

TEXTE

88/2019

Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engel

Teil 2: PROSA - Biobasierte Kunststoffe
Abschlussbericht

TEXTE 88/2019

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3714 95 308 0
UBA-FB FB000009/2

Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engel

Teil 2: PROSA - Biobasierte Kunststoffe
Abschlussbericht

von

Andreas Detzel, Benedikt Kauertz, Samuel Schlecht, Horst Fehrenbach,
Susanne Köppen, Florian Bodrogi
Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH, Heidelberg

Klaus Josef Hennenberg
Öko-Institut e.V., Darmstadt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt

Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH
Wilckensstrasse 3
69120 Heidelberg

Abschlussdatum:

September 2018

Redaktion:

Fachgebiet III 1.3 Ökodesign, Umweltkennzeichnung, umweltfreundliche
Beschaffung
Bettina C. Uhlmann

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den
Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Der vorliegende Bericht ist Teil des Forschungsvorhabens „Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engels“ und behandelt das Thema biobasierte Kunststoffe. Bei diesen handelt es sich nicht um verbrauchernahe Endprodukte im Sinne des Blauen Engel sondern um Werkstoffe, die in den verschiedensten Produktgruppen zum Einsatz kommen können. Daher wurden hier grundsätzliche Aspekte betrachtet, die in den Vergabekriterien für Umweltzeichen zu Produkten aus biobasierte Kunststoffen Berücksichtigung finden sollen.

Die durchgeführten Übersichtsökobilanzen zeigen, dass biobasierte Kunststoffe im Vergleich zu fossilbasierten Kunststoffen tendenziell Vorteile beim Verbrauch fossiler Ressourcen und der Freisetzung von Treibhausgasemissionen haben. Für die daraus hergestellten Produkte sind im Kontext des Blauen Engel jedoch eine Reihe Anforderungen zu beachten: So gelten die in der übergreifenden Machbarkeitsstudie vorgegebenen Systeme zur Zertifizierung einer nachhaltigen Biomassebereitstellung. Des Weiteren ist ein biogener Mindestgehalt im Produkt bzw. einer definierten Produktkomponente nachzuweisen. Zudem sind grundsätzliche Anforderungen bezüglich Materialeffizienz und Kreislauffähigkeit zu beachten und Informationen zur Lieferkette zu erbringen.

Abstract

The current paper is part of the research project 'Implementation of Sustainability Criteria for the Material Use of Biomass within the Scope of the Blauer Engel' and discusses the theme of bio-based plastics. These are not consumer end products in the sense of the Blauer Engel, but are rather materials that can be used in a wide variety of product groups. Therefore, fundamental aspects were considered that should be taken into account for the development of Blue Angel criteria for individual products or product groups.

The environmental assessments carried out show that bio-based plastics tend to have advantages in the consumption of fossil resources and the reduction of greenhouse gas emissions when compared to fossil-based plastics. However, in the context of the Blauer Engel, a number of requirements have to be taken into account for the consumer products made from or containing bio-based plastics. Amongst those are compliance with the certification systems specified in the comprehensive feasibility study. Furthermore, a minimum biogenic content in the product or a defined product component must be demonstrated. Fundamental requirements regarding material efficiency and fitness for recycling must additionally be taken into account. In addition, information about the supply chain must be provided.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	22
2	Methodisches Vorgehen	23
3	Teil I	24
3.1	Definition der Produktgruppe	24
3.2	Markt- und Umfeldanalyse.....	25
3.2.1	Markttrends	25
3.2.2	Marktsättigung	27
3.2.3	Einsatzbereiche und Konsumtrends	27
3.2.4	Rohstoffe	28
3.2.5	Herstellungsverfahren.....	29
3.2.6	Entsorgung	30
3.2.7	Preise	31
4	Teil II:.....	35
4.1	Nachhaltigkeitsaspekte.....	35
4.1.1	Flächenbedarf	35
4.1.2	Nachhaltigkeitsnachweise	36
4.1.2.1	Nachhaltigkeitszertifizierung von biobasierten Kunststoffen	36
4.2	Lebenszyklusanalyse	40
4.2.1	Untersuchungsgegenstand	40
4.2.2	Funktionelle Einheit	40
4.2.3	Szenarien.....	40
4.2.3.1	Getränkeflaschen aus bPET und PEF	40
4.2.3.2	Tragetaschen	41
4.2.4	Betrachtete Wirkungskategorien.....	41
4.2.5	Ergebnisse der Übersichts-Ökobilanzen.....	42
4.2.5.1	Wirkungsabschätzung für Getränkeflaschen	42
4.2.5.2	Wirkungsabschätzung für Tragetaschen	45
4.2.5.3	Ergänzende Informationen aus [UBA 2014]	49
4.2.6	Fazit aus der Lebenszyklusanalyse	52
5	Teil III: Kriterien für biobasierte Kunststoffe.....	54
5.1	Bestehende Blauer-Engel-Vergabekriterien für biobasierte Kunststoffe.....	54
5.1.1	Vergabekriterien für Schreibgeräte (Bezug biobasierte Kunststoffe).....	54
5.1.2	Vergabekriterien für Spielzeug	56

5.1.3	Nachhaltigkeitsnachweise	56
5.1.4	Zusammenschauende Betrachtung der beiden Blaue-Engel-Umweltzeichen	57
5.2	Grundsätzliche Erwägungen für die Herleitung von Vergabe-Kriterien.....	57
5.2.1	Umwelt.....	57
5.2.2	Nachhaltigkeit – Rohstoffgewinnung und Lieferkette	58
5.2.3	Kreislaufwirtschaft	59
5.2.4	Gesundheit und Verbraucherschutz.....	60
5.2.5	Nutzen und Kosten.....	60
5.3	Kriterien für biobasierte Kunststoffe im Kontext von Vergabekriterien.....	61
5.3.1	Biogener Gehalt.....	61
5.3.1.1	Mindestgehalt im Produkt oder spezifischen Produktkomponenten:	62
5.3.1.2	Nachweis des biogenen Anteils	62
5.3.2	Nachweis zur Erfüllung der Anforderungen für eine nachhaltige Biomasseproduktion:	63
5.3.3	Weitere Aspekte zur Berücksichtigung von biobasierten Kunststoffen im Kontext Blauer Engel.....	65
6	Quellenverzeichnis	67
7	Anhang.....	70
7.1	Anhang I: Berücksichtigte Wirkungskategorien der vereinfachten Ökobilanz.....	70
7.1.1	Kumulierter Primärenergiebedarf	70
7.1.2	Treibhauspotential	70
7.1.3	Versauerungspotential.....	70
7.1.4	Eutrophierungspotential.....	70
7.1.5	Naturrauminanspruchnahme (NFP)	70
7.2	Anhang II: Zuordnung der EuBP Produktgruppen.....	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Screening-PROSA für die Entwicklung von Vergabekriterien für Umweltzeichen	23
Abbildung 3-1:	Polymere im Herstellungsprozess von Kunststoffprodukten	24
Abbildung 3-2:	Globale Produktionskapazitäten nach Biokunststoffarten 2017 und 2022	26
Abbildung 3-3:	Anwendungsfelder für Biobasierte Kunststoffe 2016	27
Abbildung 3-4:	Anwendungsfelder für Biobasierte Kunststoffe 2017	28
Abbildung 3-5:	Produktionskapazitäten nach Weltregionen 2016 und 2021	28
Abbildung 3-6:	Preisentwicklung von Industriezucker und Rohöl 2010 - 2017	33
Abbildung 3-7:	Rohstoffbezogene Kostenparitätsgraphen für PLA (Ingeo) gegenüber PET und PS	33
Abbildung 4-1:	Ackerfläche für verschiedene Biokunststoff- und Biokraftstoff Szenarien	35
Abbildung 4-2:	Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA) von Getränkeflaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen	42
Abbildung 4-3:	Treibhauspotenzial von Getränkeflaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen (unten mit aLUC)	43
Abbildung 4-4:	Versauerungspotenzial von Getränkeflaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen	44
Abbildung 4-5:	Eutrophierungspotenzial von Getränkeflaschen aus biobasierten und foss. Kunststoffen	45
Abbildung 4-6:	Naturrauminanspruchnahme von Getränkeflaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen	45
Abbildung 4-7:	Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA) von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen	46
Abbildung 4-8:	Treibhauspotenzial von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen (unten mit aLUC)	47
Abbildung 4-9:	Versauerungspotenzial von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen	48
Abbildung 4-10:	Eutrophierungspotenzial von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen	48
Abbildung 4-11:	Naturrauminanspruchnahme von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen	49
Abbildung 4-12:	Vergleich von Kunststoffschalen aus PLA und Polystyrol	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Preisspanne petrochemischer Kunststoffe im Jahr 2016.....	31
Tabelle 3-2:	Preisspanne biobasierter im Vergleich zu petrochemischen Kunststoffen im Jahr 2016	32
Tabelle 4-1:	Beanspruchung der heutigen Weltagrarfläche für verschiedene Szenarien.....	36
Tabelle 4-2:	Nachhaltigkeitskriterien der ISO-Norm ISO 13065.....	37
Tabelle 4-3:	ISCC-Plus-Zertifikate für biobasierte Kunststoffe (Fettdruck) und deren Ausgangsstoffe	38
Tabelle 5-1:	Anforderungen an nachwachsende Rohstoffe in verschiedenen Umweltzeichen	54
Tabelle 7-1:	Die Naturnähe-Klassen nach dem Hemerobiekonzept (UBA 1999).....	71

Abkürzungsverzeichnis

CBA	Cost-benefit analysis
b-BDO	biobasiertes Butandiol
b-ET	biobasiertes Ethylen
b-MEG	biobasiertes Monoethylenglykol
b-PA	biobasierte Polyamide
b-PC	biobasiertes Polycarbonat
b-PDO	biobasiertes Propandiol
b-PE	biobasiertes Polyethylen
b-PET	biobasiertes Polyethylenterephthalat
b-PP	biobasiertes Polypropylen
b-PUR	biobasierte Polyurethane
b-PVC	biobasierte Polyvinylchlorid
b-TPA	biobasierte Terephthalsäure (engl. terephthalic acid)
b-TPE	biobasierte Thermoplastische Elastomere
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EEL	European Ecolabel
EN	Europäische Norm
EuBP	European Bioplastics
FDCA	Furandicarbonsäure (engl.: furandicarboxylic acid)
IfBB	Institute for Bioplastics and Biocomposites
INRO	Initiative Nachhaltige Rohstoffbereitstellung für die stoffliche Biomassenutzung
ISCC	International Sustainability & Carbon Certification
MEG	Monoethylenglykol

PA	Polyamid
PC	Polycarbonat
PCL	Polycaprolacton
PE	Polyethylen
PEF	Polyethylenfuranoat
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte (engl. : high density polyethylene)
PE-LD	Polyethylen niedriger Dichte (engl.: low density polyethylene)
PET	Polyethylenterephthalat
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PLA	Polylactid
PTA	Terephthalsäure (engl.: pure terephthalic acid)
PTT	Polytrimethylenterephthalat
PUR	Polyurethan
RED	Erneuerbare-Energien-Richtlinie (2009/28/EG) (engl.: Renewable Energy Directive)
RSB	Roundtable on Sustainable Biomaterials
RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil
RTRS	Roundtable on Responsible Soy
TPE	Thermoplastische Elastomere

Zusammenfassung

Hintergrund

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engels“ (kurz: „Blauer Engel Bio-Stoff“), wurde die vorliegende PROSA-Studie zur Entwicklung von Vergabekriterien für Umweltzeichen mit speziellem Blick auf die Produktgruppe der biobasierten Kunststoffe durchgeführt. Es wurden die bestehenden Kriterien für eine nachhaltige Nutzung nachwachsender Rohstoffe weiter entwickelt.

Das Vorhaben fokussierte neben der Bearbeitung konkreter biobasierter Produktgruppen vor allem auf übergreifender Ebene und beschäftigt sich mit der Bewertung der Nachhaltigkeit biobasierter Produkte in Bezug auf deren Behandlung und in Bezug auf konkrete Anforderungen für die Vergabe des Umweltzeichens. Die Arbeitsergebnisse sollen in der Praxis Anwendung finden. Im Vordergrund steht die Auseinandersetzung mit Fragen zur Herkunft der Biomasse und die mit ihrer zusätzlichen Inanspruchnahme möglicherweise verbundenen Nutzungskonkurrenzen sowie die grundsätzliche Frage nach einer nachhaltigen Nutzung der begrenzten Ressource Fläche.

Die gesamte Arbeit ist nach der vom Öko-Institut entwickelten Methode PROSA – Product Sustainability Assessment durchgeführt. PROSA umfasst mit der Markt- und Umfeld-Analyse, der Ökobilanz und der Nutzen-Analyse die erforderlichen Teil-Methoden zur integrativen Entwicklung der relevanten Vergabekriterien. Da soziale Aspekte bislang nicht oder nicht quantifizierbar in Umweltzeichen einbezogen werden, wurde im Rahmen dieser Studie keine Sozialbilanz durchgeführt. Die Ökobilanz umfasst eine Analyse der Umweltauswirkungen bei der Herstellung, Anwendung und Entsorgung des Produktes für die Ableitung von Vergabekriterien für das Umweltzeichen gemäß ISO 14024 relevant sind. Neben Energieverbrauch und Treibhauseffekt wurden Umweltauswirkungen wie Ressourcenverbrauch, Eutrophierungspotenzial und Flächenverbrauch betrachtet.

Produktgruppe

Die Produktgruppe der biobasierten Kunststoffe verbindet die Eigenschaft von Kunststoffen mit der Eigenschaft der Herstellung aus biogenen Rohstoffen. Sie werden definiert als Werkstoffe auf der Basis von Polymeren, die zu einem wesentlichen Anteil oder ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.

Wie die konventionellen petrochemischen Kunststoffe zählen auch die biobasierten Kunststoffe üblicherweise zu den Polymeren, also synthetischen organischen Verbindungen, die aus Makromolekülen bestehen. Häufig wird der Begriff ‚biobasierter Kunststoff‘ synonym zum Ausdruck ‚Biopolymer‘ gebraucht. In diesem Sinne werden auch Kunststoffe aus den natürlich vorkommenden Makromolekülen Cellulose oder Stärke zu den biobasieren Kunststoffen gezählt. Darüber hinaus ist es hilfreich, für das Verständnis der Begriffe ‚Kunststoff‘ und ‚Polymer‘ die Verarbeitungskette zu beachten.

Markt- und Umfeldanalyse

Nach dem Branchenverband der Europäischen Biokunststoffproduzenten EuBP liegen die globalen Produktionskapazitäten von biobasierten Kunststoffen im Jahr 2017 bei 2,05 Mio. t. Für das Jahr 2022 werden 2,44 Mio. t prognostiziert. Die größten Anteile nehmen dabei b-PET (biobasiertes Polyethylenterephthalat), Stärke-Blends und Polylactid (PLA) ein. Es gibt keine genauen Zahlen, wie groß die Einsatzmenge an Biokunststoffen auf dem deutschen Markt ist.

Bei b-PET ist derzeit nur eines der beiden zur Synthese verwendeten Monomere, das Monoethylenglykol (b-MEG), biogenen Ursprungs. Das komplementäre Monomer Terephthalsäure (PTA) wird bisher noch weitestgehend petrochemisch gewonnen. Damit liegt der biogene Masseanteil des fertigen PET-

Polymers bei etwa 30%. Polylactid (PLA) ist ein neuartiger Kunststoff, die fast vollständig aus Biomasse hergestellt werden.

Eine Marktsättigung ist nicht erkennbar. Nach Angaben von PlasticsEurope wurden in der EU im Jahr 2015 58 Mio. t Kunststoffe hergestellt, global sogar 322 Mio t [PlasticsEurope 2017]. Darauf bezogen beläuft sich der Anteil der globalen Produktionskapazitäten an biobasierten Kunststoffen im Jahr 2017 auf lediglich 3,5% bzw. 0,6%.

Biobasierte Kunststoffe finden heute vor allem auf dem Gebiet der Verpackung Anwendung. Mit weltweit 1.200 kt/Jahr nehmen die starren und flexiblen Verpackungen zusammen im Jahr 2017 einen Anteil von rund 58 % ein, gefolgt vom Textilbereich, dem Automobilsektor und den Konsumgütern. Unter den Konsumgütern wiederum finden sich ganz unterschiedliche Produkte, u.a. Büromaterialien.

Biobasierte Kunststoffe werden global gehandelt. Bis vor kurzem waren die globalen Produktionskapazitäten noch nahezu gleichmäßig über die vier Regionen Europa, Nordamerika, Südamerika und Asien/Ozeanien verteilt. Inzwischen sind mehr als 50 % der Produktionskapazitäten in Asien angesiedelt.

Art und Herkunft der biogenen Rohstoffe differenzieren sich ähnlich vielfältig wie die Anwendungsgebiete. So ist für Stärke-Blends in Europa angebauter Mais der wichtigste Rohstoff. PLA wird größtenteils in den USA aus in den USA angebautem Mais hergestellt. B-PE wird derzeit nur in Brasilien auf der Basis von Zuckerrohr hergestellt. b-PET wird derzeit vor allem in Indien produziert, jedoch mit b-MEG aus in Brasilien auf Zuckerrohrbasis hergestelltem Ethanol.

Die Kosten für die biogenen Rohstoffe sind der größte Preistreiber bei der Herstellung von biobasierten Kunststoffen. Der Preisaufschlag gegenüber den petrochemischen Kunststoffen ist stark vom Rohöl-Referenzpreis geprägt, mit dem die Preise der petrochemischen Kunststoffe mehr oder weniger direkt korrelieren.

In der Praxis haben biobasierten Kunststoffe in der Regel noch den Nachteil, in kleineren Anlagen als die petrochemischen Kunststoffe hergestellt zu werden, so dass die Preisunterschiede unter anderem auch auf die nicht oder nur teilweise realisierten Skaleneffekte zurückzuführen sind. Daher besteht die Erwartung, dass sich die Preise für biobasierte Kunststoffe durch Skaleneffekte bei der Herstellung von biobasierten Kunststoffen und deren Konversion zu Produkten in naher Zukunft günstiger darstellen könnten.

