

---

# Biobasierte Kunststoffe als Verpackung von Lebensmitteln

## Endbericht

**Auftraggeber** Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

**Projekträger** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe

**Autoren** Andreas Detzel (ifeu), Florian Bodrogi (ifeu), Benedikt Kauertz (ifeu), Carola Bick (ifeu)  
Dr. Frank Welle (IVV), Prof. Dr. Markus Schmid (IVV), Kevin Schmitz (IVV), Kerstin Müller (IVV)  
Dr. Harald Käb (narocon)

Heidelberg, Freising, Berlin, Juni 2018

---



# Inhalt

---

<b>Inhalt</b>	<b>2</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1 Begrifflichkeiten und Bezugsrahmen	7
1.2 Hintergrund und Ziel	9
<b>2 Marktanalyse</b>	<b>11</b>
2.1 Kunststoffverpackungen für Lebensmittel	11
2.2 Marktsituation biobasierte Kunststoffverpackungen	17
2.3 Marktumfeld – Kunststoffpreise	22
<b>3 Rechtsrahmen Lebensmittelkontakt</b>	<b>29</b>
3.1 Rechtliche Vorgaben	29
3.2 Erfassen und Bewerten von Hemmnissen	30
3.3 Kurzgefasst	32
<b>4 Technische Rahmenbedingungen</b>	<b>33</b>
4.1 Sauerstoff- und Wasserdampfbarriere	33
4.2 Mechanischen Eigenschaften	36
4.3 Diskussion und Schlussfolgerungen	37
4.4 Kurzgefasst	40
<b>5 Umweltwirkungen</b>	<b>41</b>
5.1 Umweltwirkungen basierend auf Ökobilanzen	41
5.2 Zertifizierung von biobasierten Kunststoffen	47
5.3 Biobasierte Kunststoffverpackungen aus Reststoffen und Nebenprodukten	48
5.4 Kurzgefasst	48
<b>6 Abfallwirtschaftliche Aspekte</b>	<b>49</b>
6.1 Rechtlicher Rahmen	49
6.2 Technischer Rahmen	50
6.3 Entsorgung biobasierter Kunststoffverpackungen	51
6.4 Ökodesign für mehr Recycling	52
6.5 Kurzgefasst	53

<b>7 Akteure und Schnittstellen</b>	<b>55</b>
7.1 Akteurslandschaft	55
7.2 Akteure und Interaktionen	55
7.3 Beispielhafte Schnittstellenanalyse anhand des Danone Joghurt Bechers aus PLA	58
<b>8 Fallbeispiele</b>	<b>61</b>
8.1 Fallbeispiel 1: PLA-Joghurtbecher versus fPS-Joghurtbecher	61
8.2 Fallbeispiel 2: bbPEF-Flaschen versus fPET-Flaschen für O <sub>2</sub> -empfindliche Getränke	64
8.3 Fallbeispiel 3: PLA- versus fPP-Verpackung für vorgewaschene Salate	66
8.4 Fallbeispiel 4: Ecovio-beschichteter Karton versus Karton + Innenbeutel aus fPP / fHDPE für Cerealien	69
8.5 Fallbeispiel 5: MAP (high Ox) PLA-Tray versus fPET-Tray für Frischfleisch	72
8.6 Fallbeispiel 6: Kapsel aus Ecovio + PVOH versus Aluverbund für gemahlene Kaffee	74
<b>9 Handlungsempfehlungen</b>	<b>77</b>
9.1 Bereitstellung technischer Informationen	77
9.2 F&E Ansätze: Materialien, Produkte und Recyclingfähigkeit	78
9.3 Jährliche Marktanalyse	79
9.4 Kennzeichnung von Lebensmittelverpackungen auf Basis biobasierter Kunststoffe	80
9.5 Berücksichtigung biobasierter Kunststoffe im VerpackG	81
9.6 Rechtliche Aspekte	83
9.7 Verfügbarkeit von Informationen zu Umweltwirkungen aus der Herstellung biobasierter Kunststoffe	83
9.8 Verfügbarkeit von Informationen zu „Sustainable Sourcing“	84
9.9 Stärkere Einbindung des LEH bei Entwicklung und Markteinführung neuer Verpackungslösungen	86
<b>10 Fazit und Ausblick</b>	<b>87</b>
<b>Abkürzungen</b>	<b>92</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>95</b>
<b>Anhang</b>	<b>99</b>

# Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1.1: Anteil der Kunststoffverpackungen am Verpackungsverbrauch beim privaten Endverbraucher	9
Abbildung 2.1: Verpackungsverbrauch in Deutschland im Jahr 2015 nach Kunststoffarten	11
Abbildung 2.2: Kunststoffverbrauch in Deutschland im Jahr 2015 einschließlich Lebensmittelverpackungen	12
Abbildung 2.3: Kunststoffverbrauch in Deutschland im Jahr 2015 nach Lebensmittel-Verpackungstypen	13
Abbildung 2.4: Kunststoffverpackungen nach Lebensmittelgruppen	14
Abbildung 2.5: Monofolien nach Lebensmittelgruppen	15
Abbildung 2.6: Verbundfolien nach Lebensmittelgruppen	16
Abbildung 2.7: Beispiele von teilweise biobasierten PET Getränkeflaschen	20
Abbildung 2.8: Beispiele für flexible bbKS-Verpackungen	21
Abbildung 2.9: Preisentwicklung Kunststoffe (\$ cents per pound) versus Rohölpreis (\$/Barrel)	23
Abbildung 2.10: Entwicklung des Mais- und Zuckerpreises im Vergleich zum Rohölpreis von 2000-2017	25
Abbildung 2.11: Rohstoff bezogene Kostenparitätsgraphen für PLA (Ingeo) gegenüber PET und PS	27
Abbildung 2.12: Preisentwicklung von Industriezucker und Rohöl 2000 bis 2017	27
Abbildung 4.1: Vergleich der Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten verschiedener etablierter und chemisch neuartiger biobasierter Kunststoffe, sowie von fbKS ohne und mit biobasierten Drop-In-Pendants	34
Abbildung 4.2: Vergleich der Steifigkeit und Zugfestigkeit verschiedener Kunststoffe etablierter und chemisch neuartige bbKS sowie fbKS ohne und mit biobasierten Drop-In-Pendants	36
Abbildung 4.3: Ansprüche exemplarischer Lebensmittelgruppen an Gas-Durchlässigkeiten gegenüber Sauerstoff und Wasserdampf	39
Abbildung 5.1: Typisches Ergebnismuster für Ökobilanzen von Biokunststoffverpackungen	42
Abbildung 5.2: Cradle-to-gate Indikatorergebnisse verschiedener Kunststoffe	45
Abbildung 6.1: Konzepte zur LVP-Sortierung: Status Quo und Quotensteigerung nach AbfallG	50
Abbildung 7.1: Exemplarische „Akteurskartierung“ entlang der Wertschöpfungskette	55
Abbildung 8.1: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten eines PS- und PLA-Joghurtbechers (tatsächliche Schichtdicken) im Vergleich zu den Barriereanforderungen von Milchprodukten.	63
Abbildung 8.2: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten einer PET- sowie PEF-Flasche (tatsächliche Schichtdicken) im Vergleich zu den Barriereanforderungen O <sub>2</sub> -empfindlicher Getränke.	65

Abbildung 8.3 Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten einer Folienverpackung aus PLA (20 $\mu\text{m}$ ) sowie aus fPP (30 $\mu\text{m}$ ) je ohne Perforierung im Vergleich zu den Barriereanforderungen von Obst und Gemüse.	68
Abbildung 8.4: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten eines Pappkartons plus HDPE-Innenbeutel, sowie eines mit Ecovio (20 $\mu\text{m}$ ) beschichteten Kartons im Vergleich zu den Barriereanforderungen Trockener Produkte.	71
Abbildung 8.5: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten eines PET- bzw. PLA-Trays (je 200 $\mu\text{m}$ ) im Vergleich zu den Barriereanforderungen von Fleisch in MAP.	73
Abbildung 8.6: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten einer Alukapsel und Ecoviokapsel im Vergleich zu den Barriereanforderungen von gemahlenem Kaffee.	76

# Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 2.1: Biobasierte Lebensmittelverpackungen in Deutschland 2016	19
Tabelle 2.2: Preisspanne petrochemischer Kunststoffe im Jahr 2016	24
Tabelle 2.3: Preisspanne biobasierter im Vergleich zu petrochemischen Kunststoffen im Jahr 2016	25
Tabelle 7.1: Übersicht über hemmende und förderliche Faktoren für die Markteinführung von bbKS	56
Tabelle 8.1: Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für Joghurt	62
Tabelle 8.2: Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für O <sub>2</sub> -empfindliche Getränke	65
Tabelle 8.3: Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für vorgewaschene Salate	67
Tabelle 8.4: Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für Cerealien	70
Tabelle 8.5: Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für Frischfleisch	73
Tabelle 8.6: Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für gemahlene Kaffee	75

# 1 Einleitung

---

## 1.1 Begrifflichkeiten und Bezugsrahmen

**Verpackungsbegriff:** Nach EU-Richtlinie 94/62/EG (Artikel 3) und der deutschen Verpackungsverordnung (VerpackV § 3 Abs. 1 Nr. 1) sind Verpackungen „aus beliebigen Stoffen hergestellte Produkte zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung und zur Darbietung von Waren, die [...] vom Hersteller an den Benutzer oder Endverbraucher weitergegeben werden.“

Als Verpackungen gelten demnach auch:

- Getränkesystemkapseln (z. B. für Kaffee, Kakao, Milch), die nach Gebrauch leer sind
- Gegenstände, die dafür konzipiert und bestimmt sind, in der Verkaufsstelle gefüllt zu werden wie Tragetaschen aus Papier oder Kunststoff, Einwegteller und -tassen, Frischhaltefolie, Frühstückbeutel, etc.

Nicht zu den Verpackungen zählen:

- Getränkesystemkapseln, Kaffee-Folienbeutel und Kaffeepads aus Filterpapier, die zusammen mit dem verwendeten Kaffeeprodukt entsorgt werden
- sogenannte „Haushaltsverpackungen“ (im Privatbereich genutzte Verpackungen wie Einweggeschirr, Haushaltsfolien, MW-Behälter für Pausenbrote, etc.)<sup>1</sup>

**Lebensmittelverpackung (LMVP):** Als Lebensmittelverpackung im Sinne dieses Projekts verstehen wir die primäre Verpackung des Lebensmittels. Die primäre Verpackung hat direkten Kontakt zum Lebensmittel (Folie, Tray, Flasche, Verschluss, Obststeige...) oder dient als Einheit zur Verpackung des Lebensmittels (z. B. ein Karton mit Innenbeutel). Die primäre Verpackung ist letztlich die Einheit, welche der Verbraucher – privat oder gewerblich – mit dem Lebensmittel zusammen kauft.

Sekundär- oder Transportverpackungen werden im Projekt nicht berücksichtigt. Ergänzend betrachtet wurden, soweit Daten verfügbar waren, Verpackungen des gewerblichen Verbrauchs mit Relevanz für Lebensmittel: Mehrwegflaschen, Etikettenfolien und Verschlüsse auf Mehrwegflaschen bzw. MW-Trays für Obst und Gemüse.

**Verbundverpackungen:** Verpackungen, die aus einer Kombination verschiedener mehrschichtiger Materialien bestehen. Gemäß VerpackV müssen Monomaterialien zu mindestens 95 % aus einem Hauptmaterial bestehen. Für die vorliegende Studie sind v.a. folgende kunststoffhaltige Verbundtypen für Lebensmittel relevant:

---

<sup>1</sup> Gegenstände, die ohne Füllgut und nicht im Zusammenhang mit einer Ware vertrieben werden [GVM 2014]



- Getränkekartons
- Verbunde von Kunststoff mit Papier oder Pappe
- Verbunde von Kunststoff mit metallischen (Aluminium) oder mineralischen ( $\text{SiO}_2$ ) Materialien
- Verbunde mit unterschiedlichen Kunststofftypen

Verbundwerkstoffe besitzen funktionelle Eigenschaften, die von den Einzelwerkstoffen bzw. -materialien bei gleicher Schichtdicke nicht erreicht werden.

**Privater Endverbrauch:** bezeichnet Verpackungen, die in Haushalten oder gleichgestellten (d.h. überwiegend kleingewerblichen) Anfallstellen entleert werden. Zum privaten Endverbrauch zählen auch bepfandete Einweg-Getränkeverpackungen.<sup>2</sup>

**Gewerblicher Verbrauch:** Zum gewerblichen Verbrauch zählen<sup>3</sup>

- Mehrwegverpackungen (i.d.R. in der abfüllenden Industrie anfallend)
- Einweg-Bestandteile von Mehrwegverpackungen (Verschlüsse und Etiketten)
- Verkaufsverpackungen in Industrie und Großgewerbe (dort anfallend)
- Transportverpackungen (fallen im Handel an)

**Convenience Verpackungen:** Verpackungen für Selbstbedienungsware wie z.B. Scheibenwurst, Scheibenkäse, Frischgemüse, Blattsalat.

**„Polymer“ versus „Kunststoff“:** Häufig werden die beiden Begriffe Polymer und Kunststoff synonym verwendet. Bei genauerer Betrachtung sind diese Bezeichnungen aber nicht vollkommen deckungsgleich. Polymere sind organische Verbindungen aus Molekülen, die aus sich wiederholenden Struktureinheiten, den sogenannten Monomeren bestehen. Kunststoffe sind Werkstoffe, die aus Polymeren durch das Vermischen (Compoundieren) mit Additiven, Füllstoffen, Farbstoffen oder sonstigen Hilfsstoffen hergestellt werden.

**Biobasierte Kunststoffe (bbKS):** Werkstoffe auf der Basis von Polymeren, die zu einem wesentlichen Anteil oder ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen [FNR 2015] bestehen. Dazu zählen auch solche Materialien, zu deren weiteren Verarbeitung unterschiedliche Arten von biobasierten Polymeren bzw. (biobasierten) Kunststoffen zu Mischungen, sogenannten „Blends“, vermengt werden.

Der Nachweis des biobasierten Anteils ist durch Prüfung nach EU Norm EN 16785-1:2015 möglich. Er kann von wenigen Prozent bis nahezu 100 Prozent liegen.

**Klassifizierung von biobasierten Kunststoff-Typen:** Biobasierte Kunststoffe können entsprechend ihrer Marktneuheit sowie ihres jeweiligen chemischen Verwandtschaftsgrads zu fossilbasierten Kunststoffen gruppiert werden. Neben den seit lange bekannten und marktetablierten biobasierten Kunststoffen wie Cellophan oder Zelluloseacetat (teilweise auch als „Old Economy“ bezeichnet) unterteilt man dabei weiter in Drop-In- und chemisch neuartige biobasierte Kunststoffe. Drop-In-Lösungen wie biobasiertes PE, PA, PET oder PP unterscheiden sich chemisch nicht von ihren fossilba-

<sup>2</sup> Definition nach [GVM 2016b]

<sup>3</sup> dito

sierten Pendants und weisen dadurch identische Eigenschaften auf. Chemisch neuartige biobasierten Kunststoffen wie beispielsweise PLA, PHA, TPS-Blends oder PEF hingegen kann auch ein neuartiges Eigenschaftenprofil zugeschrieben werden. Ihr individuelles Anwendungspotenzial muss dementsprechend eigenschaftsbezogen bewertet werden [Ifbb 2015].

**Bioabbaubare bzw. kompostierbare Kunststoffe:** Die organischen Bestandteile des Kunststoffs können beim biologischen Abbau vollständig zu den Stoffwechselendprodukten Wasser und Kohlendioxid umgesetzt werden, ungeachtet der Zeitdauer des Abbaus. Der sehr allgemeine Begriff „bioabbaubar“ muss vor allem mit Bezug auf die Umgebung und den Zeiträumen weiter spezifiziert werden. Der Nachweis der industriellen Kompostierbarkeit kann durch die weitgehend identischen Normen EN 13432 (Verpackungen) und EN 14995 (Werkstoffe) erfolgen. Die Verwertung durch industrielle Kompostierung unterliegt rechtlichen Vorgaben und ist in Deutschland für bbKV derzeit nicht zulässig.

Wird in diesem Gutachten von „bioabbaubaren“ Kunststoffen gesprochen sind immer „nachweislich industriell kompostierbare Kunststoffe“ gemeint, solange nicht ein anderer Bezugsrahmen des Abbaus explizit erwähnt wird. Bioabbaubare Kunststoffe bzw. daraus hergestellte kompostierbare Verpackungen werden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nur dann berücksichtigt, wenn sie gleichzeitig auch biobasiert bzw. Bestandteile eines kompostierbaren Materialverbunds sind.

## 1.2 Hintergrund und Ziel

Im Jahr 2015 belief sich die europäische Kunststoffverarbeitung<sup>4</sup> (EU-28 + NO/CH) auf 49 Mio. Tonnen, 24,9 % davon alleine in Deutschland [PlasticsEurope 2016]. 39,9 % des europäischen [PlasticsEurope 2016] und 35 % des deutschen [Bruder und Kelterborn 2016] Kunststoffverbrauchs werden für die Herstellung von Verpackungen verwendet. Verpackungen sind damit nach wie vor der größte Anwendungsbereich für die Kunststoffverarbeitung in Europa und Deutschland.

Kunststoffe (+ 2,5 Gew-%) sind zusammen mit Holz (+ 8,7 Gew-%) und Papier (+ 4,1 Gew-%) die Treiber für einen weiterhin zunehmenden Verpackungsverbrauch in Deutschland [Schüler 2016]. So sind 24 % Gewichtsprozent aller verbrauchten Verpackungen<sup>5</sup> aus Kunststoff. Die Relevanz der Kunststoffverpackungen wird jedoch besonders anhand der verpackten Füllgutmenge bzw. die Verpackungsstückzahl ersichtlich. Hier beträgt der Anteil der Kunststoffverpackungen jeweils 63 % (Abbildung 1.1).

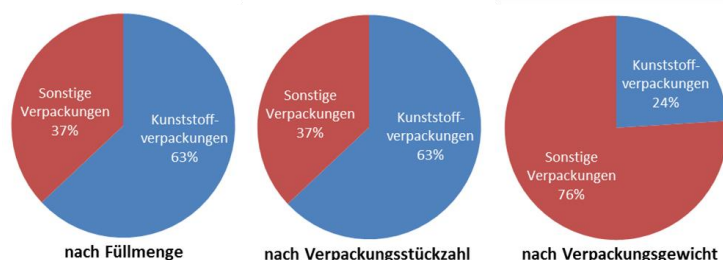


Abbildung 1.1: Anteil der Kunststoffverpackungen am Verpackungsverbrauch beim privaten Endverbraucher (nach [IK 2016b])

<sup>4</sup> Ohne PET-, PP-, PA- und Polyacrylfasern

<sup>5</sup> beim privaten Endverbraucher

Unter Berücksichtigung von Import und Export werden in Deutschland nach Angaben von [Consultic 2016] im Jahr 2015 3,2 Mio. Tonnen Kunststoffverpackungen verbraucht. Der Anteil von biobasierten Kunststoffen lag in der Vergangenheit bisher immer deutlich unter <1 % des gesamten Kunststoffverpackungsmarkts. Ein ifeu Autorenteam hatte das Marktvolumen 2009 auf ca. 10.000 Tonnen geschätzt [Detzel et al. 2012]. Biobasiertes PE und PET waren damals noch nicht marktverfügbar.

Dabei weisen die vom Branchenverband European Bioplastics<sup>6</sup> (EuBP) veröffentlichten Statistiken und Prognosen das größte Marktpotenzial für die Anwendung von Biokunststoffen für Verpackungszwecke aus. Demnach wären jeweils über 50 % der globalen Produktionskapazitäten von 2,05 Mio. Tonnen (2016) und 2,44 Mio. Tonnen (2021) für Verpackungsanwendungen geeignet. Dieser Sachverhalt zeigt, dass das Marktpotenzial der biobasierten Kunststoffe im Verpackungsbereich bislang nicht annäherungsweise ausgeschöpft wird.

Nicht nur die möglichen Vorteile hinsichtlich einer Schonung fossiler Rohstoffe und vorteilhaften Klimabilanz erzeugen Interesse am Markt. Zukünftige Chancen könnten vielmehr darin bestehen, dass viele biobasierte Kunststoffe physikalisch-chemische Besonderheiten (z. B. Luft-, Dampf-, Sauerstoffdurchlässigkeit, Modulus, etc.) aufweisen, die sie gerade für die Verpackung von Lebensmitteln besonders geeignet erscheinen lassen.

*Die Zielstellung des Projekts ist daher „die Ermittlung des Handlungsbedarfs zum verstärkten Einsatz biobasierter Kunststoffverpackungen mit Lebensmittelkontakt“ unter Berücksichtigung „eines hohen Gesundheits- und Verbraucherschutzes“.*

---

<sup>6</sup> [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org), Download Januar 2018

## 2 Marktanalyse

---

### 2.1 Kunststoffverpackungen für Lebensmittel

#### 2.1.1 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte vor allem anhand von Internetrecherchen sowie der Verwertung von intern bei den Projektpartnern vorliegenden Daten und Kenntnissen. Die wesentlichen Quellen, die sich aus der Internetrecherche ergaben, waren Statistiken der Industrievereinigung Kunststoffverpackungen, die Erhebungen von Consultic im Auftrag der Kunststoffindustrie, insbesondere [Consultic 2016] sowie GVM-Studien im Auftrag der Kunststoffindustrie und des Umweltbundesamts, insbesondere [GVM 2014, Schüler 2016]. Das angestrebte Mengengerüst hinsichtlich einer zweckdienlichen Zuordnung von Kunststofftypen, Verpackungsanwendungen und Lebensmittelgruppen konnte jedoch teilweise nur durch qualifizierte Schätzungen der Autoren erreicht werden.

#### 2.1.2 Mengengerüst

Der deutsche Verpackungsverbrauch nach Kunststoffarten ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Das Bild überrascht nicht: Polyethylen und Polypropylen sind mit zusammen mehr als 73 % (Gew%) nach wie vor die wichtigsten Verpackungskunststoffe. Nimmt man noch PET hinzu, sind sogar 88 % (Gew%) des Kunststoffverpackungsverbrauchs umfasst.

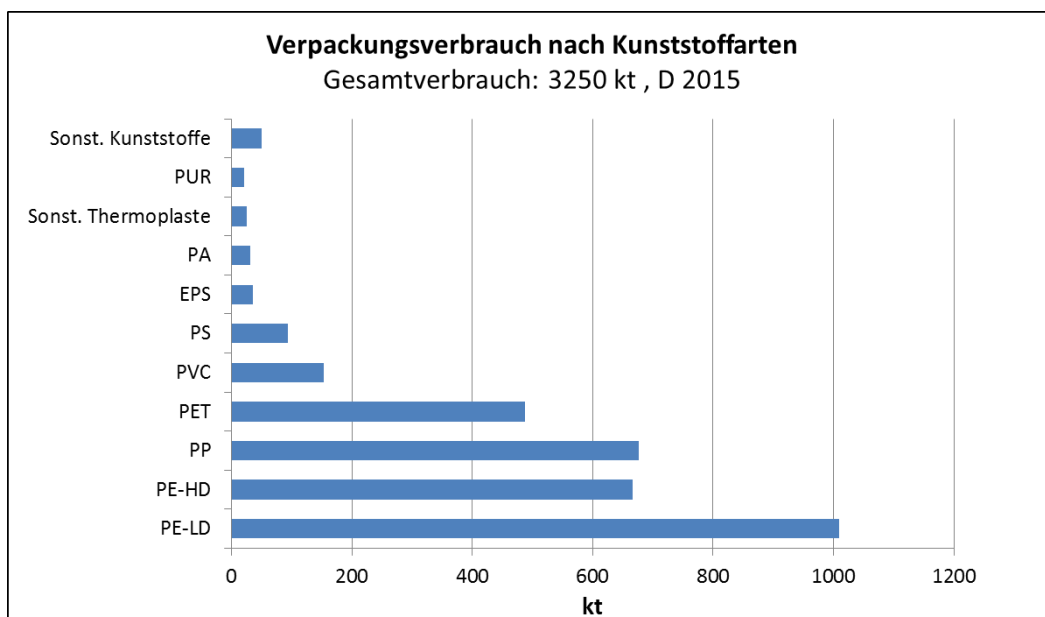


Abbildung 2.1: Verpackungsverbrauch in Deutschland im Jahr 2015 nach Kunststoffarten (Darstellung des ifeu auf Basis von [Consultic 2016] unter Anwendung einer durchschnittlichen Exportquote von 24 %)

Zu den sonstigen Kunststoffen zählen u.a. PVdC, PVOH und EVOH. Diese werden i.d.R. nicht als Hauptwerkstoff in Verpackungen verwendet, sondern als Beschichtungsmaterial in der Funktionalisierung eingesetzt.

In Abbildung 2.2 wird der Verbrauch an Kunststoffverpackungen so aufgeschlüsselt, dass auch die Anteile des Kunststoffverbrauchs für die Verpackung von Lebensmitteln (LM) untergliedert nach Getränkeverpackungen, formstabilen Verpackungen, flexiblen Verpackungen und geschäumten Verpackungen und Kunststoff-Papier/Pappe-Verbunden ersichtlich werden.

Der Gesamtwert entspricht den oben genannten 3250 kt aus [Consultic 2016] (Abbildung 2.1). Der Wert für Lebensmittel-Verpackungen beruht auf [GVM 2014] sowie einem von den Autoren geschätzten Aufschlag zur Berücksichtigung des Marktwachstums zwischen den Jahren 2013 bis 2015.

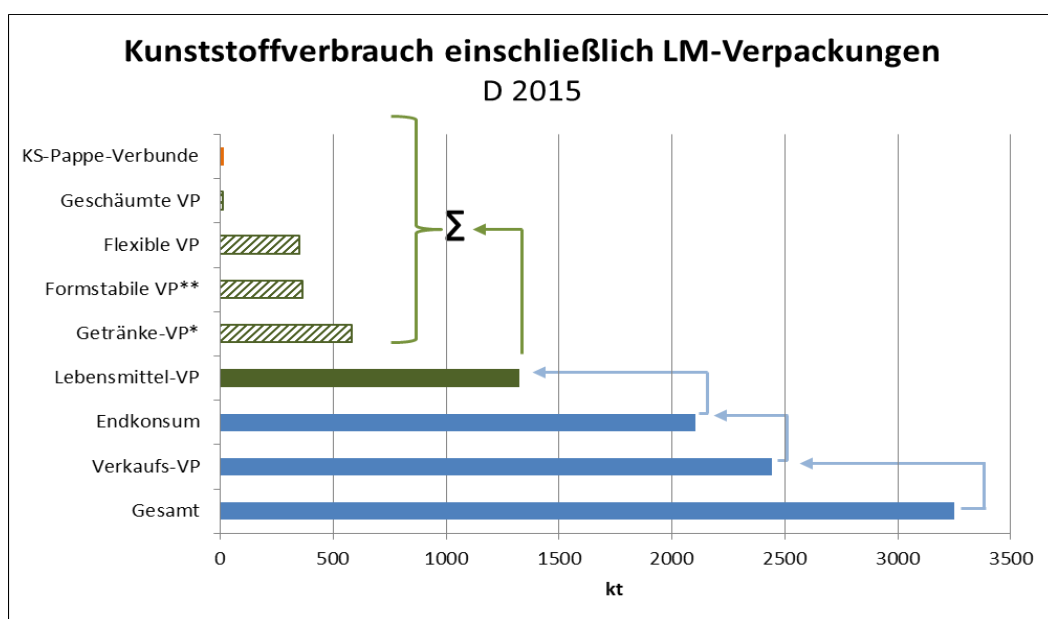


Abbildung 2.2: Kunststoffverbrauch in Deutschland im Jahr 2015 einschließlich Lebensmittelverpackungen (Darstellung des ifeu auf Basis von [Consultic 2016], [Bruder und Kelterborn 2016], [GVM 2014] sowie interner Schätzungen),  
LM: Lebensmittel; VP: Verpackungen; KS: Kunststoff, \* inkl. Etiketten und Verschlüsse, \*\* inkl. starre/halbstarre Folien; Spritzguss

Die blauen Pfeile zeigen an, dass der Balkenwert jeweils als Untermenge des vorangehenden (jeweilig höheren) Balkenwerts zu lesen ist. Die Werte für Verkaufsverpackungen und privater Endkonsum sind Orientierungswerte basierend auf Schätzungen und zeigen im Wesentlichen an, dass ca. 1,3 Millionen Tonnen (40 Gew%) der Kunststoffverpackungen für Lebensmittelverpackungszwecke und ca. 2,0 Millionen Tonnen (60 Gew%) für Nicht-Lebensmittelzwecke oder für Transportverpackungen eingesetzt werden.

Die Balkenwerte der einzelnen Lebensmittel-Verpackungen (grün-gestreift und orange) ergeben in der Summe wieder die Gesamtmenge an Lebensmittel-Verpackungen aus Kunststoff.

In Abbildung 2.3 wird eine etwas andere Aufteilung der Lebensmittelverpackungen aus Kunststoff dargestellt. Während Abbildung 2.2 vor allem das Verhältnis der dort unterschiedenen Verpackungstypen untereinander und bezogen auf den Gesamtverpackungsmarkt aufzeigt, liefert die Gruppe-

Abbildung 2.3 zeigt eine Zuordnung von Kunststoffart und -menge in einzelnen Anwendungen. Dabei setzen sich über 50 % der Anwendungen aus PET für Getränkeflaschen sowie den sogenannten Kunststoff-Monofolien zusammen. Kunststoff-Monofolien bestehen aus nur einem Kunststoff-Typ und finden sich sowohl bei den flexiblen Folien aus LDPE, HDPE und PP als auch bei den halbstarren/starren Folien aus PET, PS oder PP.

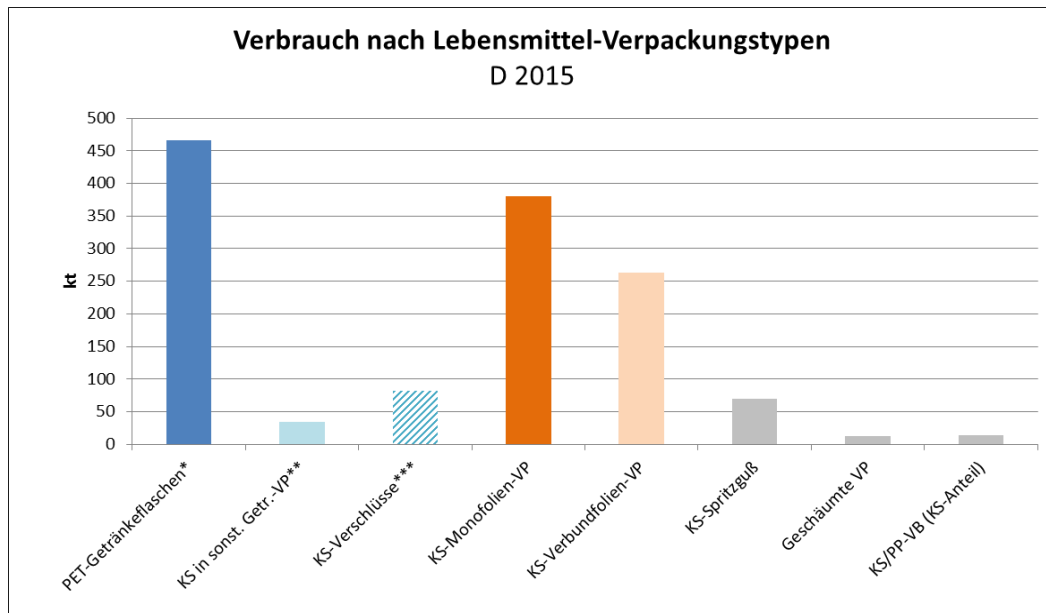


Abbildung 2.3: Kunststoffverbrauch in Deutschland im Jahr 2015 nach Lebensmittel-Verpackungstypen (Darstellung des ifeu auf Basis von [Consultic 2016], [Bruder und Kelterborn 2016], [GVM 2014], Mitteilungen des IVV sowie interner Schätzungen), VP: Verpackungen; KS: Kunststoff; PP: Papier/Pappe, \* nur der PET-Anteil \*\* hpts. Kunststoffe in Getränkekartons \*\*\* inkl. Etiketten

Auch für die meisten anderen der in Abbildung 2.3 abgegrenzten Gruppen kommen überwiegend Monomaterialien zur Anwendung: Kunststoffverschlüsse von Getränkeverpackungen (PP, HDPE), Spritzgussverpackungen für Milchprodukte (PS) sowie Laminierungskunststoffe bei Getränkekartons (LDPE, LLDPE).

Deutlich komplexer ist die Situation bei den Kunststoff-Verbundfolien, der drittgrößten Verpackungstyp-Gruppe. Es handelt sich dabei um eine Art Sammelgruppe für ganz unterschiedlich und hochspezifisch für den jeweiligen Verpackungszweck gestaltete Folien. Der Kunststoffeinsatz für geschäumte Verpackungen und Kunststoffe im Verbund mit Papier bzw. Pappe ist im Bereich der Lebensmittelanwendung mengenmäßig relativ gering, aber ebenfalls recht zweckspezifisch.

In Abbildung 2.4 findet sich eine Zusammenstellung des Kunststoffeinsatzes für Lebensmittelverpackungen im Vergleich der Jahre 1991, 2000 und 2013. Die Daten wurden in [GVM 2014] ermittelt. Getränke, Milcherzeugnisse, Fleisch- und Fischerzeugnisse sowie landwirtschaftliche Erzeugnisse sind die vier mengenmäßig wichtigsten Lebensmittelbereiche für Kunststoffverpackungen. Es fällt auf, dass alle Lebensmittelgruppen ein kontinuierliches Mengenwachstum bzgl. des Kunststoffeinsatzes für Verpackungen zeigen, das jedoch extrem dominiert wird vom Verpackungseinsatz für Getränke. Dies ist auf die Markterschließung der PET-Flaschen besonders im Einwegbereich im Zeitraum zwischen 2000 und 2013 zurückzuführen.

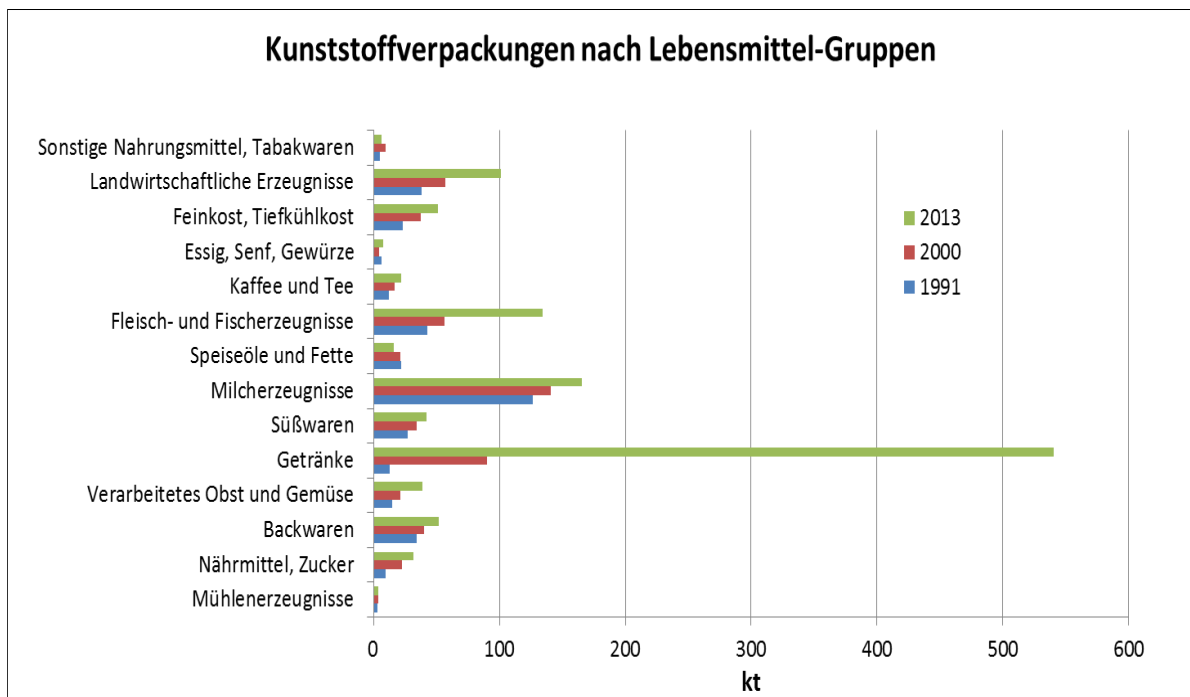


Abbildung 2.4: Kunststoffverpackungen nach Lebensmittelgruppen (Darstellung des ifeu auf Basis von [GVM 2014])

Monofolien gehören zu den mengenmäßig bedeutsamsten Verpackungstypen für Lebensmittel (ca. 380 kt). In Abbildung 2.5 ist ersichtlich, dass nahezu 25 % der Monofolien als thermogeformte Anwendung zur Verpackung von Molkereiprodukten (z. B. Joghurtbecher, Quarkbecher, etc.) eingesetzt werden. Zwei weitere wichtige Einsatzgebiete thermogeformter Folien sind Obst und Gemüseschalen (ca. 8 %) und starre/halbstarre Folien für mitnahmfertig verpackte Fleisch- und Wurstprodukte.

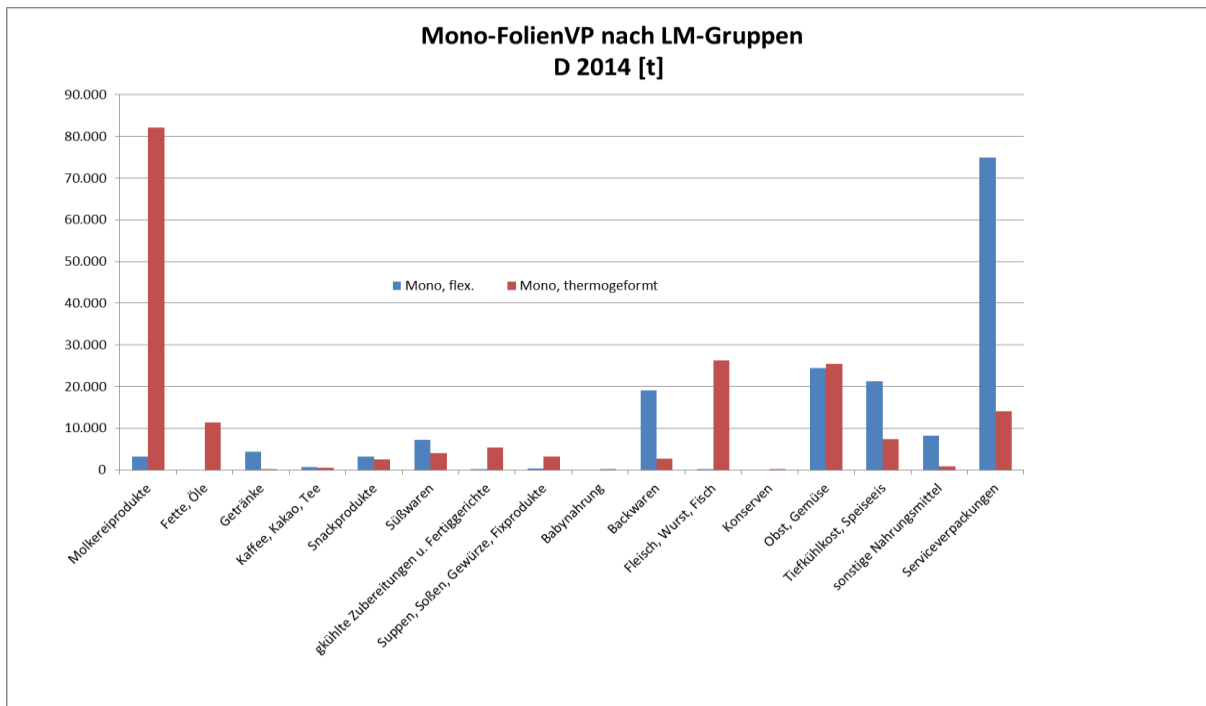


Abbildung 2.5: Monofolien nach Lebensmittelgruppen.  
Die Summen der roten Balken und blauen Balken ergeben jeweils 100%.  
(Darstellung der Autoren auf Basis von [GVM 2014] sowie interner Schätzungen), flex.: flexibel

Die flexiblen Folien (ca. 20 % aller Monofolien) finden vorrangig als Serviceverpackungen ihre Anwendung (Tüten für Frischobst und Frischgemüse; Einschlag- und Wickelfolien an der Fleisch und Käsetheke). Weiterhin sind Backwaren, mitnahmefertig verpacktes Obst und Gemüse sowie Tiefkühlkost bedeutsame Anwendungsbereiche flexibler Monofolien.

Verbundfolien lassen sich fünf Kategorien einteilen:

- einfache thermoformbare Verbunde (z. B. PET/PO, PA/PO)
- einfache flexible Verbunde (z. B. PP/PO, PET/PO, PA/PO)
- flexible Verbunde mit organischer Barriere (organische Barriere bes. EVOH)
- flexible Verbunde mit anorganischer Barriere (anorganische Barriere bes. Aluminium-Bedampfung und SiO<sub>x</sub>-Beschichtung)
- sowie flexible Verbunde mit Aluminiumfolie (z. B. PET/Al/KS)

Wie in Abbildung 2.6 ersichtlich ist der mit Abstand wichtigste Bereich die Verpackung von „Fleisch, Wurst, Fisch“, wobei hier thermoformbare Verbunde und mit einem gewissen Abstand einfache flexible Verbunde mengenmäßig überwiegen. Bei beiden Verbundtypen finden sich auch solche mit Polyamidschicht, womit vor allem eine Sauerstoffbarriere angestrebt wird. Die Verbunde mit speziellen und insgesamt noch ausgeprägteren Barrierecharakteristika (Verbunde mit organischer oder anorganischer Barriere) finden sich ebenfalls besonders häufig bei Verpackungen von „Fleisch, Wurst, Fisch“ und Molkereiprodukten. Verbunde mit Aluminiumfolie werden neben der Lebensmittelgruppe Fleisch, Wurst und Fisch besonders auch bei den Gruppen „Kaffee, Kakao, Tee“ sowie bei „Suppen, Soßen, Gewürzen, Fixprodukten“ eingesetzt.



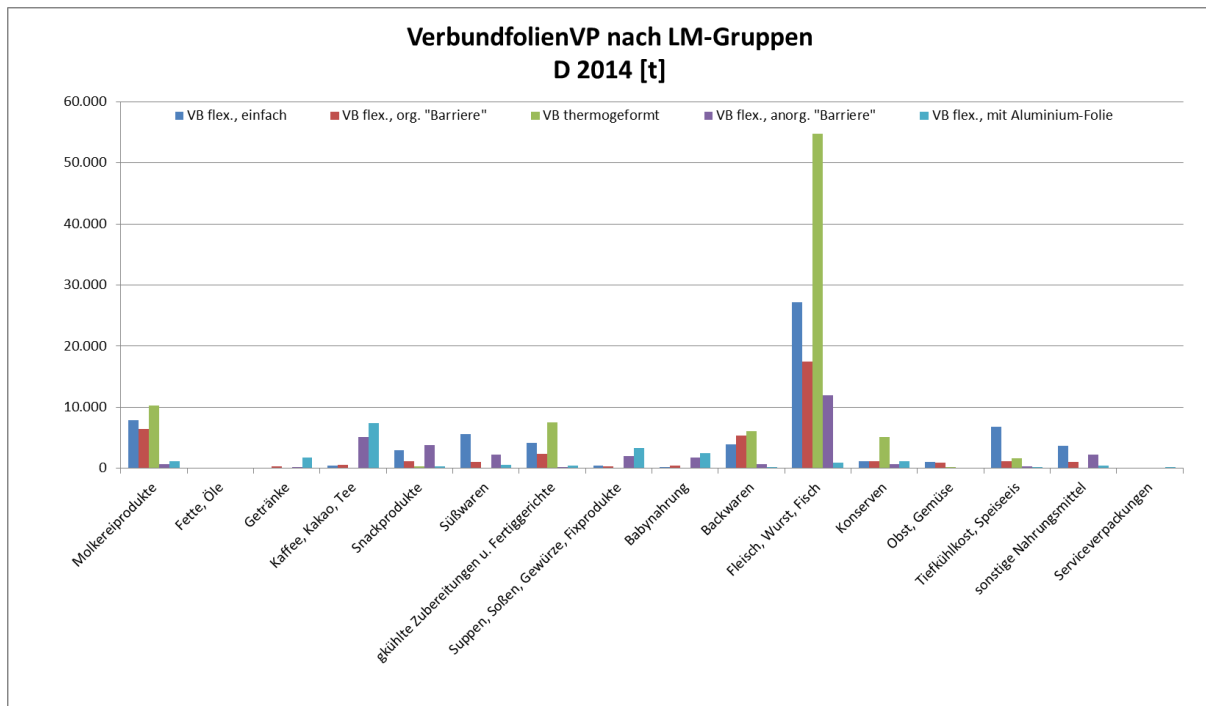


Abbildung 2.6: Verbundfolien nach Lebensmittelgruppen  
Die Summe aller Balken ergibt 100%, (Darstellung der Autoren auf Basis von [GVM 2014] sowie interner Schätzungen), VB: Verbunde; flex: flexibel; org: organisch

Zum Markt geschäumter Verpackungen liegen nur wenige Informationen vor. Es handelt sich in der Regel um Polystyrol, welches auf das 20- bis 50-fache Volumen geschäumt wird. Typische Anwendungen sind Trays und Schalen für Fleisch und Fisch. Geschäumte Verpackungen werden auch im Cateringbereich eingesetzt (z.B. Becher, Trays).

