Stabilität</li> <li>· Nachwachsend</li> <li>· Recyclingfähig</li> <li>· Thermisch verwertbar</li> <li>· Im Verbund mit Kunststoff anwendbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nicht transparent</li> <li>· Schlechte Barriereigenschaften</li> <li>· Sehr beschränkt für pastöse/flüssige Lebensmittel einsetzbar</li> </ul>

mender Inhaltsstoffe und Wachstum von Mikroorganismen begünstigen kann, ist Wasserdampf maßgeblich an strukturellen Veränderungen, Wasserverlust oder -aufnahme von Produkten beteiligt. Hinzu kommt ebenfalls die mögliche Begünstigung mikrobiellen Wachstums. Abgesehen von den beiden genannten Gasen kann in vielen Fällen auch die Barriere gegenüber Kohlendioxid, Stickstoff oder Aromastoffen von Interesse sein.

Essentiell in Bezug auf die Barriere ist, dass die Verpackung ausreichend dicht ist, es daher zu keiner unerwünschten Diffusion von Gasen und damit zum Austausch der Atmosphäre innerhalb und außerhalb der Verpackung kommt. Erst dann kann die Gasdurchlässigkeit (Permeation) von zum Beispiel unterschiedlichen Kunststoffen und deren Auswirkung auf die Haltbarkeit von Lebensmitteln in Betracht gezogen werden, die oftmals ausschlaggebender Punkt für oder wider eines bestimmten Materials ist. Eine Überprüfung der Dichtheit von Verpackungen, jedoch auch der Permeation, kann im Labor erfolgen [17, 18, 19].

Eine weitere Barrierefunktion, die Verpackungen bieten können, ist die Abschirmung des Produkts gegenüber dem Einfall von Licht, das oxidative und andere chemische Reaktionen (z. B. Ausbildung des „Lichtgeschmacks“ bei Milch) beschleunigen und somit ebenfalls zum Verlust qualitätsbestimmender Inhaltsstoffe führen kann. Zudem kann Licht zu strukturellen Schäden des Produkts führen. Je nach gewähltem Material, dessen Farbgebung, Bedruckung oder Verwendung im Verbund, Pigmentierung aber auch Metallisierung kann eine höhere oder niedrigere Lichttransmission erreicht werden [17, 18, 19, 20, 21, 22].

Als **Migration** wird der Massentransfer von einem Verpackungsmaterial in das Füllgut (Lebensmittel) beschrieben. Die treibende Kraft hierfür ist ein Konzentrationsgradient. Abhängig von Faktoren wie den Eigenschaften des Materials, den Prozessbedingungen, dem Füllgut, der migrierenden Sub-

stanz und den Lagerbedingungen (insbesondere Temperatur und Zeit) kann es zu einem hohen oder niedrigen Niveau an Migration und somit zu einem möglichen Gesundheits- und Sicherheitsrisiko kommen. Entgegen der breiten Wahrnehmung ist Migration nicht nur bei Kunststoffen, sondern auch bei anderen Packstoffen zu finden und kann neben dem Verpackungsmaterial seine Ursache auch in Packhilfsmitteln (z. B. Etiketten) oder dem Abklatsch der Außenseite auf die Innenseite der Verpackung bei Stapelung/Wicklung von vorproduzierten Verpackungsmaterialien oder den Lagerbedingungen des fertig produzierten Produktes haben. Überprüft werden kann die Migration für das jeweilige Produkt-Verpackungs-System und den angedachten Gebrauch im Labor – basierend auf Vorgaben der Europäischen Union [18, 23]. Interessant ist des Weiteren, dass es neben der Migration in das Füllgut auch zu einer Migration von Stoffen aus dem Füllgut in das Verpackungsmaterial (Sorption oder Scalping) kommen kann. Diese Art der Migration kann mitunter zu Produktbeeinflussungen (z. B. Aromaverlust) führen und die Wiederverwendbarkeit von Mehrweggebinden durch die spätere, erneute Freigabe der migrierten Stoffe nachteilig beeinflussen [24].

Nicht zuletzt ist die **Hygiene** von Verpackungsmaterialien relevant, da diese je nach Art und Beschaffenheit eine Barriere gegenüber Kontaminationen, Mikroorganismen und Lebensmittelschädlingen darstellen. Voraussetzung für die Wirksamkeit der Barriere sind dabei die Impermeabilität und Kontaminationsfreiheit der eingesetzten Materialien. Ebenfalls ist es wichtig zu erkennen, dass die Materialien gegebenenfalls mikrobielles Wachstum unterstützen können. Die meisten Packstoffe sind bei ihrer Herstellung hohen Temperaturen ausgesetzt und weisen daher initial keine oder nur eine geringfügige mikrobielle Kontamination auf. Die Hauptherausforderung liegt bei diesen Materialien daher darin, eine Rekontamination während Lagerung, Veredelung, Anwendung etc. zu vermeiden. Je nach Hygieneanforderungen werden daher unter-

schiedliche Materialien gewählt und gegebenenfalls Keimreduzierungsmaßnahmen im Abpackprozess ergriffen [18, 25].

## NACHHALTIGKEIT UND VERPACKUNG

Ogleich die vorangegangenen Abschnitte zeigen, dass Verpackungen durchaus viele Vorteile haben, werden sie von der Allgemeinheit heute dennoch vielfach negativ wahrgenommen [6]. Dem zugrunde liegt, dass die konsumierenden Zielgruppen die Rolle der Verpackung meist nicht erkennen und diese daher als notwendiges Übel oder unnötigen Kostenfaktor ansehen. Verpackungen erscheinen ihnen zudem – in einigen Bereichen berechtigt – zunehmend zwecklos, eine ernsthafte Verschwendung von Ressourcen und eine Bedrohung für die Umwelt. Eine Erklärung für diese Einstellung gegenüber Verpackungen ist, dass zum einen die Funktionen einer Verpackung oft nicht bekannt sind oder nicht erkannt werden, es also an Aufklärung fehlt, und zum anderen der Moment der Interaktion mit der Verpackung am Ende der Versorgungskette liegt, an der Verpackungen ihre Funktionen bereits erfüllt haben und meist als Abfall anfallen [16].

Vor diesem Hintergrund sowie aktuellen globalen Entwicklungen und Rahmenbedingungen steigt daher der Ruf nach nachhaltigen Verpackungen und damit der Innovationsdruck auf Verpackungen produzierende und in Verkehr bringende Unternehmen, nachhaltig und zukunftsorientiert zu handeln, enorm an. Doch was macht eine nachhaltige Verpackung eigentlich aus? Kann DIE eine, nachhaltige Verpackung definiert werden? Während die erste Frage zum Teil bereits beantwortet werden kann (siehe nachhaltige Verpackungskriterien) und unterschiedliche Herangehensweisen verfolgt werden, muss die zweite Frage mit „nein“ beantwortet werden, da hier jeweils mehrere Faktoren (z. B. Produkt, Versorgungskette, Vorgaben des Handels) und Dimensionen (ökologisch, ökonomisch, sozial) zu berücksichtigen sind [6, 26, 27, 28].

Ohne Zweifel braucht die Entwicklung nachhaltiger Verpackungen Zeit und Investment. Auf der anderen Seite stehen jedoch Vorteile in den unterschiedlichen Dimensionen der Nachhaltigkeit. Beispiele können Kostenreduktion, reduzierte Umweltauswirkungen, verbesserte Wahrnehmung durch die Zielgruppen sowie Entscheidungsfindung sein. Zudem kann der positive Einfluss in der Verpackungskette und der Unternehmenswelt gesteigert werden.