Nachhaltigkeitsbewertung

In Bezug auf die Nachhaltigkeitsanforderungen an die Rohstoffherkunft wurden die Kriterien der ISO-Norm 13065 („Nachhaltigkeitskriterien für Bioenergie“) zu Grunde gelegt. Diese umfassen umweltbezogene, soziale und wirtschaftliche Themen. Es müssen sämtliche Kriterien dieser Norm für die Erzeugung der Biomasse erfüllt sein.

Um die Konkurrenz um biogene Rohstoffe zwischen verschiedenen Nutzungen (z.B. Energie und stoffliche Verwendung) mit den gleichen strengen Maßstäben zu beurteilen wie das bei der energetischen Nutzung von Biomasse getan bzw. eingefordert wird, wurde im Rahmen dieses Vorhabens separat eine sog. *übergreifenden Machbarkeitsstudie für biobasierte Produkte* erarbeitet. Hier wurde ein umfassender Prüfkatalog auf Basis der Norm ISO 13065 (ISO/PC 248)¹ entwickelt, der eine vergleichbar ambitionierte Bewertung von Zertifizierungssystemen zulässt, wie für die energetische Nutzung. Zertifizierungssystem die diese Prüfung bestehen, können im Rahmen des Blauen Engel zugelassen wer-

¹ Diese beziehen sich auf Nachhaltigkeitskriterien für Bioenergie

den. Im Fokus standen dabei vor allem Zertifizierungssysteme, die eine Zertifizierung landwirtschaftlicher Biomasse berücksichtigen.

Nach der ausführlichen Analyse in der Machbarkeitsstudie, konnte sich diese Arbeit darauf beschränken, diejenigen Zertifizierungssysteme zu identifizieren, die die relevante Rohstoffbasis für biobasierte Kunststoffe auf adäquate Weise abdecken. Für biobasierte Kunststoffe wird empfohlen auf folgende Zertifizierungssysteme für die Vergabekriterien des Blauen Engels zurückzugreifen:

- ▶ *Roundtable for Sustainable Biomaterials (RSB)*
- ▶ *International Sustainability & Carbon Certification (ISCC)*
- ▶ *Roundtable for Sustainable Palm Oil (RSPO)*
- ▶ *Roundtable on Responsible Soy (RTRS)*.

Die Zertifizierung von biobasierten Produkten ist eine wesentliche Grundlage für die Ausweitung einer nachhaltigeren Produktion. Dennoch kann Zertifizierung nicht zur Lösung aller potenziellen Nachhaltigkeitskonflikte dienen. Insbesondere kann damit nicht „Nachhaltigkeit per se“ im umfassenden gewährleistet werden. Eine Reihe sehr wichtiger Aspekte wie der Konflikt mit Nahrungsmittelsicherheit und andere indirekten Effekte können nur sehr unzureichend bis kaum durch Zertifizierung ausgeräumt werden. Indirekte Landnutzungsänderungen sind daher auch nicht in der prEN 16751:2014 zu Nachhaltigkeitskriterien bei biobasierten Produkten eingeflossen.

Lebenszyklusanalyse und Lebenszykluskosten

Im Rahmen der Studie wurden zwei Übersichtsökobilanzen erstellt, mit denen der vorliegende Erkenntnisstand aktualisiert bzw. ergänzt werden soll. Auf Wunsch des Umweltbundesamts wurde dies am Beispiel der Produktgruppe Getränkeflaschen und Tragetaschen umgesetzt.

Dabei wurde festgestellt, dass Produkte aus biobasierten Kunststoffen in der Regel in der Ökobilanz geringfügig bessere Ergebnisse hinsichtlich der Treibhausgasemissionen und des fossilen Ressourcenverbrauchs zeigen. Andererseits sind sie oft ungünstiger hinsichtlich anderer Umweltindikatoren, wie Versauerung und Eutrophierung. Gesam ökologisch sind diese biobasierten Kunststoffe derzeit nicht unbedingt besser als die konventionellen Kunststoffe, stehen aber mit diesen zumindest auf einer Stufe.

Im Zuge der in der vorliegenden Studie durchgeführten Übersichtsökobilanzen wurden biobasierte Kunststoffe unter optimierten Randbedingungen wie sie heute schon umsetzbar wären bilanziert. Dabei lässt sich erkennen, dass die Treibhausgasemissionen und der nicht erneuerbare Ressourcenverbrauch weiter reduziert werden kann, was hier zukünftig weiter zunehmende Vorteile gegenüber den petrochemischen Kunststoffen erwarten lässt.

Die stark durch landwirtschaftliche Emissionen geprägten Umweltwirkungskategorien werden in weit geringerem Maße von technischen Verbesserungen profitieren. Die größten Verbesserungen wären hier durch Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft sowie eine Veränderung der Rohstoffbasis hin zu Reststoffen möglich.

Die hier getroffene ökobilanzielle Einschätzung von Produkten aus biobasierten Kunststoffen gilt für den Fall, dass die Produkte auch tatsächlich größere Anteile an Biomasse bzw. biogenem Kohlenstoff enthalten und zweitens eine den konventionellen Kunststoffen vergleichbare Funktionalität aufweisen (z.B. ähnliches Gewicht, ähnliche mechanische Eigenschaften).

Die aktuellen Forschungsbemühungen hin zu einer (stärker) biobasierten Chemie sind u.a. darauf ausgerichtet, durch speziell angepasste Mikroorganismen bzw. Enzyme auf der einen sowie Weiterentwicklung der Katalysatoren auf der anderen Seite die Anzahl der Verfahrensschritte zur Umwandlung biogener Rohstoffe hin zu Plattformchemikalien zu verkürzen. Der Herstellungsaufwand könnte damit

nochmal deutlich verringert werden. Diese Zukunftsoptionen konnten in den hier durchgeführten Übersichtsökobilanzen nicht berücksichtigt werden.

Es empfiehlt sich, auch für Biokunststoffe die abfallwirtschaftlichen Prinzipien anzuwenden. Wiederverwendbarkeit ist ein wünschenswertes Ziel. Sollte sie nicht möglich sein, ist ein werkstoffliches Recycling anzustreben. Die wirtschaftliche Rezyklierbarkeit ist eine sehr gute Voraussetzung für den Ressourcenschutz und die effektive Verwertbarkeit von Abfällen. Zudem werden auch schlecht bilanzierbare Risiken bei der Förderung von Erdöl oder bei klimabedingten Ernteausfällen in der Landwirtschaft durch Recycling gemildert. Diese Risiken von punktuell aber gegebenenfalls katastrophalem Ausmaß sprechen für das Recycling und den damit verknüpften Einsatz von Rezyklaten.

Die Kosten der biobasierten Kunststoffe liegen über denen der petrochemischen. Je nach Kunststofftyp liegt der Aufschlag bezogen auf eine Masseneinheit zumeist zwischen 10 % und 50 %, wobei bei einzelnen Kunststofftypen auch bis zu 300% möglich sind. Die höheren Kosten sind zum einen auf höhere Rohstoffkosten zurück zu führen. Zum anderen werden sie durch hohe Entwicklungskosten verursacht, die auf kleinere Mengen umgelegt werden. Hinzu kommt ein erhöhter Vertriebsaufwand durch intensive Beratungstätigkeit beim Kunden.

Letztlich besteht bei den petrochemischen Kunststoffen eine starke Abhängigkeit vom Rohölpreis. Dieser war in den vergangenen 10 Jahren relativ niedrig, wodurch die kostenseitige Konkurrenzfähigkeit von biobasierten Kunststoffen erschwert war.

Screening von Human- und Ökotoxikologie

Biobasierte Kunststoffe müssen, um zugelassen zu werden, dieselben rechtlichen Anforderungen erfüllen wie petrochemische Kunststoffe. Auch hinsichtlich der Produktanwendung lassen sich mit Blick auf Gesundheit und Verbraucherschutz keine prinzipiellen Unterschiede zwischen biobasierten und petrochemischen Kunststoffen ableiten.

Ableitung der Anforderungen an ein Umweltzeichen

Bei den biobasierten Kunststoffen handelt es sich nicht um verbrauchernahe Endprodukte im Sinne des Blauen Engel sondern um Werkstoffe, die in den verschiedensten Produktgruppen zum Einsatz kommen können. Daher werden in der Folge Hinweise gegeben, die in der Erarbeitung von Vergabekriterien für Umweltzeichen spezifischer Produktgruppen Berücksichtigung finden sollen.

In der übergreifenden Machbarkeitsstudie [Hennenberg et al. 2017] wird vorgeschlagen, dass im Rahmen der Vergabe des Blauen Engel ein nachweisbarer Mindestgehalt an biogenem Kohlenstoff bzw. Biomasse vorhanden sein muss. Denn es ist dem Verbraucher wie der Gesellschaft insgesamt schwer zu vermitteln, wenn ein als biobasiert deklariertes Produkt physisch nahezu vollständig aus fossiler Basis bestehen würde. Es wird daher empfohlen, eine vom biogenen Ursprung vollständig entkoppelte Biogenität für eine Produktauszeichnung im Rahmen des Blauen Engel nicht zuzulassen.

Der biogene Anteil sollte überprüfbar sein. Im Rahmen von Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen erfolgt eine solche Bemessung in der Regel nicht. Daher reicht ein Nachhaltigkeitszertifikat nicht ohne Weiteres aus, um einen angegebenen Biomassegehalt zu belegen.

Der festgelegte Mindestgehalt an organischem Material muss 50 % betragen und der Anteil biobasierter Kohlenstoffs 20 % überschreiten. Auf der Verpackung muss ausgewiesen werden, wie hoch die Anteile an biogenen und fossilen Kohlenstoffverbindungen sind und welcher Anteil aus Segregation bzw. Massenbilanz stammt.

Biomasse, die als Rohstoff für die Herstellung von biobasierten Kunststoffen verwendet wird, muss den Anforderungen für eine nachhaltige Biomasseproduktion entsprechen. Es wurden Zertifizierungs-

systeme aufgeführt, die den Anforderungen genügen. Diese Nennung von Zertifizierungssystemen wird bis zum Jahr [2022 oder 2023] erneut geprüft.

Um die prinzipielle Rückverfolgbarkeit sicherzustellen, ist die Verwendung eingekaufter Zertifikate auf der Basis von Book & Claim ausgeschlossen. Der Einkaufsnachweis der Rohstoffe oder Halbprodukte erfolgt auf der Grundlage von Verfahren gemäß Segregation oder Massenbilanz.

Insgesamt sollte das biobasierte Produkt über den Lebensweg eine THG-Einsparung gegenüber dem entsprechenden nicht-biobasierten Vergleichsprodukt aufweisen. Diese Anforderung muss jedoch auf der Ebene der eigentlichen Produktgruppen erfolgen; ein alleiniger Vergleich auf der Werkstoffebene ist dafür nicht ausreichend. Bei der Festlegung des Umfangs der erforderlichen Einsparung(srate) sollte die Komplexität des Lebenswegs der jeweiligen Produktgruppe berücksichtigt werden.² Der Nachweis kann entweder im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung oder alternativ durch Vorlage einer entsprechenden Bilanzierung gemäß ISO 14040/44 oder ISO 14067 erfolgen.

Emissionen aus Landnutzungsänderungen sind ebenfalls zu berücksichtigen. Dafür wird vorgeschlagen, dass:

- Die Biomasse wird in einem Land erzeugt, in welchem im Mittel der letzten 10 Jahre die Ausdehnung der
 1. Anbaufläche der entsprechenden Feldfrucht oder
 2. der Agrarfläche insgesamt, wenn ein direkter Zusammenhang zwischen der entsprechenden Feldfrucht und der Landnutzungsänderungen nicht hergestellt werden kann,
- zu weniger als 3 % zu Landnutzungsänderung zu Lasten von Wald und/oder Grünland und/oder anderen Naturräumen geführt hat.
- Die Biomasse wird in einem Land erzeugt, in welchem im Durchschnitt der letzten 10 Jahre der mittlere jährliche Verlust von Wald und/oder Grünland und/oder anderen Naturräumen verursacht durch die Ausdehnung der Agrarfläche weniger als 3 % beträgt.
- Wenn für das Herkunftsland der Biomasse einer der beiden genannten Schwellenwerte überschritten ist,
 1. jedoch nachgewiesen werden kann, dass zumindest in den drei jüngsten Jahren liegen beide Werte unter 1 % liegen oder
 2. für die Biomasse per Zertifizierung nachgewiesen werden kann, dass die Produktion der Biomasse, auf einem Ansatz beruht, der ein niedriges iLUC Risiko sicherstellt (z.B. nach RSB Low iLUC oder etwas Gleichwertiges).

gelten die Kriterien als erfüllt.

Für den Verbraucher sind Informationen über das Produkt und dessen Herstellung auszuweisen, entweder auf dem Anlieferungsbeleg oder auf der Verpackung. Die folgenden Angaben müssen enthalten sein:

- Erklärung über den biogenen Anteil im Produkt
- Erklärung zum Nachhaltigkeitsnachweis (z.B. Nennung des Zertifizierungssystems)
- Ggf. die Einsparung an Treibhausgasemissionen gegenüber dem fossilen Vergleichsprodukt in kg CO₂-Äquiv./kg Endprodukt.

² Ein Vorschlag, wie hier vorgegangen werden sollte, wurde im UBA-Forschungsprojekt „Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen“ (Carus et al. 2014) erarbeitet.

Summary

Background

As part of the research project "Implementation of sustainability criteria for the material use of biomass in the context of the Blue Angel" (short: "Blue Angel Bio-Stoff"), the present PROSA study on the development of award criteria for eco-labels was carried out with a special focus on the product group of biobased plastics. The existing criteria for the sustainable use of renewable raw materials were further developed.

In addition to working on concrete biobased product groups, the project focused above all on an overarching level and deals with the evaluation of the sustainability of biobased products with regard to their treatment and with regard to concrete requirements for the award of the eco-label. The results will be applied in practice. The main focus will be on questions concerning the origin of biomass and the possible competition for use associated with its additional use, as well as the fundamental question of sustainable use of the limited resource area.

All the work has been carried out according to the PROSA - Product Sustainability Assessment method developed by the Öko-Institut. With the market and environment analysis, the life cycle assessment and the benefit analysis, PROSA comprises the necessary partial methods for the integrative development of the relevant allocation criteria. Since social aspects have not yet been included in eco-labels or cannot be quantified, no social balance sheet was carried out within the scope of this study. The Life Cycle Assessment includes an analysis of the environmental impact of the manufacture, use and disposal of the product in order to derive award criteria for the Ecolabel in accordance with ISO 14024. In addition to energy consumption and the greenhouse effect, environmental impacts such as resource consumption, Eutrophication potential and land use were considered.

Product Group

The product group of biobased plastics combines the properties of plastics with the properties of production from biogenic raw materials. They are defined as materials based on polymers that consist to a large extent or exclusively of renewable raw materials.

Like conventional petrochemical plastics, biobased plastics are usually also polymers, i.e. synthetic organic compounds consisting of macromolecules. The term 'biobased plastic' is often used synonymously with the term 'biopolymer'. In this sense, plastics made from the naturally occurring macromolecules cellulose or starch are also considered biobased plastics. Furthermore, it is helpful to consider the processing chain in order to understand the terms 'plastic' and 'polymer'.

Market and Environment Analysis

According to the industry association of European bioplastics producers EuBP, the global production capacity of biobased plastics will be 2.05 million tonnes in 2017. The forecast for 2022 is 2.44 million tonnes. The largest shares are accounted for by b-PET (biobased polyethylene terephthalate), starch blends and polylactide (PLA). There are no exact figures on the amount of bioplastics used on the German market.

At b-PET, only one of the two monomers used for synthesis, monoethylene glycol (b-MEG), is of biogenic origin. The complementary monomer terephthalic acid (PTA) is still largely obtained petrochemically. This means that the biogenic mass fraction of the finished PET polymer is about 30%. Polylactide (PLA) is a new type of plastic that is produced almost entirely from biomass-se.

There are no signs of market saturation. According to PlasticsEurope, 58 million tonnes of plastics were produced in the EU in 2015, globally even 322 million tonnes [PlasticsEurope 2017]. In this con-

text, the share of global production capacities for biobased plastics amounts to only 3.5% and 0.6% respectively in 2017.

Today, biobased plastics are mainly used in the field of packaging. At 1,200 kt/year worldwide, rigid and flexible packaging will account for a combined share of around 58 % in 2017, followed by textiles, the automotive sector and consumer goods. Consumer goods, on the other hand, include a wide variety of products, including office supplies.

Bio-based plastics are traded globally. Until recently, global production capacities were distributed almost evenly across the four regions Europe, North America, South America and Asia/Oceania. More than 50% of production capacity is now located in Asia.

The type and origin of biogenic raw materials are as varied as the areas of application. For starch blends, corn grown in Europe is the most important raw material. PLA is mainly produced in the USA from corn cultivated in the USA. B-PE is currently only produced in Brazil on the basis of sugar cane. b-PET is currently mainly produced in India, but with b-MEG from ethanol produced in Brazil on the basis of sugar cane.

The cost of biogenic raw materials is the biggest price driver in the production of biobased plastics. The price premium over petrochemical plastics is strongly influenced by the crude oil reference price, with which the prices of petrochemical plastics more or less correlate directly.

In practice, biobased plastics usually still have the disadvantage of being produced in smaller plants than petrochemical plastics, so that the price differences are also due to the economies of scale that have not been achieved or only partially achieved. It is therefore expected that the prices for biobased plastics could be lower in the near future due to economies of scale in the production of biobased plastics and their conversion to products.

Sustainability Rating

With regard to the sustainability requirements for the origin of raw materials, the criteria of ISO Standard 13065 ("Sustainability Criteria for Bioenergy") were applied. These include environmental, social and economic issues. All criteria of this standard for the production of biomass must be fulfilled.

In order to assess the competition for biogenic raw materials between different uses (e.g. energy and material use) with the same strict standards as are applied or demanded for the energetic use of biomass, a so-called overarching feasibility study for biobased products was developed separately as part of this project. A comprehensive test catalogue based on the ISO 13065 standard (ISO/PC 248) was developed, which allows a comparably ambitious assessment of certification systems as for energy use. Certification systems that pass this test can be approved under the Blue Angel. The main focus was on certification systems that take into account the certification of agricultural biomass.