Papier hat keine ausreichende Barrierewirkung gegenüber Flüssigkeiten, Gasen und Dämpfen. Sofern diese Eigenschaften für die Erfüllung funktioneller Anforderungen notwendig sind, müssen sie dem Papier durch den Verbund mit anderen Materialien verliehen werden. Hierzu werden Kunststoffe z.B. für Beschichtungen als Wasser-, Fett-, Aroma- oder Mineralölbarriere eingesetzt.

Nach Schätzungen der Autoren auf Basis von [GVM 2014] werden zur Verpackung von Lebensmitteln in Deutschland ca. 7 kt Papierverbunde und 200 kt Kartonverbunde eingesetzt. Dabei werden in Summe ca. 14 kt Kunststoffe als Verbundmaterialien verwendet.

Die mit Abstand mengenmäßig größte Anwendung haben Kunststoff-Kartonverbunde als Verpackung von Tiefkühlkost sowie für Serviceverpackungen in der Gastronomie (Catering, Take Away). Kunststoff-Papier-Verbunde werden vor allem zur Verpackung von Süßwaren, Gewürzen bzw. allgemein Trockenprodukten sowie Käse verwendet. In den meisten Fällen werden Polyolefine mit Papier/Pappe verbunden [GVM 2014].

### 2.1.3 Kurzgefasst

Der Gesamtverbrauch in Deutschland (2015) an (Primär)Kunststoffverpackungen beläuft sich auf 3,2 Millionen Tonnen. Fast 90 % davon (ca. 3 Mio. t) bestehen aus PE, PP und PET. Der Einsatz von (Pri-

mär)Kunststoffen für Lebensmittelverpackungen beläuft sich dabei auf gut 1,3 Millionen Tonnen und damit 40 % des Gesamtverbrauchs, mit den folgenden hauptsächlichlichen Anwendungsgebieten:

- Ca. 580 kt an (Primär)Kunststoffen werden in Getränkeverpackungen eingesetzt; davon sind ca. 470 kt PET, der Rest PE und PP für Laminierungsfolien und Verschlüsse
- Ca. 350 kt sind flexible Folienverpackungen (180 kt davon aus Monomaterialien)
- Ca. 360 kt sind formstabile Verpackungen aber keine Getränkeverpackungen (270 kt davon aus Monomaterialien)
- Ca. 14 kt werden im Verbund mit Papier und Pappe (ohne Getränkekartons) eingesetzt

Die Mengendominanz der drei (Drop-In) Polymertypen (PE, PP, PET) gilt auch für den Lebensmittelbereich. Dabei werden über 70% als Monomaterialien verwendet. Biobasierte Kunststoffe müssen sich damit gegenüber Kunststoffen behaupten, die preisgünstig, extrem optimiert und recycelbar sind.

Die genannten Zahlen sind gedanklich mit mehr oder weniger großen Fehlerbandbreiten zu versehen. Die Größenordnungen und Mengenverhältnisse halten die Autoren jedoch für zutreffend.

Benötigte Kunststoffmengen für Verpackungen wurden zum Teil basierend auf Marktdaten der verkauften Lebensmittel hochgerechnet. Verpackungen von Nicht-Lebensmitteln konnten dabei teilweise mangels Daten nicht berücksichtigt werden. Weitere Unsicherheiten sind durch Annahmen zu Exportmengen und Rezyklatanteilen (rPET für Getränkeflaschen) entstanden.

## 2.2 Marktsituation biobasierte Kunststoffverpackungen

### 2.2.1 Datenerhebung - Methodik und Schlussfolgerungen

In Märkten mit einer vergleichsweise sehr kleinen Anzahl von Produkten und Unternehmen ist das Erfassen von quantitativen Daten grundsätzlich schwierig. Daten zum Markt sind immer wettbewerbsensibel, insbesondere wenn keine Möglichkeit der Anonymisierung besteht. Gibt es nur einen Werkstoffanbieter oder nur einen Vermarkter in einem speziellen Anwendungsbereich, ist der Rückschluss auf seine Geschäfte unmittelbar.

Ein aussagestarkes Beispiel für die geringe Bereitschaft bei der Marktdatenerhebung mitzuwirken, ist der 14-seitige Fragebogen, der vom Projektteam entwickelt und an etwa 50 Unternehmen versendet wurde. Aus diesem Kreis konnte trotz ausreichender und flexibler Bearbeitungszeit und Empfehlung durch die unterstützenden Fachverbände nur ein Rücklauf von fünf ausgefüllten Fragebögen (10 % Rücklaufquote) erzielt werden. Dabei darf bei der Auswahl davon ausgegangen werden, dass sich alle 50 Unternehmen eingehend mit biobasierten Kunststoffen beschäftigen (Forschung, Produktion, Anwendung).

Internetgestützte Recherchen sowie die umfangreichen Archive und Studien des Autorenteam basierend auf Unternehmenskontakten sind Ausgangspunkt der Recherche. Aus zahlreichen Publikationen, z. B. Pressemitteilungen oder Präsentationen auf Fachkonferenzen, wurden Informationen zusammengetragen. Mit den wichtigsten Akteuren des deutschen Marktes wurden Gespräche geführt, was jedoch meist trotzdem nicht zu einer Angabe von Marktdaten durch den Polymerhersteller oder Vermarkter geführt hat. Alle Angaben sind demnach Schätzungen, über deren Genauigkeit keine statistischen Angaben gemacht werden können. Plausibilität und zahlreiche Einzelhinweise lassen

jedoch den Schluss zu, dass von einer hinreichenden Genauigkeit ausgegangen werden kann ("richtige Größenordnung"). Die regelmäßige Erfassung besserer Daten stellt eine wichtige zukünftige Aufgabe dar, die angesichts des Wachstumspotenzials und der Regelung im neuen VerpackG gut zu begründen ist.

### 2.2.2 Ergebnisse der Marktrecherchen

Der bundesdeutsche Markt für Lebensmittelverpackungen aus biobasierten Kunststoffen wird auf 7.600 t im Jahr 2016 geschätzt (Tabelle 2.1). Da dieser Wert mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist, lässt er sich womöglich besser mit einer "Spannweite von 5.000 bis 10.000 t" quantifizieren. Er macht somit etwa 0,5 % des Gesamtmarkts (= Verbrauch) von Kunststofflebensmittelverpackungen aus. Tabelle 2.1 fasst die Marktsituation zusammen.

Der Verbrauch teilt sich auf in geschätzte 7.100 t formfeste Verpackungen und 500 t flexible Folienverpackungen. Die wesentlichen Mengen werden dabei von nur wenigen Produkten erbracht: Danone PLA Joghurtbecher (ca. 3.000 t), Coca-Cola und Danone BioPET Getränkeverpackungen (zusammen ca. 2.000 t) und in Summe die Serviceverpackungen (v.a. Getränkebecher, ca. 2.000 t). Alle anderen Verpackungen sind teilweise sehr kleinvolumig, im Kilogramm- oder niedrigen Tonnenbereich.

PLA dürfte in Deutschland mit einem geschätzten Anteil von gut 50 % am Gesamtverbrauch der meist eingesetzte biobasierte Kunststoff im Sektor Lebensmittelverpackung sein. Der Danone Joghurtbecher und die in Fußballstadien wie auch in zahlreichen, meist städtischen Straßencafés/-restaurants eingesetzten Getränkebecher machen ca. 4.000 t aus. Biobasiertes PET wird nur für Getränkeflaschen eingesetzt. Biobasiertes PE (max. 1.000 t, bis zu 10 % Marktanteil) findet erst seit wenigen Jahren in den Markt, es wächst aber im Moment wohl relativ am stärksten. Zellulosebasierte Folien werden vereinzelt für ökologisch erzeugte Lebensmittel (Tee, Obst) eingesetzt, das Gesamtgewicht aller Verpackungen dürfte jedoch aufgrund des sehr geringen Foliengewichts kaum 100 t erreichen.

Stärkewerkstoffbasierte Verpackungen wie Beutel, Schalen oder Netze konnten nicht detektiert werden, sie sind jedoch im EU Ausland vereinzelt am Markt. Bei der Beschichtung von Papier für Serviceverpackungen (Cateringprodukte, insbesondere Becher) werden marktverfügbare Compounds und Polyester eingesetzt (PLA, Ecoflex, Ecovio, MaterBi, Bioflex etc.). Es ist jedoch nicht möglich die einzelnen Polymertypen zu identifizieren; die Mengen liegen vermutlich im niedrigen dreistelligen Tonnen-Bereich.

Kaffeekapseln sind im definitorischen Sinn keine Verpackungen, da es nicht vorgesehen ist sie vom Produkt (Kaffeepulver) abzutrennen. Es gibt seit kurzem Hülsen aus verschiedenen kompostierbaren Biowerkstoffen (MaterBi, Ecovio, etc.) für solche Anwendungen. In Deutschland sind es nur sehr kleine Marken, die sich damit vom Marktführer Nespresso/Nestlé abgrenzen wollen. Über die Mengen kann nur gemutmaßt werden, wir schätzen sie auf unter 100 Tonnen. Viele Biokunststoffhersteller setzen jedoch auf eine dynamische Entwicklung in diesem Produktbereich.

Der Markt für bbKV ist in Deutschland in den vergangenen fünf Jahren insgesamt vermutlich nur wenig gewachsen, denn die wichtigsten Produkte wurden damals bereits vermarktet. Dies lässt sich jedoch nur vermuten, denn die vorliegende Studie ist die erste auf diesen Sektor zugeschnittene Untersuchung. In diesem Zeitraum wurde jedoch eine Reihe von Verpackungen neu entwickelt, die aufgrund ihrer Funktionalität über gute Marktchancen verfügen. Dazu zählen insbesondere Verbundfolien mit hoher Barrierewirkung, z. B. zum Schutz von Aromastoffen (Kaffee, Tee).

Tabelle 2.1: Biobasierte Lebensmittelverpackungen in Deutschland 2016 (Datenbasis 15. März 2017)

Biobasierte KS-LVp Kategorie / Typ, Produkt	Markt 2016 Schätzwert in Tonnen	Markt 2016 Min.-Max. in Tonnen	Kunststofftyp (real / denkbar)	Hinweise
<b>Formfeste Verpackung</b>	<b>7.100</b>		PET, PE, PLA PPK-Verbunde	Flaschen, Container, Trays, Kartons, etc. ... Thermogeformt, Lamine – inkl. Serviceverpackungen
Getränkeverpackungen	<b>2.000</b>		PET, PPK- Verbunde	
PET-Flaschen	2.000	1000-3000	PET	biobasierter Anteil max. 30 %, sowohl Coca-Cola als auch Danone Waters kombinieren mit rPET
Andere Flaschen	0	0-100	PE, PLA	z. B. Bio-PE Bramhults (SE), Sant'Anna PLA (IT) in DE keine Produkte bekannt
Getränkekartons	50	0-100	PE in PPK-Verbunde	Tetra Pak in Skandinavien und NL (BioPE Folie & Verschluss), in DE Lidl Eigenmarke
Sonstige	0	0-10	PE, PET, PLA	sonstige tiefgezogene oder formgeblasene Verpackungen, z. B. Milchdöschen, Kanister, ...
Tiefgezogene Verpackungen	<b>3.100</b>			<b>PPK mit Flow-Wrap unter "Flexible" sortiert</b>
Trays, Becher für frische LM	3.000	2000-4000	PLA	Danone Joghurtbecher mit PLA Deckel, andere Vp sind nicht bekannt, aber <100 t denkbar
Trays, Becher für haltbare LM	10-100	0-200	PLA, PET	keine identifiziert, aber denkbar, dass es sie am Markt gibt (Tests, bzw. keine Kommunikation)
Kaffee kapseln	50	30-200	PLA, Polyester- blends	nach Angaben von Polymerherstellern ein stark nachgefrag- ter Markt in Europa; mehrere Kleinanbieter
Sonstige	0	0-10	PE, PET, PLA	sonstige tiefgezogene oder formgeblasene Verpackungen, z. B. Milchdöschen, Kanister, ...
PPK-Verbunde	<b>0</b>		alle BioKS für PPK-Verbunde	Kartonverpackungen mit Beschichtung zur Barriere (gg. Störstoffe, für läng. Haltbarkeit, Aroma)
Beschichtete PPK Vp	0	0-10	Verbunde mit PE, PLA, Polyest- er	laminierte oder kaschierte PPK-Vp; z. B. für Tiefkühlkost keine Beispiele in DE bekannt
Serviceverpackungen	<b>2.000</b>		alle BioKS, PPK-Verbunde	mit kurzem Lebensmittelkontakt, für z. B. Restaurants, Catering, To-Go (Straße), Kantinen, Events, Stadien...
(Getränke-) Becher	1.500	750-2500	PLA, Polyester, PPK-Verbunde	Transparente PLA Kaltgetränkbecher, Kaffeebecher (PPK- Lamine), Klappboxen, ...
Einweggeschirr	500	250-1000	PLA, Polyester, PPK-Verbunde	Container, (Klapp-) Boxen, Teller, Besteck, Strohhalme, ...
Sonstige	0	0-100		(thermoplastische Verarbeitung)
<b>Flexible Verpackung</b>	<b>500</b>	200-750	PE PLA Polyest- er (Blends), PPK-V.	<b>vermutlich sehr geringe Mengen</b>
Frische Lebensmittel	200	100-300	Cellulosefolie, PLA, PE	Flow-Wrap Folien (Schale aus PPK), Beutel für O&G; z. B. Elstar Äpfel, tegut O&G; v. a. kleinstvol. Öko-LM
Haltbare Lebensmittel	100	50-200	Cellulosefolie, PLA, PE	z. B. Cellulosefolien für Tee, Schokolade, Gewürz (Aroma- schutz), PE Beutel für Waffeln
Tiefkühlkost (Folie)	200	100-500	PE	Einzig bekanntes Beispiel: McCain 1-2-3 Frites
Umverpackung für PPK	50	10-100	Cellulosefolie, PLA, PE	Umverpackung (Faltschachteleinschlag) für hochwertige LM, z. B. Tee (Sonnentor)
<b>Summe</b>	<b>7.600</b>			<b>Aktuelle Schätzung: 5.000 bis 10.000 Tonnen</b>

Die Erfahrungen über die Zeit und aus anderen Ländern zeigen, dass für mindestens ein Jahrzehnt von einer sehr hohen Marktdynamik auszugehen ist: Die Entwicklung bbKV befindet sich immer noch in einer sehr frühen Phase, bei der die Umstände wie Wettbewerbsbedingungen (insbesondere KS-Preise und Bau von Produktionsanlagen), Gesetzgebung (Förderung oder Barriere) und Image (Lösung oder Problem) einen enormen Einfluss ausüben. Dies gilt besonders für Drop-In bbKS, die in vergleichsweise kurzer Zeit ungleich höhere Marktvolumina durch vergleichsweise schnelles Upscaling erreichen können.

### Formfeste Verpackungen

Das mit Abstand größte Einzelsegment der formfesten Verpackungen sind Getränkeflaschen, der meist eingesetzte Kunststoff PET. Das enorme Substitutionspotenzial durch den Drop-In Kunststoff bbPET (teilweise biobasiertes „BioPET30“) ergibt sich daraus unmittelbar. Der weltweit volumenstärkste Limonadenhersteller Coca-Cola hat die sogenannte „PlantBottleTM“ 2011 für die Marken ViO Wasser und 2012 für Lift Apfelschorle im deutschen Markt eingeführt (Abbildung 2.7). Der biobasierte Anteil in diesem PET-Material beträgt 14 %. Der maximal mögliche Anteil wäre bei vollständiger Umstellung 30 % gewesen (100 % BioPET30), doch sind ebenfalls 35 % rPET enthalten. Weltweit setzte das Unternehmen seit 2009 bereits mehr als 40 Milliarden BioPET30-Flaschen ein. Ein vergleichbarer erster Schritt bei Danone Waters ist die 0,5 Liter Flasche Volvic naturelle, für die das Unternehmen ebenfalls einen gewissen biobasierten und recycelten PET-Anteil nutzt. Auch für die Premiummarke Evian gibt es bei Danone Überlegungen mehr biobasiertes PET (und Rezyklat) einzusetzen. In Europa sind auch Bio-PE Flaschen am Markt, in Deutschland bisher jedoch noch nicht.



Abbildung 2.7: Beispiele von teilweise biobasierten PET Getränkeflaschen: ViO Wasser und ViO Limo, ©Coca-Cola Deutschland

Lichtempfindliche Fruchtsäfte und Milch werden bevorzugt in Getränkekartons verpackt. Die vom Hersteller Tetra Pak 2015 vorgestellten 100 % biobasierten Getränkekartons ersetzen die funktions tragende PE-Folie innen und außen durch eine biobasierte PE-Folie. Die Markteinführung im Bereich Frischmilch läuft, Anwender gibt es bereits in Brasilien, Skandinavien und den Niederlanden (2015, 100 Millionen Stück). Nach Aussage von Tetra Pak setzt Lidl Tetra Rex mit einem biobasierten Kunststoffanteil bereits für eine erste Fruchtsaft-Eigenmarke ein – allerdings wird dies nicht öffentlich kommuniziert. Angesichts der gerade erst begonnenen Markteinführung ist mit weiteren Anwendern zu rechnen.

Setzt man die Zahl der Anbieter zum Maßstab darf man biobasierte, kompostierbare Serviceverpackungen als das heute am weitesten entwickelte Einsatzsegment bezeichnen. Der Verbrauch wird auf ca. 2.000 Tonnen geschätzt und die Produktvielfalt ist dabei groß. Produktbeispiele sind PLA Becher für den Ausschank von Getränken in Fußballstadien oder Straßenrestaurants und -cafés, Gefäße für (Obst-)Salate und Lebensmittel zum unmittelbaren Verzehr. Für heiße Getränke und Lebensmittel sind vor allem mit biobasierten Kunststoffen beschichtete Pappeller und -becher im Einsatz.

Bei den tiefgezogenen Lebensmittelverpackungen sind Danone Activia Joghurtbecher die aktuell volumenstärkste biobasierte Kunststoffverpackung im deutschen Markt (Größenordnung mehrere tausend Tonnen, s. Tabelle 2.1).

Das sehr große Anwendungsgebiet der Tiefkühlverpackungen wird dominiert von PPK Umverpackungen in Kombination mit Kunststoffen: Einlagebeutel, Trays mit Abziehfolie, oder zur Beschichtung von PPK-Verbunden. bbKS-Verpackungen kommen hier jedoch noch nicht zum Einsatz. Weil häufig kombiniert mit PE darf hier Bio-PE zukünftig gute Chancen eingeräumt werden. Auch biologisch abbaubaren Polyestern als Beschichtungsmaterial sollten, aufgrund ihrer guten Barriereeigenschaft gegenüber flüchtige organischen Substanzen (VOC Emissionen), in diesem Segment Einsatzmöglichkeiten finden. Dieser Typ Verpackung wird natürlich auch außerhalb des Kühlbereichs umfangreich verwendet – auch hier liegen keine Erkenntnisse über Anwendungen im deutschen Markt vor.

### Flexible Verpackungen

Mit Ausnahme von Bio-PE spielen die biobasierten Lebensmittelverpackungen in diesem riesigen Markt in Deutschland praktisch noch keine Rolle. In Deutschland werden geschätzt weniger als 1000 t (unsere Schätzung: 500 t) eingesetzt. Bekannt ist der Einsatz von 50 % BioPE für Tiefkühlverpackungen der Marke McCain (Pommes Frites) oder seit kurzem auch für Süßigkeiten der Marke *erdbär*. Im Lebensmitteleinzelhandel findet man außerdem bei z. B. bei *tegut* und *denn's* biobasierte Kunststoffbeutel für die Obst- und Gemüseetheke (Abbildung 2.8).



Abbildung 2.8: Beispiele für flexible bbKS-Verpackungen, links: erdbär Freche Freunde, © Freche Freunde, rechts: McCain 1-2-3 Fritten, © McCain Foods GmbH

In sehr kleinem Ausmaß sind auch Umverpackungen aus Zellulosefolien für biologisch angebaute Teesorten oder Gewürze im Einsatz (Marken Sonnentor und Lebensbaum). PLA wird in Einzelfällen und sehr geringen Mengen auch als Teenetz eingesetzt (was allerdings per Definitionem keine Verpackung ist).

Bestimmte Obst- und Gemüsesorten ließen sich auch gut in biologisch abbaubaren Lebensmittelverpackungen abpacken, wie Beispiele aus EU-Nachbarländern zeigen (AT, NL, IT: Karotten, Kartoffeln). Auch glasklare Folien aus PLA oder Zellulose könnten gut in Kombination mit Trays aus PPK oder biobasiertem Kunststoff eingesetzt werden. Als einziges Beispiel dafür wurde eine Apfelverpackung der Marke Elstar identifiziert.

Neben Bio-PE, das ohne weiteres für bestimmte haltbare Lebensmittel eingesetzt werden könnte, gibt es auch Folienverbunde aus bioabbaubaren Polyestern und Zellulose, die auch mit SiO<sub>x</sub> oder Metall beschichtet werden können. Im benachbarten Ausland findet man dafür bereits Beispiele im Supermarkt. Auch Bio-PE wird inzwischen in biobasierten Mehrschichtfolien eingesetzt (Wasserdampfbarriere).

Beurteilung der Datenqualität:

- Die Größenordnungen der Mengenangaben in Kap. 2.2.2 werden als korrekt und verlässlich angesehen.
- Die Datenunsicherheit ist erheblich, und kann mangels sinnvoll auswertbaren Erhebungsdaten nicht mit statistischen Methoden angegeben werden.
- im Falle einer Veröffentlichung sollte bei allen Angaben unbedingt auf die schwierige Lage bei der Datenerfassung hingewiesen werden.
- Angesichts geringer Marktbreite und -volumen sowie der kleinen Zahl von Marktteilnehmern, muss von einer großen Marktdynamik ausgegangen werden: bereits kleine Veränderungen können große Auswirkungen besitzen.

Hemmnisse bei der Datenerfassung:

- Keine spezifischen Statistiken verfügbar
- Geringe Zahl an Herstellern und Vertreibern sowie kleinvolumige Produkte
- Schwierige Identifizierung von Marktteilnehmern
- Teilweise undurchführbare Anonymisierung von Angaben durch Aggregation
- Hohe Wettbewerbsintensität; Bedürfnis nach Geheimhaltung
- Produzenten und Vermarkter haben Bedenken hinsichtlich medialer Angreifbarkeit

## 2.3 Marktumfeld – Kunststoffpreise

Befragt man die Marktteilnehmer bezüglich ihrer Kriterien für die Auswahl von Verpackungsmaterialien bzw. Verpackungsanwendungen so wird häufig an erster Stelle die Gewährleistung einer ausreichenden Funktionalität genannt. An zweiter Stelle steht folgt dann der Preis. Darüber hinaus spielen Nachhaltigkeit oder auch weiche Aspekte wie Image wichtige eine Rolle.

In diesem Unterkapitel erfolgt eine Erörterung der Marktpreise, während Fragen der Technofunktionalität und der Nachhaltigkeitsbezug in eigenen Hauptkapiteln (s. Kapitel 4 und 5) jeweils auch inklusive der damit verbundenen Hemmnisse behandelt werden.

### 2.3.1 Petrochemische Kunststoffe

Für die Preise der petrochemischen Kunststoffe ist der Rohöl-Referenzpreis (Brent Crude) ein wesentlicher Einflussfaktor. In Abbildung 2.9 ist die Entwicklung des nach Marktmengen gewichteten Durchschnittspreises der sechs wichtigsten Thermoplasten der Entwicklung des Rohölpreises gegenübergestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Kunststoffpreis stark mit dem Rohölpreis korreliert. Steigt der Rohölpreis an, folgt einige Monate später der Anstieg der Kunststoffpreise, sinkt der Rohölpreis, so sinkt auch einige Zeit später der Kunststoffpreis.

Über die Korrelation von Kunststoff- und Rohölpreis wurde auch nach dem Rohölpreissturz in 2014 berichtet<sup>7</sup>. Demnach dauert es in der Regel zwei bis drei Monate bis sich Preisveränderungen beim Rohöl auch in der Kunststoffpreisen niederschlagen. Der Kunststoffpreis wird zusätzlich vom Wechselkurs (US-Dollar – Euro) und dem Verhältnis von Angebot und Nachfrage beeinflusst. Der Preis für PP sank nach dem Rohölpreissturz 2014 beispielsweise besonders stark, während der PE-Preis stabiler blieb<sup>7</sup>. Auch von Kontinent zu Kontinent unterscheiden sich die Preise, da die jeweiligen Handelsvereinbarungen und Zölle eine wichtige Rolle spielen.

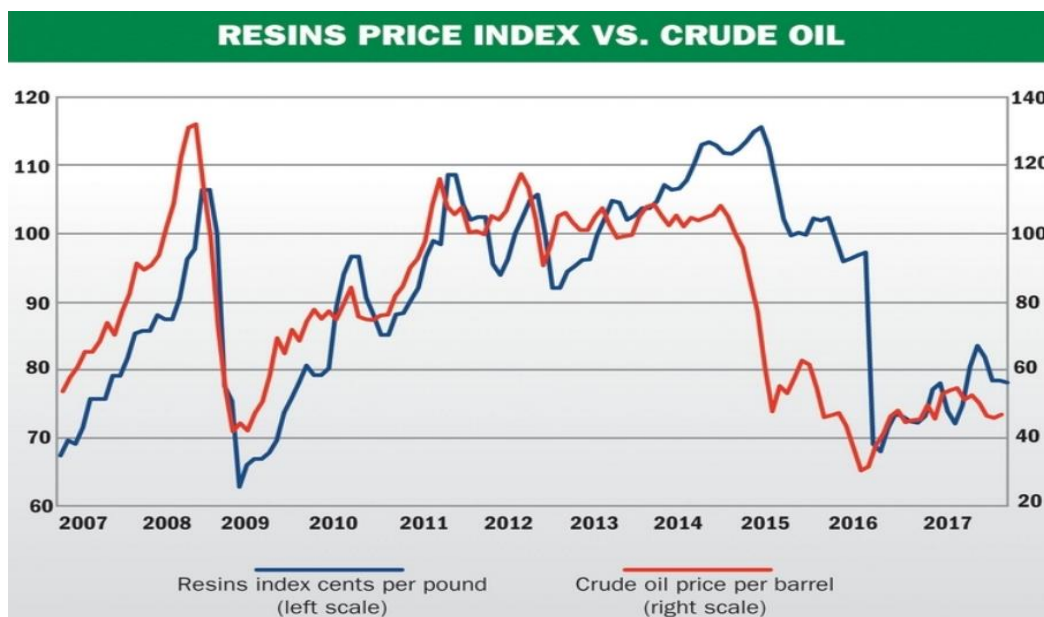


Abbildung 2.9: Preisentwicklung Kunststoffe (\$ cents per pound) versus Rohölpreis (\$/Barrel), Quelle (Bill Wood, 30.8.2017)<sup>8</sup>

<sup>7</sup> <http://www.chemie.de/news/151589/kunststoffpreise-sinken-weltweit.html>; 10.12.2015

<sup>8</sup> <http://www.plasticsnews.com/article/20170830/NEWS/170839994/evaluating-risk-in-resin-pricing-is-important>



In [Van den Oever et al. 2017] wurden die Min-/Max-Bandbreiten von Kunststoffpreisen im Jahr 2016 veröffentlicht (Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Preisspanne petrochemischer Kunststoffe im Jahr 2016 Quelle: [Van den Oever et al. 2017]

Kunststoff	Preisniveau 2016 (€/t)	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )
LDPE	1250-1450	910-940
HDPE	1200-1500	930-970
HIPS	1350-1525	1080
PET	850-1050	1370-1390
PP	1000-1200	900-920
PS	1250-1430	1040
PVC	800-930	110-1450

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Kunststoffpreise genau wie Rohölpreise enorm volatil und fluktuierend sind. Es ist ohne weiteres möglich, dass sich die Preise um mehr als 20 % innerhalb eines Jahres ändern.

### 2.3.2 Biogene Rohstoffe

Im laufenden Betrieb sind die Kosten für die biogenen Rohstoffe der größte Preistreiber bei der Herstellung von biobasierten Kunststoffen im industriellen Maßstab [ifeu 2007]. Daher werden in diesem Kapitel Informationen zu den beiden derzeit wichtigsten Agrarrohstoffen für die Herstellung biobasierter Kunststoffe zusammengestellt.

Abbildung 2.10 zeigt die Entwicklung des Mais- und Zuckerpreises von 2000 bis 2017 im Vergleich zum Rohölpreis. Ein direkter Zusammenhang zwischen Zucker- und Rohölpreis ist nur schwer zu erkennen. Es ist anzunehmen, dass der Zuckerpreis stärker von anderen Faktoren wie Nachfrage und Erträge beeinflusst wird. So spielen vermutlich schwache oder starke Erntejahre in wichtigen Anbauländern eine bestimmende Rolle.

Die Gegenüberstellung von Mais- und Rohölpreis zeigt eine stärkere Parallelität des Kurvenverlaufs. Beim Rohölpreisanstieg in 2008 und 2010 steigt einige Zeit später auch der Maispreis. Aber es gibt auch gegenläufige Entwicklungen. So sank der Maispreis im Jahr 2013 stark, während der Rohölpreis stabil blieb. Der Preissturz des Rohöls in 2015 hatte dadurch wiederum kaum Auswirkungen auf den Maispreis, da dieser eben bereits zwei Jahre vorher stark gefallen war. Deutlich ist also auch hier, dass Rohöl nicht der einzige Einfluss auf den Maispreis sein kann. Ähnlich wie beim Zucker dürften hier ebenso Erträge und Nachfrage (auch Spekulation) eine wichtige Rolle spielen.

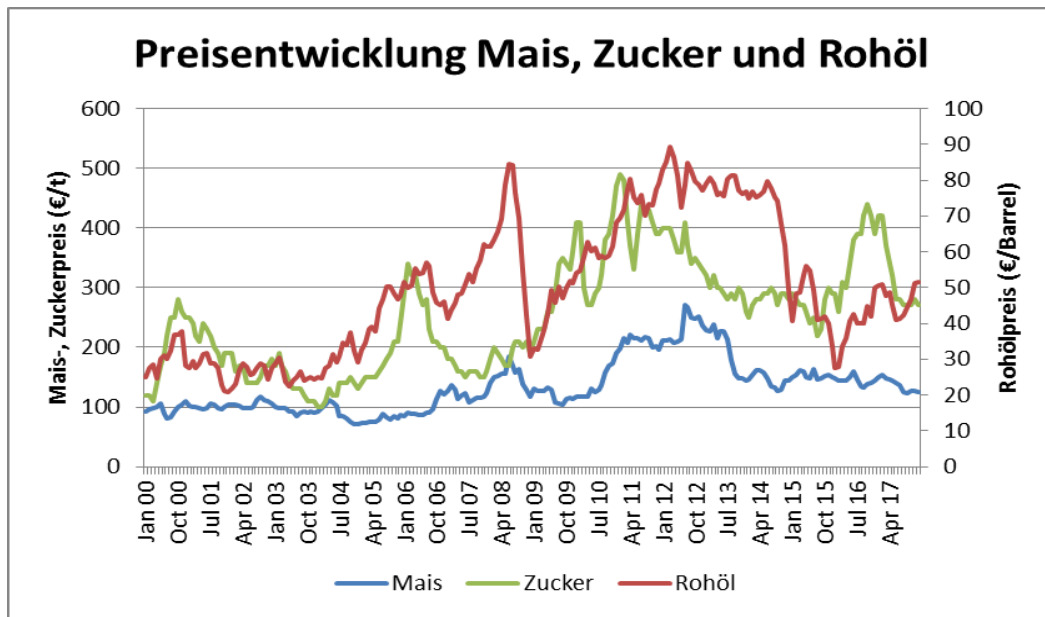


Abbildung 2.10: Entwicklung des Mais- und Zuckerpreises im Vergleich zum Rohölpreis von 2000-2017. Quelle (11.1.2018): <https://www.indexmundi.com/commodities/>

### 2.3.3 Biobasierte Kunststoffe

Es gibt kaum öffentlich verfügbare Informationen zu den Preisen biobasierter Kunststoffe. Generell gilt, dass die Preise stark mengenabhängig sind und abhängig davon, ob man direkt vom Hersteller kaufen kann ("Bulk") oder aber über Zwischenhändler. Tabelle 2.3 gibt einen Überblick über das Preisniveau biobasierter Kunststoffe im Jahr 2016 [Van den Oever et al. 2017]. Die Prozentwerte sind als Preisauflschläge im Vergleich zu den in [Van den Oever et al. 2017] ebenfalls genannten Preisen der petrochemischen Kunststoffe zu verstehen.

Tabelle 2.3: Preisspanne biobasierter im Vergleich zu petrochemischen Kunststoffen im Jahr 2016. Quelle: [Van den Oever et al. 2017] und Einschätzungen der Autoren

Kunststoff	Preisniveau 2016	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )
Bio-PA	+10- 20 %	1040-1190
Bio-PE	+20-40 %	910-970
Bio-PET	+20-40 %	1370-1390
PBAT	2800-4000 (€/t)	1250
Bio-PBS	> 3500 (€/t)	1260
PHA	> 4000 (€/t)	1200-1250
PLA	1800-2200 (€/t)	1250
PTT	4000 (€/t)	1320
Stärkeblends	2000-4000 (€/t)	1250-1350
CA	4000-5000 (€/t)	1200-1300

Neben den biogenen Rohstoffpreisen spielen bei den biobasierten Kunststoffen häufig noch die Entwicklungskosten eine große Rolle, die angesichts kleiner Produktionsvolumina in häufig kleineren und gegebenenfalls wenig optimierten Anlagen stärker durchschlagen können [ifeu 2007]. Die Preisunterschiede sind damit unter anderem auch auf die nicht oder nur teilweise realisierten Skaleneffekte zurückzuführen. In [Van den Oever et al. 2017] wird die Erwartung geäußert, dass sich die Preise für biobasierte Kunststoffe eben durch Skaleneffekte bei der Herstellung von biobasierten Kunststoffen und der Kunststoffverarbeitung in naher Zukunft günstiger darstellen könnten. So könnte der Preis für Succinat von 4 €/kg auf 2,5 €/kg fallen. Bei bbPE seien die Herstellungspreise schon heute kompetitiv und der Preisaufschlag hinge damit zusammen, dass bbPE als Premiumprodukt vermarktet würde.

Je nachdem wo das Gros der Produktion liegt, spielen auch Währungseffekte nicht selten eine wesentliche Rolle. Dies gilt besonders für biobasierte Kunststoffe, da es oft nur einen nennenswerten Hersteller für Polymer oder auch Monomer gibt. Genau wie bei den petrochemischen Kunststoffen haben auch Zölle und Handelsvereinbarungen Einfluss auf den Preis.

#### 2.3.4 Wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit

Bezüglich einer Einschätzung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit bietet sich an, zu unterscheiden zwischen

- a. Drop-In Kunststoffen, sowie
- b. neuartigen Kunststoffen inkl. ihrer Compounds und Zellulosefolien.

Die erste Gruppe operiert recht nahe an der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit: bei PE und Bio-PET30 liegen die Preisaufläge typischerweise zwischen 20 % und 40 %. Die preisdifferenzierenden Faktoren lassen sich hier als "harte" wirtschaftliche Faktoren beschreiben, v. a. Rohstoffpreise, Währungen, Zölle. Technologie und Skalierung spielen nach Einschätzung der Autoren keine übergeordnete Rolle. Es gibt keine technische Differenzierung bei Drop-In.

Dagegen liegen die Preisaufläge für die zweite Gruppe in weitaus größeren Schwankungsbreiten und zahlreiche weitere Faktoren wirken ein. Je nach Anwendung und dem dort zu substituierenden Kunststoff lassen sich Preisunterschiede von 10 % (sehr selten) bis zum Faktor 3 und höher beobachten. In [Van den Oever et al. 2017] findet sich eine Grafik (Abbildung 2.11), in der versucht wird, die Rohstoff-induzierte Kostenparität biobasierter Kunststoffe gegenüber PET und PS am Beispiel von PLA darzustellen. Demnach würde eine Kostenparität gegenüber PS zum Beispiel bei einem Zuckerpreis von 0,2 \$/lb und einem Rohölpreis von 50 \$/Barrel (bbl) bestehen. Geht – bei gleichbleibendem Zuckerpreis – der Rohölpreis über diesen Wert, dann wäre PLA billiger.

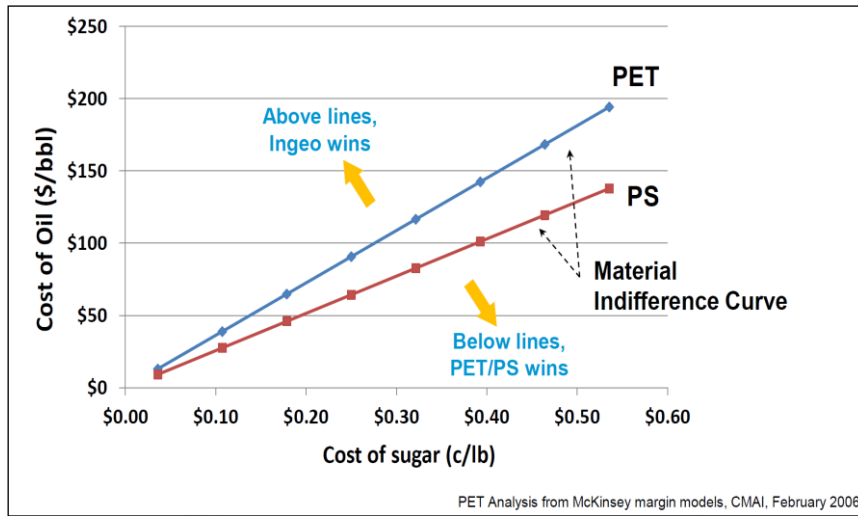


Abbildung 2.11: Rohstoff bezogene Kostenparitätsgraphen für PLA (Ingeo) gegenüber PET und PS  
Quelle [Van den Oever et al. 2017]

Vergleicht man Abbildung 2.11 mit Abbildung 2.12 sieht man, dass es – auf Basis dieser Betrachtungsweise – durchaus Zeitpunkte gab, zu denen eine solche Preisparität bestand, z.B. 2008 oder 2011/12. In der Realität kommen zusätzlich noch operative Kosten und Investivkosten zum Tragen. Diese dürften jedoch bei gleichen Anlagenkapazitäten für biobasierte und petrochemische Rohstoffe ähnlich sein.

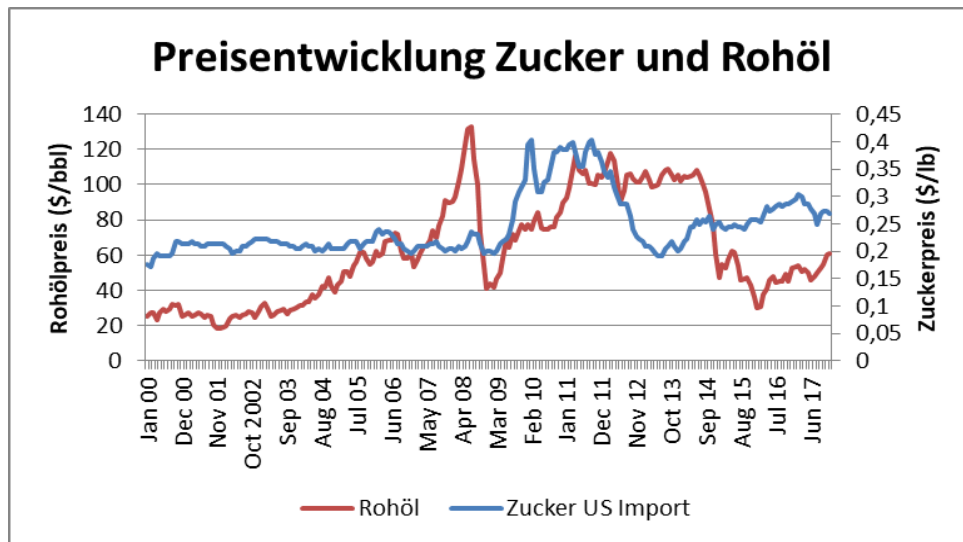


Abbildung 2.12: Preisentwicklung von Industriezucker und Rohöl 2000 bis 2017  
Quelle: <https://www.indexmundi.com/commodities/> (11.1.2018)

### 2.3.5 Kurzgefasst

Insgesamt liegen die Preise von biobasierten Kunststoffen bezogen auf eine Masseneinheit derzeit also über denen der konventionellen Kunststoffe. Dazu trägt auch bei, dass viele biobasierte nicht-Drop-In Kunststoffe ein höheres spezifisches Gewicht als petrochemische Kunststoffe haben. Generell sind Einzelfallbetrachtungen angesichts zahlreicher Faktoren beim Vergleich von alternativ einsetzbaren Vp-KS unerlässlich.

Sofern die Verwendung von biobasierten Kunststoffen Materialeinsparungen ermöglicht, können sich die Kostenunterschiede bezogen auf das Endprodukt verringern bzw. relativieren. Die Nutzung von PLA ermöglicht im Prinzip solche Materialeinsparungen in manchen Anwendungen. Ein Beispiel hierfür sind Klappschalen oder Joghurtbecher aus PLA.

Die Berücksichtigung von möglichen Materialeinsparungen zeigt auch, dass der direkte Vergleich von Polymerpreisen insbesondere für alle nicht Drop-In Kunststoffe zum Teil irreführend ist. Der Vergleich ergibt nur auf Produktebene wirklich Sinn, ggf. noch beim Halbwerkzeug (Folie). Weiterhin gilt zu beachten, dass die hier aufgeführten Kunststoffpreise (Tabelle 2.2, Tabelle 2.3) lediglich eine Momentaufnahme aus dem Jahr 2016 sind und sich die Wettbewerbssituation abhängig von schwankenden Rohöl und biogenen Rohstoffkosten verändert.

PLA wird auch in zahlreichen Compounds als funktioneller Bestandteil (mechanische Leistungsfähigkeit von Folien) eingesetzt. Die Zahl der PLA Anbieter wächst nur langsam, so dass der US Hersteller NatureWorks bisher die Nachfrage dominierte. In den nächsten 1-2 Jahren wird mit der Inbetriebnahme weiterer kleinerer und größerer (Corbion 75 kt, Thailand) Anlagen gerechnet, was den Wettbewerbs- und Preisdruck erhöhen dürfte.

# 3 Rechtsrahmen Lebensmittelkontakt

---

## 3.1 Rechtliche Vorgaben

Jegliche Arten von Materialien und Gegenständen, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen, müssen auf Europäischer Ebene den allgemeinen Anforderungen der Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 entsprechen. Für biobasierte Kunststoffe gelten somit genau dieselben rechtlichen Rahmenbedingungen wie für mineralölbasierte Kunststoffe. Gemäß Artikel 3 der Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 sind:

*„(1) Materialien und Gegenstände, einschließlich aktiver und intelligenter Materialien und Gegenstände, [...] nach guter Herstellungspraxis so herzustellen, dass sie unter den normalen oder vorhersehbaren Verwendungsbedingungen keine Bestandteile auf Lebensmittel in Mengen abgeben, die geeignet sind,*

- a) die menschliche Gesundheit zu gefährden oder*
- b) eine unvertretbare Veränderung der Zusammensetzung der Lebensmittel herbeizuführen oder*
- c) eine Beeinträchtigung der organoleptischen Eigenschaften der Lebensmittel herbeizuführen.*

*(2) Kennzeichnung, Werbung und Aufmachung der Materialien und Gegenstände dürfen den Verbraucher nicht irreführen.“*

Die Umsetzung dieser Anforderungen im Allgemeinen ist auf Grund von unterschiedlichsten Materialeigenschaften und Anwendungsbedingungen äußerst schwierig.