Auf dem Weg zur nachhaltigen Verpackung ist es essentiell, Lebenszyklusdenken und Kreislaufwirtschaft zu etablieren sowie eine Lebenszyklusanalyse im Entwicklungsprozess und entlang des Produktlebenszyklus als Entscheidungsgrundlage heranzuziehen. Darüber hinaus muss ein entsprechender strategischer Unternehmensansatz Basis der angestrebten Entwicklungen sein [6].

## NACHHALTIGE VERPACKUNGSKRITERIEN

In den vergangenen Jahren wurden diverse Nachhaltigkeitskriterien für Verpackungen erarbeitet [6, 26, 29]. Einen auf das Wesentliche kondensierten, zugleich jedoch umfassenden Zugang gibt das „Packaging Sustainability Framework“ (siehe Abbildung 3, Seite 9). In diesem werden insgesamt vier Prinzipien herangezogen, die im Folgenden dargestellt werden, um Entscheidungen hinsichtlich Design, Herstellung, Transport, Gebrauch und Lebensende von Verpackungen zu treffen. Hervorzuheben ist, dass die Prinzipien beziehungsweise Eckpfeiler des Frameworks ineinandergreifen und daher Änderungen in einem Bereich auch andere Bereiche positiv oder negativ beeinflussen können. Nur durch Feinabstimmung kann somit eine ausgewogene, nachhaltige Verpackungslösung erzielt werden, die ökologische, ökonomische und soziale Vorteile bietet [6, 30].

Um zur Nachhaltigkeit beizutragen, müssen Verpackungen in erster Linie **effektiv**, also gebrauchstauglich sein. Darunter ist im Großen und Ganzen die Erfüllung der Verpackungsfunktionen



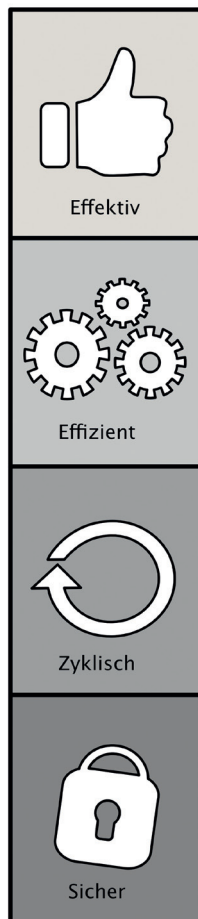


Abbildung 3: Die vier Eckpunkte nachhaltiger Verpackungen (Grafik erstellt auf Basis von [7, 34])

(Aufbewahrung, Schutz, Convenience, Kommunikation) zu verstehen (siehe oben) [6].

Um **effizient** zu sein, müssen Verpackungen nach dem Minimalprinzip gestaltet sein. Ziel ist es, den Ressourcenverbrauch (z. B. Materialien, Energie, Wasser), Abfall und Emissionen entlang des Lebenszyklus zu minimieren. Zu beachten ist hierbei, dass die optimale Menge an Verpackung eingesetzt und „Overpackaging“ vermieden wird. Wird zu wenig oder nicht adäquat verpackt, steigt der negative Umwelteinfluss durch mögliche Produktverluste und -abfälle sowie der vergebens eingesetzten Verpackung exponentiell an. Wird zu viel verpackt, steigt der Umwelteinfluss hingegen aufgrund eines Zuviels an Verpackung linear an [6, 31].

Ein weiteres Ziel ist es, **zyklische** Verpackungen zu erreichen. Hierfür ist es notwendig, Kreisläufe zu schließen und entlang des Lebenszyklus die Rückgewinnung von Materialien, Energie und Wasser zu maximieren. Darunter können zum Beispiel erneuerbare Materialien und Energie, Design im Hinblick auf Wiederverwendung oder Recycling sowie der Einsatz von Recyclingmaterialien verstanden werden [6].

Zu guter Letzt ist es notwendig und unabdingbar, Verpackungen so zu gestalten, dass sie **sicher**, d. h. umweltfreundlich und schadstofffrei, sind und dadurch weder Mensch noch Umwelt gefährden. Dazu zählt die Vermeidung gefährlicher Substanzen, umweltfreundliche Produktion, Verantwortung gegenüber der Umwelt sowie die Reduktion von Abfall [6].

## BIOKUNSTSTOFFE

Im heutigen Umwelt- und Verpackungsdiskurs werden Biokunststoffe wiederholt als Lösung für die Herausforderungen der Verpackung dargestellt und sind aufgrund der Bestrebung nach einer nachhaltigen Entwicklung populär. In der Innovationskraft, die von ihnen ausgeht, steckt jedoch in vielerlei Hinsicht auch eine Herausforderung für Anwendende und Zielgruppen. Häufig auftretende Fragen sind meist jene nach der Definition von Biokunststoffen, den möglichen Einsatzgebieten, den Materialeigenschaften und Verwertungsmöglichkeiten sowie der Recyclingfähigkeit. Im Folgenden soll in aller Kürze auf diese Fragen eingegangen werden.

## DEFINITION DER (BIO)KUNSTSTOFFE

Bei **Kunststoffen** (Polymeren) handelt es sich um makromolekulare Verbindungen, die aus sich wiederholenden Grundeinheiten (Monomeren) aufgebaut sind. Die Basis dieser Bestandteile bilden hauptsächlich Kohlenstoff und Wasserstoff. In kleineren Anteilen können zudem Sauerstoff und Stickstoff vorhanden sein. Je nachdem, auf welchen Monomeren das Polymer basiert, wie diese vernetzt

oder verzweigt sind und welche Dimensionen die daraus geschaffenen Moleküle annehmen, können Werkstoffe mit unterschiedlichsten Eigenschaften geschaffen werden. Generell kann eine grobe Einteilung der Kunststoffe in Thermoplaste (unvernetzte Polymere), Elastomere (weitmaschig vernetzte Polymere) und Duromere (engmaschig vernetzte Polymere) vorgenommen werden. Im Gegensatz zu den anderen beiden Gruppen bieten Thermoplaste die Möglichkeit, durch Erhitzung wiederholt in unterschiedliche Formen gebracht zu werden. Dies war entscheidend für deren Siegeszug in der Verpackungsanwendung [16, 32].

Konventionelle Kunststoffe basieren auf fossilen Rohstoffen wie Erdöl und Erdgas und sind nicht abbaubar. Die mengenmäßig am meisten genutzten Kunststoffe in der Verpackungsbranche sind Polyolefine [Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP)], Polyethylenterephthalat (PET) und Polystyrol (PS). Darüber hinaus werden noch einige andere Kunststoffe wie zum Beispiel Polyamid (PA) in geringen Mengen eingesetzt [33].

Interessant ist, dass zu Beginn der Kunststoffproduktion ausschließlich biobasierte Kunststoffe produziert wurden (z. B. Celluloseacetat, Linoleum, Kautschuk). Fossile Rohstoffe erlebten erst seit Ende des zweiten Weltkriegs mit der vermehrten Förderung von Öl ihren Aufschwung [34].

Der Ausdruck **Biokunststoffe** beschreibt eine große Familie an Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften. Da eine einheitliche internationale Definition bis dato nicht zur Verfügung steht, werden diese meist als Materialien beschrieben, welche entweder biobasiert, bioabbaubar oder aber auch beides sind (siehe Abbildung 4).