After the detailed analysis in the feasibility study, this work was limited to identifying those certification systems that adequately cover the relevant raw material basis for biobased plastics. For biobased plastics it is recommended to use the following certification systems for the award criteria of the Blue Angel:

- ▶ *Roundtable for Sustainable Biomaterials (RSB)*
- ▶ *International Sustainability & Carbon Certification (ISCC)*
- ▶ *Roundtable for Sustainable Palm Oil (RSPO)*
- ▶ *Roundtable on Responsible Soy (RTRS).*

The certification of biobased products is an essential basis for the expansion of more sustainable production. However, certification cannot serve to resolve all potential sustainability conflicts. In particular, this does not guarantee "sustainability per se" in its entirety. A number of very important aspects,

such as the conflict with food safety and other indirect effects, can only be resolved very inadequately, if at all, by certification. Indirect land use changes are therefore not included in prEN 16751:2014 on sustainability criteria for biobased products.

Life Cycle Analysis and Life Cycle Costs

Within the scope of the study, two overview eco-balances were prepared, with which the present state of knowledge is to be updated or supplemented. At the request of the Federal Environment Agency, this was implemented using the example of the beverage bottles and carrier bags product group.

It was found that products made of biobased plastics generally show slightly better results in terms of greenhouse gas emissions and fossil resource consumption in the life cycle assessment. On the other hand, they are often less favourable with regard to other environmental indicators such as acidification and eutrophication. Overall ecologically, these bio-based plastics are not necessarily better than conventional plastics, but they are at least on a par with them.

In the course of the review life cycle assessments carried out in this study, biobased plastics were assessed under optimised boundary conditions as they could already be implemented today. This shows that greenhouse gas emissions and the non-renewable consumption of resources can be further reduced, which is expected to lead to further advantages over petrochemical plastics in the future.

The environmental impact categories, which are strongly influenced by agricultural emissions, will benefit to a much lesser extent from technical improvements. The greatest improvements here would be possible through reduction measures in agriculture and a change in the raw material base towards residual materials.

The life cycle assessment made here for products made of biobased plastics applies in the event that the products actually contain larger amounts of biomass or biogenic carbon and, secondly, have a functionality comparable to that of conventional plastics (e.g. similar weight, similar mechanical properties).

Current research efforts towards (more) biobased chemistry are aimed at reducing the number of process steps for the conversion of biogenic raw materials into platform chemicals by using specially adapted microorganisms or enzymes on the one hand and further development of catalysts on the other. This could lead to a further significant reduction in manufacturing costs. These future options could not be taken into account in the life cycle assessments carried out here.

It is also advisable to apply the waste management principles to bioplastics. Reusability is a desirable goal. If it is not possible, material recycling should be the aim. Economic recyclability is a very good prerequisite for the protection of resources and the effective recyclability of waste. In addition, risks that are difficult to balance are mitigated by recycling in the case of oil production or climate-related crop failures in agriculture. These risks of a selective but possibly catastrophic scale speak in favour of recycling and the associated use of recyclates.

The costs of bio-based plastics are higher than those of petrochemical plastics. Depending on the type of plastic, the surcharge is usually between 10 % and 50 % per unit mass, whereby up to 300 % is also possible for individual types of plastic. The higher costs can be attributed to higher raw material costs. On the other hand, they are condemned by high development costs, which are passed on to smaller quantities. In addition, there is an increase in selling expenses due to intensive customer consulting activities.

Ultimately, petrochemical plastics are heavily dependent on the price of crude oil. This has been relatively low over the past 10 years, which has made the cost competitiveness of biobased plastics more difficult.

Human and Ecotoxicological Screening

In order to be approved, biobased plastics must meet the same legal requirements as petrochemical plastics. With regard to product application, no fundamental differences can be derived between biobased and petrochemical plastics with regard to health and consumer protection.

Derivation of the Requirements for an Eco-Label

Biobased plastics are not consumer-oriented end products in the sense of the Blue Angel, but materials that can be used in a wide variety of product groups. For this reason, information will be given below which should be taken into account in the development of award criteria for eco-labels for specific product groups.

In the comprehensive feasibility study [Hennenberg et al. 2017] it is proposed that a verifiable minimum content of biogenic carbon or biomass must be present in the framework of the award of the Blue Angel. This is because it is difficult to convey to consumers and society as a whole that a product declared as biobased would physically consist almost entirely of fossil fuels. It is therefore recommended not to allow a product to be labelled under the Blue Angel if it is completely decoupled from its biogenic origin.

The biogenic content should be verifiable. In the context of sustainability certification systems, such assessment is generally not carried out. Therefore, a sustainability certificate is not sufficient to prove a declared biomass content.

The specified minimum content of organic material must be 50 % and the proportion of bio-based carbon must exceed 20 %. The packaging must indicate the proportion of biogenic and fossil carbon compounds and the proportion of segregation or mass balance.

Biomass used as a raw material for the production of biobased plastics must meet the requirements for sustainable biomass production. Certification systems that meet the requirements have been listed. This naming of certification systems will be re-examined by [2022 or 2023].

In order to ensure traceability in principle, the use of purchased certificates on the basis of Book & Claim is excluded. Proof of purchase of raw materials or semi-finished products is provided on the basis of procedures according to segregation or mass balance.

Overall, the biobased product should show GHG savings over its entire life cycle compared to the corresponding non-biobased reference product. However, this requirement must be met at the level of the actual product groups; a mere comparison at the material level is not sufficient. The complexity of the life cycle of the respective product group should be taken into account when determining the extent of the required savings (rate). Proof can be provided along with the certification or alternatively, by submitting a corresponding balance according to ISO 14040/44 or ISO 14067.

Emissions from land use changes should also be taken into account. For this purpose it is proposed that:

- ▶ The biomass is produced in a country in which, on average over the last 10 years, the extension of the
 1. the area under cultivation of the corresponding crop, or
 2. the agricultural area as a whole, if a direct link cannot be established between the crop in question and land-use changes,
- ▶ has led to less than 3 % land use change at the expense of forest and/or grassland and/or other natural areas.

- ▶ The biomass is produced in a country where, on average over the last 10 years, the average annual loss of forest and/or grassland and/or other natural areas is less than 3 % due to the expansion of agricultural land.
- ▶ If for the country of origin of the biomass one of the two threshold values mentioned is exceeded,
 1. it can, however, be shown that both values are below 1 % at least in the three most recent years, or
 2. for the biomass by certification, it can be demonstrated that the production of the biomass is based on an approach that ensures a low iLUC risk (e.g. RSB Low iLUC or equivalent).

The criteria are considered to be met.

For the consumer, information on the product and its manufacture must be shown, either on the proof of delivery or on the packaging. The following information must be included:

- ▶ Declaration on the biogenic content in the product
- ▶ Declaration on proof of sustainability (e.g. naming the certification system)
- ▶ If applicable, the reduction in greenhouse gas emissions compared with the fossil reference product in kg CO₂ equivalent / kg end product.

1 Einleitung

Dieser Bericht ist Teil des Forschungsvorhabens „*Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engel*“ (kurz: „Blauer Engel Bio-Stoff“), welche die Bearbeitung von biobasierten Schmierstoffen und biobasierten Wasch- und Reinigungsmittel sowie die im vorliegenden Bericht betrachteten **biobasierten Kunststoffe** umfasst.

Bei den biobasierten Kunststoffen handelt es sich nicht um verbrauchernahe Endprodukte im Sinne des Blauen Engel sondern um Werkstoffe, die in den verschiedensten Produktgruppen zum Einsatz kommen können. Daher sollen hier grundsätzliche Anforderungen an biobasierte Kunststoffe abgeleitet werden, die in den Vergabekriterien für Umweltzeichen spezifischer Produktgruppen Berücksichtigung finden sollen.

Der Blaue Engel als „starkes“ Label zeigt neben der direkten Orientierung für den Kauf von Produkten der Erfahrung nach einen erheblichen Ausstrahlungseffekt auf alle anderen Informationssysteme und auf Innovationsziele der Hersteller und hat darüber hinaus prägenden Einfluss auf nationale und europäische gesetzliche Entwicklungen. Somit kann die vorliegende Studie zudem für weitere Umsetzungsbereiche verwendet werden:

- ▶ die freiwillige Umweltkennzeichnung von Produkten generell (neben dem Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ auch für das europäische Umweltzeichen oder diverse Umwelt-Rankings),
- ▶ Verbraucherinformationen zum Kauf und Gebrauch biobasierter Produkte (einsetzbar bei der Verbraucher- und Umweltberatung von Verbraucherzentralen, Umweltorganisationen und Umweltportalen),
- ▶ Anforderungen an neue Produktgruppen bei der Ökodesign-Richtlinie und für Best-Produkte bei Förderprogrammen für Produkte,
- ▶ Ausschreibungskriterien für die öffentliche und umweltfreundliche Beschaffung,
- ▶ produktbezogene Innovationen bei Unternehmen.

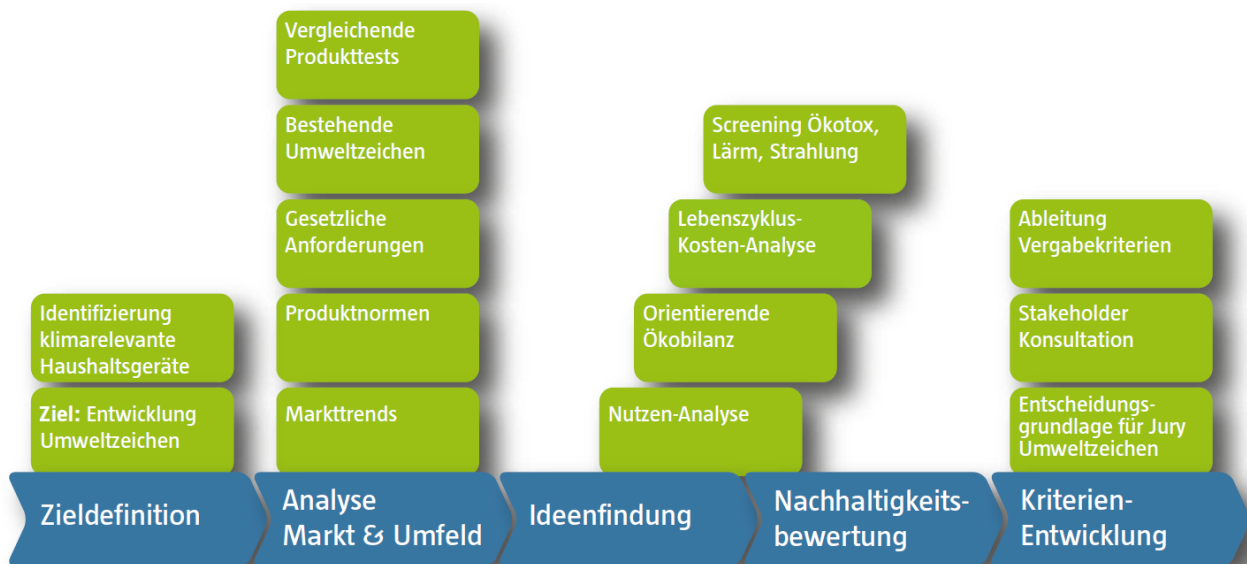
2 Methodisches Vorgehen

Für die Ableitung von Vergabekriterien für das Umweltzeichen wird gemäß ISO 14024 geprüft, welche Umweltauswirkungen bei der Herstellung, Anwendung und Entsorgung des Produktes relevant sind – neben Energieverbrauch und Treibhauseffekt kommen Umweltauswirkungen wie Ressourcenverbrauch, Eutrophierungs-Potenzial, Lärm, Toxizität, etc. in Betracht.

Methodisch wird die Analyse mit der vom Öko-Institut entwickelten Methode PROSA – Product Sustainability Assessment durchgeführt (Abbildung 2-1). PROSA umfasst mit der Markt- und Umfeld-Analyse, der Ökobilanz und der Nutzen-Analyse die erforderlichen Teil-Methoden zur integrativen Entwicklung der relevanten Vergabekriterien.

Da soziale Aspekte bislang kaum oder nicht quantifizierbar in Umweltzeichen einbezogen werden, wird im Rahmen dieser Studie keine Sozialbilanz durchgeführt. Grundsätzlich eignet sich die Methode PROSA jedoch auch zur Identifizierung von sozialen Hot-Spots, die entlang des Lebensweges von Produkten auftreten.

Abbildung 2-1 Screening-PROSA für die Entwicklung von Vergabekriterien für Umweltzeichen



Screening-PROSA für die Entwicklung von Vergabekriterien für Umweltzeichen

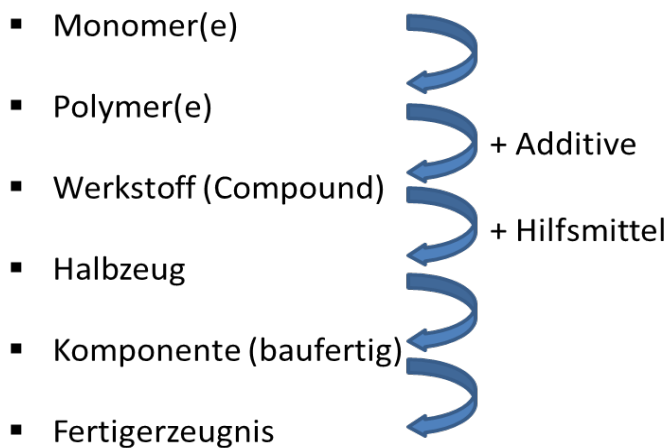
3 Teil I

3.1 Definition der Produktgruppe

Die Produktgruppe der **biobasierten Kunststoffe** verbindet die Eigenschaft von Kunststoffen mit der Eigenschaft der Herstellung aus biogenen Rohstoffen. Gemäß der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe handelt es sich dabei um Werkstoffe auf der Basis von Polymeren, die zu einem wesentlichen Anteil oder ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen [FNR 2015] bestehen.

Wie die konventionellen petrochemischen Kunststoffe zählen auch die biobasierten Kunststoffe üblicherweise zu den Polymeren, also synthetischen organischen Verbindungen, die aus Makromolekülen bestehen. Häufig wird der Begriff ‚biobasierter Kunststoff‘ synonym zum Ausdruck ‚Biopolymer‘ gebraucht. In diesem Sinne werden auch Kunststoffe aus den natürlich vorkommenden Makromolekülen Cellulose oder Stärke zu den biobasieren Kunststoffen gezählt. Darüber hinaus ist es hilfreich, für das Verständnis der Begriffe ‚Kunststoff‘ und ‚Polymer‘ die Verarbeitungskette zu beachten (s. Abbildung 3-1).

Abbildung 3-1: Polymere im Herstellungsprozess von Kunststoffprodukten



Quelle: ifeu

Ein ‚Polymer‘ ist demnach die zugrundeliegende Kunststoffart in Reinform, die analog zur Bildung herkömmlicher Kunststoffe durch die bekannten Reaktionsarten Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition von Monomeren entstanden ist. Das Polymer wird in der Regel mit unterschiedlichen Additiven und Hilfsstoffen vermischt, bevor er als Werkstoff zum fertigen Produkt weiterverarbeitet wird. Möglich ist auch, dass zur weiteren Verarbeitung unterschiedliche Arten von Polymeren zu Mischungen, sogenannten ‚Blends‘, vermengt werden.

Praxisrelevant werden all diese Differenzierungen immer dann, wenn Mengen und Anteile von biobasierten Kunststoffen in Fertigerzeugnissen beurteilt werden sollen. Zum Beispiel sieht der Industrieverband Schreiben, Zeichnen, Kreatives Gestalten e.V. hierzu vor, dass „für Prozentangaben von Biokunststoffanteilen „das gesamte Gewicht aller verwendeten Kunststoffkomponenten“ [ISZ 2013] als Bezug verwendet wird. Ausgenommen sind demnach alle „Komponenten die nicht aus Kunststoff bestehen (Holz, Metalle) und Schreibmedien (Tinte, Paste etc.)“. Weicht die Berechnung hiervon ab, „ist dies deutlich anzugeben“ [ISZ 2013].

Für Kunststoffe mit Bioabbaubarkeit ist zu beachten, dass der Begriff ‚Bioabbaubarkeit‘ nicht notwendigerweise mit ‚Kompostierbarkeit‘ gleichzusetzen ist [vgl. Detzel et al. 2012]. Bioabbaubar ist jedes Material, das durch Mikroorganismen mineralisiert werden kann, ungeachtet der Zeitdauer des Ab-

bauvorgangs. Als ‚kompostierbar‘ im engeren Sinne gilt ein Material, wenn es unter genauer gefassten Bedingungen innerhalb einer definierten Zeit biologisch abgebaut werden kann [vgl. DIN EN 14995]. Maßgeblich sind die jeweiligen Zertifizierungen sowie die Vorgaben der Bioabfallverordnung und der Düngemittelverordnung. Meist werden dazu der Zeitrahmen und die definierten Randbedingungen der industriellen Kompostierung herangezogen. Der Nachweis der industriellen Kompostierbarkeit kann durch die weitgehend identischen Normen EN 13432 (Verpackungen) und EN 14995 (Werkstoffe) erfolgen (möglichst auf Basis von Zertifikaten).

3.2 Markt- und Umfeldanalyse

3.2.1 Markttrends

Der Branchenverband der Europäischen Biokunststoffproduzenten EuBP veröffentlicht regelmäßig Informationen zu den globalen Produktionskapazitäten von biobasierten Kunststoffen [vgl. EuBP 2017]. In Abbildung 3-2 sind die vom Branchenverband berichteten weltweiten Produktionskapazitäten im Jahr 2017 (2,05 Mio. t) sowie die für das Jahr 2022 prognostizierten Produktionskapazitäten (2,44 Mio. t) aufgeschlüsselt nach den einzelnen biobasierten Kunststoffen dargestellt. Es ist nicht bekannt, zu welchem Ausmaß diese Kapazitäten derzeit ausgeschöpft werden. Ebenso gibt es keine genauen Zahlen dazu, wie groß die Einsatzmenge an Biokunststoffen auf dem deutschen Markt ist.