Materialien aus Kunststoffen sind in der EU am besten geregelt. Die Anforderungen an die Zusammensetzung der Verpackungsmaterialien (Monomere, sonstige Ausgangsstoffe und Additive) sowie Migrationsgrenzwerte und sonstige Spezifikationen für bestimmte Substanzen sind in der Verordnung (EU) Nr. 10/2011 festgelegt. Nach dieser Verordnung dürfen zur Herstellung von Kunststoffen, die im Lebensmittelkontakt eingesetzt werden sollen, ausschließlich Substanzen eingesetzt werden, die in Verordnung (EU) Nr. 10/2011 gelistet sind (Positivliste). Nicht vollständig geregelt sind Farbstoffe, Lösemittel, Polymerisationshilfsmittel (z. B. Katalysatoren) sowie Hilfsstoffe (sogenannten „polymerisations production aids“ PPA).

Für die Bewertung von Materialien, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen sollen, werden die Stoffübergänge (Migration) von Substanzen aus dem Material auf die Lebensmittel bestimmt und mit entsprechenden Grenzwerten verglichen. Die Migrationsprüfung erfolgt in der Regel nicht in Lebensmitteln selbst, sondern in Lebensmittelsimulantien. Kontaktzeiten und -temperaturen die zur Migrationsprüfungen verwendet werden sollen, werden in Anlehnung an die beabsichtigte bzw. vorhergesehene Anwendung gewählt. Die Wahl der Stimulantien und Zuordnung der unterschiedliche Zeiten- und Temperaturen-Kategorien sind in der Verordnung (EU) Nr. 10/2011 geregelt.

Für die Aufnahme in die oben erwähnte Positivliste müssen Substanzen zunächst durch die European Food Safety Authorisation (EFSA) bewertet werden. Den Antrag auf Bewertung einer Substanz sowie

die erforderlichen Unterlagen muss der Unternehmer vorlegen. Anträge auf Bewertung an die EFSA müssen dabei bestimmte Vorgaben erfüllen (s. Leitlinie der EFSA). Nach der Bewertung durch die EFSA erfolgt die Entscheidung der Europäischen Kommission über die Zulassung der Substanz und die Aufnahme in die Unionsliste.

Biobasierte Kunststoffe, welche direkt aus Fermentationsprozessen gewonnen werden, unterliegen einer speziellen Gesetzgebung. Diese Polymere müssen gemeinsam mit dem dazugehörigen Fermentationsprozess gemäß der Verordnung 10/2011 zugelassen werden. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für biobasierte Kunststoffe gemäß Verordnung (EU) Nr. 10/2011 sind im Anhang I zusammengefasst.

Die europäische Gesetzgebung wird zunehmend auf so genannten "non-intentionally added substances" (NIAS) ausgerichtet sein. Bei NIAS handelt es sich um nicht spezifisch zugesetzte Substanzen wie beispielsweise Nebenprodukte aus der Polymerisation, Verunreinigungen der Ausgangsubstanzen sowie um thermische Abbauprodukte aus der Verarbeitung der Polymere. NIAS werden typischerweise mit einem Migrationsgrenzwert von 0,01 mg/kg bewertet. Dieser Wert ist nicht toxikologisch abgeleitet, sondern bedeutet nicht nachweisbar bei einer Nachweisgrenze von 0,01 mg/kg. Die NIAS-Problematik ist bei biobasierten Kunststoffen kritischer zu sehen als bei erdölbasierten Polymeren, weil die Herstellung der Ausgangsmaterialien und Monomere stärkeren Schwankungen aufgrund von unterschiedlichen Rohstoffquellen und/oder klima- und/oder erntebedingten Schwankungen unterliegen. Bei der lebensmittelrechtlichen Bewertung von biobasierten Kunststoffen ist daher dem Aspekt der "non-intentionally added substances" besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Die europäische Gesetzgebung achtet zukünftig ebenso verstärkt auf die Migration von Oligomeren. Viele biobasierte Kunststoffe sind Polykondensate (z. B. Polyester, Polyamide), welche naturgemäß einen hohen Anteil an Oligomeren enthalten. Die lebensmittelrechtliche Bewertung von biobasierten Kunststoffen als Verpackungsmaterialien muss daher die Migration der Oligomeren miteinbeziehen. Erschwerend kommt hinzu, dass sich der Anteil von Oligomeren der Polykondensate während der Herstellung bzw. der Verarbeitung der Kunststoffe durch Umesterung bzw. Hydrolyse verändert. Die Bewertung der Migration von Oligomeren in biobasierten Kunststoffen muss daher die Verarbeitungsschritte mitberücksichtigen.

Post-consumer Recyclate aus biobasierten Kunststoffen im direkten Kontakt zu Lebensmitteln müssen nach der Europäischen Verordnung 282/2008 bewertet werden. Dies erfordert eine Einzelzulassung des Recyclingprozesses bei der Europäischen Lebensmittelsicherheitsbehörde EFSA. Nach heutigem Stand (Mai 2018) sind hauptsächlich Zulassungsanträge für Recyclingprozesse für PET-Flaschen bei der EFSA bewertet worden.

## 3.2 Erfassen und Bewerten von Hemmnissen

Die in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** genannten gesetzlichen Regelungen gelten hauptsächlich für Kunststoffe im Kontakt mit Lebensmitteln; für Papier und Karton gelten lediglich nationale Regelungen. Der Unterschied wird bei der Bewertung von post-consumer Recyclaten offensichtlich. Post-consumer Kunststoffrecyclate im Kontakt zu Lebensmitteln unterliegen der Europäischen Verordnung 282/2008 (Recycling Regulation), Papier und Karton jedoch nicht. Post-consumer Kunststoffe, welche wieder im direkten Kontakt zum Lebensmittel eingesetzt werden sollen, müssen sich einer komplizierten vielschrittigen Einzelbewertung des kompletten Recyclingprozesses bei der EFSA unterziehen. Bei PET-Flaschen wird von der EFSA ein Migrationsgrenzwert von 0,1 µg/l als für den Konsumenten ungefährlich angenommen. Für den Einsatz von rezykliertem

Papier und Karton gibt es keine Grenzwerte, obwohl in den letzten Jahren über bedeutende Kontaminationen von Mineralölkomponenten in Recyclatkarton berichtet wurde. Die sogenannten "mineral oil saturated hydrocarbons MOSH" und "mineral oil aromatic hydrocarbons MOAH" gelangen in beträchtlichen Mengen über Zeitungsdruckfarben in den Recyclatkreislauf. Auf nationaler Ebene wird ein Migrationsgrenzwert von 0,5 mg/kg angestrebt (4. Entwurf der Mineralölverordnung). Dieses Bewertungskriterium für recyclathaltige Papier-/Kartonverpackungen liegt um einem Faktor 5000 höher als der Migrationsgrenzwert bei post-consumer Kunststoffen der EFSA, obwohl MOAH im Verdacht stehen, krebserzeugend zu sein. Kanzerogene Substanzen bei post-consumer Kunststoffen sind dagegen nicht literaturbekannt. Dies stellt eine erhebliche Benachteiligung von Kunststoffen (allgemein) im Vergleich zu Papier/Karton dar.

Für biobasierte Kunststoffe werden in der Regel dieselben Polymeradditive eingesetzt wie für mineralölbasierte Verpackungen. Prinzipiell können daher alle Additive, welche in der Anlage zur Verordnung (EU) Nr. 10/2011 genannt sind bei biobasierten Kunststoffen eingesetzt werden. Es sind somit bei biobasierten Kunststoffen dieselben Migrationsprüfungen durchzuführen wie bei mineralölbasierten Verpackungen. Aufgrund der sehr geringen Verbreitung von biobasierten Kunststoffen im Verpackungsmarkt sind die Diffusionseigenschaften von biobasierten Kunststoffen, verglichen mit herkömmlichen Verpackungskunststoffen, deutlich weniger bekannt. Dies bedeutet für den Inverkehrbringer, dass die Methoden besser validiert werden müssen und letztlich auch ein höheres Risiko, dass eine Substanz (Monomer, Additive, Verunreinigung etc.) aus der Verpackung in das Lebensmittel migriert. Hinzu kommt, dass biobasierte Kunststoffe häufig in deutlich kleineren Chargen produziert werden, welche eventuell schwerer zu kontrollieren sind als seit Jahrzehnten eingesetzte Herstellungsprozesse von herkömmlichen Kunststoffen. Dies birgt wiederum ein Risiko, dass ungewollt Substanzen entstehen, die in das Lebensmittel migrieren können. Daher sind deutlich höhere Anforderungen an die Qualitätssicherungsanalytik erforderlich, als bei herkömmlichen Verpackungspolymeren.

Herkömmliche Verpackungspolymere wurden meist schon vor Jahrzehnten zugelassen. Inzwischen müssen für die Bewertung von neuen Rohstoffen für Bedarfsgegenstände deutlich mehr Daten zur Sicherheit der Rohstoffe sowie deren Verarbeitung vorgelegt werden und die Nachweisgrenzen in der Analytik von Verunreinigungen wurden verringert. Dies führt dazu, dass heutzutage sehr viel mehr Verunreinigungen detektiert und kontrolliert werden müssen, als bei Zulassungsanträgen welche vor Jahrzehnten eingereicht wurden. Als Beispiel lässt sich die Bewertung der Rohstoffe und Nebenprodukte von Polyethylenfuranoat (PEF) anführen. Furan-2,5-dicarbonsäure, neben Ethylenglycol das zweite Monomer von PEF, wurde im Jahr 2014 von der Europäischen Lebensmittelsicherheitsbehörde EFSA bewertet. Die Bewertung von PEF enthält nun Migrationsgrenzwerte für die bei der Polymerisation entstehenden Oligomere. Der Grenzwert ist aufgrund fehlender toxikologischer Daten dieser PEF Oligomere mit 50 µg/l (als Summe) sehr niedrig angesetzt. Die Konzentrationen der Oligomere von PEF liegen in einem sehr ähnlichen Konzentrationsbereich wie die Oligomere von PET. Aufgrund der sehr viel früheren Zulassung von PET sind für die Oligomere von PET jedoch keine spezifische Grenzwerte festgesetzt. Die Konformitätsbewertung von PEF-Verpackungen ist damit sehr viel aufwendiger als die von PET-Verpackungen und erschwert die Markteinführung.



### 3.3 Kurzgefasst

- Biobasierte Kunststoffe unterliegen den gleichen Regelungen wie fossile Kunststoffe.
- Der Einsatz von Kunststoffen für Lebensmittelverpackungen ist EU-weit sehr viel stärker reguliert als z. B. der Einsatz von PPK, was Innovationen im Bereich Kunststoffe erschwert.
- Da die Regelungen der EFSA für Neuzulassungen von Kunststoffen in den letzten Jahren/Jahrzehnten verschärft wurden, müssen biobasierte Kunststoffe zum Teil strengere Zulassungsbedingungen erfüllen, als Kunststoffe, die schon vor vielen Jahren zugelassen wurden.
- Aus lebensmittelrechtlicher Sicht sind keine Vorteile für bbKS erkennbar, da bbKS ähnlich aufwändig oder gar aufwändiger geprüft und bewertet werden müssen als Verpackungen aus fossilbasierte Kunststoffen.

## 4 Technische Rahmenbedingungen

---

Verschiedene Lebensmittel stellen unterschiedliche Anforderungen an ihre Verpackungen. Je nach ausgeprägten Eigenschaften des Kunststoffs, kann dieser die Anforderungen des Lebensmittels mehr oder weniger gut erfüllen. Im Folgenden werden die Barriereigenschaften von Kunststoffen gegenüber Sauerstoff und Wasserstoff sowie die mechanischen Eigenschaften Steifigkeit und Zugfestigkeit genauer betrachtet. Sind diese Parameter bekannt, lässt sich herausfinden, wie gut ein Kunststoff die Anforderungen des Lebensmittels erfüllen kann.

### 4.1 Sauerstoff- und Wasserdampfbarriere

Mit dem Ziel, die Eignung von biobasierten Kunststoffen zur Anwendung in Kunststoff-Lebensmittelverpackungen auf Grundlage der Barriereigenschaften gegenüber Wasserdampf (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) und Sauerstoff (Oxygen Permeability, OP) zu ermitteln, wurden diese Eigenschaften für fossilbasierte sowie biobasierte Kunststoffe in Abbildung 4.1 gegenübergestellt. Zur besseren Abbildung der realen Kunststoff-Eigenschaften wurden keine einzelnen Referenzwerte, sondern die umfangreichen Ausprägungsspektren dieser Eigenschaften je Kunststoff-Typ gegenübergestellt.

Gewählt wurde dazu die Darstellung in Form eines Liniendiagramms, bei dem gerahmte Boxen die jeweiligen Bandbreiten der Eigenschaftsausprägungen je Kunststofftyp anzeigen. Überlappende Bereiche verschiedener Kunststofftypen kennzeichnen Überschneidungen der Eigenschaftsausprägung und erlauben Schlüsse auf ein mögliches Substitutionspotenzial aus technofunktionaler Sicht.

Um die große Spannweite erzielter Gasdurchlässigkeiten abbilden zu können, wurde für in der Darstellung der Gas-Barriereigenschaften eine doppelt logarithmische Auftragung gewählt.

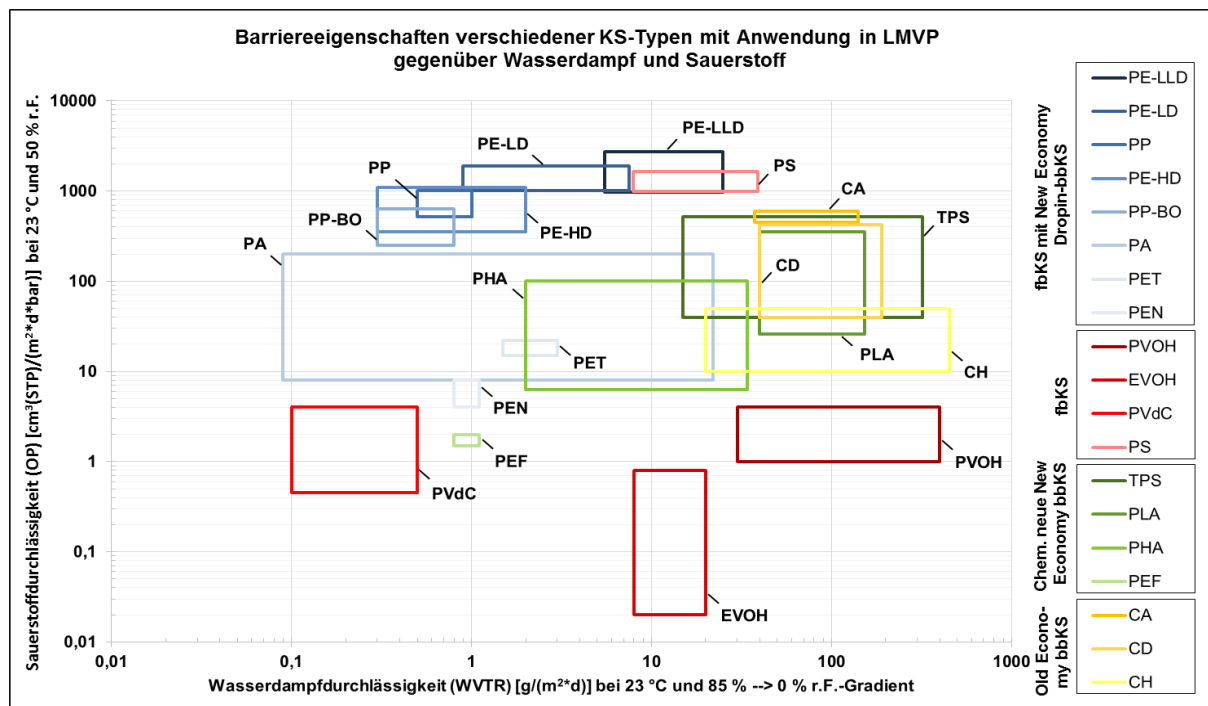


Abbildung 4.1: Vergleich der Wasserdampf- und Sauerstoffdurchlässigkeiten verschiedener etablierter (Gelbtöne) und chemisch neuartiger (Grüntöne) biobasierter Kunststoffe, sowie von fbKS ohne (Rottöne) und mit (Blautöne) biobasierten Drop-In-Pendants in doppelt logarithmischer Auftragung; alle Werte normiert auf eine Werkstoff-Schichtdicke von  $100 \mu\text{m}$ ; Datenwerte und zugehörige Quellen können beim Fraunhofer IVV angefragt werden.

#### 4.1.1 Gas-Barriereigenschaften von fossilbasierten und biobasierten Drop-In Kunststoffen

Zunächst ist festzuhalten, dass fossilbasierte Kunststoffe wie PP oder PE in seiner unverzweigten Form HDPE sowie deren biobasierte Drop-In-Pendants im dargestellten Vergleich zwar vergleichbar hohe Wasserdampf-Barrierewirkung ( $< 3 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ), aber geringe Sauerstoff-Barrierewirkung zeigen ( $> 100 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ). Die PE-Typen LDPE und LLDPE weisen hingegen auch eine geringere Barrierewirkung gegenüber Wasserdampf mit einer Durchlässigkeit von bis zu  $30 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  und gegenüber Sauerstoff von über  $1000 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$  auf. In diesem Bereich bewegen sich auch die Barriereigenschaften von PS.

Blends mit PA als Barrierematerial decken in dieser Auftragung die größte Vielfalt erzielbarer Barriereigenschaften ab. Sie übertreffen die zuvor beschriebenen Polyolefine in der erzielten Barrierewirkung gegenüber Sauerstoff je nach Blend um Faktor 1,5 bis 250. Außerdem können sie die gesamte Ausprägungsbreite der Wasserdampf-Barrierewirkung von Polyolefinen und PS ebenfalls abbilden und diese sogar noch um bis zu Faktor 2 übertreffen.

Die beiden Polyester PET und PEN zeichnen sich gegenüber den Polyolefinen PE, PP und dem dazu typähnlichen PS insbesondere durch eine bessere Barrierewirkung gegenüber Sauerstoff aus (PET:  $< 30 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ; PEN:  $< 8 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ), die hingegen durch einige PA-Blends ebenfalls realisiert werden können. Die Barrierewirkung von PET und PEN gegenüber Wasserdampf von unter  $2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  kann mit verschiedenen PP-, PE- und PA-Blends ebenfalls erzielt werden. Dabei weist PEN gegenüber PET eine bis zu vierfach geringere Durchlässigkeit gegenüber Wasserdampf auf.

Die drei vorwiegend zur Barriere-Funktionalisierung verwendeten Polymere PVOH, EVOH und PVdC zeichnen sich insgesamt durch besonders geringe Durchlässigkeiten gegenüber Sauerstoff aus ( $< 4 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ). Dabei übertrifft EVOH die beiden anderen Barriere-Polymere jeweils um bis zu Faktor 200. Entsprechend ihrer Wasserdampf-Durchlässigkeit unterscheiden sie sich aber mit 200-3000  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  (PVOH), 8-20  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  (EVOH) und 0,1-5  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  (PVdC) deutlich voneinander.

#### 4.1.2 Gas-Barriereeigenschaften chemisch neuartiger biobasierter Kunststoffe

Die Sauerstoff-Barriereeigenschaft von PEF übertrifft jeweils diejenige der beiden Drop-In-biobasierten Kunststoffe PEN und PET um Faktor zwei bis fünf (PEN) beziehungsweise sieben bis 16 (PET). Die erreichte Barrierewirkung von PEF gegenüber Wasserdampf entspricht derjenigen von PEN und übertrifft damit PET um Faktor 1,5 bis 4.

PHA bilden hingegen einen großen Bereich der durch PA-Blends erzielten Sauerstoff- und Wasserdampf-Durchlässigkeiten ab. Mit Durchlässigkeiten gegenüber Sauerstoff von 6-100  $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$  und gegenüber Wasserdampf von 2-35  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  bleibt allerdings insbesondere die erzielbare Barrierewirkung gegenüber Wasserdampf um bis zu Faktor 25 hinter PA-Blends zurück. PHA bewegt sich damit in Bereichen der Wasserdampfdurchlässigkeit von LDPE, LLDPE und PS.

PLA-Blends zeigen mit 40-150  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  eine noch höhere Durchlässigkeit gegenüber Wasserdampf als PHA, und damit auch als die bisher beschriebenen Polyolefine (PE, PP), PS, Polyamide (PA) und Polyester (PEF, PEN, PET). Gegenüber Sauerstoff ähnelt die Barrierewirkung von PHA der von PA-Blends und übertrifft diejenigen der Polyolefine um bis zu Faktor 30 bei HDPE und PP und Faktor 100 bei LDPE-Derivaten.

Thermoplastische Stärke Blends (TPS-Blends) weisen ähnliche Kennzahlen für Sauerstoffdurchlässigkeit wie PLA-Blends auf, erlauben aber zusätzlich auch zweifach geringere und zweifach höhere Durchlässigkeiten gegenüber Wasserdampf als PLA-Blends. Die Wasserdampfbarriere von TPS-Blends ist stark von der Formulierung abhängig, also beispielsweise von gewählten Additiven oder Blendpartnern.

#### 4.1.3 Gas-Barriereeigenschaften von etablierten („Old Economy“) biobasierten Kunststoffen

Die Wasserdampfdurchlässigkeit von Zellulose-Hydraten (CH) entspricht in etwa derjenigen von TPS-Blends und liegt damit deutlich oberhalb der zuvor beschriebenen Polyolefine (PE, PP), PS, Polyamide und Polyester (PET, PEN, PEF, PHA). Die Sauerstoff-Barrierewirkung von CH übertrifft hingegen jene von TPS-Blends um bis zu Faktor 4 und liegt damit in einem Bereich, der auch mit PET, PHA und Polyamid-Blends erreicht werden kann.

Die Barriereeigenschaften verschiedener Zellulose-Derivate (CD) inklusive Zellulose-Acetat (CA) gegenüber Wasserdampf entspricht hingegen jenen von PLA-Blends und liegt damit innerhalb des durch CH erreichten Durchlässigkeitsspektrums. Die Sauerstoff-Durchlässigkeit von CD übersteigt dagegen jene von CH um bis zu Faktor 12.

## 4.2 Mechanischen Eigenschaften

Um die Eignung von biobasierten Kunststoffen (bbKS) zur Anwendung in Kunststoff-Lebensmittelverpackungen aus dem Blickwinkel ihrer mechanischen Eigenschaften zu ermitteln, wurden die beiden Kenngrößen für Steifigkeit (Elastizitätsmodul) und Zugfestigkeit von fossilbasierten Kunststoffen (fbKS) sowie biobasierten Kunststoffen in Abbildung 4.2 gegenübergestellt. Beschichtungspolymere zu Sauerstoff-Barrierезwecken wie PVdC, PVOH und EVOH wurden bei der Bewertung der mechanischen Eigenschaften ebenfalls nicht berücksichtigt.

In der folgenden Ergebnisbeschreibung werden die Materialkennwerte für Steifigkeiten und für Zugfestigkeit von 0-1500 MPa als „gering“, von 1500-3000 MPa als „mittel“ und über 3000 MPa als „hoch“ klassifiziert.

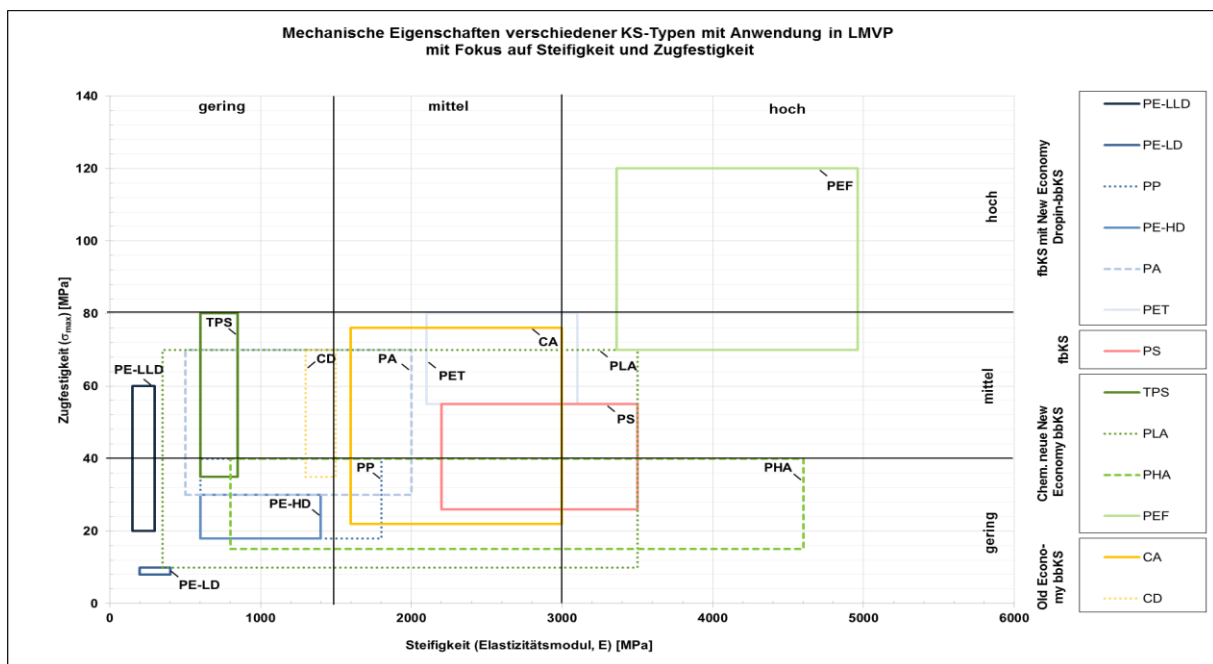


Abbildung 4.2: Vergleich der Steifigkeit und Zugfestigkeit verschiedener Kunststoffe etablierter (Gelbtöne), und chemisch neuartige bbKS (Grüntöne) sowie fbKS ohne (Rottöne) und mit (Blautöne) biobasierten Drop-In-Pendants.

Eingezeichnet sind Bereiche für niedrige, mittlere und hohe Werte für Steifigkeit und Zugfestigkeit gemessen an dem durch die betrachteten bbKS und fbKS abgedeckten Eigenschafts-Spektrum. Datenwerte und zugehörige Quellen können am Fraunhofer IVV angefragt werden.

### 4.2.1 Mechanische Eigenschaften fossilbasierter und biobasierter Drop-Ins

Für die Polyolefin-Werkstoffe PE und PP werden insgesamt geringe Steifigkeitswerte beobachtet, insbesondere für LDPE-Derivate von unter 500 MPa, während HDPE und PP noch Steifigkeitswerte von 1400 bzw. 1800 MPa erreichen. Auch für die Zugfestigkeit dieser beiden Polyolefine können im Gesamtvergleich der betrachteten KS-Typen niedrige Werte unterhalb von 40 MPa mit Ausnahme von LLDPE mit bis zu 60 MPa beobachtet werden. PS ist dagegen mit 2200-3500 MPa im Bereich mittlerer bis hoher Steifigkeit und mit Werten zwischen 26-55 MPa im Bereich niedriger bis mittlerer Zugfestigkeit einzuordnen.

Ähnlich wie schon bei den Gas-Barriereeigenschaften zeigen Polyamide erneut eine breite Varianz in den spezifischen Materialeigenschaften. Die Steifigkeitswerte sind vergleichbar denen von HDPE und PP, die Zugfestigkeiten gleichen der Spanne, die von PS erzielt wird und überstiegen diese zusätzlich auf bis zu 70 MPa. PET zeigt mit 2100-3100 MPa ähnliche Steifigkeitseigenschaften wie PS und liegt mit Werten von 55-80 MPa im oberen Bereich mittlerer Zugfestigkeit.

#### **4.2.2 Mechanische Eigenschaften chemisch neuer biobasierter Kunststoffe**

Mit Ausnahme von TPS-Blends zeigen alle chemisch neuartigen biobasierten Kunststoffe ein sehr breites Spektrum der durch verschiedene Blends und Additivierungen erzielbaren Steifigkeits- und Zugfestigkeitseigenschaften. Für TPS-Blends kann hingegen vorwiegend ein breites Spektrum erzielbarer Zugfestigkeiten zwischen 35-80 MPa beobachtet werden. TPS-Blends gleichen damit in den mechanischen Eigenschaften denen von LLDPE mit einer um ca. Faktor zwei höheren Zugfestigkeit und Steifigkeit.

Sowohl PLA als auch PHA erlauben Anwendungen mit geringen, mittleren oder hohen Steifigkeits-Anforderungen von 350-3500 MPa bzw. 800-4600 MPa. Während mit PHA dabei lediglich geringe Zugfestigkeiten zwischen 15-40 MPa realisiert werden können, erreicht PLA darüber hinaus mittlere Zugfestigkeiten von bis zu 70 MPa.

PEF übertrifft mit besonders hohen Werten für Steifigkeit (70-120 MPa) und Zugfestigkeit (3360-4960 MPa) alle übrigen betrachteten Kunststoff-Typen. Lediglich PHA kann mit Steifigkeitswerten von bis zu 4600 MPa ebenfalls in diesen Bereich vordringen.

#### **4.2.3 Mechanische Eigenschaften von etablierten biobasierten („Old Economy“) Kunststoffen**

Zellulosebasierten Kunststoffwerkstoffen können insbesondere Steifigkeiten (1150-3000 MPa) und Zugfestigkeiten (22-76 MPa) im mittleren Bereich zugeschrieben werden. Sie schneiden damit die Eigenschaftsprofile von PA, PS, PET und PLA in weiten Teilen und können auch Randbereiche derjenigen von PHA und PP erreichen.

Auch etablierte biobasierte Kunststoffe erlauben auf Basis ihrer mechanischen Eigenschaften ohne weiteres eine Anwendung in Kunststoff-Lebensmittelverpackungen.

### **4.3 Diskussion und Schlussfolgerungen**

#### **4.3.1 Methodische Diskussion zum Analyseverfahren**

Aufgrund der zwar umfänglichen, aber kapazitiv begrenzten Literaturrecherche konnten nicht alle verfügbaren Blends und Additivierungen je Kunststoff-Typ recherchiert und in der Auswertung berücksichtigt werden. Nicht auszuschließen ist daher, dass einige Kunststoff-Typen in der Vielzahl der verfügbaren Blends und Additivierungen noch größere Bereiche der betrachteten mechanischen und Gas-Barriereeigenschaften abdecken können.

Weiterhin ist zu beachten, dass der Ausschluss von biobasierten Kunststoffen mit unzureichender Datengrundlage zu mechanischen und Gas-Barriereeigenschaften die Gefahr birgt, dass gerade durch

den Ausschluss die Nutzung dieser biobasierten Kunststoffe weiter erschwert wird und sich die Datenlage damit auch nicht verbessert. Valide Eigenschaftsdaten lagen vorwiegend über die bereits stark marktpräsenten biobasierten Kunststoffe vor. Die Identifikation neuer High Potentials unter den biobasierten Kunststoffen auf technischer Ebene wird so erschwert und es ist anzunehmen, dass auch weitere biobasierte Kunststoffe Anwendungsmöglichkeiten für Lebensmittelverpackungen aufweisen.

### 4.3.2 Ergebnisdiskussion und Schlussfolgerungen

Insgesamt bieten die chemisch neuartigen biobasierten Kunststoffe PEF, PHA, PLA und TPS-Blends vergleichbare Sauerstoff-Durchlässigkeiten wie PA-Blends und deutlich geringere als die fossilbasierten Kunststoffe PE, PP und PS. In sauerstoffempfindlichen Lebensmittelverpackungs-Anwendungen bietet diese Eigenschaft einen grundlegenden Vorteil gegenüber den fossilbasierten Kunststoffen. Zur Funktionalisierung der Polyolefine werden häufig Kunststoffe wie EVOH mit hoher Sauerstoff-Barrierewirkung verwendet werden.

Mit Blick auf die Wasserdampf-Barrierewirkung werden die chemisch neuartigen biobasierten Kunststoffe (mit Ausnahme von PEF) allerdings von Polyolefinen (bzw. deren biobasierten Drop-In Kunststoffe) deutlich übertroffen. Dies stellt durchaus eine hervorzuhebende Schwäche der vorher genannten biobasierten Kunststoffe dar. Neue Beschichtungsmaterialien zur Reduktion der Wasserdampfdurchlässigkeit könnten daher einen Beitrag zum verstärkten Einsatz von biobasierten Kunststoffen in Kunststoff-Lebensmittelverpackungen mit hohen Barriereanforderungen gegenüber Wasserdampf fördern. Bei Anwendungen, welche ohnehin eine höhere Wasserdampfdurchlässigkeit erfordern, können biobasierte Kunststoffe aber auch konkrete Vorteile gegenüber fossilbasierten Kunststoffen aufweisen (z. B. Obst, Gemüse und Frischsalate – vgl. Abbildung 4.3).

PHA könnte basierend auf den betrachteten Gas-Barriereeigenschaften ähnliche Anwendungen abdecken wie insbesondere PA-Typen auf Basis kurzkettiger Monomere (PA6). PS- beziehungsweise LDPE-Anwendungen mit geringen Ansprüchen an Wasserdampf-Barriere könnten ebenfalls durch PHA mit entsprechend besserer Sauerstoffbarriere realisiert werden.

PLA erscheint aufgrund seiner hohen Wasserdampfdurchlässigkeit insbesondere für Anwendungen geeignet, in denen eine strikte Wasserdampf-Barriere unerwünscht ist und könnte hier auch eine Alternative zu PS, LDPE und LLDPE sein. Ähnlich kann auch das Einsatzpotenzial von TPS-Blends mit Blick auf die zugehörigen Barriereeigenschaften gegenüber Wasserdampf eingeschätzt werden.

Beachtung finden sollte auch die Tatsache, dass verschiedene Lebensmittelklassen sehr individuelle Anforderungen an die Eigenschaften ihrer Packmittel stellen [Schmid and Jost 2016]. Abbildung 4.3 stellt diese am Beispiel von Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeit für exemplarische Lebensmittelgruppen dar. Die Ansprüche reichen von extrem hohen Durchlässigkeiten gegenüber beiden Gasen (Obst, Gemüse und Frischsalate) über Anwendungen mit geringer Wasserdampf- und vergleichbar hoher Sauerstoffdurchlässigkeit (Milchprodukte) oder Anwendungen mit umgekehrtem Durchlässigkeitsprofil (spezielle Käsesorten). Einige Anwendungen fordern auch hohe Barrierewirkung gegenüber beiden Gasen (Vakuum-Kaffee).

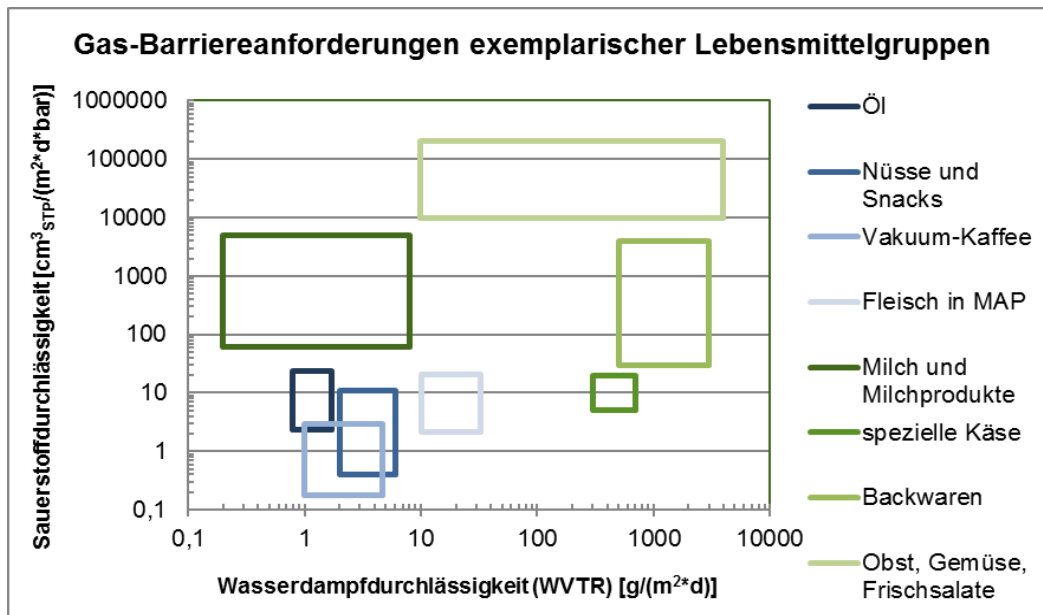


Abbildung 4.3: Ansprüche exemplarischer Lebensmittelgruppen an Gas-Durchlässigkeiten gegenüber Sauerstoff und Wasserdampf (basierend auf Daten und Erhebungen des Fraunhofer IVV). In Blautönen Lebensmittelgruppen mit vergleichbar hohen Anforderungen an Sauerstoff- und Wasserdampfbriere, in Grüntönen solche mit eher hohen Anforderungen an die Durchlässigkeit der beiden Gase.

Auf Basis der mechanischen Eigenschaften der untersuchten biobasierten Kunststoffe scheint keiner der darin betrachteten biobasierten Kunststoff-Typen für Anwendungen in Kunststoff-Lebensmittelverpackungen grundsätzlich ungeeignet. Im Vergleich der mechanischen Eigenschaften Steifigkeit und Zugfestigkeit können biobasierte Kunststoffe sowohl jene von flexiblen fossilbasierten Kunststoffe wie LLDPE (TPS-Blends, PLA) als auch besonders steifer fossilbasierter Kunststoffe wie PS abbilden (PHA, PLA). Besonders Blends der Kunststoff-Typen PLA, PA und PHA können außerdem mit Blick auf ihre mechanischen Eigenschaften besonders große Wertebereiche realisieren und übertreffen zum Teil Zugfestigkeit und Steifigkeit der gängigen fossilbasierten Kunststoffe.

Unter Beachtung der Ergebnisse aus Kapitel 2 dominieren derzeit Polyolefine und Polyolefin-Verbunde den Markt für Kunststoff-Lebensmittelverpackungen. Deren niedrige Werte für Zugfestigkeit und Steifigkeit entsprechend ist anzunehmen, dass für eine Vielzahl der Anwendungen offensichtlich das Aushalten extremer, mechanischer Beanspruchungen nicht zu den wesentlichen Anforderungen gehört.

Daneben existieren ohne Zweifel aber auch Anwendungen mit hohen mechanischen Anforderungen an die eingesetzten Materialien. Als Beispiel sind an dieser Stelle unter anderem Kunststoff-Flaschen zur Verpackung flüssiger Lebensmittel zu nennen. Für diese stellen insbesondere auch Eigenschaften wie Bruchstabilität oder Schlagzähigkeit zentrale Materialanforderungen dar [Stehle 1997]. In der Anwendung für Getränkeflaschen wird dabei überwiegend PET eingesetzt [Robertson 2013], dessen Eignung sich auch in den vergleichbar hohen Werten für Steifigkeit und Schlagzähigkeit niederschlägt. Der biobasierte Kunststoff PEF könnte diese Werte deutlich übertreffen, wenn er in mittlerer Zukunft in Produktion gehen sollte.

Da biobasierte Drop-Ins für PE, PP PA oder PET aufgrund ihrer chemischen Identität mit den fossilbasierten Pendanten auch dieselben Eigenschaften aufweisen, ist ein Einsatz dieser biobasierten



Kunststoff-Gruppe auch aus Sicht ihrer mechanischen Eigenschaften in Kunststoff-Lebensmittelverpackungen nicht eingeschränkt.

## 4.4 Kurzgefasst

- Die untersuchten biobasierten Kunststoffe sind grundsätzlich für viele Lebensmittelverpackungsanwendungen geeignet und können sowohl die meisten Gas-Barrierereigenschaften als auch mechanische Eigenschaften der fossilbasierten Kunststoffe abdecken. Wie bei fossilbasierten KS können durch Blends und Additivierung weitere Bereiche abgedeckt werden.
- Alle neuartigen biobasierten Kunststoffe weisen höhere Durchlässigkeiten gegenüber Wasserdampf auf als die Polyolefine, was je nach Anwendung eine Schwäche oder eine Stärke darstellt.
- Die biobasierten Drop-In Kunststoffe können aufgrund ihrer chemischen Identität die gleichen Anwendungen wie fossile Kunststoffe abdecken. Die Markteinführung von Verpackungen aus biobasierten Drop-In Kunststoffen ist daher mit deutlich weniger Hürden verbunden.
- Die Polymerneuentwicklung PEF fällt bei den mechanischen Eigenschaften als potenziell besonders stabiles, barriestarkes Material auf (äußerst geringe Durchlässigkeit gegenüber Sauerstoff).

# 5 Umweltwirkungen

---

## 5.1 Umweltwirkungen basierend auf Ökobilanzen

Für die Ermittlung des aktuellen Kenntnisstands bzgl. der Umweltwirkungen primärer Lebensmittelverpackungen aus biobasierten Kunststoffen wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und verfügbare Umweltbilanzen ausgewertet. Dabei lag die Priorität auf

- Studien, in denen möglichst aktuelle Daten verwendet wurden
- Studien mit Bezug auf (Mittel-)Europa (vereinzelt ergänzt um Nordamerika, Australien und weitere Regionen)
- Studien, die als Untersuchungsgegenstand spezifisch primäre Lebensmittelverpackungen behandeln

Die Auswertung der Literatur bestätigte ganz überwiegend das Muster, das bereits von früheren Auswertungen biobasierter Kunststoffe im Vergleich mit fossilen Kunststoffen bekannt ist [Detzel et al. 2012], [Detzel 2015].

In den Kategorien „Klimawandel“ und „Fossiler Ressourcenverbrauch“ bzw. „Fossiler Energieverbrauch“ weisen fast alle gesichteten vergleichenden Ökobilanzen Vorteile für die biobasierten Kunststoffverpackungen aus. Teilweise werden auch Vorteile in den Kategorien „Sommersmog“ und „Humantoxizität (kanzerogen)“ festgestellt. Bei den Umweltwirkungen „Versauerung“, „aquatische und terrestrische Eutrophierung“, „Humantoxizität (Feinstaub PM 10)“, „Naturraumbeanspruchung/Landnutzung“, „Wasserverbrauch“ und „Ozonabbau“ weisen fast alle Ökobilanzen Nachteile für die biobasierten Lebensmittelverpackungen aus. Dieses Muster zeigt sich nicht nur bei biobasierten Kunststoffen, sondern auch bei vielen anderen Vergleichen von Produkten aus fossiler bzw. biogener Rohstoffbasis. Abbildung 5.1 veranschaulicht exemplarisch diesen Sachverhalt.

Bei fast allen biobasierten Kunststoffverpackungen kommen wesentliche Beiträge aus der Gewinnung biogener Rohstoffe in der Landwirtschaft. Wie in Abbildung 5.1 ersichtlich, sind jedoch auch erhebliche Optimierungspotenziale vorhanden. Die genannten Muster gelten grundsätzlich für alle Arten primärer Lebensmittelverpackungen, also für Getränkeverpackungen ebenso wie starre/halbstarre und flexible Folienanwendungen.