Als biobasiert und nicht bioabbaubar gelten Kunststoffe, die regenerative, biobasierte Molekülbausteine (Monomere oder Polymere) enthalten und ganz oder teilweise auf diesen aufbauen. Sie werden in etablierten Syntheseverfahren zu Kunststoffen verarbeitet, die die gleichen chemischen Zusammensetzungen und demnach Eigenschaften und Einsatzgebiete wie petrochemische Produkte

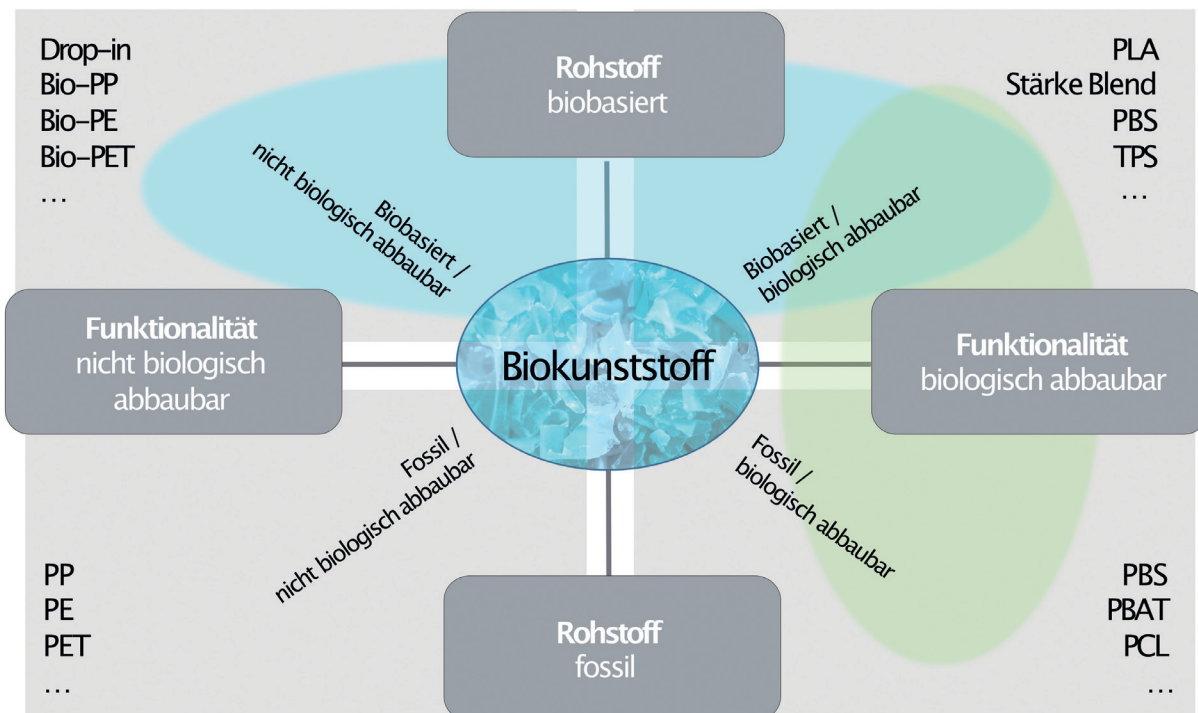


Abbildung 4: Einteilung der (Bio)Kunststoffe (Grafik erstellt auf Basis von [40])

aufweisen (z. B. Bio-PET). Diese sogenannten „Drop-In-Lösungen“ ermöglichen es somit, auf bestehende Produktions-, Sammel- und Verwertungsmöglichkeiten zurückzugreifen. Aufgrund dessen stellen diese Kunststoffe in absoluten Mengen gesehen die derzeit größte Biopolymergruppe dar und weisen auch ein sehr hohes Wachstumspotential auf. Im Lebensmittelsektor finden sich Kunststoffe dieser Gruppe in Anwendungen wie Folien, Beuteln, Bechern, Tuben und Flaschen wieder.

Bioabbaubare Kunststoffe können hingegen aus nachwachsenden wie auch petrobasierten Rohmaterialien hergestellt werden. Essentiell hierbei ist, dass die chemische Beschaffenheit der Moleküle einen Abbau zulässt. Je nachdem, unter welchen Umweltbedingungen dies möglich ist, spricht man von abbaubaren, bioabbaubaren oder kompostierbaren Kunststoffen. Beispiele für biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe sind (thermoplastische) Stärke und Polymilchsäure (PLA), ein Beispiel für einen petrobasierten und bioabbaubaren Kunststoff ist Polybutyrat-Adipat-Terephthalat (PBAT). Im Lebensmittelsektor finden diese Kunststoffe vor allem Verwendung als Verpackung, Beutel, Füllmaterial oder Einwegartikel (z. B. Becher, Besteck) [16, 17, 35, 36].

Obwohl die absoluten Mengen an Biokunststoffen im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen noch überschaubar sind, handelt es sich doch um einen rapide wachsenden Markt [33, 36, 37]. Um die Kunststoffe auf diesem zu überblicken, werden nachfolgend einige ausgewählte Beispiele im Überblick behandelt.

## BIOBASIERTE KUNSTSTOFFE

### **Biobasiert und nicht biologisch abbaubar**

**Bio-Polyolefine** [Bio-Polyethylen (PE) und Bio-Polypropylen (PP)] basieren auf nachwachsenden Rohstoffen wie zum Beispiel Zuckerrohr. Ausgehend

von diesem Material wird Ethanol gewonnen, der in mehreren Schritten zu Ethylen prozessiert wird. Durch Polymerisierung wird in Folge Bio-PE oder Bio-PP hergestellt. Die Eigenschaften und Einsatzgebiete sind dieselben wie von konventionellem PE und PP. Eine Unterscheidung der Kunststoffe ist lediglich mithilfe der Radiokarbonmethode möglich. Anwendungsbeispiele im Lebensmittelbereich sind Folien, Beutel, Hohlkörper (z. B. Flaschen) wie auch Kartonverbunde [34, 38, 39].

Die Moleküle Monoethylenglykol (MEG) und Terephthalsäure bilden die Basis von PET. Während MEG bereits aus nachwachsenden Rohstoffen (Bio-Ethanol) gewonnen werden kann und somit **Bio-Polyethylenterephthalat (Bio-PET)** zu 30% biobasiert macht, fehlt es im Moment noch an einer wirtschaftlichen Möglichkeit, Terephthalsäure biobasiert herstellen zu können. Vorausgesetzt es gelingt, diese Lücke in Zukunft zu schließen, wird auch Bio-PET zu 100% biobasiert angeboten werden können. Aufgrund der Eigenschaften wird Bio-PET wie konventionelles PET bei diversen Lebensmittel- und Getränkeverpackungen eingesetzt [34, 39].

Im Moment können diverse Leistungskunststoffe biobasiert hergestellt werden. Für (Lebensmittel-)Verpackungen ist jedoch vor allem **Bio-Polyamid (Bio-PA)** von Belang. Rohstoffquelle hierfür bildet meist Rizinusöl. Geschätzt wird PA (im Alltag als Nylon bekannt) wegen seiner Reißfestigkeit und Elastizität sowie der guten Barriereeigenschaft [38].

Ein dem PET ähnlicher, biobasierter Werkstoff ist **Polyethylenfuranoat (PEF)**. Im Vergleich zu PET kann PEF vollständig aus pflanzlichen Rohstoffen (z. B. Abfallprodukten) hergestellt werden und übertrifft in einigen Eigenschaften (Festigkeit, Barriere, Verarbeitung) sogar PET. Im Moment ist der Kunststoff noch in der Entwicklungsphase, weist jedoch, nicht zuletzt durch ein mögliches Recycling gemeinsam mit PET, ein hohes Zukunftspotential auf [40].