Die mit dem Kürzel „b-“ (für „biomassebasiert“) gekennzeichneten Biopolymere sind zum einen Materialien, die teilweise oder ganz biobasiert, aber sonst chemisch strukturgleich zu den herkömmlichen Kunststoffen Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET) und Polycarbonat (PC) sind. Zum anderen handelt es sich um biobasiertes Polyamid (PA) das chemisch-strukturell im Prinzip dem entsprechenden petrochemischen Polymer zuzuordnen, wobei es sich dabei um eine Polymergruppe handelt, innerhalb derer es eine Vielzahl unterschiedlicher Verbindungen gibt. Daher sind die biobasierten Varianten nicht zwangsläufig strukturell identisch mit petrochemischen PA -Werkstoffen.

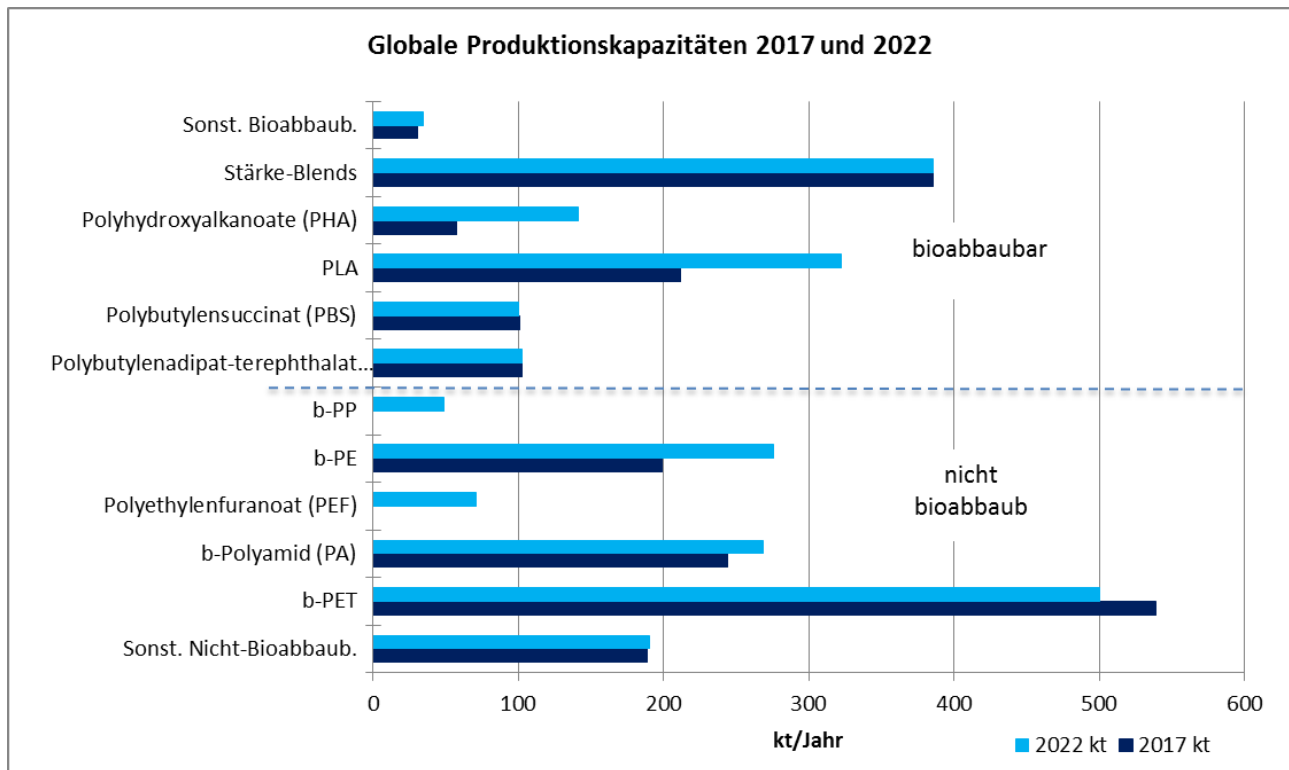
Insgesamt geht man davon aus, dass sich diese „strukturgleichen“ biobasierten Kunststoffe, bio-PE und bio-PET, im Verarbeitungsprozess und den darauffolgenden Nutzungen identisch zu den konventionellen Kunststoffen verhalten [vgl. Detzel et al. 2012]. Weil sie dadurch relativ einfach in die konventionellen Herstellungsverfahren und Prozessketten integriert werden können, spricht man auch von „Drop in“-Kunststoffen [vgl. Endres und Siebert-Rath 2009].

Zu den ebenfalls nicht auf Bioabbaubarkeit ausgelegten Biopolymeren zählt auch Polyethylenfuranoat (PEF). Ähnlich wie PET wird PEF aus einer Dicarbonsäure und Ethylenglykol hergestellt.

Insgesamt geht der Branchenverband [EuBP 2017] davon aus, dass von den heutigen Produktionskapazitäten für biobasierte Kunststoffe über 55% auf nicht bioabbaubare Kunststoffe entfallen (s. Abbildung 3-2, Balken unterhalb der gestrichelten Linie). Die in Abbildung 3-2 über der gestrichelten Trennlinie abgebildeten biobasierten Kunststoffe gelten als bioabbaubar, wenngleich zur endgültigen Feststellung eine Zertifizierung nach EN 13432 erforderlich ist. Die Hersteller sämtlicher Biokunststoffe streben verstärkt die Rezyklierbarkeit der Materialien sowie der daraus hergestellten Produkte an. Unabhängig davon, ob die biobasierten Kunststoffe strukturgleich zu petrochemischen Kunststoffen sind oder neuartige Molekülstrukturen aufweisen, gewinnen Ziele der Abfallvermeidung, der Wiederverwendung und des Recyclings mit Blick auf das zum 1. Januar 2019 in Kraft tretende Verpackungsgesetz [VerpackG] an Bedeutung.

Die größten Produktionskapazitäten gemäß [EuBP 2017] sind bei b-PET und den Stärkeblends sowie etwas abgestuft bei b-PA, PLA und b-PE.

Abbildung 3-2: Globale Produktionskapazitäten nach Biokunststoffarten 2017 und 2022



Quelle: Daten [EuBP 2017], Grafik ifeu;

b-: biomassebasiert; PHA: Polyhydroxyalkanoate, PLA: Polylactid, PBS: Polybutylen-Succinat, PBAT: Poly(Butylen-Adipat-Co-Terephthalat), PE: Polyethylen, PET: Polyethylenfuranoat, PA: Polyamid, PET: Polyethylenterephthalat

Bei b-PET ist derzeit nur eines der beiden zur Synthese verwendeten Monomere, das Monoethylenglykol (b-MEG), biogenen Ursprungs. Das komplementäre Monomer Terephthalsäure (PTA) wird bisher noch weitestgehend petrochemisch gewonnen. Damit liegt der biogene Masseanteil des fertigen PET-Polymers bei etwa 30%. Der biogene Anteil in b-PE beträgt je nach Anteil an fossilen Zusätzen zwischen 85% (b-PE niedriger Dichte – PE-LD) und nahe 100% (b-PE hoher Dichte – PE-HD).

Polylactid (PLA) und Polyhydroxyalkanoate (PHA) sind neuartige Kunststoffe, die fast vollständig aus Biomasse hergestellt werden. Die Gruppe der unter definierten Randbedingungen bioabbaubaren Polyester (PBAT, PBS) wiederum umfasst Kunststoffe, die derzeit noch ganz oder teilweise auf konventioneller petrochemischer Rohstoffbasis hergestellt werden, aber ebenfalls bioabbaubar sind. Sie werden in aller Regel in Mischung („Blend“) mit PLA oder Stärke verwendet. Unter allen bioabbaubaren Kunststoffen sind PLA bzw. PLA-Blends, Stärkeblends und die bioabbaubaren Polyester die mengenmäßig wichtigsten. In PLA-Blends und Stärkeblends liegen die biobasierten Anteile derzeit i.d.R. zwischen 30% und 60%.

Die Angaben zu den Produktionskapazitäten bei [EuBP 2017] berücksichtigen nicht die jeweiligen biogenen Gehalte der biobasierten Kunststoffe. Deren tatsächlicher Anteil an Biomasse variiert, wie zuvor dargestellt, je nach Kunststofftyp und liegt über die Kapazitäten der genannten biobasierten Kunststoffe gemittelt bei schätzungsweise 50% bezogen auf den biogenen Kohlenstoffgehalt.

Gemäß der Prognose nach [EuBP 2017] wächst die Produktionskapazität in 2022 moderat auf 2,44 Mio. t/Jahr an (s. Abbildung 3-2). Das größte Gesamtwachstum wird dabei wesentlich bei b-PE, b-PET, PLA und b-PA erwartet. Insgesamt bestätigt sich hier der Trend zu biobasierten Kunststoffen, bei denen die Bioabbaubarkeit nicht im Fokus steht.

3.2.2 Marktsättigung

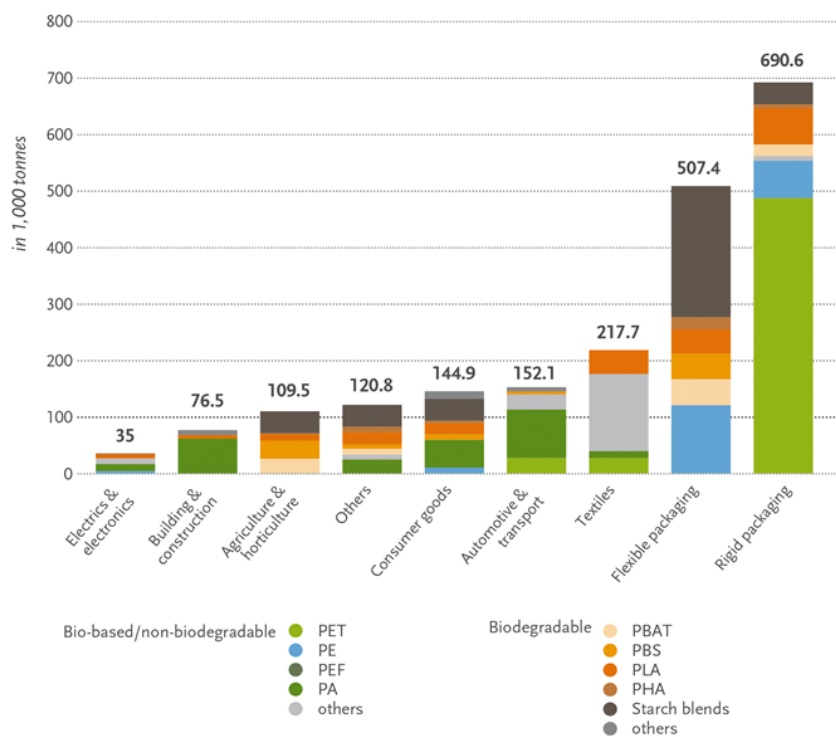
Eine Marktsättigung ist nicht erkennbar. Nach Angaben von PlasticsEurope wurden in der EU (EU-28+NO/CH) im Jahr 2015 58 Mio. t Kunststoffe hergestellt, global sogar 322 Mio t [PlasticsEurope 2017]. Darauf bezogen beläuft sich der Anteil der globalen Produktionskapazitäten an biobasierten Kunststoffen im Jahr 2017 auf lediglich 3,5% bzw. 0,6%.

3.2.3 Einsatzbereiche und Konsumtrends

Der Branchenverband EuBP stellt eine Übersicht zu den verschiedenen Anwendungsgebieten der biobasierten Kunststoffe nach Marktsegmenten für die Bezugsjahre 2017 und 2022 zur Verfügung. Wie in Abbildung 3-3 und (s. Abbildung 3-4) ersichtlich, sollen biobasierte Kunststoffe heute vor allem auf dem Gebiet der Verpackung Anwendung finden.

Abbildung 3-3: Anwendungsfelder für Biobasierte Kunststoffe 2016

Global production capacities of bioplastics 2017 (by market segment)

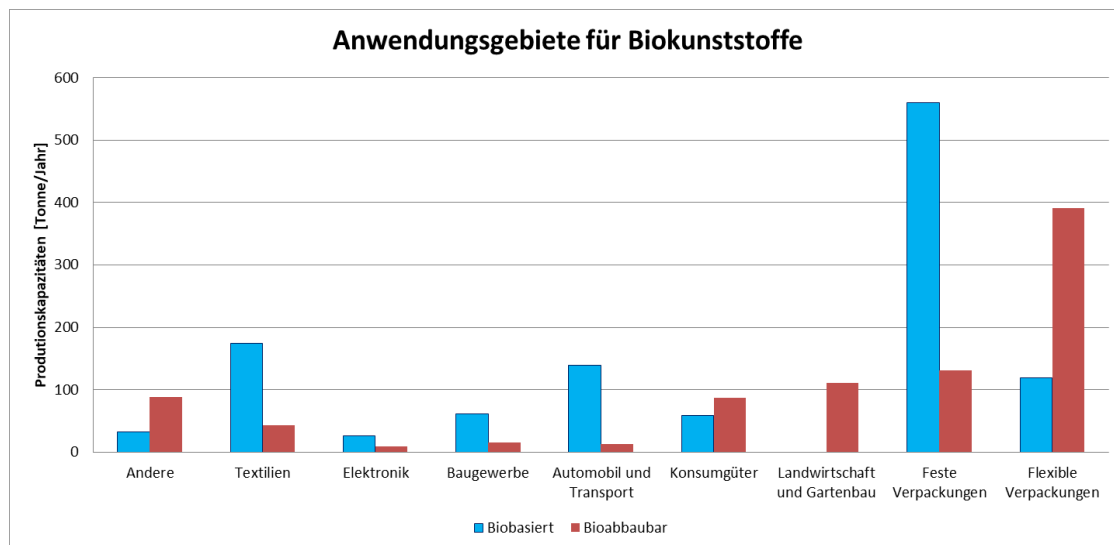


Source: European Bioplastics, nova-Institute (2017). More information: www.bio-based.eu/markets and www.european-bioplastics.org/market

Quelle: [EuBP 2017]

Mit weltweit 1.200 kt/Jahr nehmen die starren und flexiblen Verpackungen zusammen im Jahr 2017 einen Anteil von rund 58% (Masseprozent) ein, gefolgt von – in absteigenden Anteilen - dem Textilbereich, dem Automobilsektor und den Konsumgütern. Unter den Konsumgütern wiederum finden sich ganz unterschiedliche Produkte, u.a. Büromaterialien (s.a. Anhang A und [EuBP 2013]).

Abbildung 3-4: Anwendungsfelder für Biobasierte Kunststoffe 2017



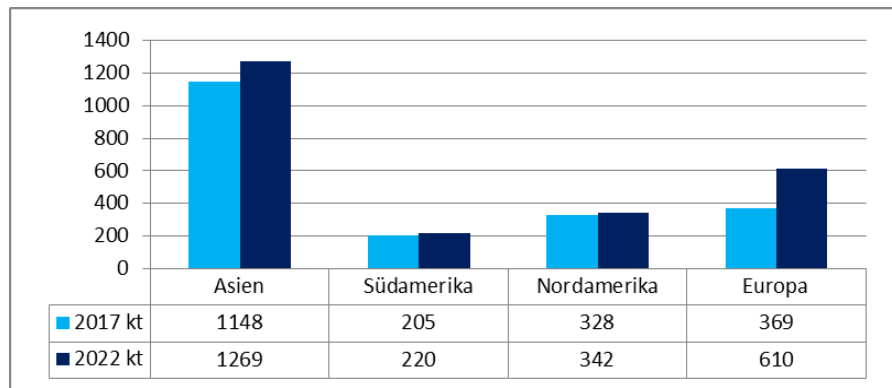
Quelle: Daten [EuBP 2017], Grafik ifeu

Bezogen auf die Biokunststoffkapazitäten des Jahres 2022 bleiben gemäß den Daten bei [EuBP 2017] die Anteile der einzelnen Anwendungsgebiete bei zunehmenden Kapazitäten in einem vergleichbaren Verhältnis zueinander.

3.2.4 Rohstoffe

Biobasierte Kunststoffe werden global gehandelt. Waren bis vor kurzem die globalen Produktionskapazitäten noch nahezu gleichmäßig über die vier Regionen Europa, Nordamerika, Südamerika und Asien/Ozeanien verteilt [Detzel et al. 2012], so sind aktuell mehr als 50 % der Produktionskapazitäten in Asien angesiedelt. Der weitere Kapazitätsausbau wird gemäß der aktuellen Zahlen bei [EuBP 2017] wieder verstärkt in Europa erwartet (s. Abbildung 3-5), wobei auch Zuwächse in Asien sowie Süd- und Nordamerika prognostiziert werden.

Abbildung 3-5: Produktionskapazitäten nach Weltregionen 2016 und 2021



Quelle: Daten [EuBP 2017], Grafik ifeu

Die Herkunft der biogenen Rohstoffe wird bei [EuBP 2017] nicht weiter aufgeschlüsselt. In der Folge wird eine orientierende Zuordnung von Biokunststofftypen und Biomassearten sowie -herkünften versucht:

- ▶ Stärke-Blends
 - Kapazitäten vor allem in Europa
 - Wichtigster Rohstoff: in Europa angebauter Mais
- ▶ Bioabbaubare Co-Polyester
 - Kapazitäten vor allem in Europa und Asien
 - Rohstoff: derzeit noch überwiegend Erdöl und Erdgas, zunehmend werden einzelne Bausteine aus Pflanzenölen (z.B. Rizinus, Mariendistel) und Zuckern gewonnen
- ▶ PLA
 - Die größten Kapazitäten befinden sich in den USA
 - Rohstoff: in USA angebauter Mais
 - kleinere Kapazitäten derzeit in Asien (bes. China), ab ca. 2020 auch größere Kapazitäten in Thailand
 - Rohstoff: u.a. Rohrzucker asiatischer Herkunft
- ▶ b-PE
 - derzeit nur in Brasilien hergestellt
 - Rohstoff: in Brasilien angebautes Zuckerrohr
- ▶ b-MEG (für die Herstellung von b-PET)
 - Herstellung derzeit vor allem in Indien
 - Rohstoff: Zuckerrohr basiertes Ethanol aus Brasilien
 - Derzeit werden auch in der Türkei Kapazitäten zur Herstellung von b-MEG aufgebaut
- ▶ b-PA
 - (hier gibt es innerhalb der Polymerklasse jeweils eine Vielzahl verschiedener Untergruppen)
 - zum Einsatz kommen Monomere aus Pflanzenölen (z.B. Rizinus, Soja, Raps) und ggf. auch Zucker
 - Kapazitäten befinden sich in Europa, Nordamerika und Asien bzw. sind dort im Aufbau

Wie diese Auflistung zeigt, werden die für die Herstellung von biobasierten Kunststoffen eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe derzeit noch quasi vollständig aus Anbaubiomasse gewonnen.