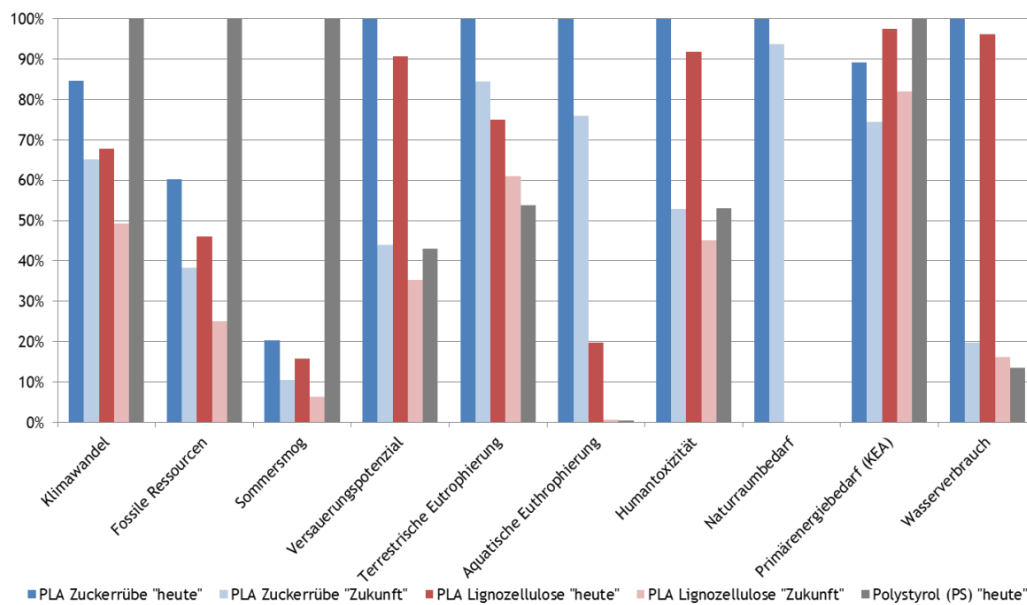


Abbildung 5.1: Typisches Ergebnismuster für Ökobilanzen von Biokunststoffverpackungen [Detzel 2015]

Trotzdem weisen die verschiedenen Verpackungsarten auch einige Besonderheiten aus. Deshalb werden im Folgenden verschiedene Arten der Lebensmittelverpackungen wie schon im Kapitel 2.1 nach den verschiedenen Anwendungsformen der Lebensmittelverpackungen unterschieden und entsprechend untergliedert nach:

- Getränkeverpackungen
- Starre/Halbstarre Folienanwendungen
- Flexible Folienanwendungen (Mono- oder Mehrschichtfolien)

### 5.1.1 Umweltwirkungen von Getränkeverpackungen

Bei den Getränkeverpackungen wurden zwei Produktarten gesondert betrachtet: Plastikflaschen und -becher. So wurden zunächst Ökobilanzen ausgewertet, welche Flaschen aus PLA mit fossilbasierten Kunststoffen vergleichen. Auch hier bestätigt sich, dass Flaschen aus PLA in den Umweltwirkungskategorien Klimawandel und fossiler Energieverbrauch deutliche Vorteile gegenüber ihren fossilbasierten Vergleichspartnern ausweisen [Simon et al. 2016].

Betrachtet man weiter die genannten Umweltkategorien, dann fallen die Umweltlasten bei werkstofflichem Recycling am geringsten aus. Uneinheitlich wird zum Teil dargestellt, ob Verbrennung oder Vergärung vorteilhafter sind. In den meisten Fällen wird aber davon ausgegangen, dass Kompostierung die höchsten Umweltlasten beim Klimawandel erzeugt, wenn hier keine entsprechenden Verwertungsgutschriften erteilt werden [Simon et al. 2016].

Sehr ähnlich stellt sich das Bild auch für vollständig biobasiertes PET dar. In [Chen et al. 2016] wurden Szenarien bilanziert, bei denen eine Herstellung sowohl vom Monomer Monoethylenglykol (MEG) als auch von Reinstterephthalsäure PTA aus unterschiedlichen Lignozellulose-Rohstoffen (Waldresthölzern, Weizenstroh, Energiegräser, etc.) angenommen wurde. Die Ergebnisse deuten an, dass damit

Umweltwirkungskategorien, welche üblicherweise besonders stark durch die Landwirtschaft dominiert werden, d.h. „Versauerung“, „Eutrophierung“ und „Ökotoxizität“ [Chen et al. 2016], [Papong et al. 2014] verbessert werden können. Allerdings zeigen die Ergebnisse für das lignozellulose-basierte PET gesamtökologisch keine Vorteile gegenüber dem fossilen PET. In der Studie von [Chen et al. 2016] wird auch deutlich, dass es noch weiterer Forschungsbedarf gibt dahin gehend, welche Lignozellulose Quellen sich besonders gut als Ausgangsstoff für die PET-Synthese eignen und welche weniger.

Bei den Getränkebechern weisen Exemplare aus PLA für fast alle Umweltwirkungskategorien (außer „Klimawandel“, „Fossiler Energieverbrauch“ und „Fossiler Ressourcenverbrauch“) höhere Umweltbelastungen als vergleichbare Becher aus Polystyrol aus. Für Pappbecher, welche mit PLA beschichtet wurden, werden teilweise bessere Werte beim Sommersmog ausgewiesen, ansonsten gilt für diese dasselbe. Dieses Muster gilt auch unabhängig davon, wie biobasierte Becher an ihrem Lebensende verwertet bzw. entsorgt werden. Betrachtet man nur für Becher aus PLA die verschiedenen Arten der Verwertung, dann ist ein werkstoffliches Recycling übereinstimmend in fast allen Ökobilanzen am vorteilhaftesten [Potting und Van der Harst 2015].

Verbrennung und Vergärung schneiden schlechter ab, die größten Umweltauswirkungen werden häufig für Kompostierung ausgewiesen. Gleiches gilt für das Lebensende von Pappbechern, welche mit PLA beschichtet wurden [Potting und Van der Harst 2015].

### 5.1.2 Umweltwirkungen von Starren/Halbstarren Folienanwendungen

Bei den starren bzw. halbstarren Folienanwendungen wurden in den Ökobilanzstudien Klappschalen aus PLA und Bio-PE mit ihren fossilen Pendanten (z. B. aus PS, PP, PE und PET) verglichen.

Eine wichtige Annahme einiger Ökobilanzen ist, dass Schalen aus PLA auch dann die gleiche Funktionalität aufweisen können, wenn sie aus weniger Kunststoffmasse als ihre fossilbasierten Gegenstücke hergestellt sind. Unter dieser Annahme können Klappschalen aus PLA nicht nur bei „Klimawandel“, „Fossilem Energieverbrauch“ bzw. „Fossilem Rohstoffverbrauch“, sondern auch bei den Kategorien „Sommersmog“ und „Versauerung“ Vorteile ausweisen. Andererseits schneiden PLA-Schalen trotz der angenommenen Gewichtsvorteile bei den Kategorien „Eutrophierung“, „Humantoxizität“ und „Landnutzung“ schlechter ab [Krüger et al. 2009], [Madival et al. 2009].

Bei der vergleichenden Betrachtung von Klappschalen aus Bio-PE und fossilem PE zeigen die meisten Ökobilanzen wieder Vorteile bei „Klimawandel“, „Fossiler Energieverbrauch“, „Fossiler Rohstoffaufwand“ sowie „Sommersmog“, aber Nachteile bei allen anderen Wirkungskategorien. Auch bei den biobasierten Klappschalen wird das Umweltwirkungsprofil durch die Rohstoffgewinnung in der Landwirtschaft dominiert [Carus et al. 2014]. Die genannten Muster gelten auch beim Vergleich von Joghurtbechern aus PLA mit Bechern aus PS [Kauertz et al. 2011].

Eine mögliche Neuerung sind starre Folienanwendungen aus einer Kombination von PLA und TPS-Blends. Hierbei wird eine Schicht aus TPS zu beiden Seiten mit Schichten aus PLA kombiniert [Benetto et al. 2015]. Dies könnte zukünftig ökologisch sinnvoll sein, weil TPS-Blends im Vergleich mit PLA geringere Umweltlasten ausweist. Im bisher praktizierten Labormaßstab erweist sich allerdings schon die Herstellung dieser Mehrschichtfolien als so aufwendig, dass die Kombination PLA/TPS/PLA gegenüber starren Folien aus reinem PLA keine Umweltvorteile aufweist.

Ein möglicher Mehraufwand der Mehrschichtfolien im Zuge der Entsorgung ist in der betrachteten Ökobilanz auch noch nicht berücksichtigt [Benetto et al. 2015]. Dies gilt im Grunde auch für eine

mögliche Bearbeitung der biologischen Grenzflächen starrer Lebensmittelverpackungen mit Nanopartikeln, um die Haltbarkeit der Lebensmittel zu erhöhen [Lorite et al. 2017].

### 5.1.3 Umweltwirkungen von flexiblen Folienanwendungen:

Bei den Umweltwirkungen von flexiblen Folienanwendungen lagen Vergleichsstudien von Folien aus PLA, bio-PE, Proteinisolaten, Chitosan und Agar mit diversen fossilen Folien vor. Betrachtet wurden sowohl Mono- als auch Mehrschichtfolien.

Beim Vergleich von Monofolien aus PLA und biobasiertem PE mit ihren fossilbasierten Pendanten bestätigt sich das bekannte Muster. Auch die genannten biobasierten Folien weisen in den Umweltwirkungskategorien „Klimawandel“, „Fossiler Energieverbrauch“ bzw. „Fossiler Ressourcenverbrauch“ Vorteile, in allen anderen Wirkungskategorien mehr oder große Nachteile auf [Madival et al. 2009], [Carus et al. 2014].

Neuere Entwicklungen sind biobasierte Folien aus Proteinisolaten, Chitosan und Agar. Diese weisen (im Labor-Maßstab) noch sehr hohe Umweltwirkungen bei der Herstellung auf, Ökobilanzdaten zur Herstellung in größerem Maßstab liegen noch nicht vor. Ökobilanzen zu Folien aus Chitosan und Agar zeigen im Lebenswegabschnitt der Folienherstellung sogar die Hauptlasten an. Folien aus (sojabasierten) Proteinisolaten wirken hingegen hauptsächlich über die Rohstoffbereitstellung auf die Umwelt. Die drei genannten Folientypen werden meist unter Verwendung hoher Mengen an Additiven hergestellt, weil bislang nur so eine mit fossilen Folien vergleichbare Funktionalität erlangt werden konnte. Bei diesen Additiven ist zum Teil noch unklar, welche Umweltwirkungen sie erzeugen [Garrido et al. 2014], [Leceta et al. 2013], [Leceta et al. 2014].

Mehrschichtfolien weisen bekanntlich ein niedrigeres Gewicht bzw. eine höhere Funktionalität aus. Aus Umweltsicht ist unklar, ob diese genannten Faktoren die aufwändigere Herstellung und die schlechtere Recyclierbarkeit ausgleichen können. Für diesen Zielkonflikt lieferten verschiedene gesichtete Ökobilanzen kein eindeutiges Bild [Barlow und Morgan 2013]. Datenlage und Forschungsbedarf zu Umweltwirkungen.

### 5.1.4 Verfügbarkeit von Ökoinventaren

Für nahezu alle der bereits im industriellen Maßstab gefertigten biobasierten Kunststoffe sind keine Inventardaten zur Verwendung in Ökobilanzen öffentlich bzw. kostenfrei erhältlich – Ausnahme PLA (Natureworks) und greenPE (Braskem).

Als Grund wird häufig die Notwendigkeit zur Geheimhaltung des Know-Hows angegeben. Daher ist die Datenlage ungleich schlechter als bei den konventionellen petrochemischen Kunststoffen. Somit wird für die Umweltanalysen von biobasierten Kunststoffen häufig der öffentlich verfügbare PLA-Datensatz von Natureworks verwendet oder generische Datensätze speziell für eine Studie unter Verwendung von Proxy-Daten und Erfahrungswerten der Studierersteller abgeleitet.

Ein Beispiel für Umweltwirkungsprofile verschiedener biobasierter Kunststoffe findet sich in (Abbildung 5.2) am Beispiel der Indikatoren Klimawandel, regenerativer KEA, aquatische Eutrophierung und Versauerung. Die Indikatorergebnisse der fossil-basierten Kunststoffe beruhen auf den von

PlasticsEurope veröffentlichten Ökoprofilen<sup>9</sup>. Die Daten der biobasierten Kunststoffe beruhen auf den zuvor schon angesprochenen Inventardaten von Natureworks (PLA) und Braskem (bbHDPE) sowie auf generischen Inventaren, die durch das ifeu erstellt wurden.

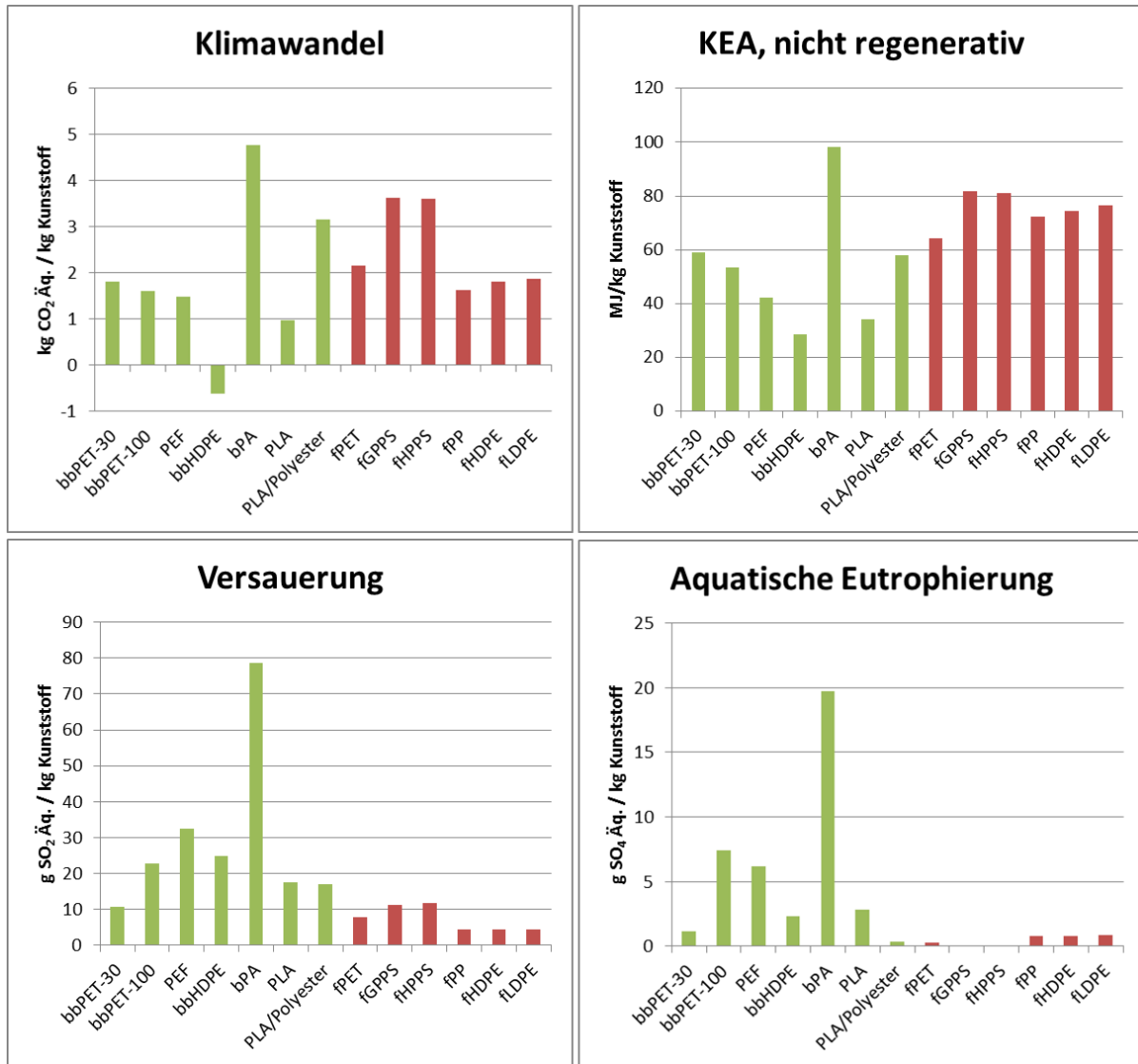


Abbildung 5.2: Cradle-to-gate Indikatorergebnisse verschiedener Kunststoffe  
bb: biobasiert (grüne Balken); f: fossil (rote Balken); PLA/Polyester: Blend aus PLA und Polyester

Die Erstellung solcher generischer Ökoinventare erfordert neben ausreichenden Informationen aus der Fachliteratur zu den Herstellungsverfahren insbesondere gute Kenntnisse und Erfahrungswerte zur modelltechnischen Umsetzung von Verfahrensschritten der Synthesechemie sowie eine Modulbibliothek.

Generische Datensätze sind letztlich als eine (möglichst gute) Annäherung („Proxy“) an die Realität zu verstehen. Sie sind dann erforderlich, wenn keine Primärdaten aus der Herstellung einzelner Kunst-

<sup>9</sup> <https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles>

stoffe zur Verfügung stehen oder auch wenn noch in Entwicklung befindliche Verfahren, wie das zur Herstellung eines 100% biobasierten PET (s. Abbildung 5.2) betrachtet werden sollen.

### 5.1.5 Ressourceneffizienz / Rohstoffeffizienz

In Ökobilanzen findet sich für stoffliche Rohstoffnutzung häufig der Indikator „Kumulierter Rohstoffaufwand“, differenziert nach biogenen und nicht erneuerbaren Rohstoffquellen. Für vergleichende Ökobilanzen mit gemeinsamer funktioneller Einheit stellen diese absoluten Zahlen auch implizit ein Maß für die Rohstoffeffizienz dar [Rettenmaier et al. 2014].

Die quantitative Erfassung der Rohstoffeffizienz biobasierter Produkte weist nach wie vor eine Reihe methodischer Schwierigkeiten auf, dies gilt somit auch für biobasierte Kunststoffe. Zum Teil sind biotische Rohstoffe in massebasierten Kennzahlen deshalb überhaupt nicht enthalten. Die Experten des statistischen Bundesamtes kommen sogar zu dem Schluss: „Insoweit ist es fraglich, ob sinnvollerweise biotische Rohstoffe insgesamt in einen Ressourceneffizienzindikator, der auf Rohstoffäquivalenten – also auf einer Massenangabe – aufbaut, enthalten sein sollen“ [Kaumanns and Lauber 2016].

Ein fundamentaler Kritikpunkt an bestehenden Indikatoren der Rohstoffeffizienz ist, dass sie nicht zwischen erneuerbaren und endlichen Rohstoffquellen unterscheiden. Betrachtet wird das Verhältnis von Rohstoffäquivalenten zu Produkt – unabhängig davon, ob die Rohstoffe nur einmal, oder potenziell unendlich oft aus der Natur entnommen werden können [Kaumanns and Lauber 2016].

### 5.1.6 Weitere Beobachtungen mit Bezug auf die betrachteten Ökobilanzen

Bei der Analyse der Umweltwirkungen von biobasierten Lebensmittelverpackungen aus Kunststoff erfolgt oft keine randscharfe Trennung von Biopolymeren, biobasierten Kunststoffen und biobasierten Verpackungen. Zudem finden sich generell wenige Informationen zu den Umweltwirkungen von Additiven. Das gilt auch dann, wenn diese mit einem großen Massenanteil im Kunststoff vorhanden sind und die Funktionalität der fertigen Verpackung wesentlich mitbestimmen [Leceta et al. 2014].

Oftmals erfolgt in den Studien nur eine eingeschränkte Betrachtung der Umweltwirkungskategorien, häufig reduziert auf Klimawandel, fossilen Energiebedarf bzw. fossilen Rohstoffbedarf. Zudem ist die Betrachtung des Lebenswegs häufig auf die Prozessschritte Rohstoffgewinnung und Herstellung beschränkt („Cradle to Gate“). Dies ist insbesondere dann kritisch, wenn unklar ist, wie die Kunststoffverpackung verwertet wird, bzw. was am Ende des Lebensweges mit dem zuvor aufgenommenen biogenen Kohlenstoff geschieht. Selbst aus vollständigen, ISO-konformen Ökobilanzen lassen sich oftmals keine direkten Aussagen für den deutschen Bezugsraum ableiten, weil vorliegende Ökobilanzen sehr stark durch einen anderen geographischen Bezugsraum geprägt werden oder methodische Unterschiede aufweisen.

Generell gelten die hier aufgeführten Kritikpunkte auch für Ökobilanzen fossil basierter Kunststoffe bzw. Kunststoffverpackungen. Weitere Aspekte die in Ökobilanzen in der Regel aus methodischen Gründen oder aufgrund von Datenlücken nur selten berücksichtigt werden sind:

**bei fossil-basierten Kunststoffen**

- Bilanzierung der Additive
- Hochtechnische Verfahren der Öl- und Gasgewinnung (z.B. Fracking)
- Leckagen
- Havarien (z.B. Golf von Mexiko)
- Öl-Kriege

**bei biobasierten Kunststoffen**

- Bilanzierung der Additive
- Umweltweltauswirkungen durch die Freilandverwendung von GVO
- Adäquate Einbeziehung von Land Use Change
- Wasserknappheit

Im Rahmen der CEN-Aktivität TC 411 wurde in der Arbeitsgruppe 4 auch ein Standard zur Ökobilanzierung biobasierter Produkte erarbeitet [DIN EN 16760]. Die spezifisch auf das Erkenntnisinteresse ausgerichtete Rahmensetzung einer spezifischen Ökobilanz wird aber auch zukünftig erforderlich machen, Ergebnisse und Daten immer im Kontext der jeweiligen Fragestellung und den Rahmenbedingung zu interpretieren.

## 5.2 Zertifizierung von biobasierten Kunststoffen

Neben der ökobilanziellen Bewertung von biobasierten Kunststoffen bzw. daraus hergestellten Verpackungen ist der Nachweis einer nachhaltigen Gewinnung und Bereitstellung der verwendeten Biomasse in der Entscheidungsfindung zugunsten biobasierter Kunststoffe zunehmend relevant. Aktuell ermöglichen die beiden Zertifizierungssysteme ISCC Plus [ISCC 2017] und RSB [RSB 2017] eine Zertifizierung von biobasierten Kunststoffen von der Rohstoffgewinnung bis zum Polymer, bei Bedarf auch inklusive des daraus hergestellten Endprodukts. RSB-Zertifikate für Biokunststoffe liegen bislang nicht vor. ISCC-Zertifikate gibt es für folgende biobasierte Kunststoffe<sup>10</sup>:

- Ingeo: PLA-Pellets der Firma NatureWorks LLC (Produktion in USA)
- Mater-Bi: nur für den Stärkeanteil in den Biokunststoffen (Mater-Bi) der Firma Novamont (Produktion in Italien)
- I'm green: Biomasse basiertes Polyethylen der Firma Braskem (Produktion in Brasilien)

Eine Untergrenze für den real messbaren Biomassegehaltes eines zertifizierten Produktes gibt es nur bei RSB (25 %), jedoch nicht bei ISCC.

Während also biobasierte Kunststoffe mit Nachhaltigkeitszertifikat am Markt erhältlich sind, gibt es nach Kenntnis der Autoren keinen einzigen fossil-basierten Kunststoff mit einem anerkannten Nachweis der Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien. Hier ist insbesondere die Politik aufgerufen, zukünftig eine nachhaltige Bereitstellung biobasierter UND fossil-basierter Rohstoffen einzufordern.

<sup>10</sup> Bei ISCC Plus sind weitere Kunststoffe bzw. Kunststoffprodukte mit ISCC-Zertifikat gelistet, die über den Weg einer sogenannten „entkoppelten Massenbilanz“ zertifiziert wurden und aktuell keine oder allenfalls extrem geringe nachweisbare biogene Anteile enthalten (s. dazu auch: Detzel et al. 2018).



### 5.3 Biobasierte Kunststoffverpackungen aus Reststoffen und Nebenprodukten

Bei der stofflichen Nutzung von Biomasse wird nach wie vor die Diskussion um „Tank oder Teller“ bezogen auf mögliche Flächen- und Nutzungskonkurrenzen zur Lebensmittelproduktion in der Landwirtschaft geführt. Die Verwendung agrarischer Reststoffe bzw. weiterer organischer Nebenprodukte und Abfälle gilt als eine Möglichkeit, mögliche Zielkonflikte zu mindern [BMEL 2013]. Es gibt zum einen neu entwickelte Kunststoffe aus innovativen „Feedstocks“, z. B. Kunststoffe aus Agar (aus Algen), aus Chitosan (aus Krustentieren) und aus Proteinisolaten (aus der Herstellung von Pflanzenölen). Zum anderen können bekannte biobasierten Kunststoffen aus neuartigen „Feedstocks“ hergestellt werden, wie z. B. die Gruppe der Polyhydroxyalkanoate. Diese können auch aus einer Reihe organischer Nebenprodukte und Abfälle gewonnen werden (z. B. aus überschüssiger Molke aus der Käseproduktion, oder auch integriert in die Reinigung von Abwässern).

Ein Schwerpunkt der aktuellen Forschung liegt auf der Umweltwirkung von Herstellungsverfahren, welche bekannte biobasierte Kunststoffe aus Lignozellulose generieren. Der Aufschluss von Lignozellulose erlaubt die Herstellung von Kunststoffen, die bisher aus stärke- oder zuckerreichen Pflanzenbestandteilen gewonnen werden, z. B. PLA. Möglich ist etwa die Verwendung von Holzresten oder Reststoffen aus der Landwirtschaft bzw. Lebensmittelverarbeitung, z. B. Weizenstroh oder Maisspindeln. Nicht nur unterscheiden sich die verschiedenen Reststoffe und Rückstände in ihrer chemischen Zusammensetzung, sondern es finden sich ganz unterschiedliche Methoden zum Aufschluss von Lignozellulose. Die Gewinnung von Monomeren ist daher unterschiedlich aufwendig und weist entsprechend unterschiedliche Umweltauswirkungen aus. Trotzdem deutet sich an, dass die Herstellung von Kunststoffen aus Lignozellulose gegenüber anderen biogenen Quellen deutliche ökologische Verbesserungen bringen könnte (siehe Abbildung 5.1).

### 5.4 Kurzgefasst

- Primäre Lebensmittelverpackungen aus biobasierten Kunststoffen schneiden in Ökobilanzen in den Kategorien Klimawandel und nicht-regenerativer kumulierter Energieaufwand besser ab als solche aus fossilen Kunststoffen, in den meisten anderen Kategorien in der Regel schlechter. Optimierungspotential ist vorhanden.
- Mit Ausnahme von PLA – und eingeschränkt biobasiertem PE – ist die Datenlage für Ökoinventare biobasierter Kunststoffe ungleich schlechter als bei den konventionellen petrochemischen Kunststoffen.
- Die Berücksichtigung der Ressourceneffizienz in Ökobilanzen, die im Vergleich von biobasierten und fossilen Kunststoffen eine entscheidende Rolle spielt, ist methodisch schwierig und daher uneinheitlich.
- Die Zertifizierung des nachhaltigen Rohstoffanbaus von Biokunststoffen spielt eine immer wichtigere Rolle und ist zurzeit durch die Zertifizierungssysteme ISCC Plus und RSB möglich. Die Nachweisführung einer nachhaltig(er)en Herstellung sollte zukünftig auch bei fossilen Kunststoffen eingefordert werden.
- Die Herstellung von Biokunststoffen aus Reststoffen und Nebenprodukten (wie beispielsweise Agar, Chitosan oder Molke) wird weiter erforscht und bietet gute Argumente in der Diskussion um Flächen- und Nutzungskonkurrenz zwischen der Lebensmittelherstellung und stofflichen Nutzung von Biomasse.

# 6 Abfallwirtschaftliche Aspekte

---

## 6.1 Rechtlicher Rahmen

Einen wesentlichen rechtlichen Rahmen für die Entsorgung von (Lebensmittel)Verpackungen setzt zukünftig das Verpackungsgesetz, das vom Bundestag am 30. März 2017 beschlossen wurde und voraussichtlich am 1. Januar 2019 in Kraft tritt. Dort ist in § 21 die ökologische Gestaltung der Beteiligungsentgelte wie folgt geregelt:

- (1) Systeme sind verpflichtet, im Rahmen der Bemessung der Beteiligungsentgelte Anreize zu schaffen, für
  - die Verwendung von Materialien und Materialkombinationen, die unter Berücksichtigung der Praxis der Sortierung und Verwertung **zu einem möglichst hohen Prozentsatz recycelt werden können**, und
  - **die Verwendung von Rezyklaten** sowie **von nachwachsenden Rohstoffen zu fördern**
- (2) Jedes System hat anzugeben, welcher Anteil der beteiligten Verpackungen je Materialart einem hochwertigen Recycling zugeführt wurde
- (3) Die Zentrale Stelle veröffentlicht im Einvernehmen mit dem UBA jährlich (...) einen Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen unter Berücksichtigung der einzelnen Verwertungswege und der jeweiligen Materialart.“

Die Beteiligungsentgelte sollen demnach vorrangig die Kreislaufführung von Verpackungsmaterialien fördern, was über eine jährliche Dokumentation der Mengen an Verpackungen, die einem hochwertigen Recycling zugeführt wurden, belegt werden muss. Ausschlaggebend für die Quotenerfüllung ist dabei die Sortierung, die in der ökonomisch optimierten Praxis bislang nur die Massenkunststoffe hinreichend unterscheidet. Komplexe Verpackungslösungen, wie sie häufig für Lebensmittelverpackungen eingesetzt werden, sowie auch neuartige biobasierte Kunststoffverpackungen würden dann in den Sortierresten verbleiben, und damit keine Förderung nach § 21 erfahren. Dabei steht § 21 (1) 1 im Widerspruch zu § 21 (1) 2. Einerseits sollen die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen über die Bemessung der Beteiligungsentgelte gefördert werden, andererseits ist unklar, wie sich der Fokus auf das Recycling für biobasierten Kunststoffe auswirken könnte, wenn sie nicht Drop-In Typen für sortierte Massenkunststoffe sind. Da hierbei nach Materialart zu unterscheiden ist, stellt sich die Frage, wie sich das ab 1.1.2019 gültige VerpackG auf das Materialtableau bei Kunststoffverpackungen für Lebensmittel auswirken wird.

Die Recycling-Quote nach §16(4) VerpackV für im dualen System lizenzierte Kunststoffverpackungen soll von heute 36 % in einer ersten Stufe 1 (2019) auf 58 % und bis zum Jahr 2022 auf 63% ansteigen.



- Lebensmittelverpackungen aus Kunststoff bzw. mit Anteilen von Kunststoff, die über die dualen Systeme gesammelt werden
  - flexible Folienverpackungen
  - starre/halbstarre Folienverpackungen
  - nicht bepfandete PET-Einwegflaschen
  - Spritzguss-Verpackungen und geschäumte Verpackungen
  - Papier/Pappe-Folien-Verbunde
  - Getränkekartons

Darunter befinden sich folgende Verpackungstypen, bei denen davon auszugehen ist, dass sie derzeit in der Regel nicht positiv sortiert werden und in die MKS-Fraktion bzw. Sortierreste gelangen. Diese sind

- Folienverbunde
- PET-Schalen
- Barriere-PET Flaschen
- Flexible Folien <DIN A4

Flexible Folien und Folienverbunde könnten zukünftig ggf. verstärkt über die MPO-flex Fraktionen einer werkstofflichen Verwertung zugeführt werden.

### 6.3 Entsorgung biobasierter Kunststoffverpackungen

Für strukturgleichen Materialien (Drop-In Kunststoffe) bzw. den daraus hergestellten Verpackungen ist eine identische Sortierung wie bei den entsprechenden petrochemischen Kunststoffe zu erwarten:

- Biobasierte PET-Getränkeflaschen: analog zu petrochemischen PET-Getränkeflaschen ist hier von einer hohen werkstofflichen Verwertung über die Pfand basierte Sammlung bzw. über die gezielte PET-Sortierung in den Sortieranlagen auszugehen
- Biobasierte Polyethylen-Verpackungen: analog zu petrochemischen Polyethylen-Verpackungen. Die Verwertung hängt von der Anwendung ab:
  - Verbundschichten im Getränkekarton => Rejektverwertung in Zementwerken
  - Schraubverschlüsse => hohe werkstoffliche Verwertung
  - Mono-Folienverpackungen => derzeit mäßige werkstoffliche Verwertung; zukünftig ggf. vermehrt in der MPO flex Fraktion
  - Verbundfolien => keine werkstoffliche Verwertung; zukünftig ggf. vermehrt in der MPO flex Fraktion

Im Gegensatz dazu werden neuartige biobasierte Kunststoffe – wie etwa PLA – derzeit nicht gezielt positiv sortiert. Vor diesem Hintergrund wurde in der vom BMEL geförderten Studie „Handlungsbedarf zur Konkretisierung nachhaltiger Verwertungsstrategien für Produkte aus Biopolymeren“ gefordert, „Wertschöpfungsmöglichkeiten zu untersuchen, u.a. vor dem Hinblick zukünftig vorhandener

Materialien und deren werkstoffliche Recyclbarkeit“ [Hädrich et al. 2012]. Dabei beschäftige sich ein Forschungsverbund mit der Entsorgung, Sortierung und Verwertung zu Rezyklaten [BMEL 2017]. Die betrachteten PLA-Abfälle stammten aus dem industriellen und dem Post-Consumer-Bereich. Im Ergebnispapier des Forschungsvorhabens finden sich u.a. folgende Aussagen:

- Im Post-Consumer-Bereich ist die NIR-Identifizierung und Aussortierung von biobasierten Kunststoffen möglich
- Biobasierte Kunststoffe stören das Recycling von konventionellen fossilen Kunststoffen nicht
- Das Recycling von Biokunststoffen bringt ökologische Vorteile durch die Substitution von Neuware

Die Ausweitung der Positivsortierung von Kunststofffolien über die MPO flex Fraktion könnte auch Verwertungswege für Kunststofffolien aus neuartigen biobasierten Kunststoffen eröffnen. Nach Einschätzung eines Experten<sup>11</sup> würden diese bei geringen Mengenanteilen die Verwertbarkeit der MPO flex Fraktion nicht beeinträchtigen.

## 6.4 Ökodesign für mehr Recycling

Nach Einschätzung der GVM [s. Reitz 2017] sind 66% aller Kunststoffverpackungen, die beim privaten Endverbraucher anfallen, recyclingfähig. Potenziale zur Steigerung des Recyclings von Kunststoffverpackungen liegen demnach insbesondere in einer recyclinggerechten Verpackungsgestaltung und einer Optimierung der Sortier-, Aufbereitungs- und Verwertungstechnik. Gemäß den in [RM 2017] präsentierten Zahlen könnte eine Umsetzung dieser Potenziale die werkstoffliche Verwertungsquote von 29% auf 43% erhöhen. Nach Kenntnis der Autoren werden derzeit Techniken zum Recycling von PET-Schalen und Kunststoffverbunden intensiv erforscht.

Mit dem VerpackG wird zum ersten Mal eine Regelung zum Ökodesign von Verpackungen verankert: Denn über die Gestaltung der Beteiligungsentgelte sollen Anreize für ein recyclinggerechtes Design und für die Verwendung von Rezyklaten sowie von nachwachsenden Rohstoffen geschaffen werden. Ein wichtiges Instrument hierfür ist die Einführung von Mindeststandards zur Bemessung der Recyclingfähigkeit, die von der neu geschaffenen Zentralen Stelle (s. u.) 2018 erstmals veröffentlicht werden. Zur Bemessung der Zielerreichung sollen die dualen Systeme jährlich den Anteil beteiligter Verpackungen, die einem hochwertigen Recycling zugeführt wurden, an die Zentralen Stelle und dem Umweltbundesamt melden.

Entscheidend auch für die Einordnung von biobasierten Kunststoffen könnte die Definition des Begriffs der Recyclingfähigkeit werden. Damit setzt sich aktuell der sogenannte Expertenkreis III für „Recyclinggerechtes Design“ der Zentralen Stelle auseinander. Eine mögliche Definition für Recyclingfähigkeit findet sich bei [cyclos-HTP 2017] und bezeichnet „die individuelle graduelle Eignung einer Verpackung oder eines Erzeugnisses, in der Nachgebrauchsphase tatsächlich materialidentische Neuware zu substituieren; ‚tatsächlich‘ meint hierbei, dass Erfassungs- und Verwertungsstrukturen im industriellen Maßstab Voraussetzung bilden.“

Im Zusammenhang mit biobasierten KS-Verpackungen stellen sich noch weitere Fragen, die maßgeblichen Einfluss der Praxis auf den gesetzlich gewünschten Fördermechanismus haben:

---

<sup>11</sup> Meinungsäußerung bei einem Multi-Stakeholder Projektworkshop am 12.3.2018 beim BMEL Berlin

- Wie lassen sich Daten zu ihrer Verbreitung (Marktvolumen bbKS-Vp) erfassen?
- Wie lässt sich der zu fördernde "nachwachsende Anteil" einer Verpackung erfassen und zwecks Förderung einordnen? (in Analogie zu Rezyklaten)
- Wie kann ein solches "Anreizsystem" im kartellrechtlich "verplombten" System des Wettbewerbs der dualen Systeme gestaltet und dessen Rechtskonformität überprüft werden?
- Wie muss das Berichtswesen zum § 21 gestaltet sein, dass es auch Antworten zur Förderung nach (1) 2 geben kann? (jährliche Berichte zur Steuerung der Ausgestaltung über die Zeit)
- wie lässt sich verhindern, dass § 21 nicht zum Innovationshemmnis der biobasierten KS-Industrie wird?

## 6.5 Kurzgefasst

- Zukünftig ist eine verstärkte Ausrichtung des Verpackungsdesigns auf gut rezyklierbare Verpackungsmaterialien/-anwendungen zu erwarten
- Die Verwertung bzw. Verwertbarkeit von biobasierten Kunststoffverpackungen nach Gebrauch, d.h. ihre theoretische wie praktische Fähigkeit die gesetzgeberischen und technischen Vorgaben zu erfüllen, hat einen mindestens großen Einfluss auf die Marktentwicklung.
  - im günstigen Fall (z. B. Drop-In-KS): Unterstützung/ Katalyse der Vermarktung
  - im ungünstigen Fall (z. B. kompostierbare Kunststoffverpackungen): erhebliches Hemmnis oder gar unüberwindbare Vermarktungshürde
- Für in der Praxis bereits heute recyclingfähige biobasierte Drop-In Kunststoffe wie PE oder PET sind keine besonderen Hürden zu erwarten.
- Für potenziell recyclingfähige, aber derzeit nicht recycelte biobasierte Kunststoffe wie PLA und PHA kommt es auf die Bereitschaft der Entsorgungswirtschaft an, diese Materialien in den aktuellen Aktivitäten zur logistischen und technischen Optimierung des Verpackungsrecyclings zukünftig zu berücksichtigen. Hier stehen § 21 (1) 1 und § 21 (1) 2 in Konflikt, der im ungünstigen Fall ein Innovationshemmnis bei der Entwicklung neuartiger bbVP bedeuten kann. Wichtige Faktoren für neuartige aber durchaus recyclingfähige biobasierte Kunststoffe wie PLA und biobasierte Polyester sind:
  - Erreichung kritischer Mengen im LVP Strom
  - zukünftige Haltung der Entsorgungswirtschaft
  - Bemessung der Recyclingfähigkeit gemäß §21 VerpackG
- Trotz des Primats der Recyclingfähigkeit wird es auch auf längere Sicht einen erheblichen Teil von Lebensmittelverpackungen geben, die nur schwierig (technisch / ökonomisch) recycelt werden können. Dazu zählen beispielsweise technologisch anspruchsvolle Verbunde, die jedoch sehr gute Verpackungsfunktionalität und eine ökobilanzielle Effizienz besitzen. Für diese Verpackung kann die energetische Verwertung die beste Option sein - und hieraus könnte sich die Forderung nach möglichst hohen Anteilen nachwachsender Rohstoffe ergeben
- In bestimmten Fällen kann es sinnvoll sein, Verpackungen zu kompostieren. Im europäischen Umfeld gibt es zum Teil wachsende Volumina solcher Verpackungen, die der expliziten Förderung mittels Gesetzgebung geschuldet sind. Es wäre dabei zu überlegen, ob es nicht gerade im Lebensmittelbereich Anwendungen gibt, bei denen ein Einsatz von kompostierbaren Kunst-

stoffverpackungen mit einem Zusatznutzen verbunden wäre. Das gilt insbesondere für solche Verpackungen, die nicht gesammelt und verwertet werden und ein deutlich höheres Litteringrisiko aufweisen (i.e. Serviceverpackungen "Straßenverkauf"). Auch hier wäre ein möglichst hoher biobasierter Anteil von Vorteil, weil viele dieser Produkte im Restmüll und damit in der energetischen Verwertung enden werden

- Die werkstoffliche Verwertungsquote bei flexiblen und starren Folienprodukten, ist aktuell recht niedrig. Die wesentlichen Gründe dafür scheinen vor allem im Verpackungsdesign und in der noch weiter optimierbaren Entsorgungslogistik bzw. -technik zu liegen. Die aufgrund der erhöhten Quotenanforderungen des Verpackungsgesetzes zu erwartenden Anstrengungen in diesen Bereichen sollten nicht nur auf die bisherigen Kunststoff-Zielfraktionen ausgerichtet sein, sondern mindestens die heute bekanntermaßen recyclingfähigen biobasierten Kunststoffe einbeziehen.

# 7 Akteure und Schnittstellen

## 7.1 Akteurslandschaft

Problemstellungen und Defizite für einen verstärkten Marktzugang biobasierter Kunststoffverpackungen für Lebensmittel sind an allen Stufen der Wertschöpfungskette (Anbau, Verarbeitung, Verwendung, abfallwirtschaftliche Verwertung) zu vermuten. Mit Blick auf einen effektiven Gesundheits- und Verbraucherschutz einerseits und eine ökologisch vorteilhafte Positionierung andererseits ist eine bessere Verzahnung der Kettenmitglieder anzustreben. Hierfür müssen zunächst die einzelnen Glieder der Wertschöpfungskette mit Ihren jeweiligen Akteuren identifiziert werden.

Biobasierte Kunststoffverpackungen stellen für sämtliche Glieder dieser Wertschöpfungskette eine Innovation mit allen damit verbundenen Chancen und Risiken innerhalb dieser stark durch die Verwendung von fossil-basierten Kunststoffen geprägten Industrie dar. Wie Abbildung 7.1 verdeutlicht, sind auf jeder Stufe zahlreiche Akteure tätig.

Stufe	Anbau	Produktion	Anwendung	Distribution	Konsument?	Verwertung
Produkte	Saatgut, Feldfrüchte, Lebensmittel	Chemikalien, Polymere, Kunststoffe, Verpackungen	abgepacktes Lebensmittel	Handelsware		
Themen	- nachhaltiger Anbau - Erntetechnik - Reststoffe - gute Praxis	- Rohstoffwahl - Prozesstechnik - Werkstoffeigenschaften - Produkt.abfälle - Inhouse-Recycl. - Produkt-Design - Zulassungen - Ökonomie	- Prozesstechnik - Produkt.abfälle - Inhouse-Recycl. - Ökonomie - Zulassungen - Information, Marketing & PR	- Information, Marketing & PR - Haltbarkeit - Ökonomie		- Konsumenten - Verwerter - Abfallrecht/Politik - Verwender von Sek. Material
Akteure	- Landwirte - Agrarindustrie - Lebensmittelwirtschaft	- Chemie - Kunststoffind. - Verpack.indus. - FuE Einrichtung - Zula-Behörde	- Maschinenherst. - Packmittelproduzenten - Verpacker - LM-Industrie (= Vermarkter)	- Handel - Konsumenten - Verbraucherschützer		

Übergeordnete Akteure (auf jeder Stufe aktiv): Medien, Behörden, Politik / Gesetzgeber

Abbildung 7.1: Exemplarische „Akteurskartierung“ entlang der Wertschöpfungskette

## 7.2 Akteure und Interaktionen

Im Folgenden werden die Akteure identifiziert, denen besondere Bedeutung zukommt, um Hemmnisse zu beseitigen oder bestehende/zukünftige Vorteile zu vermitteln. Die folgende Tabelle 7.1 zeigt zunächst, welche förderlichen bzw. hemmenden Faktoren in Bezug auf die Markteinführung von biobasierten Kunststoffverpackungen bestehen.



Tabelle 7.1: Übersicht über hemmende und förderliche Faktoren für die Markteinführung von bbKS

	<b>Förderliche Faktoren</b>	<b>Hemmende Faktoren</b>
<b>Rohstoffquelle</b>	„nachhaltige“ Rohstoffquelle, zertifiziert nachhaltiger Anbau	GMOs, Lebensmittelkonkurrenz, Monokulturen, Auswahl der Anbaugebiete
<b>Produktionskapazitäten</b>	Prognosen zur Zunahme der Produktionskapazitäten am stärksten im Verpackungsbereich	Erzeuger-Standorte in Deutschland werden durch ausländische Produktionskapazitäten ausgebremst (v.a. Südamerika, asiatischer Raum)
<b>Hersteller</b>	Internationale Koalitionen hinsichtlich der Produktion von bbKS	Begrenzte Anzahl an Hersteller, wenig Alternativen eines Produktes, schwankende Qualitäten zwischen den Herstellern
<b>Technische Kompatibilität</b>	Zentrale Aggregation technischer Daten (Biopolymernetzwerk FNR), Drop-In Solutions technisch kompatibel	Fehlende technische Kompatibilität
<b>Packmittelanforderungen</b>	Vermittlung von Informationen über tatsächliche Packmittelanforderungen beim Packmittelanwender	Unwissenheit über Packmittelanforderungen seitens des LM, daher Einforderung bekannter Eigenschaften fbKS bei Anwendern
<b>Wettbewerbsfähigkeit</b>	Produktspezifische, anwendungsbezogene Verpackungskonzepte (Aufgrund spezifischer Eigenschaften bbKS)	Preisfaktor im Vergleich zu fbKS
<b>Förderleistungen</b>	Förderleistungen für Packmittelanwender (z. B. angepasste Lizenzgebühren lt. VerpackG)	Geringe Förderleistungen im Vergleich zum Einsatz fbKS, geringe Kompensation des Preisfaktors
<b>Marketing</b>	Marketingkampagnen großer Hersteller um Verbraucherbewusstsein zu schaffen (z. B. Coca Cola Company)	Verbraucherschutzklagen zu Werbeaussagen wie „umweltfreundlicher“ (vgl. Danone)
<b>Kennzeichnung</b>	Übersichtliche Kennzeichnung von bbKS	Keine Unterscheidung von bbKS und fbKS seitens des Verbrauchers möglich, daher keine Bereitschaft zu Mehrinvestition
<b>Kommunikation</b>	Transparente Materialinformationen und LifeCycle von Kunststoffen, vor allem erhöhte Wiederverwertungsstrategien	Gesellschaftliche Debatten um z. B. Schadstoffmigration, Mikroplastik und Kunststoffkonsum generell
<b>Konsumenten</b>	Differenzierte Wertvorstellungen der Konsumenten gegenüber Lebensmittelkonsum und -Verpackungen	Kaufentscheidung in der Regel vom Produkt abhängig, Bereitschaft zu höheren Investitionen in die Verpackung fragwürdig

Akteure im Bereich der Biomasse-Erzeugung werden hier nicht im Detail betrachtet. Festzuhalten ist jedoch, dass sich auch die Rohstoffhersteller den Fragen nach GVO, bestehender Konkurrenz zum

Lebensmittelanbau und nachhaltiger Bewirtschaftung auseinandersetzen müssen, um steigende Nachfragen in diese Richtung bedienen zu können.