## Überprüfung und Kennzeichnung biobasierter Kunststoffe

In der Regel lässt das äußere Erscheinungsbild eines Kunststoffs keine Rückschlüsse darauf zu, ob es sich um einen biobasierten Kunststoff handelt oder nicht. Angesichts dessen wurden in der Vergangenheit die Standards DIN EN 16640 und DIN EN 16785 (Teil 1 und 2) entwickelt. Diese ermöglichen es, den Gehalt an biobasiertem Kohlenstoff beziehungsweise biobasiertem Material zu bestimmen. Darüber hinaus bilden sie einen harmonisierten Rahmen für die Deklaration und Zertifizierung (z. B. TÜV „OK biobased“, „DIN-geprüft biobasiert“) und bieten Grundlage für eine transparente Kommunikation. Es ist dabei jedoch hervorzuheben, dass der biobasierte Anteil eines Materials keine Rückschlüsse auf dessen Nachhaltigkeit zulässt. Um die jeweiligen Umweltauswirkungen zu beurteilen, ist in jedem Fall eine detaillierte Lebenszyklusanalyse notwendig.

## BIOABBAUBARE KUNSTSTOFFE

### Biobasiert und biologisch abbaubar

**Thermoplastische Stärke (TPS)** ist ein Biopolymer, das Stärke (z. B. aus Mais, Weizen, Kartoffel) als Ausgangsmaterial hat. Durch chemische Modifikation und Zumischung von Hilfsstoffen wie Wasser und Weichmachern (z. B. Glycerin) entsteht ein extrudierbarer Werkstoff, der gut verarbeitbar ist. Da TPS dazu neigt, Wasser aufzunehmen, werden in der Regel Kunststoffblends (Mischungen mit anderen Kunststoffen) verarbeitet, um verbesserte Eigenschaften zu erhalten. Damit kann jedoch auch ein verändertes Abbauverhalten einhergehen. Anwendungsbeispiele sind Beutel, Becher und Einweggeschirr sowie Beschichtungen von Papier und Pappe [32, 34, 39, 41].

**Polymilchsäure/Poly lactide (engl. Polylactic Acid, PLA)** basiert auf der Fermentation von Zucker zu Milchsäure und anschließender Polymerisation. Am Ende des mehrstufigen Prozesses steht ein Kunststoff mit hoher Transparenz und mechanischer

Stärke, der in herkömmlichen Verfahren (Spritzguss, Extrusion, Thermoformen) verarbeitet werden kann. Abhängig vom Mischungsverhältnis der Stereoisomere der Milchsäure [Poly-D-Lactid (PDLA) und Poly-L-Lactid (PLLA)] erhält man unterschiedliche Eigenschaftsprofile. Da aus dem Fermentationsprozess vorwiegend die L-Milchsäure hervorgeht, besteht PLA für Verpackungsanwendungen zumeist aus PLLA mit einer Zumischung von PDLA im niedrigen Prozentbereich. Das resultierende Material bietet meist eine schlechte Wasser-, dafür aber gute Sauerstoffbarriere und kann für Flaschen, Schalen, Folien und andere Behälter verwendet werden. Wie TPS ist auch PLA gut abbaubar und wird oft in Blends verarbeitet [32, 34].

**Polyhydroxyalkanoate (PHA)** sind wie PLA biogene Polyester. Sie sind Speicher- und Reservestoffe von Bakterien und werden fermentativ hergestellt. Die wichtigsten Vertreter dieser Gruppe sind Polyhydroxybuttersäure (PHB) und Polyhydroxybutyratvalerat (PHBV). Ihnen gemeinsam ist, dass sie gut zu bearbeiten (Extrusion, Spritzguss) und abbaubar sind. Die Beständigkeit gegenüber Wasser und Fett sowie die Barriereigenschaften gegenüber Gasen sind ebenfalls sehr gut und übersteigen zum Teil diejenigen anderer biologisch abbaubarer Kunststoffe (z. B. PLA). Im Moment behindern jedoch die geringe Verfügbarkeit und der relativ hohe Preis des Kunststoffs seine Durchsetzung am Markt [34, 39].

**Zellulosederivate** sind Polymere, denen das Polysaccharid Zellulose zugrunde liegt. Zellophan – technisch gesehen kein Kunststoff – ist transparent und besteht aus kurzen Zellulosefragmenten, die durch chemische Modifikation lösbar und dadurch formbar gemacht werden. Das Material kann aufgrund der hohen Anzahl an Hydroxylgruppen und das daraus resultierende Vorhandensein von Wasserstoffbrückenbindungen weder geschmolzen noch unter Hitze und Druck verformt werden. Entsprechend ist es nicht heißsiegelbar und durch seine Beschaffenheit zudem wasserempfindlich.

Deshalb und aufgrund der relativ hohen Kosten wird Zellophan meist mit anderen Kunststoffen beschichtet oder gar durch sie ersetzt [32, 34, 42].

Aufgrund von Acetylgruppen und dadurch reduzierter Anzahl an Wasserstoffbrückenbindungen und Weichmachern ist Celluloseacetat (CA) hingegen heißsiegelfähig und deutlich stabiler gegenüber Feuchtigkeit. Die Barriereigenschaften sind aber geringer im Vergleich zu Zellophan [32, 34, 42].

**Polybutylensuccinat (PBS)** wird als Polyester durch die synthetische Reaktion der Ausgangsstoffe Bernsteinsäure und Butandiol hergestellt. Der Werkstoff kann sowohl petrochemisch als auch fermentativ auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen wie z. B. Glucose hergestellt werden. Das Material eignet sich zur Herstellung von Folien, Flaschen und weiteren Verpackungen. Dabei ähnelt PBS den konventionellen Kunststoffen PP und LDPE (Polyethylen niedriger Dichte). Zusätzlich kann PBS in der Herstellung mit Materialien wie PLA, PHA und TPS kombiniert werden [39].

### **Petrobasiert und biologisch abbaubar**

**Polycaprolactone (PCL)** wird auf Basis einer Polyesterbindung hergestellt, wobei üblicherweise petrobasierte Ausgangsstoffe eingesetzt werden. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Zersetzungstemperaturen wird üblicherweise mit einer Mischung von PCL und amorpher PLA gearbeitet [43].

Bei **Polybutylenadipat-Terephthalat (PBAT)** handelt es sich ebenfalls um eine Polyesterbindung, die biologisch abbaubar und kompostierbar ist und ebenso wie PCL zumeist aus petrobasierten Ausgangsstoffen hergestellt wird. Es wird oft in Mischung mit anderen biobasierten Kunststoffen verwendet. Zur Anwendung kommt es ähnlich wie LDPE als Folien und kann dabei in Standardverfahren verarbeitet werden. Es weist eine hohe Barriere gegen Wasserdampf auf [43].

### **Überprüfung und Kennzeichnung abbaubarer Kunststoffe**

Abbau beziehungsweise Zerfall betrifft alle Materialien und führt letztendlich zum Verlust von Materialeigenschaften und -struktur. Die Geschwindigkeit und das Ausmaß sind dabei direkt abhängig von den Umgebungsbedingungen. Die zugrundeliegenden Mechanismen lassen sich dabei in chemisch-physikalische und biologische unterscheiden. So kann zwischen Abbaubarkeit und biologischer Abbaubarkeit unterschieden werden. Diese Unterscheidung ist wichtig, da nicht jedes Material, das nach einigen Wochen nicht mehr mit bloßem Auge wahrnehmbar ist, tatsächlich biologisch abgebaut wurde (siehe Oxo-Abbaubarkeit, Seite 14).