3.2.5 Herstellungsverfahren

Die Technologie zur Herstellung von biobasierten Kunststoffen besteht häufig aus einer Kombination aus konventionellem Landbau, mechanischer und biotechnologischer Verarbeitung der Biomasserohstoffe sowie dem Einsatz von chemischen Syntheseverfahren.

Beispiele:

Herstellung von Bioethanol mittels Fermentation von Rohrzucker. Bioethanol wird anschließend in konventioneller chemischer Verfahrenstechnik weiterverarbeitet zu:

- ▶ b-Ethylen für die Herstellung von b-PE (das Konversionsverfahren von b-Ethanol zu b-Ethylen wurde in den vergangenen Jahren von dem brasilianischen Unternehmen BRASKEM entwickelt und zur Marktreife gebracht)
- ▶ b-MEG für die b-PET-Herstellung.

- Herstellung von Milchsäure mittels Fermentation von Dextrose. Die Milchsäure wird anschließend in konventioneller chemischer Verfahrenstechnik zu Lactid und weiter zu Polylactid (PLA) verarbeitet. Die Dextrose wird in einer Nassmühle mechanisch aus Mais gewonnen.

Mit Blick auf die zukünftig erwartete Bedeutung von b-PET sei noch darauf hingewiesen, dass derzeit biotechnische Konversionsverfahren entwickelt werden, mit deren Hilfe Zucker direkt zu Grundbausteinen (z.B. b-Isobutanol) fermentiert werden, die über weitere Verfahrensschritte zur Synthese von b-TPA verwendet werden können. Dies würde die Herstellung von b-PET auf vollständiger Biomassebasis ermöglichen. Wesentliche Marktmengen sind jedoch auch hier nicht vor 2020 zu erwarten.

3.2.6 Entsorgung

Der Kenntnisstand zur Entsorgungssituation von biobasierten Kunststoffen ist sehr eingeschränkt, da eine gesonderte Mengenerfassung von Biokunststoffabfällen nicht stattfindet. Zudem sind sie angesichts der geringen Verwendungsmengen derzeit im Abfallstrom nur in „Spuren“ vorhanden bzw. im Falle der Drop-In Kunststoffe im Zuge der Trennverfahren nicht als biobasierte Kunststoffe erkennbar. In Kenntnis der nationalen Entsorgungsgegebenheiten und anhand der Angaben in [Detzel et al. 2012] lassen sich jedoch im Weiteren orientierende Aussagen, insbesondere für den Bereich der Entsorgung von biobasierten Kunststoffverpackungen in Deutschland treffen.

Verpackungen

Der Einsatz von Biokunststoffverpackungen findet überwiegend bei Produkten des privaten Endverbrauchs statt. Dieser Biokunststoffabfall fällt damit hauptsächlich in den privaten Haushalten an und gehört somit in den gelben Sack. Dabei wären drei Gruppen von biobasierte Kunststoffen zu unterscheiden:

A. Nicht biologisch abbaubare Produkte aus b-PE und b-PET

Diese sind weder beim Verbraucher noch auf der Ebene der Sortier- und Trennverfahren von den konventionellen Kunststoffen unterscheidbar. Sie werden daher wie stoffgleiche konventionelle Kunststoffe behandelt und münden in die gleichen Verwertungswege wie diese.

Bepfandete Flaschen aus b-PET werden im Handel analog zu den konventionellen PET-Flaschen zurückgenommen und gelangen zusammen mit diesen in die gängigen Post-Consumer Verwertungswege.

B. Produkte aus PLA und PHA

Es handelt sich hier sowohl um bioabbaubare als auch um werkstofflich verwertbare Produkte aus Monomaterialien, die meist zur Herstellung formstabiler Produkte eingesetzt werden. Diese sind als Verpackungen über die Gelbe Tonne zu verwerten. .

Ergebnisse aus Pilotversuchen mit PLA-Verpackungen zeigen, dass eine Positivsortierung technisch möglich ist [z.B. WRAP 2008]. In der Praxis findet eine PLA Positiv-Sortierung aufgrund zu geringer Materialmengen derzeit nicht statt. In diesem Kontext wird in der Branche immer wieder eine Marktmenge von 20 kt/a in Deutschland als kritische Größe angegeben, ab der die Sortentrennung für die Entsorgungsbranche ökonomisch tragfähig würde. Diese Menge wird derzeit in Deutschland bei weitem nicht erreicht. Ob und wann sich dies in Zukunft ändern könnte, lässt sich nicht beurteilen.

Unklar ist noch, welcher Verwertungsweg sich anschließen würde. Stabile Behältnisse eignen sich als Mehrwegverpackungen und helfen, Abfälle zu vermeiden. Für PLA ist neben dem mechanischen Recycling auch ein chemisches Recycling möglich. Die technische Machbarkeit eines hochwertigen Recyclings von PLA-Verpackungen wurde aktuell im Zuge des vom BMEL geförderten Verbundvorhabens

„Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen“ bestätigt [FNR 2017].

C. Produkte aus Stärkeblends und PLA-Blends sowie Mehrschichtfolien auf Zellulose-Basis

Hierbei handelt es sich teilweise um als kompostierbar zertifizierte Verpackungen, häufig flexible Folienprodukte wie z.B. Tragetaschen. Die verwendeten Werkstoffe enthalten unterschiedliche Gehalte an Stärke, verschiedene Stärketypen (Maisstärke, Kartoffelstärke), verschiedene bioabbaubare Polyester und verschiedene Zuschlagstoffe. Damit sind sie insgesamt sehr heterogen und daher nur eingeschränkt in der gängigen stoffgruppenspezifischen Positivsortierung erfassbar. Aber auch diese Verpackungen unterliegen den Regelungen der Verpackungsverordnung und zukünftig des Verpackungsgesetzes.

Ihren Nutzen entfalten diese biobasierten Kunststoffe im Bereich von Anwendungen, bei denen die gegebenen Randbedingungen den biologischen Abbau gewährleisten und der Abbau explizit gewünscht ist.

Konsumgüter

Die Entsorgung von Konsumgütern aus (biobasierten) Kunststoffen findet je nach Produktart über unterschiedliche Pfade statt. Kunststoffbauteile von Elektrowaren werden über die Erfassung von Elektroaltgeräten entsorgt. Produkte mit verpackungsähnlichen Kunststoffen können je nach Kommune wie Verpackungen im gelben Sack gesammelt werden. Viele Kunststoffhaltigen Produkte wie etwa die schon genannten Schreibstifte gehören derzeit noch in den Restabfall.

Bezüglich der Abfallentsorgung längerlebiger Anwendungen von biobasierten Kunststoffen, z.B. im Automobil- oder Bausektor liegen noch keine Erfahrungen vor. Angesichts der häufig eher kleinteiligen Anwendung sowie dem Einsatz als Hybridverbindungen zusammen mit anderen Kunststoffen oder Metallen oder als faserverstärkte Werkstoffe kann man davon ausgehen, dass zukünftig erhebliche Anstrengungen erforderlich sein werden, um überhaupt praktikable Ansätze zu entwickeln, die hier eine nennenswerte Kreislaufführung ermöglichen.

Die Verwertung von Abfällen aus biobasierten Kunststoffen außerhalb der Dualen Systeme ist insgesamt vergleichbar zu denen von konventionellen Kunststoffen. Teilweise findet Recycling geeigneter Abfälle statt, ungeeignete Restabfälle werden als solche energetisch verwertet.

3.2.7 Preise

In Tabelle 3-1 sind die Preisspannen petrochemischer Kunststoffe und in Tabelle 3-2 die Preise biobasierter Kunststoffe im Jahr 2016 ersichtlich.

Tabelle 3-1: Preisspanne petrochemischer Kunststoffe im Jahr 2016

Kunststoffe	Preise 2016 in €/Tonne
LDPE	1.250 – 1.450
HDPE	1.200 – 1.500
HIPS	1.350 – 1.525
PET	850 – 1.050
PP	1.000 – 1.200
PS	1.250 – 1.430
PVC	800 - 930

Quelle: [WFBR 2017]

Die Preise von biobasierten Kunststoffen bezogen auf eine Masseneinheit liegen derzeit über denen der konventionellen Kunststoffe. Dazu trägt auch bei, dass viele biobasierte Kunststoffe ein höheres spezifisches Gewicht als petrochemische Kunststoffe haben. Sofern aber die Verwendung von biobasierten Kunststoffen Materialeinsparungen ermöglicht, können sich die Kostenunterschiede bezogen auf das Endprodukt verringern.

Tabelle 3-2: Preisspanne biobasierter im Vergleich zu petrochemischen Kunststoffen im Jahr 2016

Kunststoffe	Preise 2016 in €/Tonne
CA	5.000
Bio-PA	+10 – 20%
Bio-PE	+20 – 40%
Bio-PET	keine Information
Bio-PP	+80 – 100%
PP certified bio	+40 - 50%
PBAT	3.500
Bio-PBS	4.000
PHA	5.000
PLA	2.000
PTT	4.000
Stärke Blend	2.000 – 4.000

Quelle: [WFBR 2017]

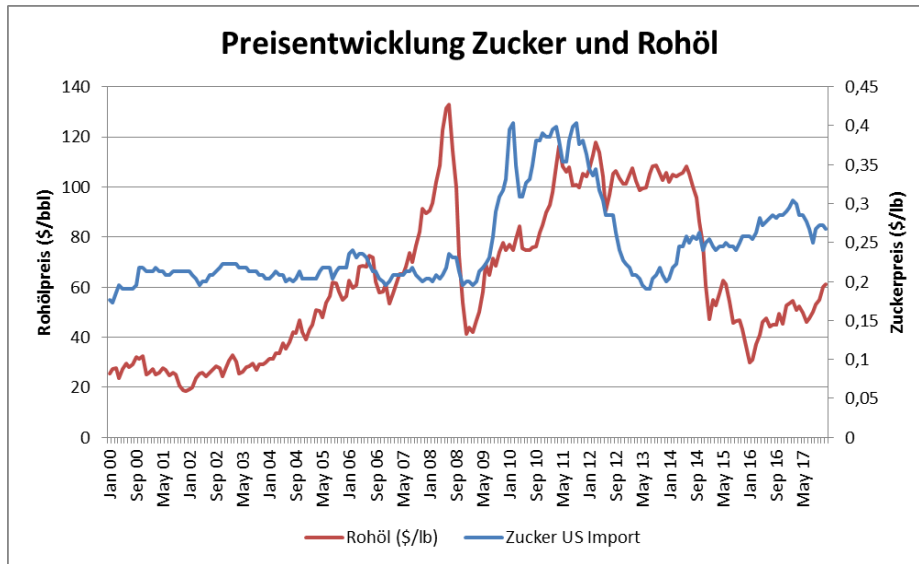
Anmerkungen (Basierend auf Angaben in [WFBR 2017]):

- ▶ Die Prozentwerte sind als Preisaufschläge im Vergleich zu den petrochemischen Kunststoffen zu verstehen.
- ▶ „Bio-PP“ steht für einen Werkstoff aus einer Mischung von petrochemischem PP und biobasiertem HDPE, der von FKUR vermarktet wird und zu etwa 30% bio-basiert ist.
- ▶ „PP (certified bio)“ bezieht sich auf ein massenbilanziertes Material, für das von ISCC zwar ein „Nachhaltigkeitszertifikat“ ausgegeben wird, bei dem es jedoch nicht möglich ist, einen bio-basierten Materialanteil nachzuweisen.

Die Kosten für die biogenen Rohstoffe sind der größte Preistreiber bei der Herstellung von biobasierten Kunststoffen [ifeu 2007]. Der Preisaufschlag gegenüber den petrochemischen Kunststoffen ist stark vom Rohöl-Referenzpreis (Brent Crude) geprägt, mit dem die Preise der petrochemischen Kunststoffe mehr oder weniger direkt korrelieren.

In Abbildung 3-6 ist die Preisentwicklung von Rohöl und Industriezucker im Zeitraum 2000 – 2017 gegenübergestellt. In beiden Fällen sind deutliche Preisschwankungen im Zeitverlauf mit einer für diesen Zeitraum größeren Amplitude beim Erdöl sichtbar. Die im Betrachtungszeitraum relativ größere Preisstabilität des Zuckers ist jedoch nur bedingt aussagekräftig, da die Preiskurven zum Teil gegenläufig sind und der biogene Rohstoff je nach Zeitpunkt vergleichsweise günstig oder auch teuer war.

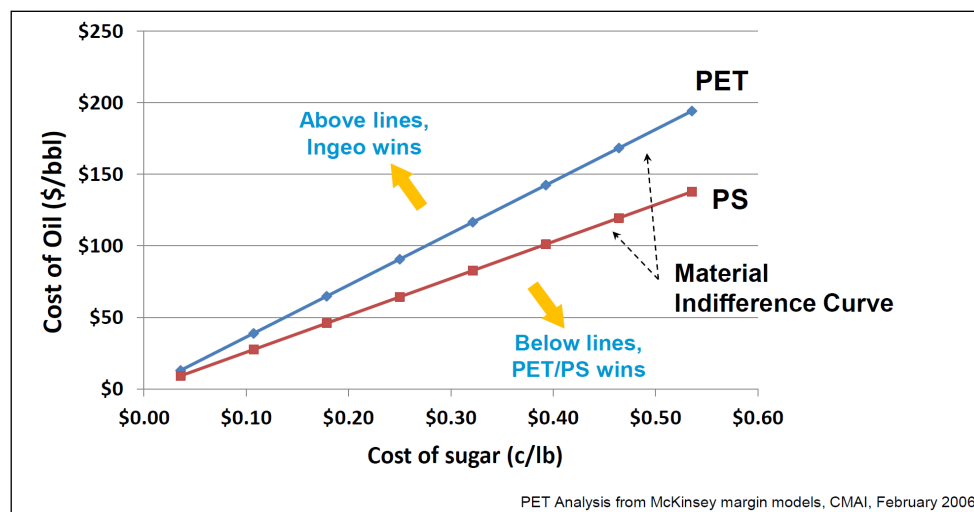
Abbildung 3-6: Preisentwicklung von Industriezucker und Rohöl 2010 - 2017



Quelle: [index-mundi 2017]

In [WFBR 2017] findet sich eine Grafik (Abbildung 3-7), in der versucht wird, die rohstoffinduzierte Kostenparität biobasierter Kunststoffe gegenüber PET und PS am Beispiel von PLA darzustellen. Demnach würde eine Kostenparität gegenüber PS z.B. bei einem Zuckerpreis von 0,4 \$/lb und einem Rohölpreis von 100\$/Barrel (bbl) bestehen (s. „material indifference curve“ in Abbildung 3-7). Geht – bei gleichbleibendem Zuckerpreis – der Rohölpreis über diesen Wert, dann wäre PLA billiger. Entsprechende aus Sicht des PLA vorteilhafte Rohstoffpreisbedingungen gab es von Mitte 2006 bis Mitte 2008 oder auch im Bereich des Jahres 2011.

Abbildung 3-7: Rohstoffbezogene Kostenparitätsgraphen für PLA (Ingeo) gegenüber PET und PS



Quelle: [WFBR 2017]

In der Praxis kommen zusätzlich noch operative Kosten und Investivkosten zum Tragen. Diese dürften bei vergleichbaren Anlagenkapazitäten für biobasierte und petrochemische Rohstoffe ähnlich sein.

In der Praxis haben biobasierten Kunststoffe in der Regel noch den Nachteil, in kleineren Anlagen als die petrochemischen Kunststoffe hergestellt zu werden, so dass die Preisunterschiede unter anderem auch auf die nicht oder nur teilweise realisierten Skaleneffekte zurückzuführen sind. In [WFBR 2017]

wird die Erwartung geäußert, dass sich die Preise für biobasierte Kunststoffe durch Skaleneffekte bei der Herstellung von biobasierten Kunststoffen und deren Konversion zu Produkten in naher Zukunft günstiger darstellen könnten. So könnte der Preis für Succinat von 4 €/kg auf 2,5 €/kg fallen. Bei b-PE seien die Herstellungspreise schon heute kompetitiv und der Preisaufschlag hinge damit zusammen, dass b-PE als Premiumprodukt vermarktet würde.

Hinweis: In einer aktuellen Studie zum Thema „Biobasierte Kunststoffe als Verpackung von Lebensmitteln“ [Detzel et al. 2018] wird unter anderem versucht, aktuelle Kostendaten und -faktoren für biobasierte Kunststoffe zu erheben.