Kunststoffhersteller garantieren die Verfügbarkeit von biobasierten Kunststoffen bei Packmittelherstellern durch Bereitstellung ausreichender Produktionskapazitäten und beeinflussen dadurch deren wesentliche Adoptionsvoraussetzungen gegenüber biobasierten Kunststoffen. An der Schnittstelle „Kunststoffhersteller – Packmittelhersteller“ besteht Informationsbedarf hinsichtlich der Verarbeitungseigenschaften der biobasierten Kunststoffen, da bei den Packmittelherstellern geringere Erfahrungswerte zu deren Verarbeitung vorliegen. Dieses Erfahrungsdefizit wird z. B. durch Entwicklungsdienstleistungen von inner- und außeruniversitären Forschungseinrichtungen kompensiert. Da diese Prozessentwicklungen oft von den Packmittelherstellern finanziert werden und somit exklusiv für den jeweiligen Auftraggeber generiert werden, bleiben die Ergebnisse einer breiteren Öffentlichkeit jedoch häufig verborgen.

Packmittelherstellern kommt im Prozess der Entscheidung über den Einsatz von biobasierten Kunststoffen eine Doppelrolle zu. In der Erprobung der Verarbeitbarkeit von Innovationen der Kunststoffhersteller sind Packmittelhersteller einerseits Anwender, welche sich meist an bereits etablierten Produktionsinfrastrukturen zur Verarbeitung gängiger biobasierter Kunststoffe orientieren. Mit der Entwicklung von spezifischen Lebensmittelverpackungs-Anwendungen aus biobasierten Kunststoffen sind Packmittelhersteller aber auch selbst als Innovatoren entlang der Wertschöpfungskette zu sehen.

Informationen zur Einschätzung der technischen Kompatibilität sind für die Bildung der Adoptionsentscheidung von zentraler Wichtigkeit. Eine zentrale Aggregation der Daten aus den produktspezifischen Datenblättern der jeweiligen Kunststoffhersteller erleichtert die Informationsbeschaffung für den einzelnen Packmittelhersteller und -anwender, was die FNR bereits durch Erstellung einer Datenbank umgesetzt hat. Die Datenbank enthält zum aktuellen Zeitpunkt allerdings noch erhebliche Lücken zu den Verarbeitungseigenschaften einzelner biobasierter Kunststoff-Typen und -Blends [Lack-Ersöz and Neudecker 2017] und bedarf der stetigen Aktualisierung um Neuerscheinungen auf dem Markt (siehe Kapitel 2).

Als Innovator für biobasierte Kunststoffe muss der Packmittelhersteller das füllgut- und anwenderabhängige Anforderungsprofil für das Packmittel kennen. Nur so kann eine zufriedenstellende Verpackungslösung für den Packmittelanwender erstellt werden. Dies setzt einen Informationsaustausch zwischen Packmittelherstellern und Packmittel-Anwendern oder aber mindestens die Kenntnis der Anwendungsanforderungen auf der Herstellerseite voraus. Große Packmittel-Anwender wie beispielsweise The Coca-Cola Company® sind zum Teil auch im Bereich der Packmittelentwicklung selbst stark involviert, wie das aktuelle Beispiel von PEF als PET-Ersatz in Getränkeflaschen zeigt [Lane 2016].

Große Packmittelanwender scheuen auch nicht den direkten Kontakt zu Kunststoffherstellern von biobasierten Kunststoffen. Sie vermeiden damit die Schnittstelle Packmittelhersteller zu Packmittelanwender um als Innovator gemeinsam mit den Kunststoffherstellern potentielle Alleinstellungsmerkmale zu generieren. Auch hier bleiben verständlicherweise die Ergebnisse meist unveröffentlicht und stehen daher nicht weiteren Akteuren zur Verfügung. Die geringe Bereitschaft der Packmittelhersteller und -anwender Informationen zu teilen, erklärt sich durch den großen Wettbewerb in der Branche, gleichzeitig begrenzt die Geheimhaltung aber auch Wachstum und Entwicklungsmöglichkeiten.

Aufgrund fehlender Kapazitäten oder geringer Absatzzahlen sind Entwicklungen maßgeschneiderter Packmittellösungen für kleine und mittelständische Packmittelanwender meist ökonomisch nicht

sinnvoll (gestützt durch eine Studie des Öko-Instituts [Möller et al. 2016]). Sie orientieren sich daher eher an marktverfügbaren Lebensmittelverpackungen und nehmen dabei gewisse Abweichungen der Packmittel von ihren Idealanforderungen in Kauf. Die Möglichkeit zum Zusammenschluss mit weiteren Unternehmen mit ähnlichen Packmittelanforderungen (Interessengruppen) zur Senkung der Entwicklungskosten könnte diesen Annahmen folgend für kleine und mittelständische Unternehmen eine praktikable Option sein, die maßgeschneiderte Entwicklung einer Packmittellösung zu ermöglichen.

Den Projektarbeitern sind verschiedene Vorhaben bekannt, bei denen z. B. lokale Molkereigenossenschaften mit Unterstützung von außeruniversitären Forschungseinrichtungen biobasierte Kunststoffe für Ihre Verpackungskonzepte suchen und entwickeln lassen. Diese vielversprechenden Ansätze für den Zusammenschluss von Interessensgruppen könnten einen wertvollen Beitrag für einen verstärkten Marktzugang von biobasierten Kunststoffverpackungen für Lebensmittel leisten und sollten daher forciert werden.

Aber auch die Betrachtung des wahrnehmbaren unternehmerischen Risikos bei der Adoptionsentscheidung stellt einen wichtigen Faktor dar. Insbesondere Unsicherheiten bezüglich der Stabilität der aktuellen Rechtslage zu biobasierten Kunststoffen in Verpackungen dürften die Abschätzung der Risiken für Packmittelanwender erschweren (Ausgestaltung der Regelungen für biobasierte Kunststoffe nach dem neuen VerpackG).

Durch die Verwendung von biobasierten Kunststoffen durch Packmittelanwender wird die Verfügbarkeit für den Lebensmittelkonsumenten und Wahrnehmung durch den Endverbraucher direkt beeinflusst. Die Packmittelanwender sehen sich dabei auch Einflüssen ausgesetzt, die durch Akteure auf den Folgestufen der Wertschöpfungskette auf sie wirken und ihre Bereitschaft zur Anwendung von biobasierten Kunststoffen beeinflussen. Vor allem die gesetzliche Rücknahmepflicht bringt die Hersteller direkt mit Akteuren aus Handel, Verwertung und auch den direkten Konsumenten in Verbindung.

Der Konsument stellt die entscheidungstragende Position über Annahme oder Ablehnung von bbKV dar, an der sich der Handel orientieren muss. Dementsprechend ist die Kommunikation mit den Konsumenten entscheidend. Eine übersichtliche Kennzeichnung von biobasierten Kunststoffen mit ökologischem Vorteil gegenüber fossil-basierten Kunststoffen könnte dem Verbraucher die Identifikation von Produkte mit biobasierten Kunststoffen nach dem Vorbild des europäischen Bio-Labels erleichtern. Wie bereits im Marktkapitel angesprochen, sind die Packmittel-Anwender aufgrund der negativen und medienwirksamen Kritik an einigen Produkten aus Biokunststoffen sehr zurückhaltend, was die Kennzeichnung und Kommunikation ihrer Produkte angeht. Ohne solche Hinweise, werden die Konsumenten natürlich komplett außer Acht und können nicht zu einer größeren Nachfrage von biobasierten Kunststoffen beitragen.

### **7.3 Beispielhafte Schnittstellenanalyse anhand des Danone Joghurt Bechers aus PLA**

Die Initiative zur Verwendung von PLA für die Herstellung von Bechern für Joghurts und Milchküchlein im allgemeinen geht in der Regel vom Handel (Verpackung von Handelsmarken) oder den Herstellern von Lebensmittel-Markenprodukten aus. Man erwartet sich daraus Vorteile hinsichtlich mindestens einer der nachfolgend genannten Faktoren:

- Reduzierte Kosten
  - geringerer Materialeinsatz je Verpackung
  - verbesserte Verarbeitbarkeit (und dadurch höherer Durchsatz pro Zeiteinheit)
  - geringere Entsorgungskosten
- Reduzierte Umweltwirkungen, insb.
  - verbesserter „Carbon Footprint“
  - Einsparung fossiler Ressourcen
- Bessere techno-funktionelle Eigenschaften (und dadurch längere Haltbarkeit des Produkts)
- Positive Verbraucherwahrnehmung (und dadurch erhöhte Verkaufszahlen)

Im Idealfall gehen alle Faktoren in die gleiche Richtung. Im Regelfall wird ein Abwägungsprozess stattfinden (z. B. reduzierte Umweltwirkungen zu erhöhten Kosten). Unter Umständen können die erwarteten Positivwirkungen erst nach einer Übergangs- und Optimierungsphase erreicht werden. Die Entscheidungsträger/Initiatoren brauchen daher ggf. auch Durchhaltevermögen und eine Vision.

Die Umstellung von PS-Bechern auf PLA Becher für das Produkt *Activia* von Danone liefert ein gutes Beispiel dafür. Der geplanten Umstellung lag die Absicht zugrunde, die eigenen Joghurtprodukte langfristig auf der Basis nachwachsender Rohstoffe abzapacken. Diese Strategie wurde seitens der Unternehmensführung unterstützt. In einem ersten Schritt sollte die Umstellung in einem ausgewählten Produktsegment erfolgen. Bei erfolgreicher Umsetzung könnte eine komplette Umstellung aller Joghurtbecher erwogen werden. Mit *Activia* wurde ein Produktsegment ausgewählt, in dem zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung jährlich mehrere Tausend Tonnen an Polystyrolverpackungen eingesetzt wurden.

Der Wechsel von PS zu PLA erfolgte in enger Abstimmung zwischen Danone, den bestehenden Lieferanten von Bechern und Becherfolien sowie Natureworks, dem Hersteller von Ingeo-PLA. Der Umstellungsprozess lief über viele Monate, da die Prozesse zur Verarbeitung des Kunststoffs zu Bechern auf das neue Material PLA eingestellt werden mussten, angefangen bei der Compoundierung des PLA bis zur Einstellung der passenden Verarbeitungseigenschaften sowie der benötigten Eigenschaften – z. B. Schlagfestigkeit – der fertigen Becher.

Parallel zu den technischen Anpassungen wurde eine ISO-konforme Ökobilanz sowie eine Nachhaltigkeitszertifizierung der PLA Becher unter Einbindung des WWF durchgeführt. Damit sollten die umwelt- und nachhaltigkeitsbezogenen Aussagen wissenschaftlich fundiert und von Experten überprüft werden - und nicht zuletzt dem Informationsbedarf des Handels bzw. der Verbraucher nachgekommen werden. Im Zertifizierungssystem ISCC wurden für die Lieferkette Zertifikate hinterlegt u.a. für:

- Natureworks Ingeo-PLA (PLA Hersteller)
- Danone GmbH, Deutschland (Lebensmittelhersteller und Abfüller)

Das Zertifikat von Danone galt bis ins Jahr 2013, wurde danach jedoch nicht mehr aktualisiert. Das Zertifikat für Ingeo-PLA ist weiterhin aktiv.

### Interaktionen

Die Umstellung von PS- auf PLA-Becher erfolgte in einem sehr engen Austausch zwischen Danone und Natureworks. Fragen zur langfristigen Verfügbarkeit des PLA-Materials, zu den benötigten PLA-Qualitäten bzw. die Möglichkeit diese über Verfahrenssteuerung der PLA-Herstellung oder Compoundierung sowie den begleitenden Umwelt- und Nachhaltigkeitsanalysen wurden frühzeitig zwischen diesen beiden Akteuren abgestimmt. Die technischen Abteilungen beider Unternehmen waren zudem in engem Austausch mit den Folien- bzw. Becherherstellern.

Danone ließ zudem mit Becherprototypen Versuche durchführen, um das Sortier- und Recyclingverhalten der Becher zu untersuchen. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen flossen auch in die Szenarienburg der Ökobilanz ein.

Der Produkt-Launch wurde zeitlich und hinsichtlich der begleitenden Öffentlichkeitsarbeit mit dem Handel abgestimmt. Die Öffentlichkeitsarbeit wurde von Danone mit Unterstützung von Naturworks geleistet.

Für den Konsumenten bedeutete die PLA-Verpackung keine auffällige, in der Produktanwendung relevante Verpackungsänderung (Vergleich neues Produkt/genauso aussehendes Produkt). Neu war vor allem ein Aufdruck auf der Verpackung, der auf den Einsatz nachwachsender Rohstoffe hinwies.

# 8 Fallbeispiele

---

Die vorherigen Kapitel liefern Einschätzungen zum Abschneiden von biobasierten Kunststoffen in den Bereichen Recht, Umwelt, Technik und Abfallwirtschaft. Individuelle Verpackungslösungen müssen jedoch auf Produkt- bzw. Anwendungsebene gesucht werden. Anhand von ausgewählten Fallbeispielen werden konkrete Anwendungsfälle vorgestellt. Hierzu werden die Lebensmittel mitsamt ihrer Anforderungen an die Verpackung beschrieben und dazu (mehr oder weniger) passende biobasierte und fossile Verpackungslösungen sowie ihre technofunktionalen Eigenschaften charakterisiert und verglichen.

Der Fokus der Fallbeispiele liegt auf biobasierten Verpackungslösungen aus neuartigen, also nicht-strukturgleichen, biobasierten Kunststoffen, da nur hier technofunktionale Unterschiede zwischen der biobasierten und der fossilen Verpackung vorliegen. Biobasierte Drop-In Kunststoffe sind bezogen auf die Technofunktionalität identisch zu ihren fossilbasierten Pendants.

## 8.1 Fallbeispiel 1: PLA-Joghurtbecher versus fPS-Joghurtbecher

Dieses Fallbeispiel vergleicht einen Joghurtbecher aus PLA mit einem Joghurtbecher aus PS und wurde primär aufgrund der aktuellen Marktpräsenz ausgewählt. Danone erkannte bereits früh das Potenzial von PLA als Ersatz für PS-basierte Joghurt-Becher. 2011 führte Danone in einem gemeinsamen Projekt mit dem WWF den PLA-Becher als Joghurt-Verpackung ein, der bis heute in der Produktlinie ACTIVIA® eingesetzt wird [Danone 2017].

### 8.1.1 Das Lebensmittel und seine Anforderungen

Joghurterzeugnisse werden in der Regel aus wärmebehandelter Milch oder Rahm hergestellt, welche mit Milchsäurebakterien versetzt werden und durch Fermentation ihre typische Textur erhalten [Rimbach et al. 2010].

Um Produktschädigungen zu verhindern ergeben sich bestimmte Barriereanforderungen zum Qualitätserhalt von Joghurt- und Joghurterzeugnissen. Bei Milchprodukten allgemein geht man, wie in Abbildung 8.1 ersichtlich, von einer Sauerstoffdurchlässigkeit zwischen 60 und 5000 [ $\text{cm}^3_{\text{STP}}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ] und einer Wasserdampfdurchlässigkeit von 0,2 bis 8 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] aus [Langowski 2008]. Bei flüssigen Lebensmitteln soll die Wasserdampfbarriere vor allem vor Produktverlusten schützen. Vor allem aufgrund sensitiver Inhaltsstoffe wie Riboflavin (Vitamin B<sub>2</sub>) muss das Produkt vor der Einwirkung von UV-Strahlung so gut wie möglich geschützt sein. Der Einsatz transparenter Verpackungen ist daher nicht sinnvoll. Je nach Fettstufe sollte außerdem das Migrationspotential von Mineralölrückständen, welche beispielsweise in Papierbanderolen aus Altpapier enthalten sein können, beachtet werden. Bei tiefgezogenen Monofilmen ohne Banderole entfällt dieses Risiko.

Bezüglich mechanischer Anforderungen an das Verpackungsmaterial von Joghurtverpackungen stellt einerseits eine mögliche Gasentwicklung (CO<sub>2</sub>) beim fortlaufenden Fermentationsprozess im Le-

bensmittel durch die Anwesenheit von Milchsäurebakterien eine Rolle, andererseits eine Produktkontraktion durch auftretende Synärese. Beide Vorgänge können zu unterschiedlichen Druckverhältnissen in der Verpackung führen, welche bei der Auslegung des Verpackungsdesigns, der Flexibilität der Materialien und insbesondere bei der benötigten Festigkeit der Siegelnaht beachtet werden muss.

### 8.1.2 Die Verpackungsoptionen und ihre technofunktionalen Eigenschaften

Die technofunktionalen Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackung sind in Tabelle 8.1 zusammen gefasst. Gemessen wurde der 125 ml Danone Polystyrolbecher sowie der 125 ml Danone PLA-Becher der ACTIVIA-Produktlinie.

Tabelle 8.1: Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für Joghurt

	PS-Joghutbecher	PLA-Joghurtbecher
<b>Sauerstoffdurchlässigkeit</b>		
Becher	4,5 cm <sup>3</sup> /(Packung*d*bar)	1,5 cm <sup>3</sup> /(Packung*d*bar)
Becher+Deckel	4,68 cm <sup>3</sup> /(Ges.Pack*d*bar)	19,05 cm <sup>3</sup> /(Ges.Pack*d*bar)
<b>Wasserdampfdurchlässigkeit</b>		
Becher	0,07 g/(Packung*d)	0,18 g/(Packung*d)
Becher+Deckel	0,25 g/(Ges.Pack*d)	2,72 g/(Ges.Pack*d)
<b>E-Modul</b>	1540 MPa	2050 MPa
<b>Zugfestigkeit</b>	84,8 MPa	209 MPa
<b>Wandstärke</b>	130 µm	110 µm

Bei mechanischen Kennzahlen wie E-Modul und Zugfestigkeit konnten beim PLA-Becher trotz der geringeren Wandstärke höhere Werte gemessen werden, was auf eine mögliche (weitere) Materialreduzierung hinweist.

Beim Vergleich der Barriereigenschaften zeigten sich größere Unterschiede. Durch den Einsatz von metallisierter PS-Folie bei der fossilbasierten Variante konnte im Bereich der Deckelfolie eine hohe Sperrwirkung gegen Sauerstoff und Wasserdampf erzielt werden. Bezüglich des Sauerstoffs kommt hier also der größte Eintrag über den Becher, während vom Deckel selbst nur ein geringer Eintrag zu erwarten ist. Bei der PLA-Variante ist es genau umgekehrt; der Deckel zeigt eine hohe Durchlässigkeit, während der Becher den kleineren Teil des Gesamt-Sauerstoffeintrags ausmacht. Ähnliches gilt beim PLA-Becher auch für Wasserdampf. Der PS-Becher bietet eine exzellente Wasserdampfbarriere. Vergleicht man die Gesamtwerte mit den Anforderungen des verpackten Lebensmittels (Abbildung 8.1), genügen beide Verpackungen den Anforderungen von Milchprodukten [Langowski 2008]. Die biobasierte Variante kann also trotz geringerer Barriereigenschaften nicht als unterdimensioniert eingeordnet werden. Beide Verpackungsoptionen zeigen sogar geringere Sauerstoffdurchlässigkeiten als die für das Lebensmittel notwendigen.

Aufgrund der ähnlichen Materialeigenschaften gegenüber PS kann PLA auf bestehenden Anlagen annähernd analog verarbeitet werden, und eignet sich beispielsweise auch für einen Form-Fill-Seal Prozess. Prozessanpassungen sind ggf. durch den zusätzlichen Schritt der Produktvortrocknung von PLA notwendig. Durch eine ausreichende Kommunikation von Material- und Verarbeitungsinformationen, lässt sich dieses Hemmnis überwinden. Diese Informationen sollten für alle Akteure im Verarbeitungsbereich zugänglich sein.

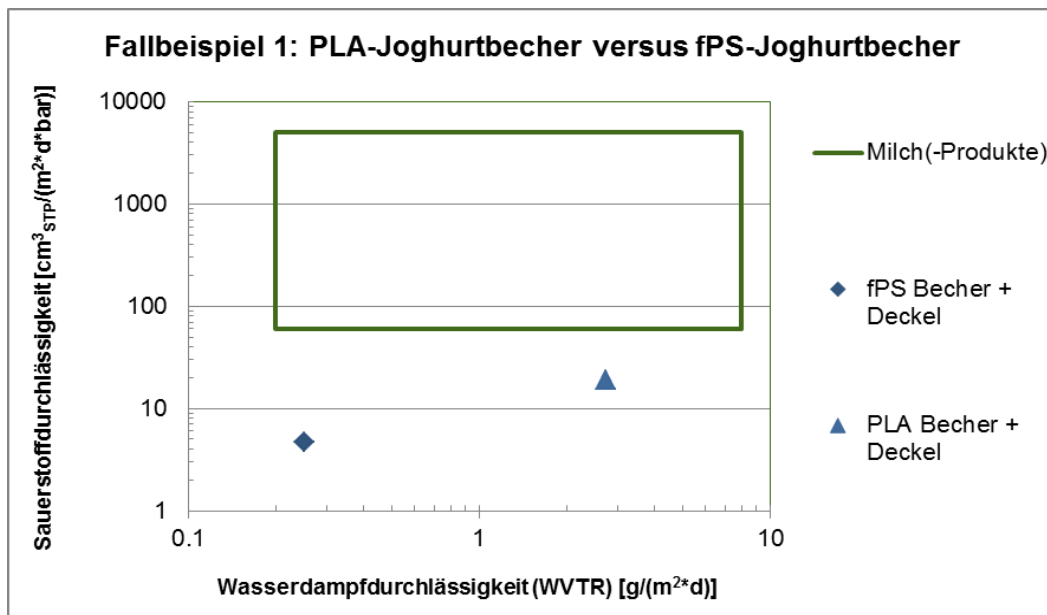


Abbildung 8.1: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten eines PS- und PLA-Joghurtbechers (tatsächliche Schichtdicken) im Vergleich zu den Barriereanforderungen von Milchprodukten.

### 8.1.3 Aktuelles Marktvolumen

Die Lebensmittelgruppe der Molkereiprodukte ist einer der größten Anwendungsbereiche für flexible Kunststoff-Lebensmittelverpackungen und ist durch einen besonders hohen Anteil an thermogeformten Packmitteln geprägt, bei denen vor allem Monofilme dominieren (Kapitel 2).

Der Konsum von überwiegend in Kunststoffbechern verkauften Milchprodukten in Deutschland liegt laut Daten des deutschen Milchindustrieverbandes (MIV) bei 3.061.700 t. Überschlägig (Annahme: die gesamte Menge wird in 250 ml Becher ohne Banderole abgefüllt) lässt sich daraus ein Bedarf an gut 79.000 t formstabilen Kunststoffverpackungen ermitteln.

### 8.1.4 Fazit

Bezüglich der technofunktionellen Eigenschaften bieten beide Verpackungen einen ausreichenden Produktschutz. Die mechanischen Eigenschaften der biobasierten Variante begünstigen eine Materialreduktion bei der Becherherstellung. In diesem Beispiel könnte außerdem der einfachere Aufbau der Deckelfolie bei der biobasierten Variante ökonomische Vorteile bieten. Aus technischer und abfallwirtschaftlicher Sicht haben beide Varianten ähnliche Voraussetzungen, wobei durch die derzeit



geringere Marktrelevanz von PLA die Umsetzung eines großtechnischen PLA-Recyclings erschwert ist. Aus Umweltsicht zeigt PLA je nach Anwendung durchaus eine bessere Klimabilanz und benötigt weniger fossile Rohstoffe als PS. Da auch der Kostenaufschlag durch Materialeinsparungen gegenüber PS relativ gering ist, zeigt dieses Fallbeispiel insgesamt einen vorteilhaften Einsatz von PLA als Substitut für PS, wobei zukünftige, positive Marktentwicklungen von PLA und die Verknappung fossiler Ressourcen die Vorteile noch stärker hervorheben werden.

## 8.2 Fallbeispiel 2: bbPEF-Flaschen versus fPET-Flaschen für O<sub>2</sub>-empfindliche Getränke

Getränke werden hauptsächlich in Kunststoffflaschen aus PET abgefüllt. Bei sauerstoffempfindlichen Getränken bietet PET als Monomaterial allerdings keinen ausreichenden Schutz der Produkte. PEF ist zwar auf absehbare Zeit noch kein marktverfügbarer bbKS, bietet jedoch auch als Monomaterial ein aussichtreiches Potenzial für die Substitution von PET in Getränkeflaschen.

### 8.2.1 Das Lebensmittel und seine Anforderungen

Als sauerstoffempfindliche Getränke werden vor allem Bier, Wein und Fruchtsäfte bzw. jeweilige Mischgetränke betrachtet. Bier ist ausgesprochen licht- und oxidationsempfindlich. Neben der Ausbildung eines typischen Lichtgeschmacks (Bildung von 3-Methyl-2-buten-1-thiol) können weitere Farb- und Aromafehler beispielsweise durch Oxidation von Lipiden oder phenolischen Verbindungen entstehen. In Fruchtsaft enthaltene Inhaltsstoffe wie Farb- und Aromastoffe sowie Vitamine weisen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Oxidationsprozessen auf, welche zu Verfärbungen (v.a. nicht-enzymatische Bräunung, Phenoloxidation) und Vitaminabbau führen können. Daraus ergibt sich eine spezifische Barriereanforderung gegenüber Sauerstoff von ca. 0,1-1 [ $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ] sowie eine hohe Wasserdampfbarriere kleiner 3 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] (siehe Abbildung 8.2). Mechanische Anforderungen sind vor allem durch den Herstellungs- und Abfüllprozess gegeben.

### 8.2.2 Die Verpackungsoptionen und ihre technofunktionalen Eigenschaften

PET-Flaschen bestehen meist aus einem 3-Schichtverbundsystem aus Polyethylenterephthalat und Polyamid (PET/PA/PET) oder aus Blendmaterialien, wobei dem PET beispielsweise bis zu 8 % PA zugesetzt werden. Des Weiteren werden die Barriereigenschaften der Flaschen durch eine Innenbeschichtung mit Acetylen oder Hexamethyldisiloxan (HMDSO) als Prozessgas im Niederdruck-Plasmaverfahren (ND) verbessert. PEF ist hingegen als Monomaterial verwendbar. Die technofunktionalen Eigenschaften der beiden Materialien sind in Tabelle 8.2 zusammengestellt.

PEF zeichnet sich durch eine höhere mechanische Stabilität bedingt durch eine höhere Steifigkeit und Zugfestigkeit aus. Eine Materialreduktion, vor allem in Mehrwegflaschen, ist daher durchaus denkbar. Bei den Durchlässigkeiten gegenüber Sauerstoff und Wasserdampf zeigt PEF eine um Faktor 10 bzw. 2-3 erhöhte Sperrwirkung (Abbildung 8.2). Damit ist der Einsatz für Getränkeverpackungen ohne zusätzliche Barrierschichten möglich. Getränkeverpackungen aus PEF können damit außerdem die Haltbarkeit von sauerstoffempfindlichen Getränken, aber auch CO<sub>2</sub>-haltigen Getränken verlängern. Zusätzlich wirkt die höhere Wasserdampfbarriere Masseverlusten während der Lagerung entgegen, was sich wiederum in längeren Haltbarkeiten auswirkt. Im Vergleich zu PET-Mehrschicht Verbunden kann PEF als Monomaterial außerdem einer höheren Recyclingfähigkeit aufweisen.

Tabelle 8.2: Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für O<sub>2</sub>-empfindliche Getränke

	PET-Flasche	PEF-Flasche
Sauerstoffdurchlässigkeit (100 µm)	15-22 [cm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> *d*bar)]	1,5-2 [cm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> *d*bar)]
Wasserdampfdurchlässigkeit (100 µm)	1,5-3 [g/(m <sup>2</sup> *d)]	0,8-1,1 [g/(m <sup>2</sup> *d)]
E-Modul	2100-3100 MPa	3360-4960 MPa
Zugfestigkeit	55-80 MPa	70-120 MPa
<b>Wandstärke</b>		
Mehrweg	400-700 µm	< 400-700 µm
Einweg	300 µm	< 300 µm

Bezüglich der Herstellung von PEF ist der Polymerisationsprozess mit dem des PETs kompatibel, weshalb hierfür vorhandene Infrastrukturen genutzt werden können [Zhu et al. 2016]. Auch bei der Herstellung der Verpackung können die gleichen Verfahren verwendet werden.

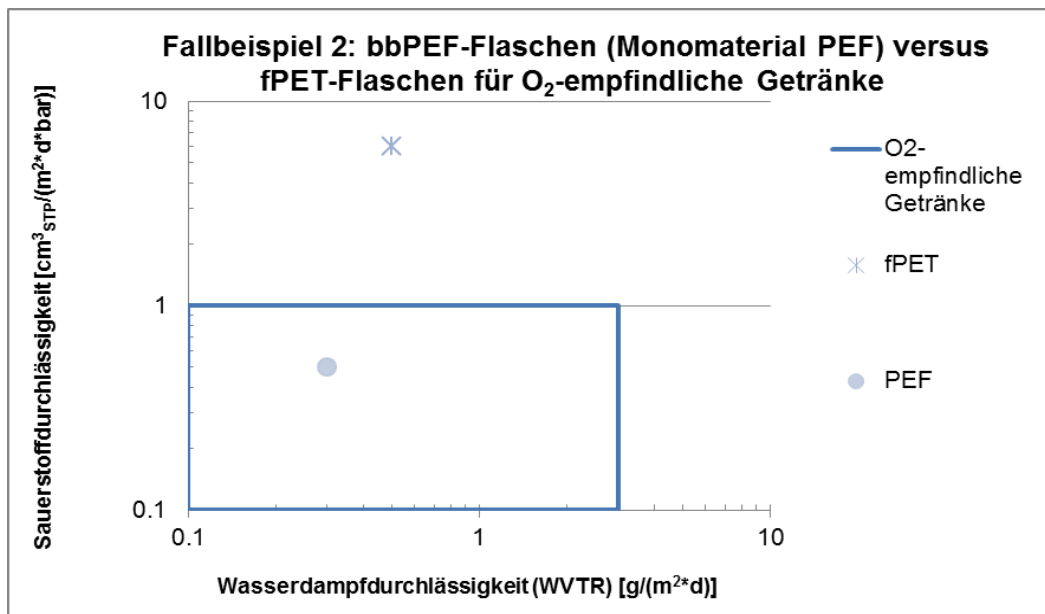


Abbildung 8.2: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten einer PET- sowie PEF-Flasche (tatsächliche Schichtdicken) im Vergleich zu den Barriereanforderungen O<sub>2</sub>-empfindlicher Getränke.

### 8.2.3 Aktuelles Marktvolumen

Der Bierverbrauch in Deutschland lag 2013 laut GVM Verpackungspanel bei ca. 6.500 Mio Litern. Etwa 500 Mio Liter davon waren in Einweg-Kunststoffflaschen verpackt. Würde diese Menge in 0,5 L PET Einweg Flaschen verpackt, würden etwa 1 Mrd Flaschen dafür benötigt. Bei einem Flaschengewicht von 24,75 g lässt sich ein Kunststoffbedarf von etwa 25.000 t annehmen. Da PET-Flaschen für Bier hauptsächlich im Billigpreis-Segment eingesetzt werden, ist eine Substitution durch PEF wegen

des vermutlich höheren Preises zumindest kurzfristig unwahrscheinlich. Eher denkbar wäre der Ersatz von Glas-Mehrweg Flaschen durch PEF-Mehrweg-Flaschen, wobei fraglich ist, ob dies mit Verbraucherpräferenzen kompatibel ist. Der Anteil von Glas-MW-Flaschen beträgt rund 85 %.

Der Verbrauch von Fruchtsäften lag laut GVM Verpackungspanel 2013 bei knapp 3.000 Mio Litern, rund 1.500 Mio Liter davon waren in Kunststoff-Einwegflaschen verpackt. Nach einer Stichprobenerhebung des ifeu in Kooperation mit der GVM, liegt das durchschnittliche Gewicht einer 1,0 L PET-Einweg bei 30,83 g. Insgesamt ist demnach von einem Kunststoffbedarf von etwa 45.000 t auszugehen.

#### 8.2.4 Fazit

Insgesamt zeigen die Eigenschaften des biobasierten Polymers PEF ein hohes Substitutionspotential gegenüber PET. Bezieht man sich nur auf die Verarbeitung und technofunktionellen Eigenschaften des Materials PEF, ist es für die Anwendung als Getränkeflasche, besonders für sauerstoffempfindliche Getränke, besser geeignet. Vor allem der Verzicht auf zusätzliche Schichten oder Blends, wie es bei PET-Flaschen der Fall ist, bringt grundsätzliche Vorteile, auch bei der Recyclingfähigkeit. Die rechtliche Bewertung von PEF ist noch nicht abgeschlossen, wodurch eine Markteinführung bislang erschwert ist. Außerdem ist es fraglich, wie sich PEF (gekennzeichnet durch wenige Informationen über genaue Verarbeitungseigenschaften) in den großen Markt der PET-Flaschen eingliedern kann, wo eine bereits langjährige Infrastruktur hinsichtlich Herstellung, Rücknahme und Recycling vorhanden ist. Die voraussichtlich geringeren Produktionskapazitäten und damit auch der höhere Preis, sowie die Recyclingfähigkeit von Nicht-Drop-In KS in der Praxis, werden mindestens zu Beginn der Markteinführung, die im Zusammenhang bekannten – üblichen – Barrieren bilden.

*Hinweis: Heute bereits steht teilweise biobasiertes PET (Bio-MEG) als weitere Option zur Substitution von fossilem PET zur Verfügung. Weltweit erforschen zahlreiche Forscherteams Prozesse zur Herstellung von biobasiertem MEG und PTA aus diversen Rohstoffen.*

### 8.3 Fallbeispiel 3: PLA- versus fPP-Verpackung für vorgewaschene Salate

Für frische, geschnittene Lebensmittel wie Obst und Gemüse werden in der Regel perforierte PP-Folien eingesetzt. Zur schnelleren Einstellung einer geeigneten produktspezifischen Lageratmosphäre kann zusätzlich Schutzgas eingesetzt werden. Dieses Fallbeispiel behandelt die Substitution von PP durch PLA-Folienverpackungen im wachsenden Produktsegment vorgewaschener Salate.

#### 8.3.1 Das Lebensmittel und seine Anforderungen

In diesem Beispiel werden frisch geschnittene Gemüse betrachtet, welche einzeln oder in bestimmten Mischungen erhältlich sind. Auch wenn sich die Lebensmittel unterscheiden, sind die Anforderungen ähnlich: Frisches Gemüse „atmet“ auch nach der Ernte weiter, ist äußerst empfindlich und verdirbt nach kurzer Zeit. Bei der Atmung wird Sauerstoff verbraucht und CO<sub>2</sub> und Wasser produziert. Außerdem sind Wasserverluste und mikrobieller Verderb wichtige Verderbsfaktoren. Stoffwechselbedingte Qualitätsverluste sind durch den Abbau von verschiedenen Inhaltsstoffen gekennzeichnet. Gerade bei geschnittenen Produkten kann ein Verderb aber auch durch eintretende Mikroorganismen beschleunigt werden [Geyer et al. 2006].

Bezüglich der Permeationsanforderungen muss während der gesamten Lagerzeit gewährleistet sein, dass Sauerstoff in der Verpackung vorhanden ist (je nach Produkt mind. 2-5 Vol-%), um zu verhindern, dass der Stoffwechsel von aerober Atmung auf anaerobe Gärung umschaltet. Zusätzlich können erhöhte CO<sub>2</sub>- und geringe O<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Verpackung dazu beitragen, dass der Stoffwechsel der Produkte verlangsamt und damit die Haltbarkeit verlängert wird. Allgemein benötigen Produkte wie Obst, Gemüse oder Frischsalate wie in Abbildung 8.3 ersichtlich Sauerstoffdurchlässigkeiten zwischen 10000 und mehr [ $\text{cm}^3_{\text{STP}}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ] und Wasserdampfdurchlässigkeiten von 10 bis mehreren tausend [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] zum Qualitätserhalt [Langowski 2008].

Durch das Verpacken unter Schutzatmosphäre und für evtl. durch Atmung entstehende Gase muss eine ausreichende mechanische Stabilität des Verpackungsmaterials und der Siegelnaht vorhanden sein. Auch die kühlen Lagerbedingungen stellen einer zusätzlichen Anforderung an das verwendete Material.

### 8.3.2 Die Verpackungsoptionen und ihre technofunktionalen Eigenschaften

Vorhandene PP-Folienverpackungen für vorgewaschene Salate sind in der Regel perforiert. Die technofunktionalen Daten der fossilen und biobasierten Verpackung, die in Tabelle 8.3 zusammen gestellt sind, beziehen sich jedoch auf unperforierte Folie.

Tabelle 8.3 Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für vorgewaschene Salate

	PP-Folie	PLA-Folie
<b>Sauerstoffdurchlässigkeit (100 µm)</b>	500-1000 [ $\text{cm}^3_{\text{STP}}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ]	25-350 [ $\text{cm}^3_{\text{STP}}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ]
<b>Wasserdampfdurchlässigkeit (100 µm)</b>	0,5-1 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ]	30-200 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ]
<b>E-Modul</b>	600-1400 MPa	3500 MPa
<b>Zugfestigkeit</b>	20-40 MPa	70 MPa
<b>Folienstärke</b>	30-40 µm	Mind. 20 µm (gereckt)

Wie in Abbildung 8.3 ersichtlich können hinsichtlich der Barriereanforderungen beide Materialien nicht die Produkthanforderungen erfüllen. Zwar ist die Wasserdampfdurchlässigkeit von PLA um ein vielfaches höher als bei PP, dafür ist wiederum die Sauerstoffdurchlässigkeit nicht hoch genug für die zu verpackenden Lebensmittel. Daher muss auch eine PLA-Folie (mikro-)perforiert werden um ausreichende Durchlässigkeiten zu erzielen. Die kleinen Perforationen gewährleisten, dass genug Sauerstoff von außen in die Verpackung gelangt. Anders als bei größeren Löchern findet allerdings kein vollständiger Austausch von Verpackungsatmosphäre und Außenluft statt. Zwar liegt PLA bei der Wasserdampfdurchlässigkeit um ein vielfaches höher, aber selbst mit einer Reduktion der Folienstärke können nicht ausreichend hohe Durchlässigkeiten bezüglich des Sauerstoffs erreicht werden.

Die mechanischen Kennwerte wie Zugfestigkeit und Steifigkeit liegen beim PLA generell höher als bei PP, daher ist bei der Substitution mit der biobasierten Variante eine ausreichende mechanische Stabilität zu erwarten. Eine mögliche Materialreduktion ist zwar bei der Anwendung flexibler Folien im Vergleich zu den thermogeformten Bechern oder Trays etwas mehr eingeschränkt, aber theoretisch durchaus möglich. Folienstärken kleiner 20 µm sind technisch jedoch kaum umsetzbar.

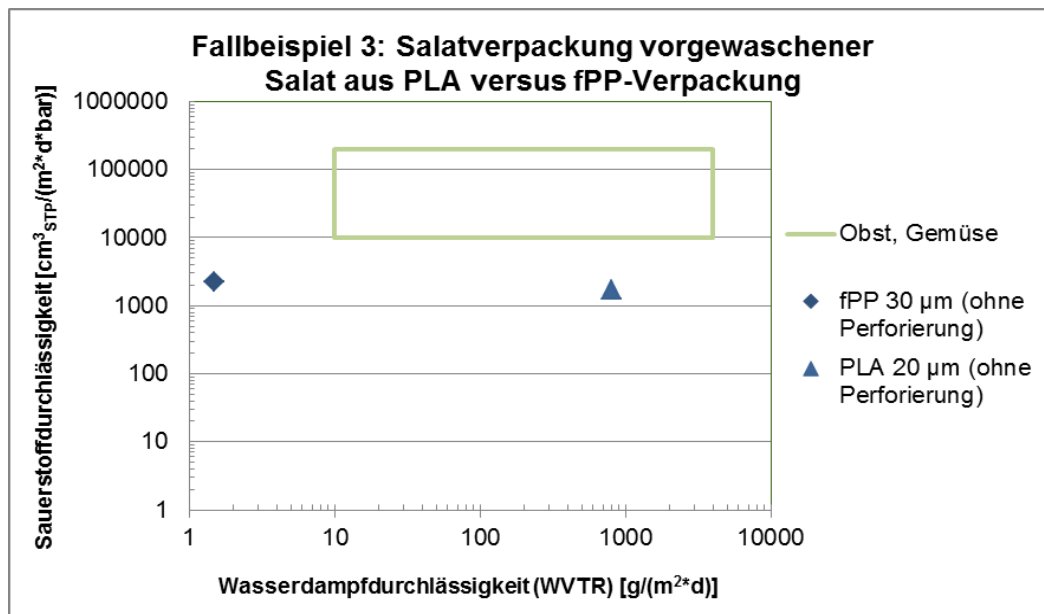


Abbildung 8.3 Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten einer Folienverpackung aus PLA (20 μm) sowie aus fPP (30 μm) je ohne Perforierung im Vergleich zu den Barriereanforderungen von Obst und Gemüse.

### 8.3.3 Aktuelles Marktvolumen

Der Markt für frisch geschnittenes Obst und Gemüse wächst in Deutschland von Jahr zu Jahr. Das ist sowohl an steigenden Einkaufsmengen als auch an steigenden Verbraucherausgaben zu sehen. Convenience Salate nehmen dabei den größten Anteil (etwa 80 %) ein. Von 2009 bis 2014 nahm die Einkaufsmenge pro Haushalt um etwa 45 % zu. In anderen europäischen Ländern liegt die Einkaufsmenge noch deutlich höher, sodass in Deutschland mit einem weiterhin wachsenden Markt zu rechnen ist [Behr et al. 2016].

Geht man von 0,8 kg/Haushalt an „Fresh Cut“ Salaten aus, die 2014 in Deutschland eingekauft wurden, lässt sich die Menge dafür verwendeter Verpackungen grob abschätzen. Bei 40 Mio Haushalten, einer durchschnittlichen Füllmenge von 150 g und einem reinen Verpackungsgewicht von 6 g, kann überschlägig von 1300 t/a Kunststoffbedarf ausgegangen werden. Hinzu kommen noch die Einkaufsmengen von Großverbrauchern (Großküchen, Kantinen, Restaurants und ähnlichen Einrichtungen), zu denen den Autoren keine konkreten Zahlen vorliegen. Es ist aber davon auszugehen, dass sie einen relativ großen Anteil am Gesamtmarkt ausmachen<sup>12</sup>.

### 8.3.4 Fazit

Im Vergleich der technofunktionellen Eigenschaften sind PLA und PP mit Perforation gleichermaßen für die Anwendung geeignet, wobei trotz unterschiedlicher Eigenschaften keinem der beiden Kunststoffe ein wirklicher Vorteil zugeschrieben werden kann. Eine Materialeinsparung durch den Einsatz

<sup>12</sup> [http://www.dlg.org/aktuelles\\_ernaehrung.html?detail/dlg.org/4/1/6132](http://www.dlg.org/aktuelles_ernaehrung.html?detail/dlg.org/4/1/6132)

gereckter Folien von ca. 20  $\mu\text{m}$  Dicke ist bei PLA unter Erfüllung der mechanischen Anforderungen möglich. Bei der Bedruckbarkeit kann die geringere Oberflächenspannung von PLA allerdings als Vorteil gesehen werden, da hier gegebenenfalls keine Vorbehandlung notwendig ist.