Der Abbau der Materialien kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Beim Photoabbau verursacht elektromagnetische Strahlung (insbesondere (UV-) Licht) die Photooxidation und Bindungsspaltung, wodurch eine Verringerung des Molekulargewichts von Polymeren herbeigeführt wird. Das Material wird spröde und zerfällt. Beim biologischen Abbau hingegen nutzen Mikroorganismen das Material als Substrat und wandeln es in Wasser, CO<sub>2</sub> und Biomasse um [16].

Bei der Kompostierung handelt es sich um einen beschleunigten Abbau heterogener organischer Stoffe durch eine Mikroflora in einer feuchten, warmen und aeroben Umgebung unter kontrollierten Bedingungen. Die üblichen Kompostertemperaturen betragen dabei zwischen 40 und 70 °C. Ein Kunststoff ist dann kompostierbar, wenn er während eines Kompostierprozesses durch biologische Prozesse abgebaut wird. Dabei entstehen CO<sub>2</sub>, Wasser, anorganische Verbindungen und Biomasse mit einer Geschwindigkeit, die mit anderen bekannten kompostierbaren Materialien übereinstimmt und die keine visuell unterscheidbaren oder toxischen Rückstände hinterlassen. Alle kompostierbaren Kunststoffe sind demnach biologisch abbaubar. Umgekehrt ist ein biologisch abbaubares Material nicht zwangsläufig kompostierbar [16].

Wie auch für die Überprüfung und Kennzeichnung biobasierter Kunststoffe existieren bereits Standards und Zertifizierungsmöglichkeiten für die Abbaubarkeit von Kunststoffen (z. B. OK-Compost, DIN-Geprüft, DIN EN 13432:2000-12, DIN EN 14995:2007-03, DIN EN ISO 472:2013-06, ASTM D883-19c).

Eine Sonderklasse stellen **oxo-abbaubare Kunststoffe** dar. Dabei werden petrobasierten Kunststoffen Additive zugesetzt, die den Zerfall in der Umwelt verursachen und die Materialien damit nach ihrer Nutzung schnell fragmentieren lassen. Typischerweise werden Polyolefin-Kunststoffen Prodegradanten (z. B. Metallsalze wie Eisen, Kobalt, Mangan) zugesetzt, um diese Zersetzungsreaktionen zu katalysieren. Diese Materialeigenschaft behebt allerdings nur das Problem, Kunststoff in Makroform in der Umwelt vorzufinden. Es wird jedoch von einem biologischen Abbau nach geltender Norm unterschieden, da in diesem Fall das Material nicht vollständig von Mikroorganismen zersetzt wird. Es handelt sich somit auch um keinen „Biokunststoff“. Aus ökologischer und rechtlicher Sicht ist vom Einsatz dieser Werkstoffe abzuraten. Grund dafür ist der schädliche Eintrag in die Umwelt und somit die bewusste Herbeiführung von Mikrokunststoffen. Darüber hinaus würden die zugesetzten Additive andere Materialien schädigen, sofern diese in einem Recyclingprozess zugeführt werden. Unabhängig davon wird das Inverkehrbringen von oxo-abbaubaren Kunststoffen im Rahmen der 2019 in Kraft getretenen Einweg-Kunststoffrichtlinie (RICHTLINIE (EU) 2019/904) ab Juli 2021 verboten [16].

## DER EINSATZ VON BOKUNSTSTOFFEN IN DER VERPACKUNG VON LEBENSMITTELN

Biokunststoffe können für die Verpackung von Lebensmitteln gut eingesetzt werden. Ihr Anwendungsgebiet sowie die Möglichkeit, konventionelle Kunststoffe zu ersetzen, hängt dabei jedoch sehr stark von den jeweiligen Materialeigenschaften ab. Während Drop-In-Kunststoffe aufgrund des

identischen chemischen Aufbaus für die gleichen Anwendungen wie ihre konventionellen Pendant eingesetzt werden können, stellt sich bei anderen Biokunststoffen hauptsächlich die Herausforderung niedrigerer Barriereigenschaften, die je nach Füllguteigenschaften vor- oder nachteilig sein können. Zusätzlich müssen die zum Teil abweichenden mechanischen Eigenschaften beachtet werden. Es ist folglich ratsam, einen Abgleich zwischen Füllgut Anforderungen und Eigenschaften der Materialien beziehungsweise der daraus gefertigten Verpackungen durchzuführen [35, 42, 44]. Welche Lebensmittel dabei welche Anforderungen aufweisen, kann in der fachspezifischen Literatur nachgelesen werden [16, 17, 44, 45]. Tabelle 2 (Seite 15) gibt zusätzlich einen Überblick über den Einsatz diverser Biokunststoffe in der Verpackung von Lebensmitteln.

Allgemein betrachtet bieten PE und PP, ob konventionell oder biobasiert, eine hohe Wasserdampfbarriere und Flexibilität. Ist dagegen eine niedrige Wasserdampfbarriere und Flexibilität gewünscht, kann meist auf stärkebasierte Kunststoffe oder bioabbaubare Polyester zurückgegriffen werden. In Fällen, in denen Transparenz, Steifigkeit und Barriere gefragt ist, kann anstelle von (Bio-)PET oder eines Verbundmaterials auch PLA mit zum Beispiel einer Siliziumoxid-(SiO<sub>x</sub>)-Sperrschicht verwendet werden. Wird lediglich Transparenz und Steifigkeit benötigt, lässt sich anstelle der Kunststoffe Polystyrol (PS), PP und (Bio-)PET auch PLA ohne Beschichtung einsetzen. Alternativ erreicht man eine hohe Steifigkeit auch durch Stärkeblends oder durch andere Werkstoffe wie Papier und Pappe. Generell muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass der Einsatz von Beschichtungen, Blends und dergleichen in einem abweichenden Verhalten der Abbaubarkeit der Verpackungen bzw. deren Recyclingfähigkeit resultieren kann und überprüft werden muss [35].

Um die Funktionalität von Biokunststoffen und damit vorrangig die mechanischen sowie die Barriereigenschaften von Biokunststoffen fort-

# Nachrichten aus der Wissenschaft

Tabelle 2: Biokunststoffe und deren Verwendung in der Verpackung von Lebensmitteln (Tabelle erstellt auf Basis von [39])