4 Teil II:

4.1 Nachhaltigkeitsaspekte

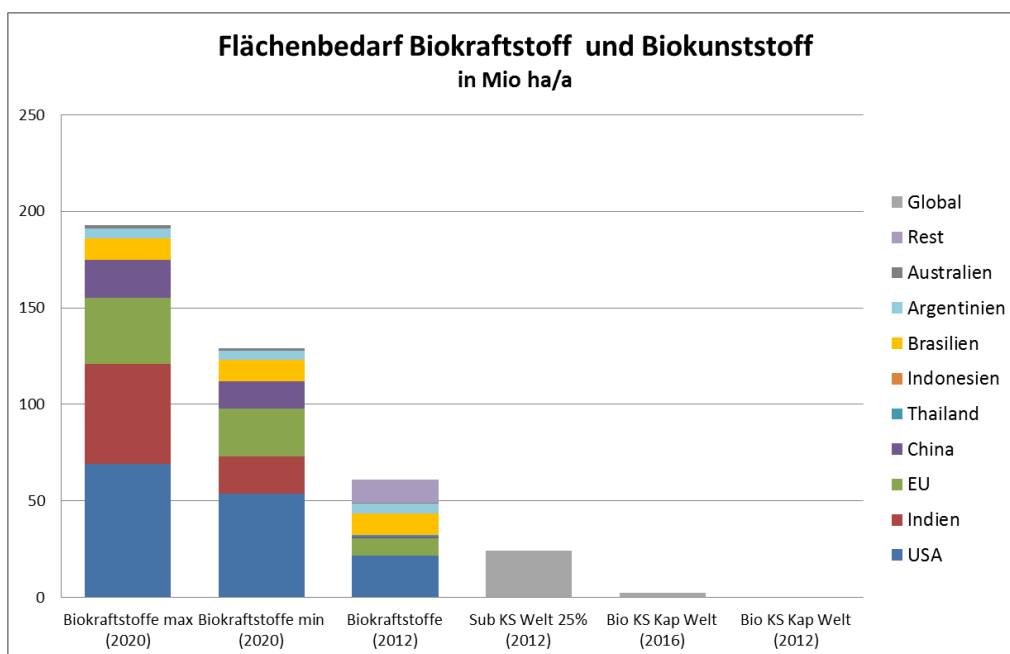
4.1.1 Flächenbedarf

In einer Studie für TAB [TAB 2016] wurde vom ifeu analysiert [ifeu 2014], welcher Flächenbedarf für die Biokunststoffherstellung erforderlich wäre, wenn diese kurzfristig einen – hypothetischen – Marktanteil von 25% des Kunststoffmarktes erreichen würden.

Wie zuvor bereits erwähnt, kann man davon ausgehen, dass die Biomasse für Biokunststoffe derzeit praktisch vollständig aus Anbaubiomasse stammt. Für den kurzfristigen Ausbau der Biokunststoffkapazitäten würden vermutlich verstärkt folgende Biomasserohstoffe benötigt: Rohrzucker (Brasilien), Rohrzucker (Asien), Mais (USA), Mais (Europa) sowie mittelfristig Zuckerrübe (Europa) und zu einem geringeren Maße auch Pflanzenöl u.a. aus Rizinussamen.

Als Faustzahl für den Flächenbedarf zur Herstellung von biobasierten Kunststoffen kann ein Wert von 0,4 ha/t angesetzt werden [Endres und Siebert-Rath 2009]. In Abbildung 4-1 ist dargestellt, welcher Agrarflächenbedarf sich unter verschiedenen Randbedingungen ergäbe. Zusätzlich sind Schätzungen zum Flächenbedarf für Biokraftstoffe dargestellt [ifeu 2014].

Abbildung 4-1: Ackerfläche für verschiedene Biokunststoff- und Biokraftstoff Szenarien



Quelle: eigene Darstellung

SUB KS Welt 25%: Flächenszenario unter der Annahme, dass 25% der konventionellen Weltkunststoffproduktion durch biobasierte Kunststoffe substituiert würde

Bio KS Kap Welt: Szenario für Flächenbedarf bei Auslastung der für 2012 und 2016 vom Branchenverband European Bioplastics berichteten Kapazitäten für Biokunststoffe

In der aktuellen Diskussion um Nutzungskonkurrenzen standen bislang vor allem die Biokraftstoffe im Blickpunkt. So lässt Abbildung 4-1 erkennen, dass der globale Flächenbedarf für Biokraftstoffe schon heute mit ca. 60 Mio. ha [Zeddies 2012] deutlich über dem liegt, was durch eine Steigerung des Bio-

kunststoffanteils auf 25% des Weltmarkts verursacht würde. In Tabelle 4-1 sind die ermittelten Flächen und deren prozentuelle Anteile an der Weltagrarfläche dargestellt.

Tabelle 4-1: Beanspruchung der heutigen Weltagrarfläche für verschiedene Szenarien

Szenario	Anteile an Weltagrarfläche [%]
Biokraftstoffe max. (2020)	12,4%
Biokraftstoffe min. (2020)	8,31%
Biokraftstoffe (2012)	3,86%
Sub KS Welt 25% (2012)	1,56%
Bio KS Kap Welt (2016)	0,15%
Bio KS Kap Welt (2012)	0,03%

Quelle: ifeu

Insgesamt zeigen die genannten Zahlen, dass der Ackerflächenbedarf bei Umsetzung der bestehenden Biokraftstoffziele erheblich ansteigen und sich bis zum Jahr 2020 auf 120 ha -180 Mio ha/a erhöhen würde. Dies entspräche rund 8%-13% der globalen Ackerfläche. Diese Daten beruhen auf Abschätzungen des Deutschen Biomasse Forschungszentrums [DBFZ 2009].

Für die globalen Produktionskapazitäten an Biokunststoffen errechnete sich mit Bezug auf die EuBP-Statistik für die Biokunststoffkapazitäten des Jahres 2012 ein Anteil von 0,03% und für die des Jahres 2016 von 0,15% der globalen Ackerfläche. Für eine 25%ige Substitution des globalen Kunststoffbedarfs würden 1,6% der globalen Ackerfläche benötigt.

Langfristig bestehen Bestrebungen, weniger Anbaubiomasse einzusetzen und verstärkt auf Reststoffe, z.B. aus der Landwirtschaft und der Lebensmittelverarbeitung bzw. auf Lignozellulose basierte Materialströme zurückzugreifen. Mögliche Konflikte gegenüber der Landnutzung für die Nahrungsmittelproduktion könnten dadurch entschärft werden. Andererseits sind dann konkurrierende Nutzungen der Reststoffe (sonstige stoffliche Nutzungen, Nutzung von Reststoffen für die Futtermittelproduktion) nicht auszuschließen.

4.1.2 Nachhaltigkeitsnachweise

Die in der übergreifenden Machbarkeitsstudie für biobasierte Produkte dargelegte Methodik zu Bewertung der Nachhaltigkeit bezieht sich zur Identifizierung von Nachhaltigkeitsanforderungen auf die ISO-Norm ISO 13065 („Nachhaltigkeitskriterien für Bioenergie“). Auf dieser Basis wurden Zertifizierungssysteme bewertet, inwieweit sie die Nachhaltigkeitsanforderungen der ISO-Norm beinhalten. Deren Kriterien sind in Tabelle 4-2 zusammengestellt. Grundsätzlich sollte für alle Anbaubiomassen der Nachweis einer nachhaltigen Produktion gemäß den dort genannten Kriterien erfolgen.

4.1.2.1 Nachhaltigkeitszertifizierung von biobasierten Kunststoffen

Die folgenden zwei Zertifizierungssysteme ermöglichen derzeit eine Zertifizierung von biobasierten Kunststoffen:

- ▶ ISCC Plus (International Sustainability and Carbon Certification) [ISCC 2015], und.
- ▶ RSB (Round Table on Sustainable Biomaterials) [RSB 2015].

RSB-Zertifikate für biobasierte Kunststoffe liegen bislang nicht vor. ISCC-Zertifikate gibt es derzeit (Stand November 2017) für folgende Kunststoffe (s.a. Tabelle 2-3, Bereich über der grauen Trennlinie):

- ▶ PLA-Pellets der Firma NatureWorks LLC (Produktion in USA)
- ▶ Stärkeanteil in biobasierten Kunststoffen (Mater-Bi) der Firma Novamont (Produktion in Italien)
- ▶ Biobasiertes Polyethylen der Firma Braskem (Produktion in Brasilien)
- ▶ Polyethylen und Polypropylen der Firma SABIC (Produktion in den Niederlanden).

Tabelle 4-2: Nachhaltigkeitskriterien der ISO-Norm ISO 13065

Themen	Kriterien
Umweltbezogen	
Treibhausgas (THG)	▶ Emittierte und entzogene THG-Menge über den Lebensweg
Wasser	▶ Wassermenge und -qualität von Wasserentnahme und -freisetzung
Boden	▶ Bodenqualität und Ertragsfähigkeit
Luft	▶ Emissionen in die Luft
Biodiversität innerhalb des Produktionsgebiets	▶ Biodiversitätswerte innerhalb des Produktionsgebietes und die direkt durch den Wirtschaftsteilnehmer beeinflusste Umgebung im Rahmen des zu bewertenden Prozesse
Gebiete zum Schutz der Biodiversität	▶ Biomasse aus Gebieten, die nach den geltenden nationalen Gesetzen und Bestimmungen als Schutzgebiete zur Erhaltung der Biodiversität innerhalb der IUCN Kategorien I — III ausgewiesen sind
Energieeffizienz	▶ Energienutzung und -effizienz
Abfälle	▶ verantwortungsvolles Abfallmanagement
Sozial	
Menschenrechte	▶ Umgang mit der Allgemeinen Erklärung der Menschenrechte
Arbeitnehmerrechte	▶ Umgang mit Zwangs- oder Pflichtarbeit ▶ Umgang mit Kinderarbeit ▶ Umgang mit dem Recht auf Tarifverhandlungen
Arbeitsbedingungen	▶ Umgang mit Arbeitsbedingungen, einschließlich der sozialen Sicherheit und Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz
Landnutzungsrechte und Landnutzungsänderung	▶ Umgang mit Landnutzungsrechten
Wassernutzungsrechte	▶ Berücksichtigung der Verfügbarkeit von Wasser für den menschlichen Gebrauch und die Lebensmittelproduktion in wasserarmen Ländern
Wirtschaftlich	
Wirtschaftliche Nachhaltigkeit	▶ Informationen zu betrügerischen, irreführenden oder unlauteren Geschäfts- und Verbraucherpraktiken ▶ Informationen zum finanzbezogenen Risikomanagement.

Es fällt auf, dass im Bereich oberhalb der grauen Linie kaum konsumentennahe Endprodukte aus biobasierten Kunststoffen gelistet sind. Tatsächlich gab es zeitweise Zertifikate für Produkte aus PLA der Firmen PACCOR, Ilpa Mp3 (Folien) und Danone (Joghurtbecher). Der Erwerb dieser Zertifikate stand

im Zusammenhang mit der Umstellung auf den Packstoff Polylactid bei Danone. Sie wurden nach Ablauf der Gültigkeitsperiode durch die genannten Firmen offensichtlich nicht erneuert.

Einem konsumentennahen Produkt zuordenbar sind die Zertifikate der Firma Papier Mettler. Es handelt sich hier um Kunststofftüten aus biobasiertem Polyethylen der Firma Braskem. Allerdings gehen diese Informationen nicht aus dem Zertifikat hervor, sondern lassen lediglich anhand der Produktpalette auf der Homepage der Firma Papier Mettler ableiten³.

Tabelle 4-3: ISCC-Plus-Zertifikate für biobasierte Kunststoffe (Fettdruck) und deren Ausgangsstoffe

Input	Output	Inhaber des Zertifikats	Zertifikat	Gültigkeitsdauer
Mais	Milchsäure	Cargill Incorporated, USA	81729106	14.10.16 - 13.10.17
Milchsäure	Ingeo Polymer	NatureWorks LLC, USA	82892103	27.05.17 - 26.05.18
PLA	PLA	3M Old Hickory, USA	70600153	26.06.17 - 25.06.18
Stärke	Biokunststoff	Novamont S.p.A., Italien	30170003	17.01.17 - 16.01.18
Zuckerrohr	Bio-Ethanol	Usina Conquista do Pontal, Brasilien	81950703	29.08.17 - 28.08.18
Bio-Ethanol	Green Ethylene	Braskem S.A., Brasilien	81842606	13.12.16 - 12.12.17
Green Ethylene	Green Polyethylene	Braskem S.A., Brasilien	82948307	13.12.16 - 12.12.17
Green Ethylene	Green Polyethylene	Braskem S.A., Brasilien	83452702	14.07.17 - 13.07.18
LDPE, HDPE	Product from LDPE, Product from HDPE	Papier Mettler	33300002	12.10.16 - 13.10.17
Talg, Tierfett, Altspeiseöl, Leindotter Palmöl, Rapsöl; („Crude Oil“/„Refined Oil“)	Bio-Naphta, Hydriertes Pflanzenöl	Neste Renewable Fuels Oy	z.B. 13022017	19.05.17 - 18.05.18
Renewable Ethylen, Propylen	Renewable LDPE, HDPE, PP grades (Bioplastics)	Sabic	z.B. 17490015	17.03.17 - 16.03.18
Renewable LDPE	Renewable LDPE coated on paperboard	Elopak	z.B. 83569103	15.07.17 - 14.07.18
Polyethylen, Polypropylen	Paperboard coated with bioplastic	SIG Combibloc	z.B. 0059339-00	08.02.17 - 07.02.18
Polyethylen, Polypropylen	Plastic Closures	SIG Combibloc	0059341-00	08.02.17 - 07.02.18
Polyethylen, Polypropylen	Plastic caps and closures	United Caps Wiltz SA	33300002	12.10.16 - 13.10.17

ISCC-Plus-Zertifikate für biobasierte Kunststoffe (Fettdruck) und deren Ausgangsstoffe. Quelle: [ISCC 2017]

Die in Tabelle 4-3 aufgelisteten Zertifikate beruhen alle auf einer Nachweisführung nach dem Prinzip der Massenbilanz. Bei den Zertifikaten unterhalb der grauen Trennlinie handelt sich vermutlich um Zertifikate, die auf einer in diesem Projekt als „entkoppelte Massenbilanz“ bezeichneten Vorgehensweise beruhen, bei welcher das Produkt vom biogenen stofflichen Ursprung entkoppelt ist, jedoch Rohstoffe biogenen Ursprungs per Zurechnungsverfahren dem zertifizierten Produkt zugeordnet

³ <https://www.papier-mettler.com/Gruene-Verpackungsloesungen/Produkte/Im-green.htm>

wurden. Der Begriff wurde in der übergreifenden Machbarkeitsstudie [Hennenberg et al. 2017, Kap. 2.3] geprägt und dort auch ausführlich erläutert.

Die zu den ISCC-Zertifikaten öffentlich verfügbare Information ist äußerst limitiert und begrifflich häufig unklar. In der Folge wird der Versuch der Einordnung dieser Zertifikate unternommen.

PE/PP von SABIC

Die Angaben der Zertifikate sind nicht eindeutig. Bei SABIC ist auf einem der beiden Zertifikate ausgewiesen, dass es für eine Steamcracking-Anlage (Niederlande) gilt. Seltsamerweise wird PE/PE als Input angegeben. Diese sind aber Produkte eines Steamcrackers und nicht dessen Eingangsstoffe. SABIC stellt vielmehr PE und PP her und zwar aus Naphtha und „animal fats and waste“ [Carus 2014], [o. Author 2014]. Völlig unklar bleibt die Herkunft dieser Rohstoffe. Handelt es sich u.U. um Material von Neste? Für diese Firma werden ISCC Zertifikate für Naphtha z.B. aus Leindotter und Tierfett gelistet.

Hier fehlt es an ausreichend klaren Angaben. Wir vermuten, dass bei SABIC im Wesentlichen fossil basiertes Naphtha mit geringen Beimischungen von biogenen Anteilen zum Einsatz kommt. Per Massenbilanz scheint dann eine Zuweisung des biogenen Anteils auf die Cracker-Produkte PE und PP zu erfolgen; wobei letztere dann gegebenenfalls sogar 0 % oder nahezu 0% biogenen Anteil haben könnten.

Elopak / SIG Combibloc

Aktuell gültige Zertifikate gibt es für die Firmen Elopak und SIG Combibloc, beides Hersteller von Getränkekartons. Elopak stellt jedoch nicht selbst Polyethylen her, sondern setzt bei der Herstellung von Getränkekartons – soweit bekannt – ein ISCC zertifiziertes LDPE von SABIC ein [Eagle 2015]. Auch hier ist die Information auf dem Zertifikat nicht ausreichend klar und dadurch ggf. missverständlich.

Das gleiche gilt für die Informationen auf den Zertifikaten von SIG Combibloc. Auf deren Homepage findet sich die Aussage „SIG has developed the world’s first aseptic carton pack with a clear link to 100% plant-based renewable materials“⁴. Weitere Informationen auf der Homepage machen dann ersichtlich, dass es sich auch hier um eine entkoppelte Massenbilanz handelt⁵. Immerhin sind die Informationen der Firma SIG Combibloc in dieser Hinsicht einigermaßen transparent, während die seitens ISCC auf dem Zertifikat gemachte Deklaration „Paperboard coated with bioplastic“ den Verbraucher wieder im Unklaren lassen.

Anmerkung zur Zertifizierung

Die Zertifizierung von biobasierten Produkten anhand der genannten Systeme wird als großer Schritt in Richtung einer nachhaltigeren Produktion gewertet. Dennoch kann Zertifizierung nicht zur Lösung aller potenziellen Nachhaltigkeitskonflikte dienen. Insbesondere kann damit nicht „Nachhaltigkeit per se“ im umfassenden Sinne gewährleistet werden. Eine Reihe sehr wichtiger Aspekte wie der Konflikt mit Nahrungsmittelsicherheit und andere indirekten Effekte (siehe auch iLUC-Debatte) können nur sehr unzureichend bis kaum durch Zertifizierung ausgeräumt werden [Fehrenbach 2014].

⁴ <http://www.sig.biz/media/press-releases/signature-world-first-aseptic-pack-100-linked-to-plant-based-renewable-material>

⁵ The SIGNATURE PACK drives the replacement of conventional plastics from fossil fuels with certified and sustainable plant-based polymer materials. The polymers used for laminating the paperboard and making the spout originate from renewable European wood sources and are certified according to ISCC PLUS (International Sustainability & Carbon Certification) or CMS 71 (TÜV SÜD certification standard), respectively, via a mass balance system. This means that for the polymers used in the SIGNATURE PACK, an equivalent amount of bio-based feedstock went into the manufacturing of the polymers

4.2 Lebenszyklusanalyse

4.2.1 Untersuchungsgegenstand

In verschiedenen UBA-Studien wurden bereits Ökobilanzstudien zu biobasierten Kunststoffen recherchiert und ausgewertet bzw. eigens angefertigte Übersichtsökobilanzen erstellt [Detzel et al. 2012, Rettenmaier et al. 2014, Fehrenbach et al. 2017]. Im Zuge der Erarbeitung des vorliegenden Berichts wurden daher zwei Übersichtsökobilanzen erstellt, mit denen der vorliegende Erkenntnisstand aktualisiert bzw. ergänzt werden soll. Auf Wunsch des Umweltbundesamts wurde dies am Beispiel der Produktgruppe Getränkeflaschen und Tragetaschen umgesetzt. Die dabei bilanzierten biobasierten Kunststoffe sind:

- biobasiertes PET
- PEF
- biobasiertes PE
- bioabbaubarer Kunststoff aus einem Stärkeblend.