Aufgrund der Verarbeitungseigenschaften von PLA und vorhandener Typen für Folienanwendungen ist eine 1:1 Substitution auch in einem FFS Prozess generell möglich. Hemmnisse aus technischer Sicht können durch nötige Prozessanpassungen und den zusätzlichen Schritt der Produktvortrocknung von PLA entstehen. Da bereits Folienanwendungen am Markt bestehen, können hier aber vorhandene Material- und Verarbeitungsinformationen hilfreich sein.

*Hinweis: Es ist davon auszugehen, dass zukünftig auch (teilweise) biobasierte PP dem Markt zur Verfügung stehen wird. Damit würde eine weitere Option als Substitutionspaarung bestehen.*

## 8.4 Fallbeispiel 4: Ecovio-beschichteter Karton versus Karton + Innenbeutel aus fPP / fHDPE für Cerealien

Dieses Fallbeispiel diskutiert nicht eine 1:1 Materialsubstitution des verwendeten Verpackungsmaterials, sondern bietet ein alternatives Konzept für das Verpacken trockener Lebensmittel wie Cerealien. Die meisten trockenen Produkte werden in Kartonverpackungen verpackt, häufig mit PP- oder HDPE-Innenbeutel. Für den Karton werden recycelte Fasern verwendet, welche Mineralölrückstände aus Druckfarben enthalten können. Mit dem Hintergrund der Mineralölproblematik in Kartonverpackungen betrachtet dieses Fallbeispiel als alternative Verpackung einen mit Ecovio® beschichteten Karton, da Ecovio® laut Hersteller eine gute Mineralölbarriere aufweist.

### 8.4.1 Das Lebensmittel und seine Anforderungen

Cerealien sind trockene Getreideprodukte, die meist mit Milch, Saft oder Wasser aufgegossen werden. Die meisten verwendeten Getreide für solche sogenannten „Cerealien“ sind Weizen, Mais, Hafer oder Reis; aber auch Pseudogetreide wie Buchweizen oder Amaranth. Zum Qualitätserhalt werden grundsätzlich zwei Faktoren betrachtet. Zunächst ist es wichtig, die trockenen Produkte vor Feuchtigkeit zu schützen. Einerseits wird hierdurch die Knusprigkeit erhalten, andererseits schützt ein geringer Wassergehalt vor mikrobiellem Verderb. Da sowohl die Getreide, als auch Nüsse oder zugesetzte Fette durch Oxidationsprozesse ranzig werden können, sollten die Produkte zusätzlich vor Licht und Sauerstoff geschützt werden.

Die sich daraus ergeben Barriereanforderungen für trockene Produkte werden auf 1-20  $[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$  bezüglich des Wasserdampfs und eine Sauerstoffbarriere von 5-1000  $[\text{cm}^3_{\text{STP}}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})]$  geschätzt (Abbildung 8.3). Die hohe Spanne bezüglich der Sauerstoffdurchlässigkeit ist auf die Bandbreite an Zutaten zurückzuführen.

Auch hinsichtlich der Mechanik ergeben sich spezifische Anforderungen. Durch Einflüsse während Transport und Lagerung kann sich das Schüttvolumen der Produkte verringern, was durch Brechen oder Verdichten der einzelnen Zutaten hervorgerufen wird. Daher sollte zum Qualitätserhalt eine ausreichend hohe Stabilität vorhanden sein, außerdem sollten die Produkte bei der Abfüllung nicht stark verdichtet werden.

### 8.4.2 Die Verpackungsoptionen und ihre technofunktionalen Eigenschaften

Der bedruckte Umkarton wird in der Regel aus Altpapier hergestellt, und kann daher Mineralölrückstände, vor allem aus petrobasierten Druckfarben im Zeitungsbereich, enthalten. Weder Polypropylen, noch Polyethylen bietet eine hinreichende funktionelle Barriere gegen Mineralöl. Die sogenannten Durchbruchzeiten bei der Permeation solcher Mineralölrückstände liegen bei wenigen Stunden bis einigen Tagen, abhängig von der Foliendicke. Bei einer funktionellen Barriere sollte diese Durchbruchzeit bestenfalls über der Haltbarkeit des Lebensmittels liegen. Weitere technofunktionale Eigenschaften beider Verpackungsoptionen sind in Tabelle 8.4 zusammengefasst.

Tabelle 8.4 Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für Cerealien

	Innenbeutel PP oder HDPE (50 µm) Ecovio-Beschichtung (20 µm)	
<b>Sauerstoffdurchlässigkeit</b>	2000 [cm <sup>3</sup> STP/(m <sup>2</sup> *d*bar)]	1400 [cm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> *d*bar)]
<b>Wasserdampfdurchlässigkeit</b>	1-4 [g/(m <sup>2</sup> *d)]	220 [g/(m <sup>2</sup> *d)]
<b>Folien-/Beschichtungsstärke</b>	30-60 µm	20 µm
<b>Mineralölbarriere</b>	wenige Stunden bis einige Tage	> 9 Jahre

Im Vergleich beider Varianten sind bei der biobasierten Lösung eine Materialeinsparung (Ecovio-Beschichtungsstärke ist geringer als PP/PE-Foliendicke) sowie der Wegfall von Prozessschritten durch den Verzicht auf einen zusätzlichen Innenbeutel gegeben. Beim Vergleich der technofunktionellen Eigenschaften fällt auf, dass die biobasierte Variante eine höhere Sauerstoffbarriere aufweist. Auch bei der Mineralölbarriere, welche bei PP oder HDPE als nicht vorhanden bezeichnet werden kann, bietet der biobasierte Ansatz klare Vorteile. Zum Produktschutz muss aber auch eine ausreichend hohe Wasserdampfbarriere vorhanden sein, um die trockenen Produkte vor Feuchte zu schützen. Die Beschichtung mit ecovio® reicht hierfür nicht aus. Hinzu kommt, dass die Verpackung für eine ausreichende Barriere außerdem gesiegelt sein müsste, was eine weitere technische Herausforderung mit sich bringt. Ob das Verpackungskonzept letztendlich eine eventuelle, geringere Haltbarkeit der Produkte aufgrund zu geringer Gasbarrieren mit sich bringt, müsste aber zunächst durch entsprechende Tests festgestellt werden. Dies ist stark von den einzelnen Inhaltsstoffen abhängig und gilt daher gleichermaßen für den Karton mit fossilem Folieninnenbeutel, wie Abbildung 8.4 zeigt.

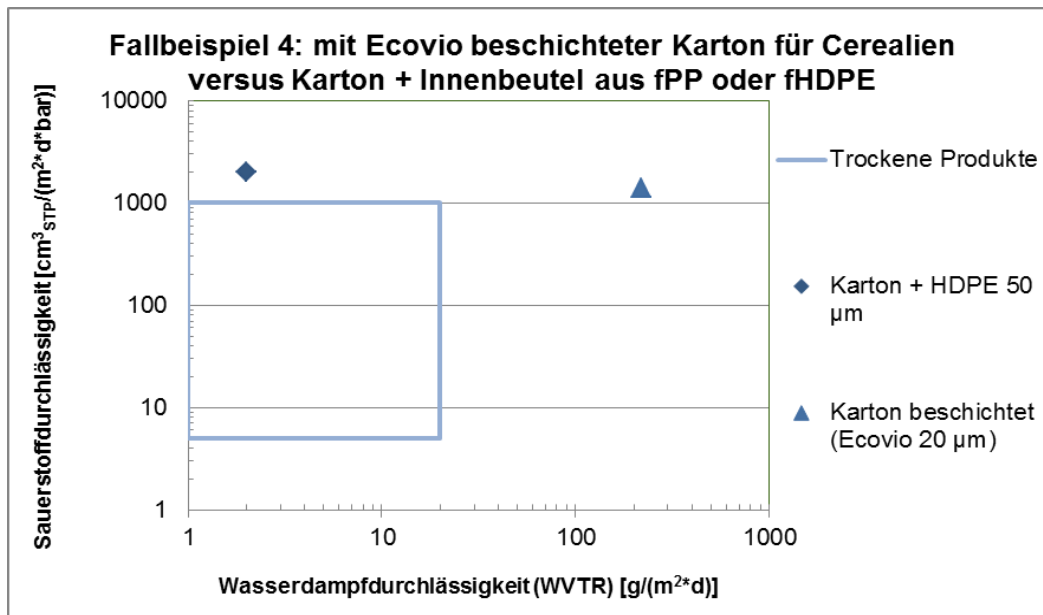


Abbildung 8.4: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten eines Pappkartons plus HDPE-Innenbeutel, sowie eines mit Ecovio (20 µm) beschichteten Kartons im Vergleich zu den Barriereanforderungen Trockener Produkte.

### 8.4.3 Aktuelles Marktvolumen

Laut statista wurden im Jahr 2017 in Deutschland 194 Mio kg Müsli und Cerealien konsumiert. Welche Menge davon in Kartons mit Innenbeutel, und welche in Kunststoffbeutel ohne Karton verpackt wurden, ist den Autoren nicht bekannt. Angenommen, die gesamte Menge wäre in 500 g Packungen verpackt, würden 388 Mio Verpackungen benötigt. Probeeinkäufe haben ergeben, dass der Innenbeutel einer 500 g Packung in etwa 4,5 g wiegt. Würde die gesamte in Deutschland konsumierte Müslimenge so verpackt werden, wären 1.746 t Kunststoff dafür notwendig. Die entsprechend benötigte Menge an Ecovio, um die gleiche Menge Müsli in beschichteten Kartons zu verpacken, wäre aber deutlich geringer, da die Ecovio-Beschichtung dünner als die Foliendicke ist.

### 8.4.4 Fazit

Die biobasierte Variante bietet sowohl hinsichtlich Materialeinsparung und Sauerstoffbarriere klare Vorteile. Außerdem ermöglicht die Ecovio-Beschichtung aufgrund ihrer Mineralölbarriere den Einsatz recycelter Kartonfasern. Allerdings sind im Bereich der Wasserdampfbarriere wiederum Nachteile zu sehen, da die Haltbarkeit solcher Produkte in großem Maße von der Produktfeuchtigkeit abhängt. Inwiefern sich diese Vor- und Nachteile letztendlich bei der Haltbarkeit solcher Produkte auswirken, müsste genau getestet werden.

*Hinweis: Als Substitutionspaarung kommt auch der Ersatz von fossilbasiertem PE durch biobasiertes PE in Frage (hier nicht untersucht). Es gibt diverse Routen wie zukünftig biobasiertes Ethylen aus unterschiedlichen Rohstoffen hergestellt werden kann.*



## 8.5 Fallbeispiel 5: MAP (high Ox) PLA-Tray versus fPET-Tray für Frischfleisch

Der Kauf von Fleisch-, Fisch- oder Wurstwaren an der Frischetheke geht immer mehr zurück, auch unterstützt durch die mittlerweile große Anzahl an Discountern. Diese Produktgruppe kommt also vermehrt verpackt in den Handel. Daher vergleicht diese Fallbeispiel Trays aus fPET und PLA in diesem wachsenden Produktsegment.

### 8.5.1 Das Lebensmittel und seine Anforderungen

Fleisch ist aufgrund seiner chemischen und physikalischen Beschaffenheit leicht verderblich. Eine hygienische Produktion und geeignete Verpackung und Lagerung sind daher unabdingbar. Der Verderb von Fleisch geht vorwiegend von der Oberfläche aus. Als Folge des mikrobiellen Verderbs wird die Oberfläche schmierig und schleimig und es treten Geruchsabweichungen auf. Bei den biochemischen Vorgängen sind nach Abbau der niedermolekularen Kohlenhydrate vor allem Protein- und Fettabbau für die Produktqualität entscheidend. Neben mikrobiellen Problemen ist daher das wesentliche Problem die Fleischfärbung. Diese ist abhängig vom Sauerstoffpartialdruck.

Das im Muskelfleisch enthaltene Myoglobin (rotbraun) wird bei moderaten Sauerstoffbedingungen, wie beispielsweise in der Umgebungsluft, in das graue Met-Myoglobin umgewandelt. Bei erhöhten Sauerstoffpartialdrücken erfolgt die Umwandlung in Oxy-myoglobin, welche eine hellrote Farbe besitzt. Verpackungskonzepte von Fleischwaren sind also entweder auf sehr geringe Sauerstoffpartialdrücke, wie beispielsweise in Vakuumverpackungen, oder auf hohe Drücke in sogenannten „Modified Atmosphere Packaging“ (MAP) Lösungen ausgelegt.

Die Barriereanforderungen von Fleischwaren, welche in MAP verpackt werden, liegen hinsichtlich der Sauerstoffdurchlässigkeiten ca. zwischen 2 und 20 [ $\text{cm}^3_{\text{STP}}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ] und Wasserdampfdurchlässigkeiten zwischen 10 und 35 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] [Langowski 2008]. Der Produktschutz stellt außerdem hohe mechanische Anforderungen an die in der Regel rigiden Packmittel. Material und Siegelnaht müssen einerseits mechanischen Belastungen von außen (z. B. hohe Durchstoßfestigkeit), andererseits dem Innendruck durch die entstehenden Partialdruckdifferenzen in Folge der Schutzbegasung, standhalten.

### 8.5.2 Die Verpackungsoptionen und ihre technofunktionalen Eigenschaften

Frischfleisch und Frischfleischprodukte werden meist in versiegelten PP- oder PET-Trays unter Schutzatmosphäre verpackt. Die technofunktionalen Werte des PET-Trays und alternativen PLA-Trays sind in Tabelle 8.5 zusammengetragen.

Tabelle 8.5: Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für Frischfleisch

	PET-Tray	PLA-Tray
Sauerstoffdurchlässigkeit (100 µm)	15-22 [cm <sup>3</sup> STP/(m <sup>2</sup> *d*bar)]	25-350 [cm <sup>3</sup> STP/(m <sup>2</sup> *d*bar)]
Wasserdampfdurchlässigkeit (100 µm)	1,5-3 [g/(m <sup>2</sup> *d)]	30-200 [g/(m <sup>2</sup> *d)]
E-Modul	2100-3100 MPa	3500 MPa
Zugfestigkeit	55-80 MPa	70 MPa
Notwendige Folienstärke	200 µm	200 µm

PLA besitzt eine mittlere Sauerstoffbarriere und ist damit als Monomaterial mit einer Materialstärke von um die 200 µm für Frischfleisch noch geeignet, schneidet im direkten Vergleich zu PET aber schlechter ab (Abbildung 8.5). Hinsichtlich der Mechanik sind die Materialien für die genannte Anwendung als gleichwertig geeignet anzusehen. Eine Materialreduktion des PLA, wie in anderen Beispielen angesprochen, ist hier nicht möglich. Bei der Bedruckbarkeit kann PLA ein kleiner Vorteil zugeschrieben werden. Aus technischer Sicht ist PLA insgesamt für die Substitution des Trays und auch der Deckelfolie im Folienverbund geeignet.

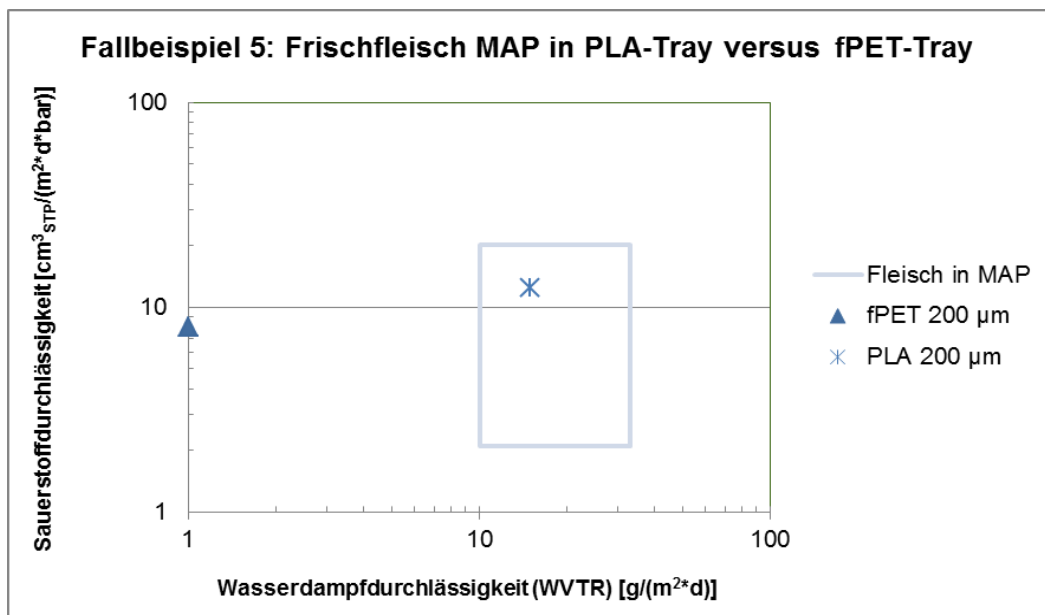


Abbildung 8.5: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten eines PET- bzw. PLA-Trays (je 200 µm) im Vergleich zu den Barriereanforderungen von Fleisch in MAP.

### 8.5.3 Aktuelles Marktvolumen

Insgesamt lag der Fleischverzehr (ohne Knochen, Futter, industrielle Verwertung und Verluste) laut Bundesverband der deutschen Fleischwarenindustrie im Jahr 2015 bei 59,2 kg pro Person. Wie viel davon als Frischfleisch verkauft wurde, ist den Autoren nicht bekannt. Laut Statista lag der Konsum von Würstchen und sonstigen Fleischerzeugnissen (darunter fallen u.a. verschiedene Arten von Würstchen, Aufschnitt, Speck, Rouladen etc.) 2015 bei 29,4 kg pro Kopf. Angenommen bei den übr-

gen 30 kg handelt es sich um Frischfleisch, kommt man für Deutschland auf insgesamt 2,45 Mrd kg Frischfleisch. Der Anteil an abgepacktem Frischfleisch im Vergleich zu Frischfleisch von der Theke nimmt kontinuierlich zu. Von 2000 bis 2014 stieg der Anteil an in MAP-Vakuumverpackungen verpacktem Frischfleisch von 43,2 % auf 66,1 % [Langowski et al. 2016], sodass nun die Mehrheit an Frischfleisch abgepackt verkauft wird. Etwa 1,62 Mrd kg Frischfleisch wird demnach in MAP-Vakuumverpackungen verkauft. Bei einer angenommenen verpackten Fleischmenge von 250 g und einem geschätzten Verpackungsgewicht des Trays von 13 g (exkl. 2 g Deckelfolie, Testeinkauf), beträgt die benötigte Kunststoffmenge 84.240 t.

#### 8.5.4 Fazit

Für Frischfleischverpackungen (Trays) ist eine Substitution von PET mit PLA gut vorstellbar. Eine Materialreduktion ist hier allerdings nicht möglich, da PET ähnliche mechanische Eigenschaften wie PLA besitzt. Insgesamt halten sich aus technischer und rechtlicher Sicht Vor- und Nachteile beider Materialien die Waage.

*Hinweis: Substitutionspaarung mit biobasiertem PET ist weitere Option (s. Fallbeispiel 2).*

## 8.6 Fallbeispiel 6: Kapsel aus Ecovio + PVOH versus Aluverbund für gemahlene Kaffee

Seit mehreren Jahren sind Portionsverpackungen für Kaffee in Form von befüllten Kapseln erhältlich. Zum Schutz vor Umwelteinflüssen und zum Aromaerhalt werden diese meist aus Aluminium hergestellt, welches sowohl einen hohen Energieaufwand bei der Gewinnung, als auch ein erhöhtes Abfallaufkommen bei der Entsorgung mit sich bringt. Es gibt seit kurzem aber auch Kapseln aus kompostierbaren Biowerkstoffen, welche sich vom Wettbewerb (Marktführer Nespresso/Nestlé) abgrenzen wollen. In diesem Fallbeispiel gilt es, die Vor- bzw. Nachteile der biobasierten Kapseln gegenüber Aluminium-Portionsverpackungen zu diskutieren.

### 8.6.1 Das Lebensmittel und seine Anforderungen

Für dieses Beispiel wird gemahlener Röstkaffee betrachtet. Röstkaffee in handelsüblicher Verpackung bleibt etwa 8-10 Wochen frisch. Danach geht das Röstaroma zurück und es tritt eine zunehmend ranzige Aromanote auf. Gemahlener Kaffee ist in der ungeöffneten Verpackung unter Sauerstoffausschluss 6-8 Monate haltbar, altert jedoch nach Öffnen der Packung in 1-2 Wochen. Der Alterungsprozess, über dessen chemischen Hintergrund noch wenig bekannt ist, wird durch Lagerung des Röstkaffees bei möglichst tiefer Temperatur unter Ausschluss von Sauerstoff und Wasserdampf verzögert [Belitz et al. 2007]. Produktschädigungen sind also vor allem bezüglich der Qualitätsverminderung durch Aromaverluste zu beschreiben. Der Ausschluss von Feuchtigkeit schützt aber, wie bei anderen trockenen Produkten, zusätzlich vor mikrobiellem Wachstum. Die sich daraus ergebenden Barriereanforderungen lassen sich mit einer Sauerstoffdurchlässigkeit von 0,2-3 [ $\text{cm}^3_{\text{STP}}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ ] und einer Wasserdampfdurchlässigkeit von 1-5 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] beschreiben. Mechanische Ansprüche bei gemahlene Trockenprodukten zielen in diesem Fall mehr darauf ab, die Barriere Wirkung aufrecht zu erhalten. Wichtig sind dementsprechend feste Siegelnähte und eine hohe Durchstoßfestigkeit der verwendeten Materialien. Eine weitere mechanische Herausforderung ist während des Brühprozesses zu sehen, in dem neben hohen Temperaturen auch hohe Druckverhältnisse zur Extraktion herrschen. Zudem müssen bei der Zubereitung im Automaten die Kapseln durchstoßen werden.

### 8.6.2 Die Verpackungsoptionen und ihre technofunktionalen Eigenschaften

Bei der konventionellen Variante werden Kapseln aus Aluminium in ihre Form gestanzt, mit durchschnittlich 5 g Kaffee befüllt und mit einem Aluminiumdeckel per Siegelack verschlossen.

Um den hohen Barriereanforderungen des Lebensmittels gerecht zu werden, reicht für die biobasierte Alternative ein Monolayer aus den bekannten bbKS nicht aus. Lediglich PEF könnte in den entsprechenden Materialstärken als Monolayer den technischen Anforderungen genügen. Marktverfügbare Kapselverpackungen aus bbKS bestehen daher meist aus Blends, Verbunden oder Kompositen, welche mit Fasern verstärkt werden. In diesem Beispiel wird eine Ecovio-Kapsel mit PVOH-Beschichtung betrachtet. Die technofunktionalen Eigenschaften der beiden Kapsel-Varianten sind in Tabelle 8.6 zusammengestellt.

Tabelle 8.6 Technofunktionale Eigenschaften der fossilen und biobasierten Verpackungsoption für gemahlene Kaffee

	Aluminiumkapsel	Ecovio-Kapsel + PVOH-Schicht
<b>Sauerstoffdurchlässigkeit</b>	<0,001 [cm <sup>3</sup> STP/(m <sup>2</sup> *d*bar)]	1 [cm <sup>3</sup> STP/(m <sup>2</sup> *d*bar)]
<b>Wasserdampfdurchlässigkeit</b>	<0,001 [g/(m <sup>2</sup> *d)]	3-4 [g/(m <sup>2</sup> *d)]
<b>E-Modul</b>	70.000 MPa	
<b>Zugfestigkeit</b>	90 MPa	
<b>Wandstärke</b>	135 µm	300 µm

Betrachtet man die technische Performance beider Varianten, besonders mit Hinblick auf die Gasbarriere, schneidet die konventionelle Variante aus Aluminium klar besser ab (Abbildung 8.6). Trotzdem kann die Ecovio-Kapsel ebenfalls eine ausreichende Barriere zum Produktschutz leisten. Da trotz der geringeren Sauerstoff- und Aromabarriere eine Vielzahl an biobasierten- und bioabbaubaren Produkten am Markt zu finden sind, ist in diesem Fall außerdem anzunehmen, dass bei der Kaufentscheidung des Konsumenten neben der optimalen Produktqualität bzw. dem Qualitätserhalt andere Faktoren stärker gewichtet werden.

Außerdem können der biobasierten Variante aber auch klare Vorteile zugeschrieben werden. Ein wichtiger Aspekt, welcher auch dem Verbraucher sofort auffällt, ist das erhöhte Abfallaufkommen beim Verwenden der Alukapseln. Werden diese nicht ordnungsgemäß entsorgt, entfällt auch ein mögliches Recycling und der Wertstoff Aluminium geht verloren. Die bioabbaubare Variante kann ggf. mit dem enthaltenen Kaffeesatz zusammen im Biomüll entsorgt werden.<sup>13</sup>

Jedenfalls entfällt die energetisch aufwendige Gewinnung der Ressource Aluminium bei der biobasierten Variante auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Bedenkt man noch mögliche Verbesserungen

<sup>13</sup> Hinweis auf der FNR Homepage: Mit der Novellierung der Bioabfallverordnung Mitte 2012 wurde die Kompostierung als Entsorgungsoption für biologisch abbaubare Verpackungen stark eingegrenzt. Über die Biotonne dürfen nur noch wenige Produkte entsorgt werden, wie z.B. Bioabfall-Beutel oder Kaffeekapseln.  
<https://biowerkstoffe.fnr.de/biokunststoffe/verwertung/>

der Gasbarriere bbKV unter Beibehaltung der Bioabbaubarkeit, so könnte die biobasierte Variante unter veränderten Randbedingungen (nämlich einer gemeinsamen Entsorgung der gebrauchten Kapsel im Bioabfall) das sinnvollere Verpackungskonzept sein. Andererseits bietet die Aluminiumkapsel bei ordnungsgemäßer Entsorgung das Potenzial zur Materialrückgewinnung via Recycling.

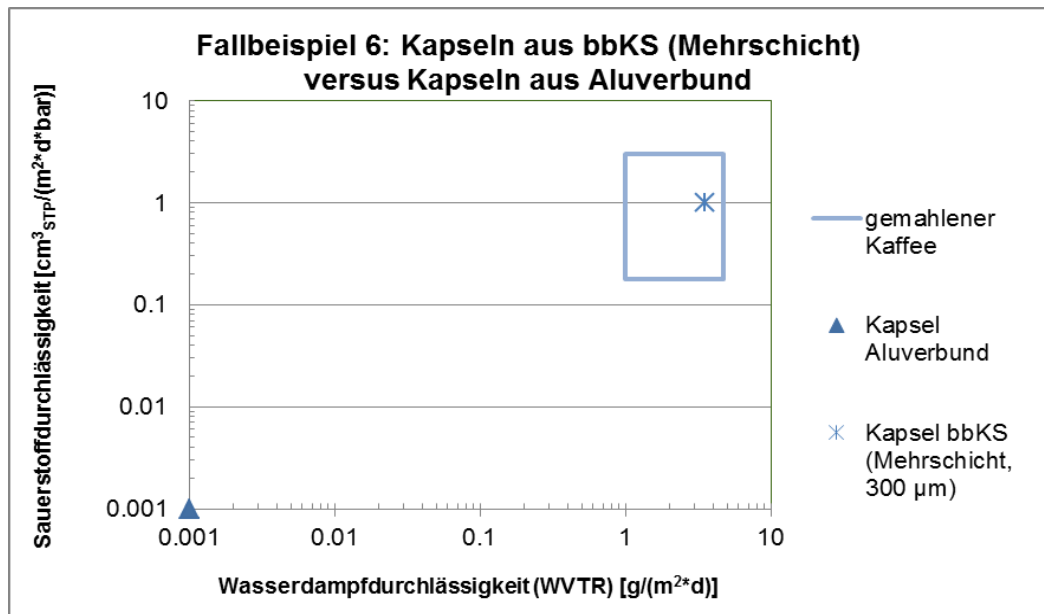


Abbildung 8.6: Wasserdampf- und Sauerstoff-Durchlässigkeiten einer Alukapsel und Ecoviokapsel im Vergleich zu den Barriereanforderungen von gemahlenem Kaffee.

### 8.6.3 Aktuelles Marktvolumen

Zum Verbrauch von Kaffee kapseln in Deutschland gibt es unterschiedliche Angaben, die sich zwischen zwei<sup>14</sup> und drei<sup>15</sup> Mrd Kapseln pro Jahr bewegen. Nespresso selbst gibt auf seiner Webseite an, dass in Deutschland jährlich 8000 t Kapselmüll entstehen, und dies 0,3 % des gesamten Verpackungsaufkommens entspricht. Ausgegangen von 8000 t Kapselmüll und einem durchschnittlichen Kapselgewicht von 1,7 g entspräche das sogar 4,7 Mrd Kapseln. Eine Kapsel aus Ecovio wiegt etwa 1,4 g. Für die Herstellung von 3 Mrd Kapseln im Jahr würden 4.200 t Ecovio benötigt.

### 8.6.4 Fazit

Ein biobasierter Verbund ist für den Produktschutz in Kaffee kapseln ausreichend. Bedenkt man den hohen Energieaufwand beim Aluminiumabbau, sowie den Punkt, dass selbst wenn es zu einem Materialrecycling kommt, dieses nicht in der Neuware eingesetzt wird, spricht einiges für die biobasierte Variante. Bei Kaffee kapseln handelt es sich im Sinne des Gesetzgebers nicht um Verpackungen, da diese mit dem Produkt gemeinsam genutzt und entsorgt werden. Insgesamt landen viele der Kaffee kapseln also nicht bei den dualen Systemen und sind fürs Recycling verloren. In diesem Fall bietet eine bioabbaubare Variante eine wirkliche Alternative hinsichtlich des Entsorgungsweges.

<sup>14</sup> <https://www.welt.de/wirtschaft/article123656432/Wir-produzieren-4000-Tonnen-Kaffee-kapsel-Muell.html>

<sup>15</sup> <https://www.test.de/Kaffee-kapseln-Nespresso-legt-die-Latte-hoch-4933269-4933468/>

# 9 Handlungsempfehlungen

---

In diesem Kapitel wird der Handlungsbedarf seitens der Politik (insbesondere BMEL, FNR) zur Förderung von biobasierten Kunststoffen im Einsatz für Verpackungen mit Lebensmittelkontakt herausgearbeitet und Handlungsempfehlungen dazu abgeleitet.

## 9.1 Bereitstellung technischer Informationen

### 9.1.1 Ausgangslage und Handlungsbedarf

Ein grundsätzliches Hindernis beim Einsatz biobasierter Kunststoffverpackungen sind fehlende, spezifische Verarbeitungsinformationen, insbesondere anwendungsrelevante Eigenschaften wie Angaben zu Barriereigenschaften der Materialien. Zudem fehlt eine ausführliche Sammlung von Anwendungsbeispielen, welche vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen, die keine Mittel für eigene Forschung oder Erprobung haben, bei der Abschätzung, ob biobasierte Kunststoffe für ihre Anwendung geeignet sind, hilft. Viele der Packmittelhersteller und -anwender orientieren sich am „Ist-Stand“ der fossil-basierten Kunststoffe, da sie keine Informationen haben, welche Anforderungen ihr Produkt überhaupt an die Verpackung stellt.

Die „Biopolymerdatenbank“ des „Material Data Center“ bietet in der Sektion „Bauteildatenbank“ eine Liste solcher Anwendungsbeispiele aus der Kunststoffverarbeitung, in der aktuell (Stand 29.03.2017) 163 biobasierte Kunststoff-Produkte, davon 31 aus dem Bereich von Verpackungen mit Lebensmittelkontakt eingesehen werden können (M-Base Engineering+Software GmbH 2017). Das Projekt „Polymerdatenbank“ als Teilvorhaben des Verbundvorhabens „Verarbeitung von biobasierten Kunststoffen und Errichtung eines Kompetenznetzwerkes im Rahmen des Biopolymernetzwerkes der FNR“ stellt für den Informationsaustausch eine gute Basis dar. Vor allem im Bereich packmittelrelevanter Performance-Kennzahlen auf Basis biobasierter Kunststoffe besteht Informationsbedarf, da diese bislang nicht ausreichend vorhanden sind.

### 9.1.2 Handlungsempfehlung und zu erreichendes Ziel

Ziel ist, das sowohl Packmittelhersteller als auch -anwender Informationen über technofunktionale Eigenschaften mit Relevanz für den Produktschutz (insbesondere Barriereigenschaften) und für die weiteren Kompatibilitätsanforderungen (beispielsweise Färbbarkeit, Transparenz, Bedruckbarkeit oder die Tauglichkeit in Klebe-, Schweiß- und Peeling-Verfahren) erhalten können. Dies ermöglicht die Abschätzung der Kompatibilität biobasierter Kunststoffe mit eigenen Packmittelanforderungen durch die Packmittelanwender.

Die Fortführung des Projekts „Polymerdatenbank“ wird daher dringend empfohlen. Die Bereitstellung und das Sicherstellen der Verfügbarkeit finanzieller Mittel durch das BMEL und die FNR zur kontinuierlichen Aktualisierung und Erweiterung der Datenbankeinträge werden daher nahegelegt. Au-

ßerdem wird empfohlen, eine Datenbank mit relevanten technofunktionalen Eigenschaftsdaten marktverfügbarer biobasierter Kunststofftypen und -blends nach dem Vorbild der Datenbank zur Verarbeitung von Kunststoffen<sup>16</sup> zu etablieren. Dazu sollte eine zentrale Übersicht von marktverfügbaren Anwendungsbeispielen für biobasierte Kunststoffe erstellt werden. Die Sammlung von Anwendungsbeispielen für biobasierte Kunststoffe sollte dabei nicht zwangsläufig auf Lebensmittelverpackungs-Anwendungen beschränkt werden. Dieses Angebot zur Information sollte durch wiederholte und aktualisierte PR an die Zielgruppen lebendig gehalten werden (Artikel, Berichte auf Fachtagungen, immer möglichst am praxisnahen Beispiel).

## 9.2 F&E Ansätze: Materialien, Produkte und Recyclingfähigkeit

### 9.2.1 Ausgangslage und Handlungsbedarf

#### Materialverfügbarkeit und Produktentwicklung:

Neue Entwicklungen bei biobasierten Kunststoffen werden häufig durch eine geringe Materialverfügbarkeit an einer schnellen Markteinführung gehindert (vgl. PEF). Für den letztendlichen Einsatz biobasierter Materialien bestehen außerdem nur recht wenige Anwendungsbeispiele, da Entwicklungen eher in Richtung Material- und Verarbeitungseigenschaften als in Richtung gezielte Anwendungen orientiert sind.

#### Recycling und Recyclingfähigkeit:

Beim Thema Recycling fehlt es bislang größtenteils an Recyclingsystemen für neuartige biobasierte Kunststoffe. Dies ist insbesondere im Hinblick auf das neue VerpackG ein Problem, da die Verwendung recyclingfähiger Verpackungen gefördert wird (§21 Abs.1 Nr.1). Über die grundsätzliche Recyclingfähigkeit vieler biobasierter Materialien wurde im vergangenen Jahrzehnt viel geforscht. Immer noch sind einzelne Fragen offen, doch sind die Grundlagen inzwischen oft gut erforscht und verstanden. So sind insbesondere die Marktvolumina für einzelne Polymertypen darüber entscheidend, ob sich Recycling kommerziell etablieren lässt. Die Recyclingfähigkeit von Produkten, insbesondere Verpackungen ist dagegen eine Grundvoraussetzung für das spätere Recycling und sollte deshalb stärker im Fokus bei Fördermaßnahmen stehen. Dies folgt auch der Logik der Kreislaufwirtschaft und ihrer umsetzenden Gesetze, insbesondere dem neuen Verpackungsgesetz (siehe Absatz 9.5.). Erst wenn die Recyclingfähigkeit eines aus einem Polymer hergestellten Produktes durch entsprechendes Design sichergestellt ist, stellt sich überhaupt die Frage, ob es recycelt werden kann - ungeachtet der theoretischen Potenz.

### 9.2.2 Handlungsempfehlung und zu erreichendes Ziel

#### Materialverfügbarkeit und Produktentwicklung:

Bei noch nicht marktverfügbaren biobasierten Kunststoffen wie PEF sollte die Verfügbarkeit gefördert werden, beispielsweise durch die Bereitstellung von Materialproben zu Erprobungszwecken. Weitere Förderungen sind bezüglich einer gezielten F&E von spezifischen Anwendungen nötig, da diese letztendlich auch die Einsatzwahrscheinlichkeit biobasierter Kunststoffe erhöhen können. Die

---

<sup>16</sup> [www.biokunststoffe-verarbeiten.de](http://www.biokunststoffe-verarbeiten.de)

gezielte Erforschung von Wasserdampfbarriere-Funktionalisierungen von biobasierten Kunststoffen mit hoher Wasserdampfdurchlässigkeit könnte im Besonderen zur weiteren Erschließung weiterer Anwendungsbereiche in Kunststoff-Lebensmittelverpackungen beitragen und eignet sich daher als möglicher thematischer Rahmen eines Förderprojekts. Die Beobachtung von Markttrends (s. 9.3) zur Identifikation von unter Innovationsdruck stehenden Lebensmittelverpackungs-Typen sollte von BMEL und FNR als Mittel genutzt werden, um aussichtsreiche Ziele von Lebensmittelverpackungs-Innovationen auf Basis biobasierter Kunststoffe zu identifizieren und die F&E-Förderung ggf. daran zu orientieren.

#### Recycling und Recyclingfähigkeit:

Probleme, die beim Einsatz von biobasierten Kunststoffen im Zusammenspiel mit etablierten Recyclingsystemen auftreten könnten, sollten frühzeitig evaluiert werden, um mit entsprechenden Maßnahmen diesen Problemen entgegen treten zu können. Über die Recyclingfähigkeit von biobasierten Produkten (bbLVp), wurde bereits in Ansätzen geforscht. Zu adressieren ist primär das recyclinggerechte Design, das möglicherweise Unterschiede aufweisen kann zwischen fossil und biobasierten Produkten. Ziel ist es, nicht nur die in Kürze erwartenden "Mindeststandards" nach § 21 VerpackG zu erfüllen, sondern eine möglichst hohe graduelle Recyclingfähigkeit zu erreichen. Für Drop-In Biowerkstoffe ist die Hürde dabei deutlich geringer, als für neuartige bbKS. Die Maßnahmen sollten sich dabei nicht nur am Design ausrichten, sondern ebenfalls nach Wegen suchen, wie neuartige Produkte mit den Herausforderungen des §21 umgehen sollen, der das Recycling an der "Recyclingpraxis" zu bemessen sucht. Hier sind Strategien zu entwickeln, wie man drohende Innovationshemmnisse zu verhindern weiß.

Ziel aller Maßnahmen ist es, den praktischen Einsatz von biobasierten Kunststoffen für Verpackungslösungen zu fördern.

## 9.3 Jährliche Marktanalyse

### 9.3.1 Ausgangslage und Handlungsbedarf

Zu biobasierten Lebensmittelverpackungen - generell zu biobasierten KS-Verpackungen - werden keine spezifischen Marktdaten erhoben. Den Autoren sind weder spezifische privatwirtschaftliche noch staatlich beauftragte Marktdaten und Statistiken bekannt. Es gibt somit auch keine Vergleichsmöglichkeit ihrer Entwicklung inkl. Analyse der maßgeblichen Einflüsse über die Zeit (Gesetzgebung, Material- und Rohstoffpreise, Verwertung etc.). Damit fehlen wichtige Informationen zur Steuerung der Entwicklung (i.e. der Nachfrage, auch ihrer Verwertung) z.B. durch Förderung oder Gesetzgebung (s.a. 9.5 VerpackG). Je detaillierter Daten erfasst werden, desto mehr Wissen zur Entwicklung und zur Steuerung entsteht, und umso vertrauenswürdiger wird dies auf Entscheidungsträger wirken.

Die Erfassung von Daten in Kombination mit Berichterstattung unter Bezugnahme auf die Beweggründe und Antreiber sollte auch das Interesse der Lebensmittelbranche und der Lieferkette für Verpackungen wie auch der Entsorgungswirtschaft stimulieren bzw. bedienen.

### 9.3.2 Handlungsempfehlung und zu erreichendes Ziel

Ziel ist es, durch regelmäßige Darstellung der Marktentwicklung und die entsprechenden Verweise auf die Ursachen und Triebkräfte die Bedeutung von bbVp als "relevantes Thema" auszuzeichnen



bzw. zu erhöhen. Durch die Erfassung von Marktdaten und ihrer Analyse wird eine wichtige Voraussetzung (Bedingung) zur Steuerung der Entwicklung geschaffen. Derartige Transparenz ermöglicht es auch innovativen KMUs besser die Situation beurteilen zu können, z. B. ob und wann sich verstärkte Anstrengungen oder Investitionen in ihrem jeweiligen Aktivitätsbereich lohnen. Durch eine reale Abbildung der Nachfrage und dahingehende Markttrends kann das Entwicklungsbestreben der Verpackungsindustrie in Richtung biobasierter Kunststoffverpackungen gelenkt werden.

Es sollen jährlich Daten zur Marktentwicklung von biobasierten Kunststoffverpackungen erfasst werden und in statistischer und analytischer Form aufbereitet werden. Die Daten sollten (Mengen-) Angaben zu den Verpackungstypen, den Materialtypen und der Mengen in individueller und aggregierter Form liefern. Attribute wie der biobasierte Anteil oder die Recyclingfähigkeit sollten einbezogen bzw. soweit möglich verknüpft werden. Welche Art der Daten wann notwendig bzw. interessant sind sollte zwischen Wirtschaftsverbänden und Behörden bzw. Gesetzgeber abgestimmt werden und ggf. über die Zeit an die jeweiligen Bedürfnisse und Möglichkeiten angepasst werden. Wichtig ist dabei die Verknüpfung zu gesetzlichen Rahmenbedingungen oder politischen Zielen (s.a. 9.5.). Biobasierte Kunststoffe sollten wie Rezyklate in Zukunft als eigene Materialkategorie in der Verpackungsgesetzgebung erfasst und behandelt werden – dazu sind derartige Erhebungen unerlässlich.

## 9.4 Kennzeichnung von Lebensmittelverpackungen auf Basis biobasierter Kunststoffe

### 9.4.1 Ausgangslage und Handlungsbedarf

Zum jetzigen Zeitpunkt ist es dem Verbraucher in der Regel nicht möglich, zwischen einer bbKV und einer fbKV zu unterscheiden. Um das Bewusstsein für biobasierte Kunststoff-Verpackungsmaterialien zu stärken, sollte es dem Verbraucher möglich sein, zwischen einer bbKV und einer fbKV entscheiden zu können. Dies wäre auch außerhalb des Lebensmittelbereiches für alle Verpackungen (und andere Anwendungen) grundsätzlich sinnvoll.

Die aktuelle Gesetzgebung (s.a. 9.5) verweist bereits auf die Förderung biobasierter Anteile - in diesem Fall durch Gebührendifferenzierung nach § 21. Die Kennzeichnung sollte demnach mindestens eine graduelle Angabe zum biobasierten Anteil (nach bestehenden Normen) liefern. Das Label sollte so gestaltet und mit Kriterien untersetzt werden, dass nicht nur Verbraucher sondern auch Wirtschaft, Politik, Behörden und Interessensvertretungen ausreichend Vertrauen in seine Wirkung fassen können.

### 9.4.2 Handlungsempfehlung und zu erreichendes Ziel

Es wird ein umfassend anerkanntes, z.B. staatlich begründetes, möglichst durch unabhängige Zertifizierung erhältliches Label für Verpackungen nach dem Vorbild des europäischen Bio-Labels für Lebensmittel vorgeschlagen. Mindestens der biobasierte Anteil ist darin auszuweisen, ggf. sollte es mit anderen Kriterien, insbesondere zum Nachweis der ökologischen Leistungen verknüpft werden. Die zugrundeliegenden Kriterien sollten in einem Stakeholder-Dialog entwickelt werden, der politische Ziele (i.e. Bioökonomie, Innovation, Kreislaufwirtschaft), rechtliche Vorgaben (siehe VerpackG) und wirtschaftliche Interessen (aktuell gültigerer technologisch-ökonomischer Möglichkeiten) sinnvoll miteinander verknüpft. Weder dürfen die Anforderungen an eine junge Technologie und bisher sehr kleinvolumige Produktwelt überzogen werden, noch dürfen die Kriterien beliebig sein. Es gilt diejeni-

gen Kriterien auszuwählen, die als Leitparameter Entwicklungsziele wiedergeben und mit hinreichender Sicherheit ausgestattet werden können. Das Label selbst muss einfach und kommunikativ stark entworfen werden. Die Kriterien und Prozesse dürfen nur so komplex sein, dass sie dessen Anwendung in der Praxis nicht behindern.