Bio-kunststoff	Flexible Verpackungen	Starre Verpackungen	Hohlkörper (z. B. Flaschen)	Andere
<b>Bio-Polyolefine (Bio-PE, Bio-PP), Bio-PET</b>	Herkömmliche Anwendungsgebiete			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Beutel</li> <li>· Folien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Becher</li> <li>· Schalen</li> </ul>	Flaschen	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Verbundmaterialien (Papier)</li> <li>· Einwegartikel</li> <li>· Verschlüsse und Kappen (PE, PP)</li> </ul>
<b>Stärke-basierte Polymere</b>	Obst und Gemüse (z. B. Kartoffeln und Karotten)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Obst und Gemüse</li> <li>· Kaffee</li> </ul>	–	Diverse
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (Durchscheinende) Beutel</li> <li>· Mulchfilme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Becher</li> <li>· Schalen</li> <li>· Kaffeekapseln</li> </ul>	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Füllstoffe</li> <li>· Einwegartikel</li> <li>· Etiketten</li> </ul>
<b>PLA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (Geschnittenes) Obst und Gemüse</li> <li>· Brot</li> <li>· Teigwaren</li> <li>· Gewürze</li> <li>· Snacks</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (Geschnittenes) Obst und Gemüse</li> <li>· Backwaren</li> <li>· Salat</li> <li>· Milchprodukte</li> <li>· Fleischprodukte</li> <li>· (Tief-)Kühlprodukte (z. B. Pommes Frites)</li> <li>· Getränke</li> <li>· To-Go-Produkte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Gekühlte Produkte mit kurzer Haltbarkeit</li> <li>· Milchprodukte</li> <li>· (Karbonisierte) Getränke (z. B. Säfte, Wasser)</li> </ul>	Kaffee und Tee
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Beutel</li> <li>· (Schrumpf-)Folien</li> <li>· Verbundmaterialien (für Produkte mit langer Haltbarkeit)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Becher</li> <li>· Schalen</li> <li>· Lagerung der leeren Verpackungen bei hohen Temperaturen sollte vermieden werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Flaschen</li> <li>· Verschlusskapseln für Weinflaschen</li> <li>· Nicht das bevorzugte Material, Barriere für weitere Anwendungen notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Kompostierbare Teebeutel und Kaffeekapseln</li> <li>· Verbundmaterialien (Papier) für Kaffeebecher u. a.</li> <li>· Einwegartikel</li> <li>· Geschäumte Schalen und weitere Behältnisse</li> </ul>

# Nachrichten aus der Wissenschaft

Tabelle 2: Biokunststoffe und deren Verwendung in der Verpackung von Lebensmitteln (Tabelle erstellt auf Basis von [39, 53])

Biokunststoff	Flexible Verpackungen	Starre Verpackungen	Hohlkörper (z. B. Flaschen)	Andere
<b>PHA</b>	Frische Lebensmittel	Tiefkühlprodukte	–	–
	–	–	–	–
<b>Zellulose-derivate</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Süßwaren</li> <li>· Obst und Gemüse (z. B. Kiwis, Tomaten, Paprika)</li> <li>· Fleisch</li> <li>· Fisch</li> <li>· Milchprodukte</li> <li>· Brot</li> <li>· Teigwaren</li> <li>· Kaffee</li> </ul>	–	–	–
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Einschlag für Süßwaren (z. B. Bonbons)</li> <li>· Zellophanfolie für Obst und Gemüse</li> <li>· Verbundmaterialien (für Produkte mit langer Haltbarkeit)</li> </ul>	–	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Zelluloseacetat</li> <li>· Einwegartikel</li> </ul>
<b>Weitere Bioabbaubare Polyester</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Obst</li> <li>· Gemüse</li> <li>· Tiefkühlprodukte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Obst</li> <li>· Gemüse</li> </ul>	–	–
	Beutel	–	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bioabbaubare Netze</li> <li>· Verbundmaterialien (Papier)</li> <li>· Geschäumte Artikel</li> <li>· Kapseln (Kaffee)</li> </ul>

laufend zu verbessern, beschäftigt sich die aktuelle Forschung vor allem mit den Themen Beschichtung, Blends und chemischer beziehungsweise mechanischer Modifikation der Materialien. Zudem wird weiter an neuen Biokunststoffen und der Verwendung von alternativen Rohstoffquellen geforscht [42].

## UMWELTASPEKTE VON BOKUNSTSTOFFEN

Ob biobasiert, bioabbaubar oder beides – inwiefern der Einsatz von Biokunststoffen bei der Verpackung zur Entwicklung in eine nachhaltige Zukunft beiträgt, wird aktuell von unterschiedlichen Standpunkten aus diskutiert. Wichtig zu erkennen ist



dabei jedoch, dass Pauschalaussagen nicht möglich sind und jeweils eine Detailabwägung der Vor- und Nachteile zu erfolgen hat.

Als mögliche Vorteile von Biokunststoffen werden in der öffentlichen Diskussion unter anderem die Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Ressourcen, die Reduktion der Treibhausgasemissionen, die effiziente Nutzung nachwachsender Ressourcen, die Reduktion der Umweltverschmutzung und die Bioabbaubarkeit beziehungsweise Kompostierung genannt. Bei Betrachtung diverser Lebenszyklusanalysen, die aufgrund methodischer Herausforderungen und oft unzureichender Datenlage mitunter schwierig zu erstellen sind, wird jedoch ersichtlich, dass nur zum Teil Vorteile in den Kategorien Klimawandel, fossiler Ressourcenverbrauch und Energie sowie Energieaufwand bestehen, dafür andere Kategorien (z. B. Versauerung, Eutrophierung, Toxizität, Land- und Wasserverbrauch) meist weniger gut abschneiden. Des Weiteren kann ein Konfliktpunkt in der Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion bestehen. Entsprechend wird der Ruf nach Biokunststoffen, die aus zertifiziert nachhaltigem Anbau oder Reststoffen beziehungsweise Nebenprodukten des Agrar- oder Lebensmittelsektors stammen, immer lauter. Die Gefahr der Lastenverschiebung und möglicherweise eines „Greenwashing“ besteht daher und sollte nach Möglichkeit ausgeschlossen werden.

Im Hinblick auf das Lebensende von Verpackungen aus Biokunststoffen muss darauf hingewiesen werden, dass durch die bisherigen europäischen Bestrebungen und Entwicklungen eine starke Ausrichtung auf Recyclingfähigkeit gelegt werden wird. Entsprechend sind für Drop-In-Kunststoffe kaum Hürden zu erwarten, da hier etablierte Sammel- und Verwertungsströme bestehen. Für Kunststoffe wie PLA oder PHA, die prinzipiell recyclingfähig sind, ist jedoch fraglich, ob in Zukunft solche Ströme bestehen werden. Bei einem Fehlen dergleichen, bedingt durch zum Beispiel zu geringe absolute Mengen, nicht entsprechende Definition der Recyclingfähig-

keit oder fehlende Verwertungsströme, könnte dies ein signifikantes Hemmnis für den weiteren Ausbau dieser Kunststoffe sein. Obwohl eine Recyclingfähigkeit anzustreben ist, wird es jedoch auch in Zukunft Verpackungen (z. B. Verbundmaterialien in Spezialanwendungen) geben, die nicht recyclingfähig, dafür aber in der Lebenszyklusanalyse vorteilhaft sind. Für diese und gegebenenfalls Biokunststoffe könnte die energetische Verwendung daher sinnvoll sein. Eine andere Möglichkeit bietet die Kompostierung von bioabbaubaren Kunststoffen. Zu beachten ist dabei jedoch, dass die Kompostierung nicht in hochwertigem Dünger resultiert und die heute betriebenen, industriellen Kompostieranlagen nicht flächendeckend dafür ausgelegt sind, diese Kunststoffe zu verwerten. Ein Zusatznutzen der bioabbaubaren Kunststoffe besteht dann, wenn diese dem Risiko unterliegen, nicht gesammelt oder verwertet zu werden beziehungsweise der Verbleib in der Umwelt oder Littering (Vermüllung) wahrscheinlich ist. Bezugnehmend auf das Problem des Litterings, also der Verschmutzung der Umwelt durch achtlos weggeworfenen Abfall, ist hinzuzufügen, dass der Einsatz von Biokunststoffen wohl kaum zu einer Verhaltensänderung der verursachenden Personen beitragen wird [6, 17, 39, 44, 46, 47, 48, 49].