4.2.2 Funktionelle Einheit

Für die Getränkeflaschen ist die betrachtete Funktionelle Einheit die Verpackung für 1.000 L karbonisierte Wässer und Erfrischungsgetränke (inkl. Um- und Transportverpackung).

Für die Tragetaschen ist die Funktionelle Einheit 1.000 Taschen à 30g/Stück (und jeweils einer Gesamtfläche von 6.080 cm²).

4.2.3 Szenarien

4.2.3.1 Getränkeflaschen aus bPET und PEF

Folgende Szenarien wurden betrachtet:

1. 1,5 L PET Flasche aus petrochemischem PET; Kürzel: PET (fossil)
2. 1,5 L PET Flasche aus biobasiertem MEG und petrochemischem PTA; Kürzel: PET (bb30)
3. 1,5 L PET Flasche aus vollständig biobasiertem PET; Kürzel: PET (bb100)⁶
- 4a. 1,5 L PEF Flasche – Annahme: PEF wird rezykliert; Kürzel: PEF mit Recycling
- 4b. 1,5 L PEF Flasche – Annahme: PEF wird energetisch verwertet; Kürzel: PEF ohne Recycling.

Im Falle der **biobasierten Mono- bzw. Polymere** werden folgende Annahmen getroffen:

- - die Bioethanolherstellung (BioEtOH) erfolgt aus Rohrzucker in Brasilien
- - die bMEG-Herstellung erfolgt aus BioEtOH in Europa
- - die bPTA-Herstellung erfolgt aus Maisstärke in Europa⁷
- - die FDCA-Herstellung (chemischer Grundbaustein von PEF) erfolgt aus Maisstärke in Europa.

Alle Verpackungen werden mit der gleichen Verpackungsspezifikation bilanziert. Bezüglich der Entsorgung werden für alle Szenarien eine Sammelquote der Getränkeflaschen von 92% sowie ein nachfolgendes Recycling angesetzt. Lediglich bzgl. PEF (s. Szenario 4a/4b) wurde eine Variante gerechnet,

⁶ Die Herstellung von zu 100% biobasiertes PET befindet sich derzeit noch in Entwicklung

⁷ Die großtechnische Herstellung von bPTA befindet sich derzeit in Entwicklung. S.a. Fußnote 4

bei der die PEF-Flaschen nicht rezykliert, sondern energetisch verwertet werden. Hintergrund ist, dass PEF-Flaschen bei anfänglich geringen Marktmengen vermutlich keine Zielfraktion für eine Positivsortierung wären und ggf. als Störfraktion aus dem PET-Erfassungsstrom aussortiert würden⁸.

In allen Fällen wird für die gemäß der Szenariensetzung in Europa angesiedelten Prozessschritte eine Herstellung in großtechnischen europäischen Werken mit entsprechenden Skaleneffekten angenommen. Die dafür verwendeten Daten beruhen auf internen Daten und Expertenschätzungen des ifeu sowie [EcoInvent 3], [Akanuma et al 2014], [Erhardt et 2012]. Die Prozessdaten sind so gewählt, dass sie tendenziell eine optimierte Herstellung abbilden. Benötigter Netzstrom wurde mit einem europäischen Strommix, Prozesswärme mit Erdgas als Energieträger bilanziert. Gegenüber der aktuellen realen Lieferketten und Prozesse ist die hier umgesetzte Szenarienmodellierung als moderat optimierte Bilanzierung einzuordnen.

4.2.3.2 Tragetaschen

Folgende Szenarien wurden betrachtet:

1. Tragetaschen aus petrochemischem HDPE; Kürzel: HDPE (fossil)
2. Tragetaschen aus biobasiertem HDPE; Kürzel: HDPE (bb100)
3. Tragetaschen aus biobasiertem/bioabbaubarem Polyesterblend; Kürzel: Polyesterblend (enthält fossile sowie biobasierte bioabbaubare Komponenten).

Im Falle der **biobasierten Mono- bzw. Polymere** werden folgende Annahmen getroffen:

- ▶ - die Bioethanolherstellung (BioEtOH) erfolgt aus Rohrzucker in Brasilien
- ▶ - die bHDPE-Herstellung erfolgt aus BioEtOH in Brasilien
- ▶ - die Maisstärkegewinnung erfolgt in Europa
- ▶ - die Herstellung der biobasierten Polyesterbausteine erfolgt aus in Brasilien gewonnenen Pflanzenölen (Biomasse: Rizinus, Soja).

Alle Tragetaschen werden mit der gleichen Verpackungsspezifikation bilanziert. Bezüglich der Entsorgung wird für die HDPE-Taschen zu einem Drittel eine stoffliche Verwertung und zu zwei Dritteln eine energetische Verwertung angenommen. Für den Polyesterblend wurde ausschließlich eine energetische Verwertung angesetzt.

4.2.4 Betrachtete Wirkungskategorien

Folgende Wirkungskategorien werden in der orientierenden Ökobilanz betrachtet (Erläuterungen zu den Wirkungskategorien siehe Anhang I):

- ▶ Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA)
- ▶ Treibhauspotenzial (GWP)
- ▶ Versauerungspotenzial (AP)
- ▶ Eutrophierungspotenzial (EP)
- ▶ Naturrauminanspruchnahme (NFP).

⁸ Anmerkung: nach derzeitigem Kenntnisstand wären geringe PEF-Anteile (niedriger einstelliger Prozentbereich) beim PET-Recycling tolerierbar. So hat die European PET Bottle Plattform (EPBP) die Wiederverwertbarkeit von Polyethylenfuranoat (PEF) vorläufig genehmigt. Die vorläufige Genehmigung gilt für einen PEF-Marktanteil von bis zu 2%.

4.2.5 Ergebnisse der Übersichts-Ökobilanzen

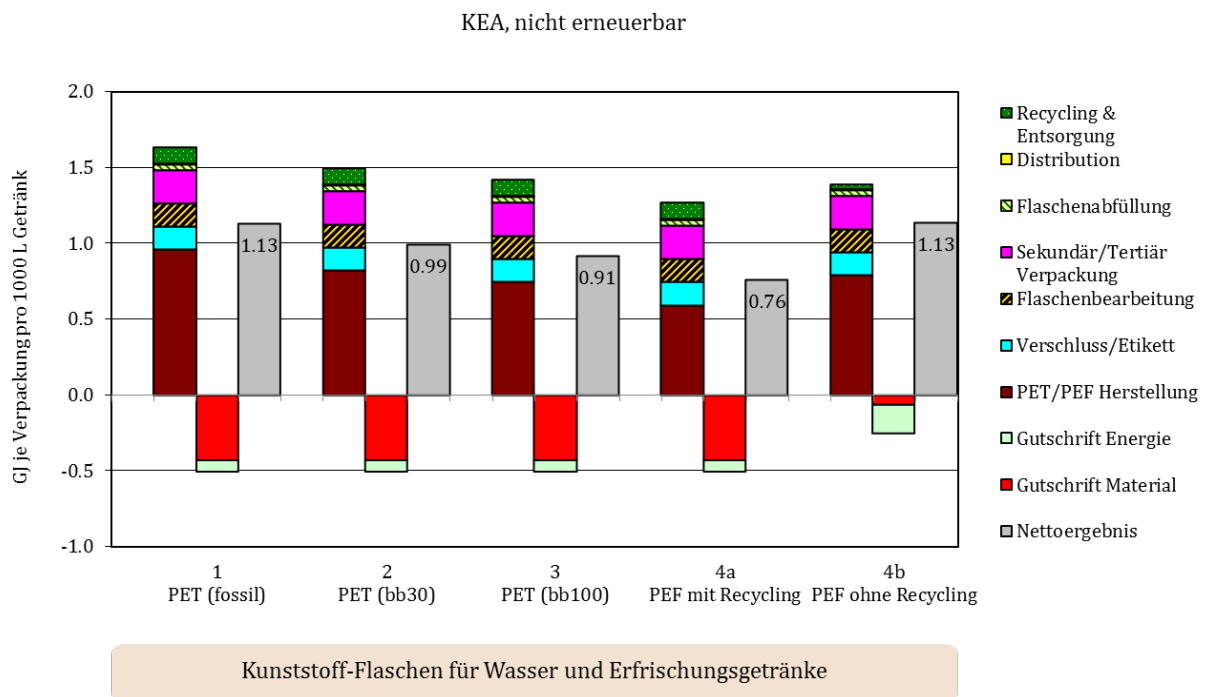
4.2.5.1 Wirkungsabschätzung für Getränkeflaschen

In Abbildung 4-2 bis Abbildung 4-6 sind die Ergebnisse für die fünf ausgewählten Wirkungskategorien dargestellt.

In dem für den **Ressourcenverbrauch** stellvertretenden kumulierten Primärenergiebedarf (KEA_{fossil}) sowie dem **Treibhauspotenzial** zeigt sich ein vorteilhaftes Ergebnis für alle biobasierten Optionen mit Ausnahme von Szenario 4b.

Beim **Versauerungspotenzial** und dem **Eutrophierungspotenzial** sind die Ergebnisse genau gegenläufig.

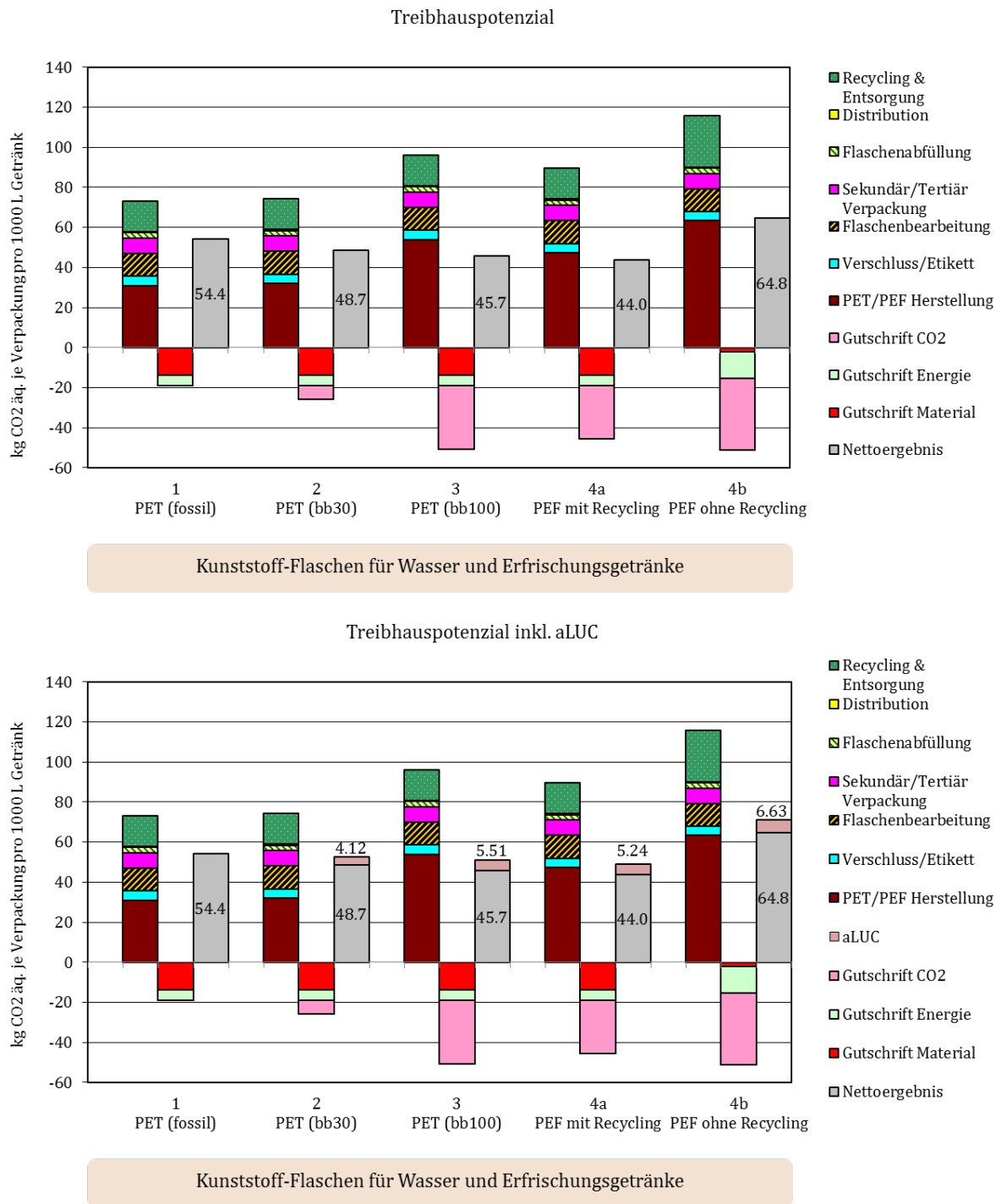
Abbildung 4-2: Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA) von Getränkeflaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen



Eigene Darstellung

Beim Treibhauspotenzial wurden die Ergebnisse einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung der Landnutzungsänderung (LUC) dargestellt. Die LUC-Daten beruhen auf dem Konzept des sogenannten „aLUC“. Für Hintergründe dazu siehe Kap.3.1.2.2.3 im Hauptbericht [Hennenberg et al. 2017].

Abbildung 4-3: Treibhauspotenzial von Getränkeflaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen (unten mit aLUC)



Eigene Darstellung

Bei Berücksichtigung des aLUC gehen die Vorteile von PET (bb30) gegenüber PET (fossil) nahezu verloren. Bei PET (bb100) und PEF mit Recycling werden die Vorteile gegenüber PET (fossil) deutlich geringer.

Der Balkenabschnitt „Gutschrift CO₂“ bezieht sich auf das im PET Material gebundene atmosphärische CO₂. Dafür werden dann alle CO₂-Emissionen, die im Zuge der Entsorgung stehen, in den biobasierten wie in den fossilen Systemen gleichermaßen als klimawirksame Emissionen bilanziert.

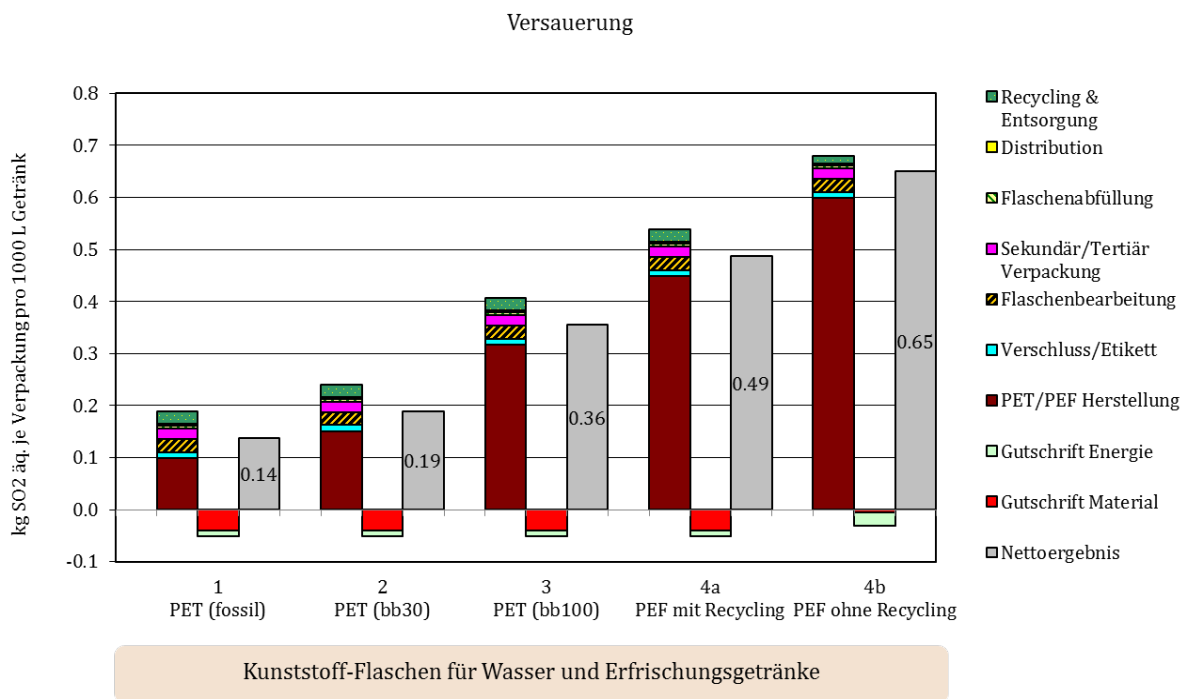
Die PET- bzw. PEF-Herstellung haben einen wesentlichen Anteil am Ressourcenverbrauch bzw. dem Treibhauspotenzial der Getränkeflaschen-Systeme. Daneben kommen relevante Beiträge aus der Herstellung von Verschlüssen und der Sekundär-/Tertiärverpackung inkl. deren Vorketten, der Flaschenherstellung sowie beim Treibhauspotenzial auch aus der Entsorgung.

Die Beiträge zum Versauerungspotenzial und dem Eutrophierungspotenzial sind bei allen Systemen stark von der Materialherstellung geprägt. Beim biobasierten PET stammen sie weitgehend aus der Bereitstellung der landwirtschaftlichen Rohstoffe. Daher sind die entsprechenden Ergebniswerte umso höher je größer der Anteil an Biomasse im Werkstoff ist und je mehr Agrarbiomasse bzw. -fläche zu dessen Herstellung benötigt wird. Zusätzlich spielt die Höhe des spezifischen Düngemittelbedarfs der jeweiligen Feldfrucht eine Rolle.

Die **Naturrauminanspruchnahme** ist beim biobasierten PET zwangsläufig durch die benötigte Anbaubiomasse geprägt. Da die Naturrauminanspruchnahme im Kontext der Diskussion um die Nutzungskonkurrenz eine Rolle spielt, erfolgt in Abbildung 4-6 ein Vergleich der diesbezüglichen Werte. Erwartungsgemäß nimmt die Naturraumbeanspruchung bei den Flaschen mit höheren biogenen Anteilen zu.