Ziel ist es, Vertrauen bei allen beteiligten Organisationen und den Verbrauchern schaffen. Produkte, die das Label tragen, sollten Käufer dazu anregen, Kaufentscheidungen zugunsten bbKV zu treffen. Außerdem könnten bereits bestehende Interessensgruppen, wie beispielsweise Einkaufsgenossenschaften, die Verwendung biobasierter Kunststoffe stark vorantreiben; hier sollte das Gespräch gesucht werden. Welche Art der Informationen zum verwendeten Verpackungsmaterial dazu notwendig sind, welche bewertet und ausgezeichnet werden muss im Dialog aller Beteiligten entschieden werden.

Gegebenenfalls ließe sich mit einer Markierung auch die Aufnahme der betreffenden Anwendung in bestehende Datenbanken mit Anwendungsbeispielen von biobasierten Kunststoffen synergistisch realisieren.

## 9.5 Berücksichtigung biobasierter Kunststoffe im VerpackG

### 9.5.1 Ausgangslage und Handlungsbedarf

Das am 01.01.2019 in Kraft tretende Verpackungsgesetz verpflichtet (duale) Systeme zur ökologischen Gestaltung der Beteiligungsentgelte nach Paragraph § 21. Duale Systeme sollen finanzielle Anreize schaffen, um die Recyclingfähigkeit von Verpackungen, den Rezyklatanteil und die Verwendung nachwachsender Rohstoffe zu fördern. Dabei wird mehrfach auf die Praxis der Sortierung und Verwertung verwiesen. Die im Gesetz festgelegte Forderung nach Förderung setzt ein klares Signal an den bestehenden Markt und die zukünftige Verpackungsentwicklung: Wer entsprechende Verpackungslösungen findet oder entwickelt, liegt politisch richtig und wird zu Recht ökonomische Vorteile erwarten. Aufgrund der multiplen Verknüpfung von Recyclingfähigkeit, Rezyklateinsatz und Einsatz nachwachsender Rohstoffe wird der Verpackungsentwicklung eine klare Richtung vorgegeben.

Die Recyclingfähigkeit steht ideell an erster Stelle bei der Gebührendifferenzierung. Biobasierte Kunststoffverpackungen aus neuartigen Nicht-Drop-In bbKS, die (noch) nicht mittels bereits bestehender Infrastruktur durch Recycling verwertet werden können, erleiden potenziell erhebliche Nachteile (siehe § 21 und Kennzeichnungs-codes in VerpackG Anlage 5 zu § 6). Durch den starken Fokus auf die Recyclingfähigkeit entsteht eine zusätzliche Markteintrittsbarriere für Innovationen (zusätzliches Entwicklungsrisiko), denn werkstoffliche Verwertung setzt signifikante Marktvolumina voraus.

Bis zum 1.1.2022 will die Bundesregierung nach § 21 (4) zudem darüber entscheiden, wie die Förderung biobasierter Anteile in Verpackungen "unter Berücksichtigung gesamtökologischer Vorteile" erfolgen soll. Hier stellt sich die Frage welche Kriterien zur Beurteilung solcher Vorteile herangezogen werden sollen. Es besteht die Gefahr, dass Innovationen wie biobasierte Verpackungen damit mit zusätzlichen Markteintrittsbarrieren „bestraft“ werden könnten, die die weitverbreiteten Produkte aus Massenkunststoffen niemals tragen mussten (auch heute wird dies nicht von ihnen verlangt).

### 9.5.2 Handlungsempfehlung und zu erreichendes Ziel

Ziel ist, dass das Gesetz – bei entsprechender Umsetzung des § 21 (1) 2 – einen wesentlichen Beitrag zur Technologie- und Marktentwicklung biobasierter Kunststoffverpackungen und ihrer Kreislauffähigkeit leistet. Im Fokus stehen dabei recyclingfähige biobasierte Lebensmittelverpackungen. Darüber hinaus sollten jedoch auch die Optionen für die Substitution bekanntermaßen schwierig recyclingfähiger fKS-Vp durch biobasierte Alternativen beleuchtet und tragfähige Lösungen gefördert werden.

Technikfolgenabschätzung: Dem Gesetz ist potenziell ein erheblicher Einfluss auf die zukünftige Markt- und Verpackungsentwicklung inkl. der Materialien zu unterstellen. Daher sollten die potenziellen Wirkungen anhand von festzulegenden Kriterien mindestens für den Kunststoffbereich in Szenarien genauer betrachtet werden. Auf diese Weise lassen sich politische Ziele weitaus besser steuern als es heute der Fall sein kann. Das Gesetz kann erhebliche Beiträge zur Entwicklung von Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie leisten. Ein Beispiel: Es ließen sich die Klimaeffekte und Kosteneffekte bei der Substitution fossiler durch biobasierter Verpackungen betrachten, Mengenszenarios könnten mit Flächenbedarf in Abhängigkeit von technologischen Entwicklungsstufen verknüpft werden. Der Blick sollte dabei weiter in die Zukunft reichen, so dass "nicht-perfekte" erste Schritte als unumgängliche Transition begriffen und akzeptiert werden können (Brückentechnologien). Biobasierte und rezyklierte Anteile sollten dabei wie in § 21 (1) 2 gemeinsam inszeniert werden.

Ausführung des Gesetzes im Detail: Schon bei der oberflächlichen Betrachtung des Gesetzes fällt auf, dass sehr viele wichtige Informationen oder Kriterien zur Umsetzung des § 21 (1) 2 fehlen oder nur sehr vage formuliert sind. Es gilt zu analysieren, welche Ergänzungen notwendig sind, um eine zielgerichtete Umsetzung des Gesetzes zu ermöglichen (inhaltlich, juristisch, politisch). Dazu ist ein vertiefter Dialog mit allen Fach- und Verkehrskreisen unabdingbar. Sollten die gesetzlichen Vorgaben zu den Ausführungsbestimmungen keine ausreichende Wirkung erreichen können, wäre nach alternative Wegen zu suchen und darüber zu befinden, wie die formulierten Pflichten (Gebührendifferenzierung) auf anderem Weg hinreichend erfüllt werden können. Denkbar sind in diesem Zusammenhang beispielweise "freiwillige Vereinbarungen". Von zentraler Bedeutung ist dabei die Erfassung von Daten (s. oben 9.3) sowie die Festlegung von Kriterien, welche auf biobasierte KSVp angewendet werden sollen.

Informationstransfer: Angesichts der Bedeutung des Gesetzes wird empfohlen, die Öffentlichkeit, insbesondere die Fachöffentlichkeit, über alle relevanten Aspekte zu informieren und zur Umsetzung zu motivieren. Neben regelmäßigen Berichten und Fachartikeln sollten dabei auch praxisnahe Informationsportale, regelmäßige Branchenevents, und Stakeholder-Roundtables zu speziellen Themen und Aufgaben durch Förderung und Aufruf installiert und moderiert werden. Auf diese Weise soll auch das Interesse an der Fortentwicklung des Gesetzes und der Technologie- und Marktentwicklung möglichst hoch gehalten werden. Siehe dazu auch 9.1 und 9.3.

Europäische Dimension: Das EU Paket der Kreislaufwirtschaft und Kunststoffstrategie steuert politische Ziele und wirtschaftliche Prozesse häufig über Vorgaben zur Verwertung gebrauchter Produkte. Das Modell differenzierter Gebührenssetzung nach ökologischen Kriterien ist dabei ein Hauptinstrument. Es ist deshalb damit zu rechnen, dass es an verschiedenen Stellen (EU, einzelne Mitgliedstaaten) zur Diskussion, Entwicklung, Verabschiedung und Umsetzung von ähnlichen Gesetzen/Vorschriften oder freiwilligen Vereinbarungen kommt. Ein intensives Monitoring und Austausch von Ideen und Modellen wird deshalb empfohlen.

## 9.6 Rechtliche Aspekte

### 9.6.1 Ausgangslage und Handlungsbedarf

Derzeit ist es für den (potenziellen) Anwender von bbKS Verpackungen schwer einzuschätzen wie hoch der Aufwand für die lebensmittelrechtliche Bewertung sein wird. Angaben zu Additiven, welche in bbKS verwendet werden sowie zu deren Konzentrationen sind ebenso rar wie Daten zu Verunreinigungen im Polymer (NIAS). Aufgrund des geringen Verbreitungsgrades im Lebensmittelverpackungsbereich sind Daten zur Diffusion bzw. zur Migration nur wenig oder gar nicht verfügbar. Dies erschwert die lebensmittelrechtliche Bewertung von biobasierten Verpackungen, da es – abgesehen von den Drop-In Biopolymeren – kaum Erfahrungswerte zur Migration von Monomeren und Additiven gibt bzw. die Bewertung mittels "diffusion modelling" aufgrund fehlender Parameter nicht möglich ist.

### 9.6.2 Handlungsempfehlung und zu erreichendes Ziel

Ziel ist es, die Anforderungen an die lebensmittelrechtliche Bewertung von biobasierten Kunststoffen an die von herkömmlichen Kunststoffen anzugleichen, um hier keinen Nachteil für bbKS entstehen zu lassen.

Ein Baustein ist die Transparenz in der Lieferkette zu eingesetzten Additiven bei bbKS. Es wird empfohlen die Aufnahmen von Informationen zur Additivierung von Biopolymeren in die unter Kapitel 9.1 genannten Datenbanken zu fördern. Die Entwicklung und der Einsatz von migrationsarmen Additiven bei gleichbleibender Funktionalität der biobasierten Kunststoffe sollte ebenso gefördert werden. Bei nicht-Drop-In Polymeren sollte die Erforschung der Diffusionseigenschaften von organischen Substanzen (Monomere, Additiven, NIAS, ...) gefördert werden, um einen reduzierten Aufwand bei der Konformitätsbewertung mittels "diffusion modelling" zu ermöglichen.

## 9.7 Verfügbarkeit von Informationen zu Umweltwirkungen aus der Herstellung biobasierter Kunststoffe

### 9.7.1 Ausgangslage und Handlungsbedarf

In den Gesprächen der Autoren mit dem Lebensmitteleinzelhandel (LEH) wurde deutlich, dass die Verfügbarkeit von Informationen mit Umwelt- und Nachhaltigkeitsbezug zu biobasierten Kunststoffverpackungen und den zu ihrer Herstellung verwendeten Werkstoffen große Relevanz in die Entscheidungsfindung für oder wider biobasierte Kunststoffe haben kann. Mit dem Biokunststoff-Tool der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau (AÖL) wurde bereits ein erstes Instrument zur Information interessierter Kreise geschaffen. Die AÖL setzt den „Schwerpunkt dieses Internettools auf die ökologische Betrachtung des Verpackungsmaterials, da materialspezifische Daten über M-Base oder über herstellerspezifische Informationen verfügbar sind. Durch entsprechende Hinweise

werden Stärken und Schwächen eines Verpackungsmaterials sowie die bereits bestehenden Anwendungsfelder benannt.“<sup>17</sup>

Andererseits beklagen Vertreter des Handels weiterhin, dass selbst auf Nachfrage bei Lieferanten nur pauschale und nicht ausreichend detaillierte Informationen bereitgestellt würden, beispielsweise bezüglich Ökobilanzen der biobasierten Verpackungsprodukte oder Ökoprofilen (Ökoinventaren) der verwendeten biobasierten Kunststoffe.

Derzeit genügt nur das regelmäßig aktualisierte PLA-Ökoprofil von Natureworks sowie mit Abstrichen der von Braskem bereitgestellte Inventardatensatz zu greenPE den Ansprüchen einer transparenten und in breiten Fachkreisen akzeptierten Inventarerstellung und Dokumentation.

Es braucht daher dringend aktuelle, wissenschaftlich belastbare und methodisch konsistente Ökoprofile für die wesentlichen für den Lebensmittelsektor in Frage kommenden biobasierten Kunststoffe.

### 9.7.2 Handlungsempfehlung und zu erreichendes Ziel

Es wird das Aufsetzen eines Forschungsvorhabens zur Erstellung von Ökoprofilen oder vergleichbaren Datenformaten empfohlen. Um dem Sachverhalt gerecht zu werden, dass hinter jedem biobasierten Kunststofftyp extrem wenige Hersteller stehen (zum Teil nur ein einziger), empfehlen die Autoren generische Datensätze zu erstellen, die jedoch eng mit den Herstellern abgestimmt werden. Die Daten sollten zudem in einer Form verfügbar sein, die Abschätzungen der Auswirkungen von zukünftigen technischen Optimierungen sowie durch die Verwendung von Reststoffen ermöglicht.

Konkret sollten generische Cradle-to-Gate Datensätze zur Herstellung von bbPE, bb30-PET, PLA, PLA/PBAT-Blends und PLA-Stärke-Blends – im Idealfall ergänzt um PEF, bb100-PET und PHA erstellt werden. Methodisch sollten die Ökoprofile mit den gängigen Leitlinien (ISO 14040/44, ISO/TS 14067, Ökobilanzmethodik des Umweltbundesamts, Product Environmental Footprint (EU)) vergleichbar sein. Es sollte auch ein Abgleich mit der Methodik von PlasticsEurope für die petrochemischen Ökoinventare erfolgen.

Hilfreich wäre es, wenn in einem solchen Vorhaben auch Bewertungshilfen (z.B. über die Priorisierung von Wirkungskategorien oder deren Einordnung im gesellschaftlichen Kontext) erarbeitet werden, die bei der Gegenüberstellung der Umweltwirkungsprofile fossiler und biobasierter Kunststoffe unterstützend angewendet werden können.

## 9.8 Verfügbarkeit von Informationen zu „Sustainable Sourcing“

### 9.8.1 Ausgangslage und Handlungsbedarf

Da die Herstellung biobasierter Kunststoffe vorerst weiterhin auf (globaler) Anbaubiomasse als Rohstoff beruhen wird, ist eine positive Marktstrategie ohne eine Auseinandersetzung mit der Diskussion um eine Flächenkonkurrenz mit der Lebensmittelerzeugung und den sozio-ökonomischen Bedingungen in bestimmten Lieferländern nicht denkbar. Derzeit stellen nur Natureworks (*Ingeo* PLA), Braskem (*I'm green* biobasiertes PE) sowie Novamont (bezogen auf den Stärkeanteil in *Mater-Bi*) – also

<sup>17</sup> <http://biokunststofftool.aeel.org/index.php?id=23>

Hersteller, die bereits in nennenswerten Dimensionen produzieren – jährlich aktualisierte Nachhaltigkeitszertifikate für die komplette Lieferkette aus. Alle anderen kleineren Hersteller sind meist weit von diesen für die KS-Industrie immer noch kleine Produktionsmaßstäbe entfernt.

Im Kontext der von BMEL/FNR geförderten Aktivität INRO<sup>18</sup> wurde nach einem Ansatz gesucht, der es der biobasierten Kunststoffbranche erleichtern würde, Nachhaltigkeitszertifikate zu erwerben. Seitens der beteiligten Industrie wurde jedoch immer wieder auf die damit verbundenen (zu hohen) Kosten hingewiesen. Diese Kosten würden den sowieso schon vorhandenen Kostennachteil biobasierter Kunststoffe weiter erhöhen, da der Handel nicht bereit wäre diese Kosten mitzutragen. Nachhaltigkeitsanforderungen an die Rohstoffbeschaffung lassen sich ungleich leichter durchsetzen, wenn eine gesetzgeberischer Rahmen den Markt entsprechend reguliert bzw. Anreize schafft (s. Biomasse im Energiebereich).

### 9.8.2 Handlungsempfehlung und zu erreichendes Ziel

Mit dem Ziel, zumindest grundlegende Informationen bezüglich der Nachhaltigkeit von biobasierten Kunststoffen bereitzustellen, empfehlen die Autoren ein Mindestformat für Informationen zur Lieferkette zu definieren, mit dem wenigstens die grundlegenden Transparenzansprüche des Handels und der Endverbraucher bedient werden könnte (siehe dazu auch 9.4). Zu klären gilt es, wie ein solches Format ohne Vorlage eines anerkannten Nachhaltigkeitszertifikats akzeptiert wird und auch, dass keine Widersprüche zu bestehenden Nachhaltigkeitszertifikaten entstehen. Des Weiteren ist bei der Definition des Mindestformats das Kommunikationsformat nach EN 16935:2017: Bio-based products - Requirements for Business-to-Consumer communication and claims zu berücksichtigen. Es ist zu prüfen inwieweit die dabei erhaltenen Informationen auch mit Daten aus dem ebenfalls von BMEL/FNR geförderten GRAS-Tool<sup>19</sup> verknüpft werden können.

Konkret sollte ein Dokumentationsformat erarbeitet werden, das die für die Entscheider im Handel wichtigen Fragen bzgl. der nachhaltigen Bereitstellung von biobasierten Kunststoffen beantwortet, ohne jedoch den Weg der Zertifizierung beschreiten zu müssen: eine Art „Nachhaltigkeitsnachweis Light“. Für alle für den Lebensmittelsektor in Frage kommenden biobasierten Kunststoffe sollte ein Mindestmaß an Informationen über die Nachhaltigkeit der Lieferkette vorliegen. Diese Informationen erfüllen einerseits die Transparenzanforderungen des Handels und der Endverbraucher, führen andererseits aber nicht zu unverhältnismäßig hohen Zusatzkosten bei Herstellern.

Alle Überlegungen zum nachhaltigen Sourcing sollten in enger Verbindung mit gesetzgeberischen Maßnahmen und Zielen entwickelt und etabliert werden (s.a. VerpackG § 9.5.). Dabei sollte auch einbezogen werden, wie analoge Forderungen für fossil-basierten Kunststoffe einbezogen werden können.

---

<sup>18</sup> <http://www.inro-biomasse.de>

<sup>19</sup> <https://www.gras-system.org>

## 9.9 Stärkere Einbindung des LEH bei Entwicklung und Markteinführung neuer Verpackungslösungen

### 9.9.1 Ausgangslage und Handlungsbedarf

Der Lebensmitteleinzelhandel (LEH) ist eine entscheidende Schnittstelle für den Marktzugang biobasierter Kunststoffverpackungen. Die Gespräche der Autoren mit Vertretern des LEH zeigten, dass dort verstärkt über den Einsatz biobasierter Kunststoffe nachgedacht wird. Jedoch müssen neue Verpackungslösungen auf Basis biobasierter Kunststoffe mit den Entscheidungskriterien und -abläufen der einzelnen Handelsunternehmen kompatibel sein.

### 9.9.2 Handlungsempfehlung und zu erreichendes Ziel

Es wird daher die Durchführung eines „Planspiels“ zur Etablierung von biobasierten Kunststoffverpackungen im LEH empfohlen. Das Planspiel sollte als Projekt aufgesetzt werden, mit einer vertraglichen Einbindung der Teilnehmenden und entsprechenden Vergütungen für den Aufwand, um eine Verbindlichkeit sicherzustellen.

Konkret sollen Vertreter des LEH sowie der gesamten Lieferkette inklusive der Entsorger zur Teilnahme an dem Planspiel gewonnen werden. Es sollen drei moderierte Workshops stattfinden und entsprechende Arbeitsmaterialien vorbereitet werden. Das Planspiel soll die Akteure in einen offenen Dialog miteinander bringen sowie Erkenntnisse liefern, welche Schritte seitens der Akteure notwendig sind, um die Marktpräsenz von biobasierten Kunststoffen für Lebensmittelverpackungen zu steigern und inwiefern hier die Politik (BMEL) durch gezielte Maßnahmen unmittelbar aber auch strategisch unterstützend wirken kann. Durch die Zusammenarbeit produzieren Hersteller maßgeschneiderte Verpackungslösungen nach aktuellstem wissenschaftlichem Stand, die den bestmöglichen Schutz für Lebensmittel liefern, den LEH zufrieden stellen und eine schnelle Markteinführung erfahren. Auch Fragen der Entsorgung werden bereits bei allen Schritten berücksichtigt.

# 10 Fazit und Ausblick

---

In der vorliegenden Studie wurden die aktuellen Marktverhältnisse, erkennbare Hemmnisse sowie mögliche Handlungsfelder für biobasierte Kunststoffe im Einsatz als Verpackung für Lebensmittel herausgearbeitet. Dabei wurden alle für die Marktakteure relevanten Aspekte einbezogen. So wurden die technofunktionalen Anwendungsmöglichkeiten im Vergleich zu fossilen Kunststoffen aufgezeigt und mit bereits existierenden Verpackungsbeispielen aus dem deutschen sowie außerdeutschen Lebensmittelhandel hinterlegt bzw. anhand von ausgewählten Fallbeispielen vertieft analysiert. Ebenso wurden die Randbedingungen der verbraucherrechtlichen Zulassung beschrieben und eine Einordnung biobasierter Kunststoffverpackungen mit Blick auf wesentliche Umwelt- und Nachhaltigkeitsanforderungen vorgenommen.

Die möglichen Auswirkungen des während der Projektarbeiten verabschiedeten und ab 2019 gültigen Verpackungsgesetzes auf Verpackungen konnten nur angerissen werden. Ob und für welche Typen biobasierter Kunststoffe eher Vorteile oder eher Nachteile erwartet werden können, muss derzeit offen bleiben. Deutlich ist bereits, dass der wichtige § 21 VerpackG in diesem Zusammenhang zwar einen Ansatz zur Förderung in Aussicht stellt, dieser ist jedoch mit sehr vielen Fragen und Unsicherheiten behaftet. Soll daraus ein Instrument zur Förderung von Rezyklat- und biobasierten Anteilen geschmiedet werden, sind weitergehende konkretisierende Regelungen erforderlich. Allein dazu wären eine eigene Studie und der enge Austausch mit den wichtigsten Akteuren unbedingt wünschenswert. Generell stellt sich aber die Frage, ob man biobasierte Verpackungen bzw. Kunststoffe nicht besser mit Instrumenten fördert, die anders ausgerichtet sind und eben nicht bei Verwertungsfragen nach Lebensende sondern bei der Herstellung und Nutzung ansetzen. Dies war kein Gegenstand des Auftrags, es soll aber an entsprechende Möglichkeiten erinnert werden. Den Kreislauf mit erneuerbarem Kohlenstoff oder Rezyklaten in der Praxis zu schließen, hat etwas mit Produktdesign und entsprechender Produktpolitik zu tun - Abfallwirtschaft ist dabei nur ein Baustein im Gesamtgefüge.

Im Verlauf des Projekts wurden von den Projektpartnern zahlreiche Gespräche mit den verschiedensten Marktakteuren geführt. Dabei entstand der Eindruck, dass insbesondere der Informationsfluss über die Schnittstellen entlang der Wertschöpfungsstufen hinweg noch verbesserungsfähig ist. Dieses Thema wurde auch bei einem Workshop, der im Rahmen des Projekts stattfand, aufgegriffen. Der Einladung zum Workshop in Berlin waren zahlreiche Vertreter entlang der Wertschöpfungskette – von der Herstellung biobasierter Kunststoffe bis zum Handel – gefolgt. Das Interesse daran war so groß, dass Etlichen aus Gründen des Platzes und der Diskussionseffizienz leider die Teilnahme verweigert musste. Auf dem Workshop wurden zum einen die bis dahin erarbeiteten Projektergebnisse vorgestellt. Zum anderen bezweckte der Workshop eine stärkere Vernetzung der beteiligten Akteure bzw. sollte ein Verständnis dafür gewonnen, welche Maßnahmen zur Verbesserung von Vernetzung und Kommunikation beitragen könnten. Etliche Teilnehmer wünschten sich klare (gesetzliche) Vorgaben, damit man mehr oder weniger fertig entwickelte Produktlösungen und Konzepte sicher umsetzen könne. Die Verunsicherung der Akteure im als "besonders schwierig" empfundenen deutschen Markt ist dabei als primär als eine Folge unklarer, oft als hemmend empfundenen Rahmenbedingungen, negativer und nicht-gelösten Themendarstellungen (damit verbunden Imagefragen) und medialer Attacken in der Vergangenheit bezeichnet worden. Dabei entstand der Eindruck, dass es



sogar mehr softe Hemmnisse als tatsächlich unlösbare technische Hürden gäbe, die die eher schwache Marktentwicklung charakterisieren und begründen. Das Potenzial ist angesichts des bisher Erreichten um Dimensionen größer. Es wird von vielen angesprochenen Akteuren - großen wie kleinen Unternehmen - als solches beschrieben und mit erheblichem Interesse verfolgt. Biobasierte Kunststoffe werden potenziell als Innovation und Beitrag zur Nachhaltigkeit verstanden. Am Ende jedoch überwiegen derzeit die Hemmungen, höhere Kosten und schwierig zu kalkulierende Risiken bei der Markteinführung oder Übertragung aus Skala zu tragen.

Im Bericht finden sich auch zahlreiche Handlungsempfehlungen zur Bearbeitung bestehender Defizite, die sich vor allem - aber nicht nur - an die Politik richten und in die Erkenntnisse aus dem Workshop eingeflossen sind. Der vorliegende Bericht liefert somit ein Grundverständnis zu den Chancen und Perspektiven biobasierter Kunststoffverpackungen im deutschen Lebensmittelmarkt in Umfang und Detailtiefe, wie sie nach Kenntnis der Autoren einem breiteren Publikum bislang nicht verfügbar waren. Dieses Gesamtbild soll im Folgenden mit einem kurzen Ausblick auf mögliche weitere Entwicklungen und die damit verbundenen Herausforderungen abgerundet werden.

### **Marktpotenzial**

Der bereits im Kapitel 2.2 angesprochene an etwa 50 Unternehmen versendete Fragebogen (s. Anhang 2) enthielt auch Fragen zur Einschätzungen der zukünftigen Marktentwicklung biobasierter Kunststoffverpackungen für Lebensmittel in Deutschland. Die (wenigen) Antworten lassen darauf schließen, dass die Marktchancen eher in europäischen Nachbarländern wie Österreich, Frankreich oder den Niederlanden als in Deutschland selbst gesehen werden.

Die Rückmeldungen beim Workshop ergaben einen deutlich positiveren Eindruck. Demnach gibt es im Lebensmitteleinzelhandel eine grundsätzliche Bereitschaft, zukünftig verstärkt biobasierte Kunststoffe einzusetzen; und zwar prinzipiell überall da, wo heute schon konventionell Kunststoffe eingesetzt werden bzw. konventionelle Kunststoffe ohne techno-funktionelle Einbußen ersetzt werden können. Besonders häufig genannt wurden folgende mögliche Einsatzbereiche:

- Frische Produkte (Obst, Gemüse, etc.) und Service-Verpackungen
- Premium bzw. besonders hochwertige Produkte im Bereich Fleisch und Wurst sowie Biolebensmittel ganz allgemein
- Getränke
- Papierbeschichtungen
- Anwendungen, bei denen besondere Funktionalitäten wie etwa eine Mineralöl-Barriere (z. B. CA Folien) oder höhere Wasserdampfdurchlässigkeit (z. B. PLA-Folien) benötigt werden

Teilnehmer des Workshops verwiesen darauf, dass viele Hersteller von konventionellen Kunststoffverpackungen parallel auch biobasierte Alternativlösungen im Angebot haben. Zudem habe der ein oder andere Lebensmittelproduzent bereits biobasierte Verpackungslösungen für ausgewählte Eigenprodukte entwickelt und getestet.

Eine Marktprognose ist anhand der vorliegenden Informationen nicht möglich. Das bedeutet aber nicht, dass man auf jegliche Überlegungen hierzu verzichten müsste. So liegt es auf der Hand, dass die Marktpotenziale für biobasierte Drop-In Kunststoffe deutlich höher sind als die der strukturell neuartigen biobasierten Kunststoffe.

Erstere könnten praktisch sofort anstelle der fossilen Pendanten eingesetzt werden. Für biobasiertes PET ergäbe sich damit ein technisches Potenzial zur Substitution von fossilem PET von über 400 kt

überwiegend im Getränkebereich. Für biobasiertes PE schätzen die Autoren das technische Potenzial zur Substitution von fossilem PE auf ca. 150 kt im deutschen Lebensmittelmarkt.

Für die strukturell neuartigen biobasierten Kunststoffe hängt das Substitutionspotenzial viel stärker von den spezifischen Verpackungsanforderungen der jeweiligen Lebensmittel bzw. Lebensmittelgruppen ab. Im Kapitel zu den Fallbeispielen (Kap. 8) wurden – sofern möglich – entsprechende Einschätzungen gemacht. So wurden dort an den Beispielen Molkereiprodukte und Frischfleisch aufgezeigt, dass der nötige Produktschutz ebenso beim Einsatz von PLA generiert werden kann und dadurch die dort bislang eingesetzten konventionellen Kunststoffe, nämlich PS- und PP-Becher einerseits sowie PET- und PP-Trays im Fall von Frischfleisch ersetzt werden könnten. Für PLA schätzen die Autoren das technische Potenzial zur Substitution fossiler Kunststoffe auf über 80 kt im deutschen Lebensmittelmarkt.

Unter dem Gesichtspunkt der Mineralöl-Barriere erscheinen Folien aus Celluloseestern aktuell als interessante Verpackungslösung, das Mengenpotenzial halten die Autoren insgesamt jedoch für sehr begrenzt.

Im Workshop wurde auch diskutiert, ob und ggf. wo bioabbaubare Kunststoffe einen Platz im deutschen Markt für Lebensmittelverpackungen haben könnten. Dabei wurde vor allem eine mögliche Anwendung in Nischen genannt, wo die Bioabbaubarkeit einen spezifischen Nutzen erfüllen könnte, wie z. B. bioabbaubare Becher zum Einsatz auf Sonderevents mit getrennter Entsorgung, bioabbaubare Kunststoffbeschichtungen von Papier oder zur Entsorgung von mit Nahrung verunreinigten Verpackungen. Allerdings sind hier schon alleine aufgrund der abfallrechtlichen Vorgaben in Deutschland keine nennenswerten Einsatzpotenziale ersichtlich.

### **Schlüsselfaktoren für die Marktentwicklung**

Im Workshop wurden folgende Bereiche genannt, bei denen eine positive Positionierung von biobasierten Kunststoffverpackungen als Schlüsselfaktoren für die weitere Marktentwicklung angesehen werden können:

- Ökologie und Nachhaltigkeit
- Konkurrenz zu Nahrungsmitteln
- Kompatibilität mit dem VerpackG
- Gesellschaftliche Akzeptanz
- Anwendungstauglichkeit
- Kosten

Die ersten vier Punkte hängen eng miteinander zusammen. Lebensmittelverpackungen aus biobasierten Kunststoffen sind, sofern sie rezyklierbar sind bzw. tatsächlich auch in die werkstofflichen Verwertungsströme gelangen, nach Einschätzung der Autoren gesamtökologisch in der Regel gleichwertig zu den fossilbasierten. Den Marktakteuren fehlt es hier jedoch an ausreichenden Belegen, da nur wenige belastbare (d. h. nach ISO 14040ff. durchgeführte und kritisch begutachtete) Ökobilanzstudien vorliegen. Da aktuell fast ausschließlich Agrarprodukte als biogene Rohstoffe verwendet werden, wird häufig auch die mögliche Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion problematisiert. Zumal nur für wenige biobasierte Kunststoffe Informationen zur Lieferkette und deren Nachhaltigkeit zur Verfügung gestellt werden. Dies gilt aber im Übrigen auch für alle fossilbasierten Kunststoffe. Ein gravierender Unterschied in der Wahrnehmung beruht darauf, dass biobasierte Kunststoffe in Sachen Ökologie weitaus stärker be- und hinterfragt werden, als konventionelle Kunststoffprodukte.

Dies ist einerseits nachzuvollziehen, weil sie häufig ökologische Themen und Vorteile im Marketing für sich reklamieren. Andererseits gerät es zum Hemmnis, weil nicht optimierte kleine oder allererste Produktionsanlagen mit längst etablierten Anlagen im Millionentonnenmaßstab konkurrieren müssen. Während die ökobilanzielle Datenbasis der fossilen Kunststoffe aus vielen unterschiedlichen Quellen abgeleitet und anonymisiert werden kann, repräsentiert der Biokunststoffhersteller ein Pionierschicksal und steht im übertragenen Sinne "nackt" da. Mehr Entwicklungsspielraum und eine "Basisausstattung ökologischer Leitplanken" würden hier helfen, um der festgestellten großen Unsicherheit zu begegnen. Diese zu entwickeln, entsprechend zu bewerben und möglichst in Gesetzen anzuwenden, wäre für den Transitionsprozess von fossilen zu erneuerbaren Rohstoffen hilfreich.

Die Frage nach der Kompatibilität biobasierter Kunststoffverpackungen mit den Anforderungen des Verpackungsgesetzes war eines der am meisten diskutierten Themen auf dem Workshop. Dabei wurde deutlich, dass sich die Marktakteure dringend mehr Orientierung wünschen, insbesondere konkrete Regelungen zur Bemessung der Recyclingfähigkeit biobasierter Kunststoffe. Für den Handel sind Verpackungen aus biobasierten Kunststoffen generell dann von Interesse, wenn sie zur Reduktion von Verpackungsmaterial und zur Optimierung der Abfallverwertung beitragen können.

Die genannten Aspekte sind auch entscheidend für die gesellschaftliche Akzeptanz biobasierter Kunststoffe. Solange deren Sinnhaftigkeit umstritten ist, fehlt nicht nur dem LEH die Richtschnur für die Einbeziehung biobasierter Kunststoffverpackungen in eine nachhaltige Verpackungsstrategie.

Die Anwendungstauglichkeit biobasierter Kunststoffe ist selbstredend eine Grundvoraussetzung für deren Einsatz. Sie ist jedoch für jede individuelle Verpackungsanwendung sicherzustellen. Hier fehlt es kleineren Unternehmen häufig an den (finanziellen und technischen) Möglichkeiten entsprechende Test- bzw. Entwicklungsreihen umzusetzen.

Die Bedeutung des Materialpreises für die Entscheidungsfindung wurde seitens der Packmittelhersteller bzw. der Verpacker als kritischer Punkt genannt, jedoch von den Vertretern des Handels relativiert. Demnach seien höhere Kosten akzeptabel, wenn ein klarer Handlungsrahmen dazu vorhanden ist, ob und welche biobasierten Kunststoffe politisch und gesellschaftlich akzeptiert sind.

### **Unterstützende Maßnahmen**

Aus der vorliegenden Studie wird mehr als deutlich, dass biobasierte Kunststoffverpackungen im deutschen Lebensmittelhandel derzeit angesichts eines geschätzten 10.000 Tonnenmarktes nahezu unsichtbar sind. Können unterstützende Maßnahmen seitens der Politik dazu beitragen, dies zu verändern?

Jedenfalls äußerten die Workshop-Teilnehmer eine Reihe von Vorschlägen bzw. Wünschen bezüglich der Umsetzung des Verpackungsgesetzes in die Praxis:

- Belastbare Vorgaben zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und positive Lenkung über die Gestaltung der Beteiligungsentgelte nach § 21 VerpackG
- Praxistaugliche Einordnung und Behandlung biobasierter Materialien in der Entsorgungsinfrastruktur
- Unterstützung bei der Entwicklung von Entsorgungswegen für neuartige biobasierte Kunststoffverpackungen inkl. Kompostierung, Vergärung und thermischer Verwertung
- Erforschung des möglichen Beitrags biobasierter Kunststoffe für das ökologische Design von Lebensmittelverpackungen

Auch konkrete finanzielle Anreize bzw. eine Besserstellung von biobasierten Kunststoffen wurden vorgeschlagen:

- Steuern auf konventionelle/herkömmliche Kunststoffverpackungen
- Quotenvorgaben dahingehend, dass Agrarrohstoffe vor einer möglichen energetischen Nutzung zunächst eine stoffliche Nutzung durchlaufen. Nachweis ggf. über Zertifikate.
- Regulative Maßnahmen zur Förderung des Einsatzes von bioabbaubaren Kunststoffen für kurzlebige Produkte
- C bzw. CO<sub>2</sub>-Besteuerung

Beim Thema Abgaben und Besteuerung gab es allerdings ein gemischtes Meinungsbild.

### Nächste Schritte

Die auf dem Workshop von den Marktteilnehmer geäußerte grundsätzliche Bereitschaft, vermehrt biobasierte Kunststoffverpackungen einzusetzen, sowie die in dem vorliegenden Projekt erarbeiteten Grundlagen bieten ein guten Ansatzpunkt für eine Fortführung des Dialogs und einen Ausbau des Informationstransfers zwischen allen Akteuren entlang der Wertschöpfungskette.

Dabei gilt es, die zuvor genannten Schlüsselfaktoren aufzugreifen, wobei versucht werden sollte, diesen Prozess möglichst praxisnah zu gestalten. Die nachfolgenden drei Maßnahmen wären aus Sicht der Autoren dafür geeignet:

- Dialogforen  
Diese sollen dazu dienen,
  - den erheblichen Klärungsbedarf hinsichtlich der gesetzlichen Vorgaben (VerpackG, i.e. Paragraph 21, ökologische Beurteilung, abfallwirtschaftliche Behandlung) aufzuarbeiten, sowie
  - Ansätze und Strategien zur Kommunikation (Marketing, PR) zu entwickeln.
- Leuchtturmprojekte  
Beispiele:
  - Service-Verpackungen (werden ohnehin im Restmüll entsorgt)
  - Schwierige Verbunde (können auch auf fossiler Basis nicht recycelt werden); z.B. Recyclingfähigkeit von Verbundfolien durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen.Hierzu sollte es Ausschreibungen geben.
- Planspiel  
Der Ansatz des „Planspiels“ findet sich bereits als Handlungsempfehlung im Kapitel 9.9 und ist inhaltlich dort beschrieben. Es eignet sich sehr gut, um direkt an das Projekt und den Workshop anzuknüpfen, zumal eine Reihe von Workshop-Teilnehmern Bereitschaft bekundete, an der Erarbeitung praxistauglicher Lösungen mitzuwirken.

# Abkürzungen

---

Al	Aluminium
AÖL	Assoziation ökologischer Lebensmittelhersteller e.V.
Äq.	Äquivalent
bb	biobasiert
bbKS	biobasierte Kunststoffe (Monomere (teilweise) auf biologischer Basis)
bbKV	Lebensmittelverpackung(en) aus biobasiertem Kunststoff
BDE	Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e.V.
bio- (Vorsilbe)	Kunststoff mit biobasiertem Anteil
BMEL	Bundesministerium für Ernährung & Landwirtschaft
CA	Zelluloseacetat (Cellulose Acetate)
CAS-Nr.	Stoff-Registrierungsnummer des Chemical Abstract Service
CD	Zellulosederivate
CH	Zellulosehydrat
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
DUH	Deutsche Umwelthilfe e.V.
E	Elastizitätszahl
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authorisation)
EN	Europäische Norm
EPS	Expandiertes Polystyrol
EVOH	Ethylvinylalkohol
F&E	Forschung und Entwicklung
fbKS	fossil basierte Kunststoffe (Monomere auf fossiler Basis)
FCM-Nr.	Stoff-Registrierungsnummer der „Unionsliste zugelassener Stoffe als Lebensmittelkontaktmaterialien“ (Food Contact Materials)
FDA	Lebensmittelüberwachungs- und Arzneimittelzulassungsbehörde der USA (Food and Drug Administration)
FKUR	FKuR Kunststoff GmbH, Willich
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
GVM	GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH, Mainz
GVO	Genetisch Veränderte Organismen
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
ISO	Internationale Organisation für Normung (International Organization for Standardization)
k. A.	keine Angaben
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KS	Kunststoff(e)
KS-LMVP	Kunststoff-Lebensmittelverpackung(en)

kt	Kilotonnen bzw. 1.000 t
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
LM	Lebensmittel
LMVP	Lebensmittelverpackung(en)
LVP	Leichtstoffverpackungen (d.h. Aluminium, Weißblech, Kunststoff, Verbunde)
MAP	Schutzgasverpackungen (Modified Atmosphere Packaging)
MEG	Monoethylenglykol
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum
MJ	Megajoule
MKS	Mischkunststoff
MPa	Megapascal
MVA	Müllverbrennungsanlage
MW	Mehrweg
NIAS	Unbeabsichtigt eingebrachte Stoffe (Non-Intentionally Added Substances)
N-LMVP	Nicht-Lebensmittelverpackung(en)
O <sub>2</sub>	Sauerstoffgas
OP	Sauerstoffdurchlässigkeit (Oxygen Permeability)
PA	Polyamid
PBAT	Polybutylenadipat-Co-Terephthalat
PBS	Polybutylensuccinat
PBT	Polybutylenterephthalat
PCL	Polycaprolacton
PE	Polyethylen
PEF	Polyethylenfuranoat
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte (Polyethylen high Density), teilweise auch HDPE
PE-LD	Polyethylen niederer Dichte (Polyethylen low density), teilweise auch LDPE
PE-LLD	Lineares Polyethylen niederer Dichte (Polyethylen linear low density), teilweise auch LLDPE
PEN	Polyethylennaphthalat
PES	Polyethylensuccinat
PET	Polyethylenterephthalat
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PLA	Polymilchsäure/Polylactat
PM10	Feinstaubpartikel mit 10 Mikrometern Durchmesser (Particulate Matter)
PMMA	Polymethylmethacrylat
PO	Polyolefin
PP	Polypropylen
PPA	Hilfsstoffe zur Kunststoffpolymerisation (Polymerisation Production Aids)
PP-BO	Biaxial orientiertes Polypropylen
PPK	Papier-Pappe-Karton-Verbund
PP-VB	Papier/Pappe-Verbund
PS	Polystyrol
PTA	Purified Terephthalic Acid, Terephthalsäure
PTT	Polytrimethylenterephthalat

PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
PVdC	Polyvinylidenchlorid
PVOH	Polyvinylalkohol
r- (Vorsilbe)	Kunststoff mit Recyclatanteil
r.F.	Relative (Luft)Feuchtigkeit
RSB	Round Table on Sustainable Biomaterials
SiOx	Siliziumoxid
SML	Spezifische Migrationsgrenzwerte (Specific Migration Limits)
STP	Standardtemperatur und -druck (Standard Temperature and Pressure)
TPS-Blends	Thermoplastische Stärke Blends
UBA	Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
VB	Verbund
VerpackG	Verpackungsgesetz
VerpackV	Verpackungsverordnung
VP	Verpackung
VV	Erhebung des Statistischen Bundesamtes über das Einsammeln von Verkaufsverpackungen beim Privaten Endverbraucher
WVTR	Wasserdampfdurchlässigkeit (Water Vapour Transmisstion Rate)
WWF	World Wildlife Fund for Nature
$\sigma_{\max}$	Zugfestigkeit

# Literaturverzeichnis

---

- [Barlow, C. Y., Morgan, D. C. 2013] Polymer film packaging for food: An environmental assessment. *Resources, Conservation and Recycling* 78: 74-80.
- [Behr, Dr. H.-C., Van den Berg, W., Wolthuis, Drs. J. 2016] Frische Convenience in Deutschland - Warum kaufen deutsche Verbraucher weniger Frische-Convenience Produkte im Vergleich zu Verbrauchern in europäischen Nachbarländern ein?.
- [Belitz, H. D., Grosch, W., Schieberle, P. 2007] *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*, Springer Berlin Heidelberg.
- [Benetto, E., Jury, C., Igos, E., Cartona, J., Hilda, P., Vergne, C., Di Martino, J. 2015] Using atmospheric plasma to design multilayer film from polylactic acid and thermoplastic starch: a screening Life Cycle Assessment. *Journal of Cleaner Production* 87: 953-960.
- [Bertmann, K. 2017] Recycling beginnt beim Verpackungsdesign. Vortrag von Klaus Bertmann (Lobbe Entsorgung West GmbH & CoKG) auf der SOLPACK 2.0; Konferenz für nachhaltige Verpackungen, 8./9. März 2017, München.
- [BMEL 2013] Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Wachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- [Bruder, J., Kelterborn, U. 2016 ] Jahresbericht 2015-16, Industrievereinigung Kunststoffverpackungen.
- [Bugnicourt, E., Schmid, M., McNerney, O., Wild, F. 2010] WHEYLAYER: The Barrier Coating of the Future. *Coating International*. 43: 7-10.
- [Carus, M., Raschka, A., Fehrenbach, H., Rettenmaier, N., Dammer, L., Köppen, S., Thöne, M., Dobroschke, S., Diekmann, L., Hermann, A., Hennenberg, K., Essel, R., Piotrowski, S., Detzel, A., Keller, H., Kauertz, B., Gärtner, S., Reinhardt, J. 2014] Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse (Langfassung), Umweltbundesamt.
- [Chen, L., Pelton, R. E. O., Smith, T. M. 2016] Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. *Journal of Cleaner Production* 137: 667-676.
- [Christiani 2017] Joachim Christiani (HTP Ingenieurgesellschaft): Stand der Technik und Herausforderungen für einzelne Verpackungsmaterialien. Vortrag auf der AGVU-bvse-BDE Konferenz: Recycling und Recyclingfähigkeit bei Verpackungen – Das neue VerpackG in der Praxis. Berlin, Dezember 2017 [Consultic 2016] Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015 – Kurzfassung. Download unter: <http://www.plasticseurope.org>.
- [Consultic 2016] Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015 – Kurzfassung. Download unter: <http://www.plasticseurope.org>.
- [cyclos-HTP 2017] Institut cyclos-HTP. Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit. Anforderungs- und Bewertungskatalog des Institutes cyclos-HTP zur EU-weiten Zertifizierung, Stand August 2017. Download unter [http://cyclos-htp.de/fileadmin/user\\_upload/Anforderungs-\\_und\\_Bewertungskatalog\\_Version\\_3.5\\_Stand\\_03.08.2017.pdf](http://cyclos-htp.de/fileadmin/user_upload/Anforderungs-_und_Bewertungskatalog_Version_3.5_Stand_03.08.2017.pdf).