## FAZIT UND AUSBLICK

Obwohl (Lebensmittel-)Verpackungen in ökologischer Hinsicht einigen Herausforderungen wie etwa der Umweltverschmutzung gegenüberstehen, muss ihnen doch positiv angerechnet werden, dass sie einen wertvollen Beitrag zur Versorgungs- und Lebensmittelsicherheit leisten und in vielen Fällen Lebensmittelverlusten und -abfällen und damit einhergehenden negativen Umweltauswirkungen vorbeugen. Oberstes Ziel sollte daher – neben der Reduktion des Verpackungsmaterialeinsatzes auf das notwendige Maß – der Einsatz von effektiven Verpackungen sein, die in ihren Funktionen und Materialeigenschaften auf das jeweilige Füllgut und dessen Lebenszyklus abgestimmt sind. Des Weiteren

sollten Verpackungen hinsichtlich Kreislauffähigkeit und Sicherheit optimiert sein, um im Gesamtpaket eine nachhaltige Verpackung zu ergeben.

Wie jeder andere Werkstoff weisen Kunststoffe Vor- und Nachteile in der Anwendung als Packstoff auf. Aufgrund von Umweltverschmutzung und anderen Herausforderungen werden aktuell Kreislaufwirtschaft, Reduktion des Einsatzes von Kunststoffen und Substitutionsmöglichkeiten thematisiert. Vor diesem Hintergrund stehen auch Biokunststoffe immer wieder im Gespräch. Essentiell in diesem Kontext ist es, dass klar zwischen biobasierten, aber nicht abbaubaren (z. B. Drop-In-Kunststoffe wie Bio-PET), biobasierten und bioabbaubaren (z. B. PLA) sowie petrobasierten und bioabbaubaren (z. B. PBAT) Kunststoffen unterschieden wird und eine eindeutige Kommunikation erfolgt, da gerade für Laien der Begriff „Biokunststoff“ oft nicht klar ist. Zudem ist es notwendig zu erkennen, dass Biobasiertheit, Bioabbaubarkeit oder aber auch Biokunststoffe im Allgemeinen nicht automatisch mit Nachhaltigkeit gleichgesetzt werden können und es aufgrund der hohen Anzahl an Einflussfaktoren einer Lebenszyklusanalyse bedarf, um fundierte Aussagen treffen zu können.

Während Drop-In-Biokunststoffe bzgl. ihrer Eigenschaften und daher der Eignung zum Einsatz als Lebensmittelverpackung ihrem konventionellen Pendant vollständig entsprechen, weichen die übrigen Biokunststoffe in ihren Material- und Barriereigenschaften zum Teil von denen herkömmlich verwendeter Kunststoffe ab. Dies kann, je nach Füllgut und dessen Anforderungen, als Vor- und Nachteil gewertet werden. Allgemein lässt sich jedoch sagen, dass Biokunststoffe generell für den Einsatz als Lebensmittelverpackung geeignet sind.

Aktuell spielen Biokunststoffe nur eine untergeordnete, jedoch wachsende Rolle am Kunststoffmarkt. Die weitere Entwicklung des Marktes wird von verschiedenen Faktoren abhängig sein. Dazu zählen ökologische Faktoren und Nahrungsmittelkonkur-

renz ebenso wie rechtliche Rahmenbedingungen, Akzeptanz durch die Zielgruppen, Anwendungstauglichkeit sowie Kosten.

Forschung, Entwicklung und Innovation ist daher vor allem im Bereich der Biokunststoffe selbst, jedoch auch in den Bereichen Bioökonomie, Sammlung- und Verwertungsstruktur, Recyclingverfahren sowie neuer Geschäftsmodelle zu erwarten.

## KORRESPONDENZANSCHRIFT



### **Dr. Victoria Krauter**

Fachbereich Verpackungs-  
und Ressourcenmanagement  
FH Campus Wien  
Helmut-Qualtinger-Gasse 2  
1030 Wien

E-Mail: [victoria.krauter@fh-campuswien.ac.at](mailto:victoria.krauter@fh-campuswien.ac.at)

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations 1 (s. a.): Food Loss and Food Waste. URL: <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/> (letzter Zugriff 08.09.2019)
- [2] Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., Van Otterdijk R., Meybeck A. (2011): Global food losses and food waste. Extent causes and prevention. FAO. Rome, Italy. URL: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf> (letzter Zugriff 01.10.2019)
- [3] Xue L., Liu G., Parfitt J., Liu X., Van Herpen E., Stenmarck Å., O'Connor C., Östergren K., Cheng S. (2017): Missing Food, Missing Data? A Critical Review of Global Food Losses and Food Waste Data. *Environmental science & technology* 51 (12): S 6618–6633
- [4] Stenmarck A, Jensen C., Quedsted T., Moates G. (2016): Estimates of European food waste levels. IVL Swedish Environmental Research Institute
- [5] Denkstatt (2018): Nutzen von Verpackungen: „Verpackungen nutzen – auch in ökologischer Hinsicht“. AGVU Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt e.V. Mainz, Germany. URL: <https://denkstatt.eu/download/10272/?lang=de> (letzter Zugriff 08.09.2019)
- [6] Verghese K., Helen L., Leanne F. (2012): Packaging for Sustainability. Springer Science & Business Media. London, England
- [7] Anonymous A (s. a.): EU Platform on Food Losses and Food Waste. URL: [https://ec.europa.eu/food/safety/food\\_waste/eu\\_actions/eu-platform\\_en](https://ec.europa.eu/food/safety/food_waste/eu_actions/eu-platform_en) (letzter Zugriff 08.09.2019)
- [8] Vittuari M., Azzurro A., Gaiani S., Gheoldus M., Burgo S., Aramyan L., Valeeva N., Rogers D., Östergren K., Timmermans T., Bos-Brouwers H. (2016): Recommendations and guidelines for a common European food waste policy framework. Fusions. Bologna, Italy
- [9] Anonymous B (s. a.): Initiative Save Food. Solutions for a world aware of its resources. URL: <https://www.save-food.de/> (letzter Zugriff 08.09.2019)
- [10] Timmermans A. J. M., Ambuko J., Belik W., Huang J. (2014): Food losses and waste in the context of sustainable food system. 8. No. A report by The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. Rome, Italy
- [11] Anonymous C (2019): Circular Economy. Implementation of the Circular Economy Action Plan. Final Circular Economy Package. URL: [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm) (letzter Zugriff 08.09.2019)
- [12] Anonymous D (2019): European strategy for plastics. URL: [https://ec.europa.eu/environment/waste/plastic\\_waste.htm](https://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm) (letzter Zugriff: 08.09.2019)
- [13] Anonymous E (2019): Klimapolitik. URL: <https://ec.europa.eu/clima/index.de> (letzter Zugriff: 08.09.2019)
- [14] CPP, Institute of Packaging Professionals, Soroka W. (2014): Fundamentals of Packaging Technology. The Definitive Resource on Packaging Technology. 5. No. Institute of Packaging Professional
- [15] Berndt H. E. D., Demanowski H., Dreher M., Hennig J., Herzau M., Herzau E., Kaßmann M., Lange V., Roeber K., Rommel C., Sellschopf L., Ströhmer M., Volkmann F., Weiß U. (2014): Grundlagen der Verpackung. Leitfaden für die fächerübergreifende Verpackungsausbildung. Ed. Kaßmann M., DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2. No. Dresden, Germany. Beuth Verlag GmbH
- [16] Robertson G. L. (2013): Food Packaging Principles and Practice. 3. No. Boca Raton, United States. CRC Press
- [17] Singh P., Wani A. A., Langowski H.-C. (2017): Food Packaging Materials: Testing & Quality Assurance. 1. No. Boca Raton, United States. CRC Press

- [18] Bergmair J., Washüttl M., Wepner B. (2012): Prüfpraxis für Kunststoffverpackungen: Lebensmittel-, Pharma- und Kosmetikverpackungen. 2. No. Hamburg, Germany. Behr's Verlag DE
- [19] Herzau E., Kaßmann M., Volkmann F. (2010): Verpackungsprüfung. 1. No. Dresden, Germany. Beuth Verlag GmbH
- [20] Yam K. L. (2010): The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology. 3. No. s.l. John Wiley & Sons
- [21] Campbell-Platt G. (2017): Food Science and Technology. 2. No. UK. John Wiley & Sons
- [22] Carlsson D. J. & Wiles D. M. (1986): In H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger, & G. Menges (Eds.), Encyclopedia of polymer science and engineering. Vol. 4. (pp. 665). New York: John Wiley & Sons
- [23] EU-Kommission (2011): VERORDNUNG (EU) Nr. 10/2011 DER KOMMISSION, vom 14. Januar 2011 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen (Text von Bedeutung für den EWR). <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:012:0001:0089:DE:PDF> (letzter Zugriff 01.10.2019)
- [24] Cengiz C. (2017): Fundamentals of the Sorption (Scalping) Phenomena in Packaged Foods. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22346-9
- [25] Barone C., Bolzoni L., Caruso G., Montanari A., Parisi S., Seinka I. (2015): Food Packaging Hygiene. Springer International Publishing
- [26] Rezaei J., Papakonstantinou A., Tavasszy L., Pesch U., Kana A. (2018): Sustainable product-package design in a food supply chain: A multi-criteria life cycle approach. Packaging Technology and Science 32 (2): S 85–101
- [27] Robertson M. (2017): Sustainability-principles and practice. Routledge. 2. No. London, England. Routledge
- [28] Anonymous F (2019): Sustainability Development Goals. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300> (letzter Zugriff 08.09.2019)
- [29] Hellström D., Olsson A. (2017): Managing Packaging Design for Sustainable Development: A Compass for Strategic Directions. 1. No. Oxford, UK. John Wiley & Sons
- [30] Lewis H., Fitzpatrick L., Verghese K., Sonneveld K., Jordon R. (2007): Sustainable Packaging Redefined. Sustainable Packaging Alliance
- [31] Erlöv L. (2000): Packaging: A Tool for the Prevention of Environmental Impact. s. l. Packforsk
- [32] Baur E., Brinkmann S., Osswald T. A., Rudolph N., Schmachtenberg E. (2013): Saechtling Kunststoff Taschenbuch. 31. No. München, Germany. Hanser Verlag
- [33] Plastics Europe (2018): Plastics – the Facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data. URL: <https://www.plasticseurope.org/de/resources/publications/670-plastics-facts-2018> (letzter Zugriff: 08.09.2019)
- [34] Selke S. E., Culter J. D. (2016): Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations. 3. No. Ohio, United States. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG
- [35] Van den Oever M., Molenveld K., Van der Zee M., Bos H. (2017): Bio-based and biodegradable plastics – Facts and Figures. Focus on food packaging in the Netherlands. DOI: 10.18174/408350
- [36] European Bioplastics (2016): Fact Sheet. What are bioplastics? Material types, terminology, and labels – an introduction. URL: [https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP\\_fs\\_what\\_are\\_bioplastics.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_what_are_bioplastics.pdf) (letzter Zugriff: 08.09.2019)

- [37] All4Pack (2018): Market key figures, challenges & perspectives of worldwide packaging. URL: [https://www.all4pack.com/Media/All-4-Pack-Medias/Files/FicheMarche\\_Emballage\\_Monde](https://www.all4pack.com/Media/All-4-Pack-Medias/Files/FicheMarche_Emballage_Monde) (letzter Zugriff: 08.09.2019)
- [38] Endres H. J., Siebert-Raths A. (2009): Technische Biopolymere: Rahmenbedingungen. Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften. München, Germany. Carl Hanser Verlag
- [39] Greene J. P. (2014): Sustainable Plastics: Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable, and Recycled Plastics. s. l. John Wiley & Sons
- [40] CHEmanager (2017): Industriekonsortium erhält Fördermittel für Polyethylenfuranoat (PEF). URL: <https://www.chemanager-online.com/news-opinions/nachrichten/industriekonsortium-erhaelt-foerdermittel-fuer-polyethylenfuranoat-pef> (letzter Zugriff: 08.09.2019)
- [41] Jamshidian M., Tehrani E. A., Imran M., Jacquot M., Desobry S. (2010): Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies. Comprehensive reviews in food science and food safety 9 (5): S 552–571
- [42] Peelman N., Ragaert P., De Meulenaer B., Adons D., Peeters R., Cardon L., Van Impe F., Devlieghere F. (2013): Application of bioplastics for food packaging. Trends in Food Science & Technology, 32 (2): S 128–141
- [43] Jawaid M., Swain S. K. (2018): Bionanocomposites for packaging applications. s. l. Springer International Publishing
- [44] Detzel A., Bodrogi F., Kauertz B., Bick C., Welle F., Schmid M., Schmitz K., Müller K., Käb H. (2018): Biobasierte Kunststoffe als Verpackung von Lebensmitteln. Endbericht. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft Heidelberg, Freising, Berlin
- [45] Robertson G. L. (2009): Food Packaging and Shelf Life: A Practical Guide. Boca Raton, United States. CRC Press
- [46] Yates M. R., Barlow C. Y. (2013): Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers - A critical review. Resources, Conservation and Recycling, 78: S 54–66
- [47] Hottle T. A., Bilec M. M., Landis A. E. (2017): Biopolymer production and end of life comparisons using life cycle assessment. Resources, Conservation and Recycling, 122: S 295–306
- [48] Rossi V., Cleeve-Edwards N., Lundquist L., Schenker U., Dubois C., Humbert S., Jolliet O. (2015): Life cycle assessment of end-of-life options for two biodegradable packaging materials: sound application of the European waste hierarchy. Journal of Cleaner Production, 86: S 132–145
- [49] Deutsche Umwelthilfe (2018): Bioplastik in der Kompostierung. Ergebnisbericht – Umfrage. URL: [https://www.duh.de/fileadmin/user\\_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Verpackungen/180920\\_DUH\\_Ergebnisbericht\\_Kompostierungsumfrage.pdf](https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Verpackungen/180920_DUH_Ergebnisbericht_Kompostierungsumfrage.pdf) (letzter Zugriff: 08.09.2019)

**Impressum** / Herausgeber, Redaktion und Rückfragen:  
Lebensmittelchemisches Institut (LCI) des  
Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie e. V.  
Dr. Frank Heckel (V.i.S.d.P.)  
Adamsstraße 52-54, 51063 Köln  
Tel. (0221) 623 061, E-Mail: [lci-koeln@lci-koeln.de](mailto:lci-koeln@lci-koeln.de)

oder Rückfragen an:  
:relations Gesellschaft für Kommunikation mbH  
Mörfelder Landstraße 72, 60598 Frankfurt  
Tel. (069) 963 652-11, E-Mail: [wpd@relations.de](mailto:wpd@relations.de)  
Titelfoto: [davideb89/adobe.stock.com](https://www.adobe.com/stockphoto/davideb89)

Gedruckt mit mineralölfreien Farben.