- [Danone 2017] Verpackung aus nachwachsenden Rohstoffen. <http://stage.danone.de/danone/unsere-ueberzeugungen/nachhaltigkeit/intakte-umwelt/verpackung/nachwachsende-rohstoffe/index.php>, Danone GmbH.
- [Detzel, A., Kauertz, B., Derreza-Greven, C., Reinhardt, J., Kunze, S., Krüger, M., Fehrenbach, H., Volz, S. 2012] Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH im Auftrag des Umweltbundesamt Dessau-Roßlau.
- [Detzel, A. 2015] Biokunststoffe im Blickpunkt der Nachhaltigkeitsbewertung. Vortrag im Rahmen der AÖL Biokunststoff-Verpackungstagung, Frankfurt, 21.1.2015.
- [FNR 2015] Hintergrundinformation zu Biokunststoffen. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow.
- [Garrido, T., Etxabide, A., Leceta, I., Cabezudo, S., De la Caba, K., Guerrero, P. 2014] Valorization of soya by-products for sustainable packaging. *Journal of Cleaner Production* 64: 228-233.
- [Geyer, M., Herppich, W., Herold, B., Schlüter, O. 2006] Obst und Gemüse nach der Ernte. aid. Bonn, aid infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e. V. 1495/2006.
- [GVM 2014] Entwicklung der Effizienz von Kunststoffverpackungen in Deutschland 1991 bis 2013. GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH Mainz, Vortrag November 2014. Download unter: <http://mitglieder.kug.vdma.org/>.
- [Hädrich, G., Bidlingmaier, W., Westphalen, C., Ringberg, R., Buschbeck, S., Werner, C. 2012] Handlungsbedarf zur Konkretisierung nachhaltiger Verwertungsstrategien für Produkte aus Biopolymeren. Knoten Weimar 2012 gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- [IfBB 2015] Biopolymers - facts and statistics 2015. <http://ifbb.wp.hs-hannover.de/wp-content/uploads/2015/11/IfBB-Biopolymers-facts-and-statistics-edition-2-2015-e-version.pdf>, Institute for Bioplastics and Biocomposites, Hannover.
- [ifeu 2017a] Schätzung des ifeu auf Basis von [GVM 2014].
- [IK 2016b] daten & fakten „Ressourceneffizienz von Kunststoffverpackungen“, Industrievereinigung, Kunststoffverpackungen.
- [ISCC 2017] ISCC PLUS - Übersicht. Zugegriffen 18.04.2017, <http://www.iscc-system.org/iscc-system/iscc-plus/>.
- [Kauertz, B., Detzel, A., Volz, S. 2011] Ökobilanz von Danone Activia-Verpackungen aus Polystyrol und Polylactid, Danone GmbH.
- [Kaumanns, S. C., Lauber, U. 2016] Rohstoffe für Deutschland. Bedarfsanalyse für Konsum, Investition und Export auf Makro- und Mesoebene (UBA-Texte 62/2016), Umweltbundesamt.
- [Krüger, M., Kauertz, B., Detzel, A. 2009] Life Cycle Assessment of food packaging made of Ingeo™ biopolymer and (r)PET. Addendum to the LCA study on food packaging made of NatureWorks® biopolymer and alternative materials [2006], ifeu-Institut.
- [Lack-Ersöz, N., Neudecker, M. 2017] Biowerkstoffe im Fokus: Ergebnisdatenbank zur Verarbeitung von Biokunststoffen. Biowerkstoffe im Fokus. <http://ifbb.wp.hs-hannover.de/informationen-zu-biokunststoffen/webinare/>, IfBB, Institute for Bioplastics and Biocomposites der Hochschule Hannover.
- [Lane, J. 2016] The renewable plastic bottle goes commercial: BASF and Avantium to establish JV for biobased plastics, chemicals, <http://www.biofuelsdigest.com>.

- [Langowski, H. C. 2008] Seminar Permeation durch Packstoffe - Permeation durch Lebensmittelverpackungen, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung.
- [Langowski, Prof. Dr. H.-C., Muranyi, I., Böhner, N., Rieblinger, K. 2016] Lichtschutzwirkung von Verpackungsmaterialien. Qualitätserhalt lichtempfindlicher Fleischwaren. Verpackungs Rundschau 8.
- [Leceta, I., Guerrero, P., Cabezudo, S., De la Caba, K. 2013] Environmental assessment of chitosan-based films. *Journal of Cleaner Production* 41: 312-318.
- [Leceta, I., Etxabide, A., Cabezudo, S., De la Caba, K., Guerrero, P. 2014] Bio-based films prepared with by-products and wastes: environmental assessment. *Journal of Cleaner Production* 64: 218-227.
- [Lorite, G. S., Rocha, J. M., Miilumäki, N., Saavalainen, P., Selkälä, T., Morales-Cide, G., Gonçalves, M. P., Pongrácz, E., Rocha, C. M. R., Totha, G. 2017] Evaluation of physicochemical/microbial properties and life cycle assessment (LCA) of PLA-based nanocomposite active packaging. *LWT - Food Science and Technology* 75: 305-315.
- [Madival, S., Auras, R., Singh, S. P., Narayan, R. 2009] Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology. *Journal of Cleaner Production* 17(13): 1183-1194.
- [Möller, M., Köhler, D. A., Moritz, S. 2016] Methoden und Hilfsmittel des Ecodesigns von Kunststoffverpackungen. [www.oeko.de](http://www.oeko.de), Öko-Institut e.V.: 85.
- [Papong, S., Malakul, P., Trungkavashirakun, R., Wenunun, P., Chom-in, T., Nithitanakul, M., Sarobol, E. 2014] Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production* 65: 539-550.
- [PlasticsEurope 2016] *Plastics – The Facts 2016*, PlasticsEurope.
- [Potting, J., Van der Harst, E. 2015] Facility arrangements and the environmental performance of disposable and reusable cups. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20(8): 1143-1154.
- [Reitz, A. 2017] Beurteilung der Recyclingfähigkeit von Kunststoffverpackungen. Vortrag von Alexander Reitz (GVM Mainz) auf der SOLPACK 2.0; Konferenz für nachhaltige Verpackungen, 8./9. März 2017, München.
- [Rettenmaier, N., Detzel, A., Keller, H., Kauertz, B., Gärtner, S., Reinhardt, J. 2014] Lebenszyklusanalysen für ausgewählte bio - basierte Produkte (Arbeitspaket 4). In: Carus, M., Raschka, A., Fehrenbach, H., Rettenmaier, N., Dammer, L., Köppen, S., Thöne, M., Dobroschke, S., Diekmann, L., Hermann, A., Hennenberg, K., Essel, R., Piotrowski, S., Detzel, A., Keller, H., Kauertz, B., Gärtner, S., Reinhardt, J. (2014): *Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse (Langfassung)*, Umweltbundesamt.
- [Rimbach, G., Nagursky, J., Erbersdobler, H. F. 2010] *Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger*, Springer Berlin Heidelberg.
- [RM 2017] Mehr Recycling ist möglich. *Recycling Magazin* 02/2017.
- [Robertson, G. L. 2013] *Food packaging principles and practice*. Boca Raton, Fla. [u.a.], CRC Press.
- [RSB 2017] About Certification. Zugriffen 18.04.2017, <http://rsb.org/certification/about-certification/>.
- [Schmid, M., Jost, V. 2016] IPI Seminar Biopolymers - Capabilities and limits in Food Packaging Applications, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung.
- [Schüler, K. 2016] *Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen 2014*. GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH, Mainz. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

[Simon, B., Amor, M. B., Földényi, R. 2016] Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: focus on the collection of post-consumer bottles. *Journal of Cleaner Production* 112: 238-248.

[Stehle, G. 1997] *Verpacken von Lebensmitteln*. Hamburg, Behr.

[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*. Wageningen Food & Biobased Research number 1722.

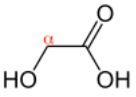
[Zhu, Y., Romain, C., Williams, C. K. 2016] Sustainable polymers from renewable resources. *Nature* 540(7633): 354-362.

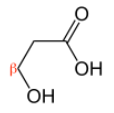
# Anhang

---

1. Rechtliche Rahmenbedingungen für biobasierte Kunststoffe gemäß Verordnung (EU) Nr. 10/2011
2. Fragebogen zur Erhebung von Marktdaten
3. Meinungsbild der Teilnehmer des Workshops am 12.3.2018

**Anhang 1:** Rechtliche Rahmenbedingungen für biobasierte Kunststoffe gemäß Verordnung (EU) Nr. 10/2011

Typ	Biobasierter Anteil	CAS	FCM-Stoff-Nr.	Lebensmittelrechtlicher Status		SML [mg/kg]	Anmerkungen
				Additiv	Monomer		
<b>Polyolefine</b>							
Polyethylene (PE)	Ethylen	74-85-1	125	nein	ja	-	
<b>Polyester</b>							
Polyethylenterephthalat (PET)	Ethylenglycol	107-21-1	227	ja	ja	30	Summengrenzwert (berechnet als Ethylenglykol) zusammen mit Diethylenglykol (FCM-Stoff-Nr. 263) und Ester von Stearinsäure mit Ethylenglykol (FCM-Stoff-Nr. 89)
	Dimethylterephthalat	120-61-6	288	nein	ja	-	
Polytrimethylterephthalat (PTT)	1,3-Propandiol	504-63-2	343	nein	ja	0,05	
	Dimethylterephthalat	120-61-6	288	nein	ja	-	
Polybutylterephthalat (PBT)	1,4-Butandiol	110-63-4	254	ja	ja	5	
	Dimethylterephthalat	120-61-6	288	nein	ja	-	
Polymilchsäure (PLA)	Milchsäure	50-21-5	99	ja	ja	-	
Polybutylensuccinat (PBS)	Bernsteinsäure	110-15-6	247	ja	ja	-	
	1,4-Butandiol	110-63-4	254	ja	ja	5	
Polyhydroxyalkanoate (PHA)	Hydroxycarbonsäure						Sind näher zu definieren  α-Hydroxycarbonsäuren: 
	α-Hydroxycarbonsäuren:						
	Citronensäure	77-92-9	139	ja	ja	-	
	Weinsäure	87-69-4	161	ja	nein	-	
	β-Hydroxycarbonsäuren:						
	3-Hydroxybuttersäure-3-	80181-31-3	744	nein	ja		

	Hydroxyvaleriansäure-Copolymer						β-Hydroxycarbonsäuren: 
	Sonstige: p-Hydroxybenzoesäure	99-96-7	190	nein	ja		
Polyethylenfurnoat (PEF)	Furan-2,5-dicarbonsäure	3238-40-2	1031	nein	ja	5	SML: Summengrenzwert ausgedrückt als Furan-2,5-dicarbonsäure (zu messen in 20 % Ethanol)  SML: Summengrenzwert (berechnet als Ethylenglykol) zusammen mit Diethylenglykol (FCM-Stoff-Nr. 263) und Ester von Stearinsäure mit Ethylenglykol (FCM-Stoff-Nr. 89)
	Oligomere und Hydrolyseprodukte mit Furan-2,5-dicarbonsäure-Einheit < 1000 Da Ethylenglykol	107-21-1	227	ja	ja	30	
Polybutylenadipat terephthalat (PBAT)	Adipinsäure	124-04-9	303	ja	ja	-	
	Dimethylterephthalat	120-61-6	288	nein	ja	-	
	1,4-Butandiol	110-63-4	254	ja	ja	5	
<b>Polyamide</b>							
PA 410	Sebazinsäure	111-20-6	260	nein	ja	-	
PA 610	Sebazinsäure	111-20-6	260	nein	ja	-	
PA 1010	Sebazinsäure	111-20-6	260	nein	ja	-	
PA 11	Amino-undecansäure	2432-99-7	443	nein	ja	5	
Polycaprolacton (PCL)	Caprolacton	502-44-3	342	nein	ja	0,05	SML: berechnet als Summe aus 6-Hydroxyhexansäure und Caprolacton
<b>Blends &amp; Compounds</b>							
Stärke & (Co-) Polyester / Polyolefine	Stärke	9005-25-8	564	ja	ja	-	Lebensmittelstärke
	(Co-) Polyester (häufig)	s.o.				-	

	PBAT) Polyolefine	s.o.					
PLA & (Co-) Polyester	PLA (Co-) Polyester (häufig PBAT)	s.o. s.o.					
Cellulose Lignin	Zellulose Lignin	9004-34-6 9005-53-2	553 -	ja -	ja -	- -	Lignin als solches in EU nicht zugelassen, aber: Holzmehl und -fasern, naturbelassen als Additiv ohne SML (Ref. Nr. 95920) Lignin befindet sich auf der FDA-Liste "Every- thing Added to Food in the United States (EAFUS)" <sup>20</sup>
<b>Sonstiges</b>							
Polyurethan (PUR)	Zuckerderivate Fettsäurederivate Diol-/Polyol- Komponenten aus Zucker oder Pflanzenöl						Sind näher zu definieren Sind näher zu definieren Sind näher zu definieren
Polyepoxide	Epichlohydrin (Glycerin oder epoxidier- te Pflanzenöle)	106-89-8	219	nein	ja	n.n.	1 mg/kg im Enderzeugnis Glycerin (CAS: 56-81-5) gelassen als Mono- mer/Additiv ohne SML. Als epoxidiertes Pflanzenöl ist nur Sojaöl, epoxi- diertes (CAS: 8013-07-8) als Additiv mit SML 30/60 mg/kg zugelassen
Polymethylmethacrylat (PMMA)	Alkyl- oder Arylmeth- acrylate wie z. B.						Sind näher zu definieren

<sup>20</sup> <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fcn/fcnNavigation.cfm?rpt=eafusListing&displayAll=true>

	Methylmethacrylat	80-62-6	156	nein	ja	6	SML: Summengrenzwert berechnet als Methacrylsäure
	Allylmethacrylat	96-05-9	175	nein	ja	0,05	
Proteine				-	-	-	



**Anhang 2:** Fragebogen zur Erhebung von Marktdaten

Studie im Auftrag des  
Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

---

# Biobasierte Kunststoffe als Verpackung für Lebensmittel

---

## Fragebogen zur Datenerhebung

Erstellt von:

Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (Hauptauftragnehmer)

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV (Nachunternehmer)

narocon Innovationsberatung (Nachunternehmer)



INSTITUT FÜR ENERGIE-  
UND UMWELTFORSCHUNG  
HEIDELBERG



**narocon**  
InnovationConsulting Kaeb

## Erläuterung

Das Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU) in Heidelberg, in Kooperation mit Fraunhofer IVV und narocon Innovationsberatung Dr. Käß, wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) mit der Durchführung der Studie „Biobasierte Kunststoffe als Verpackung von Lebensmitteln“ beauftragt. Auftragsgegenstand ist die Ermittlung des Handlungsbedarfs zum verstärkten Einsatz biobasierter Kunststoffverpackungen mit Lebensmittelkontakt in Deutschland.

Ausgangsbasis der Studie ist eine Marktübersicht der biobasierten Kunststoffverpackungen mit Lebensmittelkontakt in Deutschland im Jahr 2015, differenziert nach eingesetzten Kunststoffsorten und Verpackungsanwendungen, und im Verhältnis zu eingesetzten Verpackungen aus fossil-basierten Kunststoffen. In diesem Zusammenhang sind die rechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere die Hemmnisse bei der Markteinführung zu beleuchten. Für das Jahr 2030 soll eine Projektion der Marktentwicklung aus der Prognose für 2020 formuliert und quantifiziert werden.

Der vorliegende Fragebogen dient primär zur Ermittlung der aktuellen und zukünftigen Marktsituation für Lebensmittelverpackungen aus biobasierten Kunststoffen<sup>21</sup> in Deutschland. Darüber hinaus dient er zur Erstellung eines Meinungsbildes der Marktteilnehmer.

Der Fragebogen adressiert folgende Aspekte:

- Marktsituation im Jahr 2015 in Deutschland
- Prognose 2020 (Deutschland)
- Meinungsbild: Rahmenbedingungen in Deutschland

Wir bitten Sie darum, die Ihnen bekannten Daten so genau wie möglich in die entsprechenden Felder einzutragen (sonst einfach leer lassen). Bitte dazu genau lesen, an wen sich die Frage richtet. Mengenangaben bitte in Kilogramm (1 kg) oder Tonne (1 t, metrische Tonne).

**Die Daten werden vertraulich gehandhabt und anonymisiert publiziert.  
Bei Bedarf kann dies auch über eine Vertraulichkeitserklärung abgesichert werden.**

Den ausgefüllten Fragebogen bitte an folgende Adresse mailen (gerne mit Anmerkungen / Fragen):

Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU): [mailto: benedikt.kauertz@ifeu.de](mailto:benedikt.kauertz@ifeu.de)

Stichwort / Email Header: BMEL Biobasierte Verpackungen

Alternativ auch postalisch an:

ifeu-Heidelberg, Benedikt Kauertz, Wilckensstrasse 3, 69120 Heidelberg

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit.

Das Projektteam

---

<sup>21</sup> Biobasierte Kunststoffe enthalten Anteile von nachwachsenden Rohstoffen ("biobasierter Anteil"). Die Angabe erfolgt meist als prozentualer, biobasierter Kohlenstoffanteil.

## Allgemeine Angaben des Umfrageteilnehmers

Name der Firma:

Sitz des Ansprechpartners:

Angaben zum Ansprechpartner (Name, Telefon, Email):

Filiale(n) in Deutschland: ja / nein

Umsatz der Firma pro Jahr:

Unternehmen (bitte ankreuzen)

- stellt biobasierte Polymere oder Compounds her (Polymerproduzent)
- stellt Additive und/oder Hilfsmittel für biobasierte Kunststoffprodukte her
- verarbeitet biobasierte Kunststoffe zu (Vorprodukten für) Verpackungen  
(Kunststoffverarbeiter; Packmittelproduzent, Konfektionierer)
- Distribution von Verpackungen (Packmittelhandel - kein Lebensmittelhandel)
- Anwender (Abpacker, Lebensmittelproduzent, Lebensmittelhandel, inkl. Kioske)

**I. Marktsituation im Jahr 2015 in Deutschland (sonst letztverfügbares Jahr)**

---

**1. Biobasierte Kunststoffe / Compounds - Produktion**

---

*Richtet sich an Kunststoffhersteller.*

Welche der nachfolgend aufgeführten biobasierten Kunststoffsorten werden von Ihrer Firma hergestellt?

Wie viele wurden davon im Jahr 2015 insgesamt produziert und wie viele davon für den deutschen Verpackungsmarkt? (bitte ankreuzen / ausfüllen)

	Menge insg. (t/a)	Menge in DE (t/a)	Handelsname und biobasierter Anteil (%)
<b>Polymere / Kunststoffe:</b>			
<input type="checkbox"/> Bio-PET	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Bio-PE	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Biobasierte Polyamide	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Polylactide (PLA)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Bioabbaubare(r) Polyester <sup>22</sup>	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Polyhydroxyalkanoate (PHA)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Sonstige: .....	_____	_____	_____
<b>Compoundierte Werkstoffe:</b>			
<input type="checkbox"/> Stärke-Compounds	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> PLA-Compounds	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Zellulose-basierte Kunststoffe	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Sonstige: .....	_____	_____	_____

Anmerkungen (Gründe):

---

<sup>22</sup> keine Compounds



---

## 2. Biobasierte Kunststoffprodukte - Produktion von Halbzeug / Verpackung

---

*Richtet sich an Packmittelhersteller (im weiteren Sinn).*

Welche der nachfolgend aufgeführten biobasierten Werkstoffe verarbeiten Sie zu Halbzeug (Folien) bzw. Packmitteln. Welche Menge an Produkten (in Tonnen) wurden daraus im Jahr 2015 insgesamt produziert und wieviel davon für den deutschen Markt? (bitte ankreuzen / ausfüllen)

	Produkte (t/a)	DE Produkte (t/a)	Produkttyp (Folie, Beutel, ...) biobasierter Anteil (%)
Rohstoffe zur Verarbeitung:			
<input type="checkbox"/> Bio-PET	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Bio-PE	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Biobasierte Polyamide	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Polylactide (PLA)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Bioabbaubare(r) Polyester	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Polyhydroxyalkanoate (PHA)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Zellulose-basierte Kunststoffe	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Stärke-Compounds	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> PLA-Compounds	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Sonstige: .....	_____	_____	_____

Hinweis: Beim Produkttyp bitte auch angeben, ob es sich um Verbundanwendungen (Mehrschichtfolien oder PPK-Verbunde) handelt

Anmerkungen (Gründe):

---

### 3. Biobasierte Kunststoffverpackungen - Produktion

---

*Richtet sich an Packmittelproduzenten (im weiteren Sinn).*

Welche der nachfolgend aufgeführten Kunststoffverpackungen aus welchem Material stellen Sie her? Welche Menge an Produkten (in Tonnen) wurden daraus im Jahr 2015 insgesamt produziert und wieviel davon für den deutschen Markt? (bitte ankreuzen / ausfüllen)

	Produkte (t/a)	DE Produkte (t/a)	Kunststoff / Materialien biobasierter Anteil (%)
Produzierte Packmitteltypen:			
<input type="checkbox"/> Folie (flexible Typen)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Label, Etiketten	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Beutel, Taschen	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Trays, Kisten (Kunststoff)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Trays, Kisten (Verbund)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Becher (Kunststoff)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Becher (Verbund)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Deckel	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Flaschen	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Getränkekarton (Verbund)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> (Schraub-) Verschlüsse	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Geschäumte Verpackungen	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Kanister, Eimer, Fässer, ...	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Sonstige: .....	_____	_____	_____

Hinweis: Label und Etiketten sind im engeren Sinn keine Lebensmittelverpackung können aber migrationsrelevant sein und sind im BMEL-Auftrag explizit umfasst

Anmerkungen (Gründe):

---

**4. Biobasierte Kunststoffverpackungen - Anwendung (nach Packmitteltyp)**

---

*Richtet sich an Anwender von Packmitteln (Lebensmittelerzeuger, Abpacker / Vertrieb von Lebensmitteln)*

Welche der nachfolgend aufgeführten Kunststoffverpackungen aus welchem Material wenden Sie an? Welche Menge an Produkten (in Tonnen) wurden in Ihrem Unternehmen im Jahr 2015 insgesamt verbraucht, wieviel davon für den deutschen Markt? (bitte ankreuzen / ausfüllen)

	Produkte (t/a)	DE Produkte (t/a)	Kunststoff / Materialien biobasierter Anteil (%)
Verwendete Packmittel (befüllt / vermarket):			
<input type="checkbox"/> Folie(flexible Monofolie)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Folie (flexibler Verbund)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Label, Etiketten	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Beutel, Taschen	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Trays, Kisten (Kunststoff)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Trays, Kisten (Verbund)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Becher (Kunststoff)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Becher (Verbund)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Deckel	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Flaschen	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Getränkekarton (Verbund)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> (Schraub-) Verschlüsse	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Geschäumte Verpackungen	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Kanister, Eimer, Fässer, ...	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Sonstige: .....	_____	_____	_____

Anmerkungen (Gründe):

---

**5. Biobasierte Kunststoffverpackungen - Anwendung (nach Lebensmitteltyp)**

---

*Richtet sich an Anwender von Packmitteln (Lebensmittelerzeuger, Abpacker, Handel)*

Welche Menge an biobasierten Kunststoffpackmitteln (bbKV; in Tonnen) wurde in Ihrem Unternehmen im Jahr 2015 insgesamt eingesetzt, wieviel davon für den deutschen Markt? Welches Lebensmittel wurde verpackt, welches (gängige) Material ersetzt? (bitte ankreuzen / ausfüllen)

	bbKV ges. (in t)	bbKV in DE (in t)	Biobas. Mate- rial? (biobas.%)	Lebens- mittel?	Ersetztes Ma- terial?
Beutel für frische Lm	_____	_____	_____	_____	_____
Beutel für haltbare Lm	_____	_____	_____	_____	_____
Trays für frische Lm	_____	_____	_____	_____	_____
Trays für haltbare Lm	_____	_____	_____	_____	_____
Becher für Milchprodukte	_____	_____	_____	_____	_____
Becher für Getränke	_____	_____	_____	_____	_____
Flaschen für Wasser, Limos	_____	_____	_____	_____	_____
Flaschen für Bier, Wein	_____	_____	_____	_____	_____
Flaschen für Säfte	_____	_____	_____	_____	_____
Getränkekartons	_____	_____	_____	_____	_____
Obst-Label/Etiketten	_____	_____	_____	_____	_____
Einwegbesteck	_____	_____	_____	_____	_____
Sonstige: .....	_____	_____	_____	_____	_____

Hinweis: Auf der letzten Seite findet sich eine Liste mit Lebensmittelgruppen. Für welche der dort aufgeführten Lebensmittel haben Sie biobasierte Kunststoffverpackungen eingesetzt? Als Service- (S) oder Verkaufsverpackungen (V), im Mehrwegsystem (M)?

Anmerkungen (Gründe):



---

## 6. Biobasierte Kunststoffverpackungen – Anwendung (nach Bereich)

---

Richtet sich an Anwender von Packmitteln (Lebensmittelerzeuger, Vertrieb von Lebensmitteln)

Wir verwenden biobasierte Verpackungen mit Lebensmittelkontakt als

- Serviceverpackungen (Take-away, Catering, etc inkl. Einwegbesteck)
- Verkaufs-Einwegverpackungen
- Mehrwegverpackungen
- Transportverpackungen

Bitte kurz spezifizieren (kommentieren):

---

**7. Marktprognose (nach Kunststofftypen)**

---

1. Wie sehen Sie die Entwicklung des Absatzes Ihrer biobasierte Kunststoffmaterialien für Lebensmittelverpackungen für die nächsten 5 Jahre? (bis Ende 2020, bitte ankreuzen)

Verpackungsmaterialien	steigend % pro Jahr	gleichbleibend	sinkend % pro Jahr
<input type="checkbox"/> Stärkebasierte Kunststoffe:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Polylactide (PLA) :	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Polyhydroxyalkanoate:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Cellulose basierte Kunststoffe:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Biologisch abbaubare Polyester auf Basis fossiler Rohstoffe:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Polyester auf Basis nachwachsender Rohstoffe:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Bio-1,3-Propandiol basierte Polymere:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> PE aus Bioethanol:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Bio-Polyamide:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> PET aus teilweise oder ganz biobasierten Rohstoffen:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> PEF:	_____	<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/> Sonstige:	_____	<input type="checkbox"/>	_____

Anmerkungen (Gründe):

---

### 8. Marktprognose (nach Anwendungen)

---

2. Wie sehen Sie die Absatzentwicklung von Lebensmittelverpackungen aus biobasierten Kunststoffen für die nächsten 5 Jahre? (Bitte ankreuzen)

	Wachstum pro Jahr	Favorisiertes Material (biobas.%)	Für welches Lebens- mittel?	Ersetztes Ma- terial?
Beutel für frische Lm	_____	_____	_____	_____
Beutel für haltbare Lm	_____	_____	_____	_____
Trays für frische Lm	_____	_____	_____	_____
Trays für haltbare Lm	_____	_____	_____	_____
Becher für Milchprodukte	_____	_____	_____	_____
Becher für Getränke	_____	_____	_____	_____
Flaschen für Wasser, Limos	_____	_____	_____	_____
Flaschen für Bier, Wein	_____	_____	_____	_____
Flaschen für Säfte	_____	_____	_____	_____
Getränk kartons	_____	_____	_____	_____
Obst-Label/Etiketten	_____	_____	_____	_____
Einwegbesteck	_____	_____	_____	_____
Sonstige: .....	_____	_____	_____	_____

Hinweis: Auf der letzten Seite findet sich eine Liste mit Lebensmittelgruppen, sie können dort eine Kategorie auswählen. Ggf. weitere Angaben zu Service- (S) oder Verkaufsverpackungen (V), auch in Form von Mehrweg (M) ergänzen.

Anmerkungen (Gründe):

## II. Meinungsbild

### a) Für alle Wertschöpfungsebenen

1. Sehen Sie im deutschen Markt Vor- oder Nachteile für den Ausbau des Marktanteils von biobasierten Kunststoffverpackungen für Lebensmittel im Vergleich mit
  - a. anderen europäischen Staaten? Wenn ja, im Vergleich mit welchen und warum?:
  
  - b. Gibt es außereuropäische Vorbilder? Wenn ja welche und warum?:
  
2. Was waren in jüngerer Vergangenheit die stärksten Einflüsse (positiv / negativ) auf den deutschen Markt für Lebensmittelverpackungen aus biobasierten Kunststoffen?  
(z.B. Politik und Gesetzgebung, Wettbewerbsbedingungen, Berichterstattung, etc.)

### b) Für Packmittelhersteller und Anwender

3. Welche Anwendungsbereiche im Bereich von Lebensmittelverpackungen sind für einen vermehrten Einsatz biobasierter Kunststoffe prädestiniert und warum?  
(z.B. technisch, funktional, ökologisch, ökonomisch, etc)
  
4. Was wäre nötig um ggf. vorhandenes Potenzial zum vermehrten Einsatz zu heben?

## Anhang: Vorläufige Strukturierung des Lebensmittelbereichs

<b>Nicht-Flüssige Lebensmittel</b>	
Pulver; Mahlgüter	Kaffee, Kakao, Tee
	Gewürze
	Fertigprodukte (z.B. Suppen)
Getreideprodukte	Backwaren
	Nudeln
	Reis
Sonstige	Snacks
	Süßwaren
Frischware (ungekühlt)	Frisch-Obst
	Frisch-Gemüse
<b>Flüssige/Halbflüssige/pastöse Lebensmittel</b>	
Flüssige	Öl
	Essig
Halbflüssige	Fertigsoßen + Würzmittel (Ketch-up, etc.)
	Verarbeitetes Obst und Gemüse
Pastöse	Aufstriche
	Streichfette (z.B. Margarine, Butter)
<b>Getränke</b>	
Getränke mit CO2	Wasser, Limonade
	Bier
Getränke ohne CO2	Wasser
	Wein
	Fruchtsäfte
<b>Gekühlte/Gefrorene Lebensmittel</b>	
Milchprodukte	Joghurt
	Frischkäse
	Käse
	Milch
	Butter (s.a. oben)
Nahrungsmittel (gekühlt)	Fleisch, Wurst, Fisch
	Fertiggerichte
Nahrungsmittel (gefroren)	Fleisch, Fisch, Meeresfrüchte
	Speiseeis
	Fertiggerichte (Pizza, etc.)
<b>Sonstige Lebensmittel</b>	
Take-away Produkte	Warm-/Heißgetränke
	Warm-/Heißgerichte
	Kaltgetränke
Babynahrung	

**Anhang 3: Meinungsbild der Teilnehmer des Workshops am 12.3.2018**

Im Rahmen des Projekts fand am 12.3.2018 ein Workshop statt mit Beteiligung zahlreicher Vertreter entlang der Wertschöpfungskette von der Herstellung biobasierter Kunststoffe bis zum Handel. Ebenso war die abfallwirtschaftliche Seite vertreten. Ein Bestandteil des Workshops war es, ein Meinungsbild der Teilnehmer zu ermitteln. Dies erfolgte anhand von drei Leitfragen und einer Sammlung von Antworten über einen Metaplan.

Die drei Leitfragen lauteten:

- In welchen Anwendungsbereichen sehen Sie einen zukünftig verstärkten Einsatz biobasierter Kunststoffverpackungen für Lebensmittel?
- Wie nähern Sie sich dem Thema biobasierte Kunststoffverpackungen für Lebensmittel in Ihrem Haus bzw. Ihrer Organisation?
- Wie kann die Politik Sie dabei unterstützen?

Die Antworten sind nachfolgend tabellarisch zusammengestellt.

### In welchen Anwendungsbereichen sehen Sie einen zukünftig verstärkten Einsatz biobasierter Kunststoffverpackungen für Lebensmittel?

Themengebiet	Anzahl Nennungen	Inhalte der Kärtchen
Frische Produkte (Obst, Gemüse, etc.)	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Für frische Produkte, Obst und Gemüse</li> <li>• Obst-/Gemüsebeutel/-Verpackungen</li> <li>• Verpackungen für Obst und Gemüse</li> <li>• Obsttüten</li> <li>• Obst+Gemüse</li> <li>• Frischebereich</li> <li>• Erreichung spezieller Eigenschaften wie Wasserdampfdurchlässigkeit (PLA, Zellulose)</li> </ul>
Grundsätzlich überall	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendenziell überall wo heute konventionelle KS eingesetzt werden, sofern die Nachhaltigkeitsmehrwerte eindeutig belegt sind</li> <li>• Grundsätzlich bei allem, wo heute schon KS eingesetzt werden. Einschränkung bei unverzichtbaren sehr hohen Anforderungen an Barrierefunktionen</li> <li>• Grundsätzlich in allen Bereichen</li> <li>• Dort wo fossilbasierte Kunststoffe ohne Einbußen ersetzt werden können</li> <li>• Keine generellen Einschränkungen</li> <li>• Wo möglich, technisch umsetzbar</li> <li>• Drop-in Kunststoffe überall sofern wettbewerbsfähig</li> </ul>
Service-Verpackungen	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Service-Verpackungen (4x genannt)</li> <li>• To Go Bereich</li> </ul>
Fleisch und Wurstwaren	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fleisch und Wurstwaren</li> <li>• Biofleisch</li> <li>• Sensible und wertige Lebensmittel, z.B. Fleisch und Wurstwaren</li> </ul>
Teurere Produkte	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioprodukte, Luxusprodukte, Produkte bei denen der Verpackungsprozess Einbußen zulässt</li> <li>• Biolebensmittel</li> <li>• Biofleisch</li> </ul>
Bioabbaubare	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PLA-Becher auf Sonderevents mit getrennter Entsorgung</li> <li>• Kaffeekapseln</li> <li>• Bioabbaubare nur in Nischen z. B. wo Eigenschaften Vorteile bieten (Beschichtung von Papier, mit Nahrung vereinigte Verpackung)</li> </ul>
Papierbeschichtung	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bbKS als funktionelle Schicht auf Papier/Zellulose (Siegelung, H<sub>2</sub>O-Barriere), z.B. Faserschale+Ecovio/PBS/PHA, Papier+Extrusionsbeschichtung</li> <li>• Papierbeschichtung</li> </ul>
Getränke	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getränkeflaschen</li> <li>• Wasser/Getränke</li> </ul>
Komplexe Verbunde	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrschichtverpackungen</li> <li>• Mehrschichtfolien, Barrierefolien, da diese keine werkstoffliche Verwendung finden werden und in der Verbrennung landen. Ein CO<sub>2</sub> Loop vom Acker zur Verbrennung wird geschlossen</li> </ul>
Monomaterialien	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monomaterial PE/PP/PET</li> <li>• Monofolien, Monoverbunde</li> </ul>
Sonstiges (Zuordnung unklar)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folienbeutel</li> <li>• Ausbau der vorhandenen existierenden Anwendung</li> <li>• Cerealien, Teigwaren Kekse</li> <li>• Leicht verderbliche Lebensmittel</li> </ul>

## Wie nähern Sie sich dem Thema biobasierte Kunststoffverpackungen für Lebensmittel in Ihrem Haus bzw. Ihrer Organisation?

Themengebiet	Anzahl Nennungen	Inhalte der Kärtchen
Herstellung und Weiterentwicklung von Biokunststoffen/ bb Verpackungen	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• l'm green PE</li> <li>• Erarbeitung von biobasierten/bioabbaubaren Verpackungsmaterialien als Alternativen zu non-renewable resources (Papier/bbKS, weitere)</li> <li>• Verarbeitung von Biokunststoffen auf Verpackungsanlagen (Siegfähigkeit und Temperaturbeständigkeit, Steifigkeit und Reibigenschaften, Thermoformbarkeit)</li> <li>• Testen, Eigenschaften analysieren, Verbesserungsmöglichkeiten suchen</li> <li>• Anwendungsorientierte bzw. marktorientierte Entwicklung von abgestimmten Rohstofflösungen</li> <li>• Wir entwickeln auf niedrigem Niveau bbKS, da die Nachfrage gering ist. bbKS sind durch die Inhomogenität der Ausgangsstoffe schwerer herzustellen und i. d. R. deutlich teurer als ölbasierte</li> <li>• Fast für alle Verpackungen bieten wir unseren Kunden bb Alternativlösungen an. Aktuell ca. 25% bb Anteil am Gesamtumsatz</li> <li>• Optimierung der vorhandenen Anwendungen, Schaffung ökonomischer attraktiver Alternativen</li> <li>• Projektierung ausgewählter Verpackungen bis zur Marktreife, kurzfristige Umstellung ist möglich</li> <li>• Offenheit, Tests und Umsetzung wenn sinnvoll</li> <li>• Einzelfallprüfung/Produktprüfung</li> <li>• Intensives R&amp;D</li> </ul>
Information/Kommunikation/Zusammenarbeit	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Als KS-Hersteller: Schulung von Kunden</li> <li>• Als Verband IK: durch Kommunikation/Broschüren</li> <li>• Sachliche Diskussion</li> <li>• Informationsaustausch, inkl. Mit NGOs</li> <li>• Allianzen</li> </ul>
Vermeidung von Nahrungsmittelkonkurrenz	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichst keine Nahrungsmittelbasierten Rohstoffe (Reststoffe aus Europa, Cellulose da kein GVO und nachhaltig durch FSC)</li> <li>• Momentan versuchen wir unsere VP auf Natureflex umzustellen da: keine Nahrungsmittelkonkurrenz, biobasiert, biologisch abbaubar, marineabbaubar</li> <li>• Biobasierte Kunststoffe ohne Lebensmittelkonkurrenz und ohne Flächenkonkurrenz zu Lebensmitteln</li> </ul>
Berücksichtigung Umweltbewertung	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Als Unternehmen: Case Studies inkl. Detailbetrachtung Ökoeffizienz</li> <li>• Versuch mit unabhängigen Instituten zu erarbeiten welche bbKS in der Summe Nachhaltigkeitsvorteile haben (schwierig als einzelnes Unternehmen)</li> <li>• Bewertungssystem von verschiedenen Verpackungssystemen -&gt; mehr Transparenz, Best Practice Beispiele, Ökobilanzen von mineralölbasierten zum Vergleich</li> </ul>
Umstellung auf Biokunststoff-Verpackungen	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Momentan versuchen wir unsere VP auf Natureflex umzustellen da: keine Nahrungsmittelkonkurrenz, biobasiert, biologisch abbaubar, marineabbaubar</li> <li>• Wichtige Fragestellung: Für welche Anwendung /welche Marke macht welches Verpackungsmaterial am meisten Sinn und/oder bringt den meisten Mehrwert?</li> </ul>
Sonstiges		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidungsansatz, Einsatz bei Notwendigkeit</li> </ul>



**Wie kann die Politik Sie dabei unterstützen?**

Themengebiet	Anzahl Nennungen	Inhalte der Kärtchen
VerpackG §21 und Entsorgungsmöglichkeiten/ Recycling im Allgemeinen	11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaffung von Voraussetzungen und Transparenz für optimale Entsorgungsmöglichkeiten/Recycling</li> <li>• Recyclingströme für bbKS etablieren</li> <li>• Abbau von Hemmnissen im Recycling</li> <li>• Klare Regelungen für Entsorgung</li> <li>• Belastbare Vorgaben zu Recyclingfähigkeit</li> <li>• Einordnung biobasierter Materialien in eine Entsorgungsstruktur</li> <li>• Lenkung der Gebührensätze der Entsorgung</li> <li>• Fehlende Recycling-Zyklen dürfen neue Lösungen nicht aussperren</li> <li>• Neue Wege für Entsorgung öffnen</li> <li>• Abbau von Hemmnissen in der Kompostierung</li> <li>• Erfahrungen mit Verpackungsgesetz abwarten, §21 =&gt; Anreize für ökologisches Design</li> </ul>
Klares politisches Bekenntnis zu bbKS	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klare Ziele und ggf. Mindestkriterien</li> <li>• Vorantreiben bbKS</li> <li>• Klare Kommunikationsstrategie</li> <li>• Konkrete Vorgaben, transparente Aussagen und Vorgehensweise</li> <li>• Guter eindeutiger Rahmen</li> <li>• Gute Rahmenbedingungen, mehr Transparenz schaffen</li> <li>• Einheitliche Regelungen auf EU-Ebene schaffen</li> <li>• Stärkere Berücksichtigung von Biokunststoffen für zukünftige Gesetze/Konzepte/etc.</li> </ul>
Finanzielle Anreize/Besserstellung von bbKS	7 - 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaffung finanzieller Anreize</li> <li>• Subventionierung biobasierter Verpackungen</li> <li>• Steuern auf konventionelle/herkömmliche KS-VP</li> <li>• Die deutsche Politik fördert durch das EEG die Energiegewinnung aus Biogasanlagen und den Biodiesel durch Quoten, was das Angebot an Biorohstoffen verknappt. Biobasierte Kunststoffe haben keine Förderung, im Gegenteil werden durch Recyclingvorgaben die Eintrittsbarrieren für biobasierte Kunststoffen erhöht. Bevor Mais in Biogasanlagen thermisch verwertet wird, lieber noch eine Verpackungsrunde.</li> <li>• Regulative Maßnahmen zur Förderung des Einsatzes von bioabbaubaren Kunststoffen für kurzlebige Produkte</li> <li>• Carbon taxation</li> <li>• CO2-Besteuerung</li> <li>• Keine Verbote und Steuern (siehe Effekt Oxoabbaubare in Saudi-Arabien)</li> </ul>
F&E zu Materialentwicklungen und weiteren Themen	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterstützung von F+E-Projekten zu Recycling von Papier+Biopolymer vs. Papier+Polyolefine</li> <li>• Unterstützung von F+E-Projekten zu günstigeren Drop-in Kunststoffen</li> <li>• Förderung von F+E bei der Weiterentwicklung der Materialien (insbesondere der abbaubaren und biobasierten)</li> <li>• Förderung von Pilot-Produktionen (an Forschungseinrichtungen, bei Verpackungsherstellern) für Polymer, Weichfolien, Dickfolien, Orientierte Folien (für Frischeprodukte Gemüse, Fleisch, Wurst)</li> <li>• Förderung von Sammel-, Sortier- und Recyclingeinrichtungen</li> <li>• Forschungsprojekte zu Kompostierbarkeit und Recycling, öffentliche Beschaffung</li> </ul>
Verbraucheraufklärung zu Verpackungen und Recycling	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Öffentlichkeitswirksame Kampagnen für Verbraucher</li> <li>• Mehr Bewusstseinsbildung beim Verbraucher zu Recycling ab Kindergarten</li> <li>• Verbraucherbildung für richtiges Recycling (Bsp. KAT-3-Becher)</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterstützung der Kunden zur Kostenreduktion für Recycling</li> <li>• Aufklärung der Verbraucher</li> </ul>
Informationen zu Umweltbewertung	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forschungsprojekte zu Ökobilanzen</li> <li>• Allgemeingültiges System für die schnelle Bewertung der Nachhaltigkeit von Verpackungen schaffen</li> <li>• Unabhängige Bewertung der einzelnen bbKS und Aussprache einer klaren Empfehlung für/gegen den Einsatz</li> </ul>
Informationsbeschaffung/ Datenbanken	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialscreenings und Vorbereitung auf Kundenanfragen</li> <li>• Proaktive Vorstellung von Materialkonzepten</li> </ul>
Sonstiges		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbot von sinnlosen Verpackungen für ToGo-Produkte</li> <li>• Einbezug von Verbraucherorganisationen und Umwelt-NGOs</li> <li>• Klärung der Herkunft</li> <li>• Keine Bevorzugung einzelner Lösungen</li> </ul>