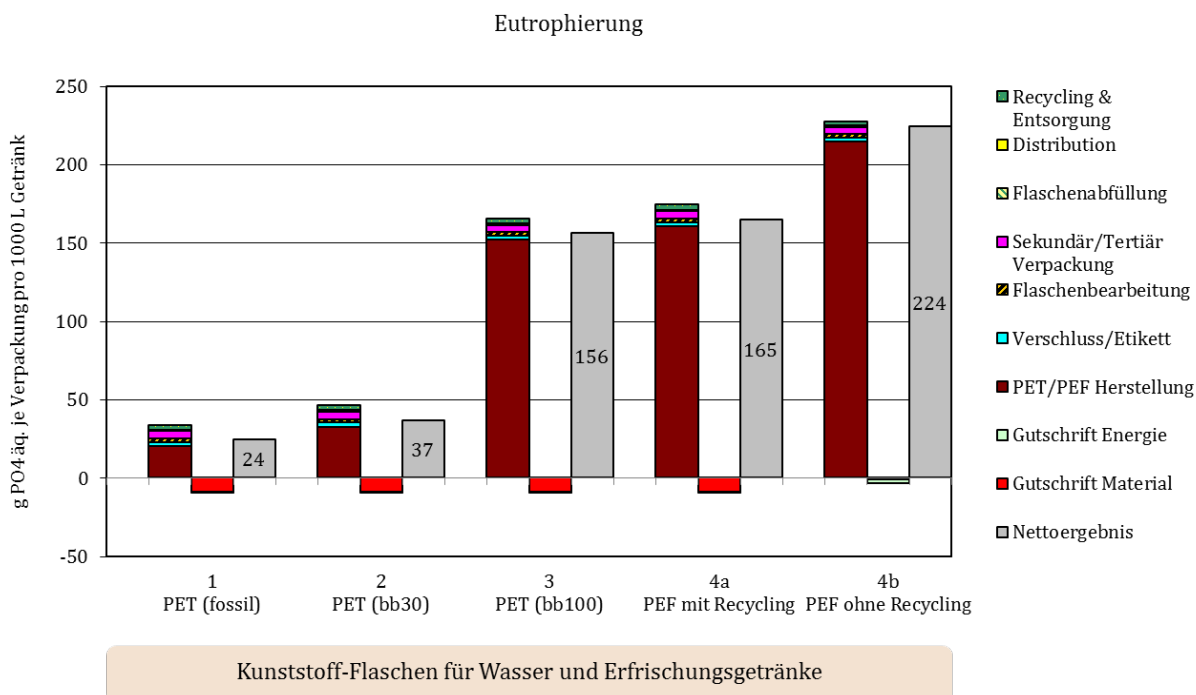
Der Nutzwert dieser beispielhaften vergleichenden Betrachtung ist jedoch sehr eingeschränkt. Er ergibt sich erst im Kontext einer lieferketten-spezifisch räumlich verorteten Bewertung.

Abbildung 4-4: Versauerungspotenzial von Getränkeflaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen



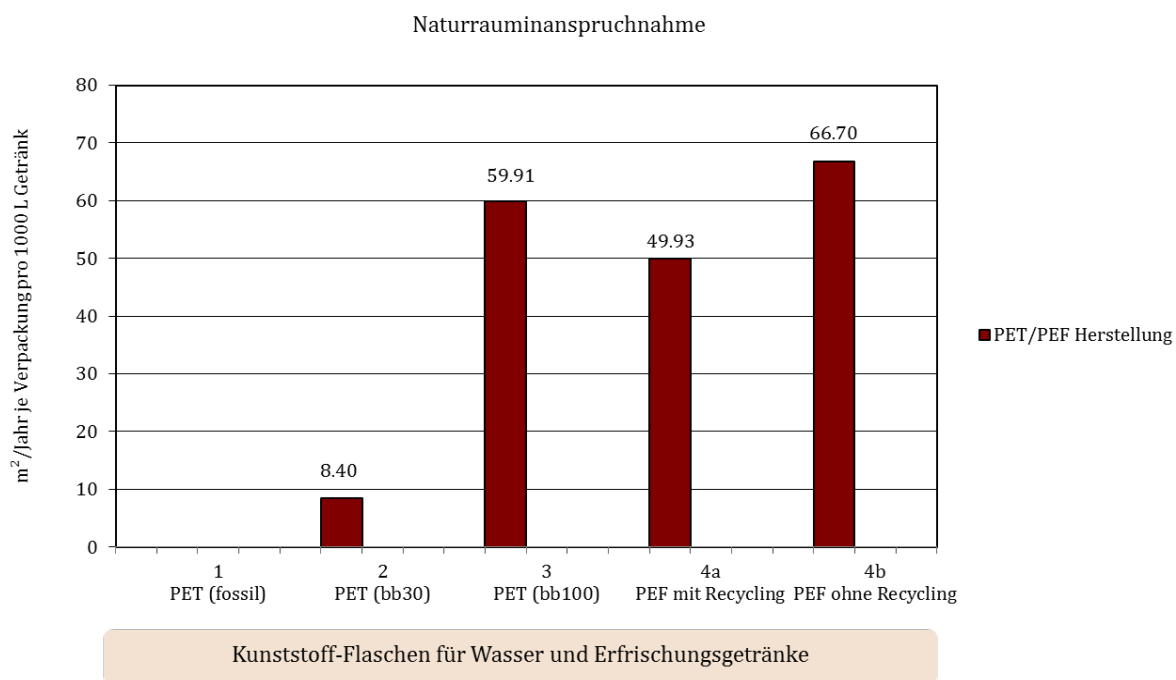
Eigene Darstellung

Abbildung 4-5: Eutrophierungspotenzial von Getränkeflaschen aus biobasierten und foss. Kunststoffen



Eigene Darstellung

Abbildung 4-6: Naturrauminanspruchnahme von Getränkeflaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen



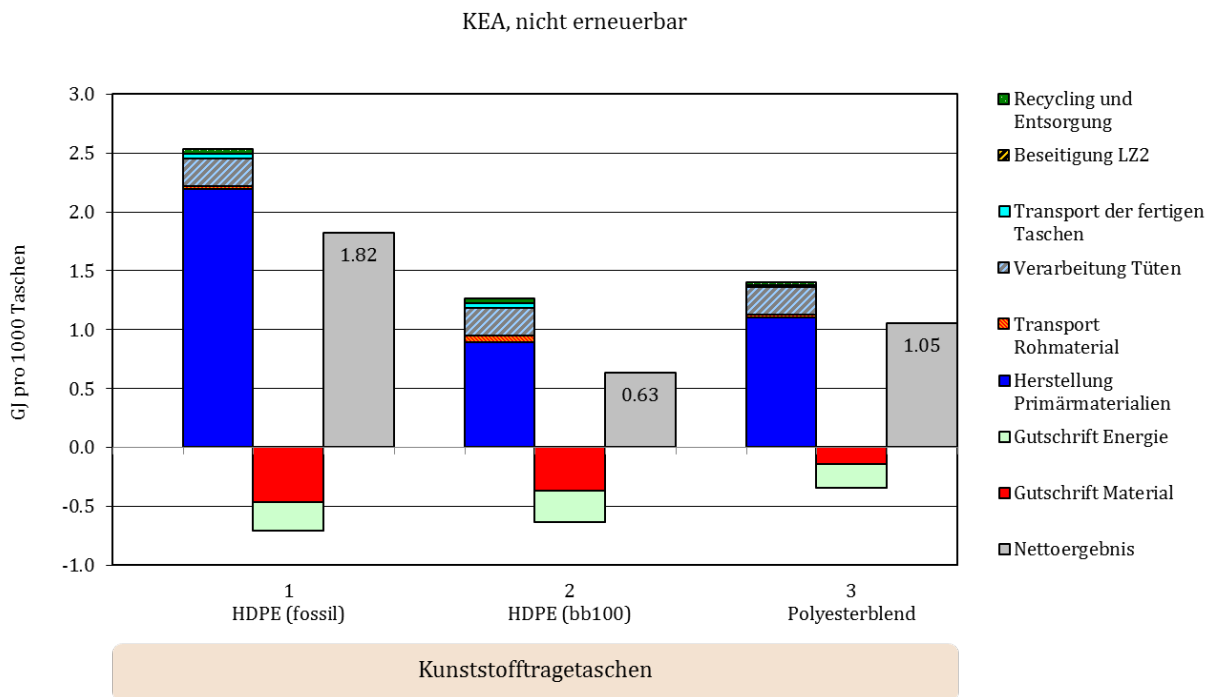
Eigene Darstellung

4.2.5.2 Wirkungsabschätzung für Tragetaschen

In Abbildung 4-7 bis Abbildung 4-11 sind die Ergebnisse für die fünf ausgewählten Wirkungskategorien dargestellt.

Die Ausrichtung der Ergebnisse ist ähnlich wie bei den Getränkeflaschen: beim für den **Ressourcenverbrauch** stellvertretenden kumulierten Primärenergiebedarf (KEA_{fossil}) sowie dem **Treibhauspotenzial** zeigt sich ein vorteilhaftes Ergebnis für die beiden biobasierten Optionen. Beim **Versauerungspotenzial** und dem **Eutrophierungspotenzial** sind die Ergebnisse gegenläufig.

Abbildung 4-7: Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA) von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen



Eigene Darstellung

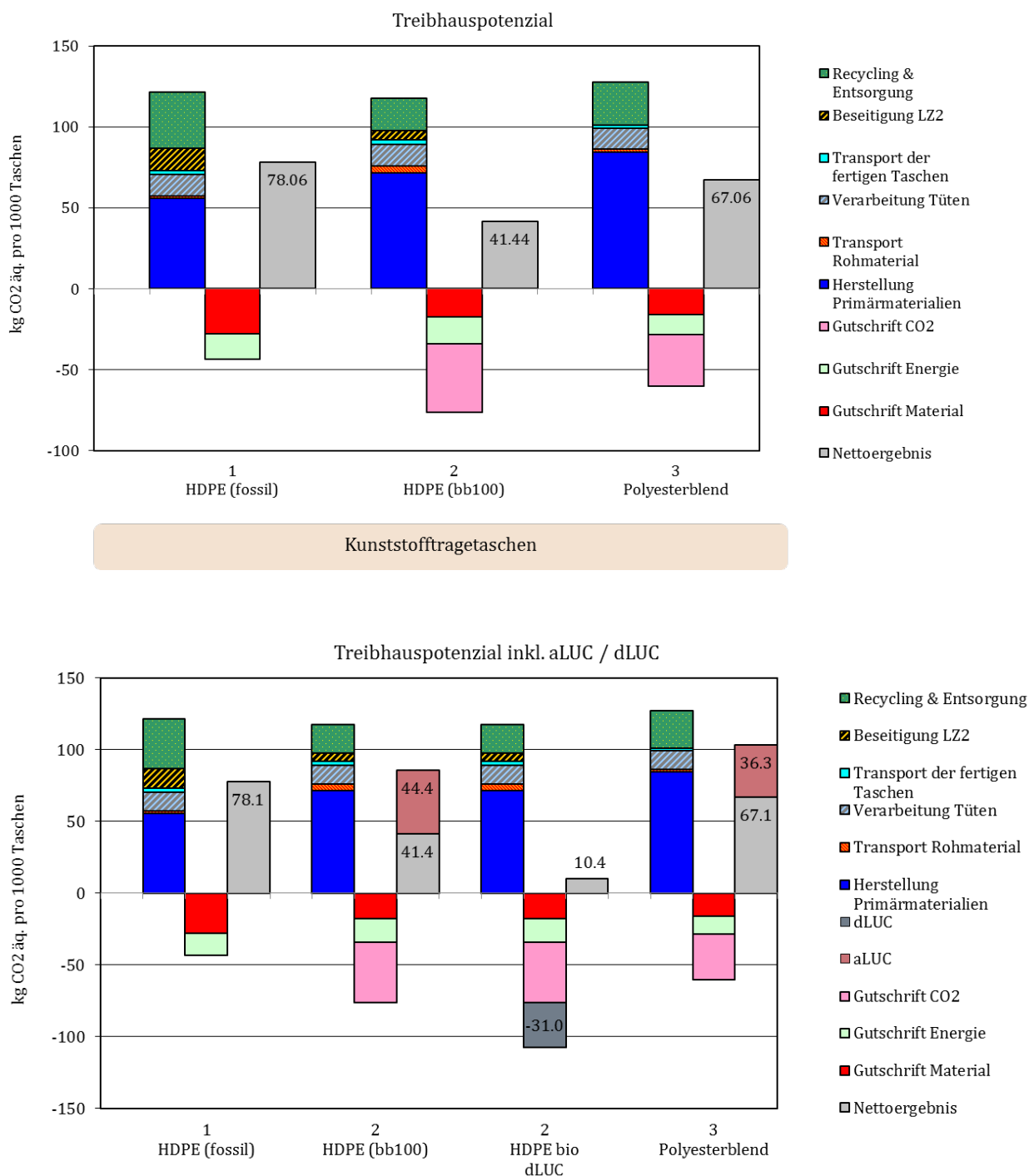
Beim Treibhauspotenzial wurden die Ergebnisse wie beim zuvor gezeigten Beispiel einmal ohne und einmal mit Berücksichtigung der Landnutzungsänderung (LUC) dargestellt. Die LUC-Daten beruhen auf dem Konzept des zuvor schon erläuterten „aLUC“ (s. Kap.3.1.2.2.3 im Hauptbericht). Ausnahme ist das Szenario *HDPE bio dLUC*, eine Variante von *HDPE (bb100)*, bei der eine Anreicherung von Kohlenstoff im Boden angenommen wurde (s. negativer, d.h. nach unten ausgerichteter grauer Balkenabschnitt).

Die LUC-Ergebnisse sind hier je nach Berechnungsmethode unterschiedlich bzw. sogar gegenläufig. Auch hier gehen bei Berücksichtigung des aLUC die Vorteile der biobasierten Systeme gegenüber dem fossil-basierten System verloren bzw. kehren sich tendenziell sogar um. Beim Szenario *HDPE bio dLUC* ist es so, dass davon ausgegangen wird, dass zum Anbau von Zuckerrohr degradierte Weideflächen in Nutzung genommen werden und dass dadurch eine Verbesserung der organischen Struktur des Bodens erzielt wird. Dieser Ansatz wird von Braskem, dem aktuell einzigen Hersteller von biobasiertem PE vertreten [Luz 2015] und beruht auf einer eigens dieser Fragestellung gewidmeten Studie [E4tech 2013]. Die Ergebnisse zeigen, wie sehr generisch ermittelte Werte (aLUC) und spezifisch für definierte Agrarflächen ermittelte Werte (dLUC im Falle von Braskem) voneinander abweichen können und wie ergebnissensitiv die diesbezüglichen Annahmen sind.

Der Balkenabschnitt „Gutschrift CO₂“ bezieht sich auf das im biobasierten Material gebundene atmosphärische CO₂. Dafür werden dann alle CO₂-Emissionen, die im Zuge der Entsorgung stehen, in den biobasierten wie in den fossilen Systemen gleichermaßen als klimawirksame Emissionen bilanziert.

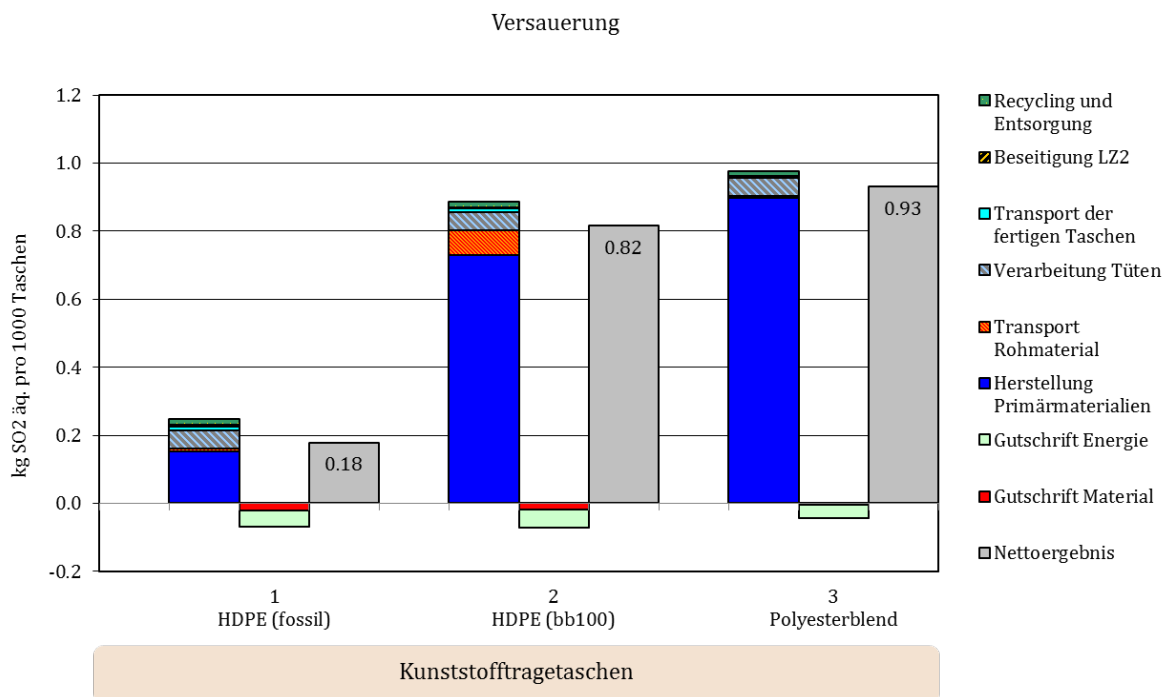
Die Herstellung des biobasierten PE bzw. des biobasierten Polyesters hat den größten Anteil am Ressourcenverbrauch bzw. dem Treibhauspotenzial der Tragetaschen-Systeme. Daneben kommen relevante Beiträge aus der Herstellung der Tragetaschen sowie aus der Entsorgung.

Abbildung 4-8: Treibhauspotenzial von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen (unten mit aLUC)



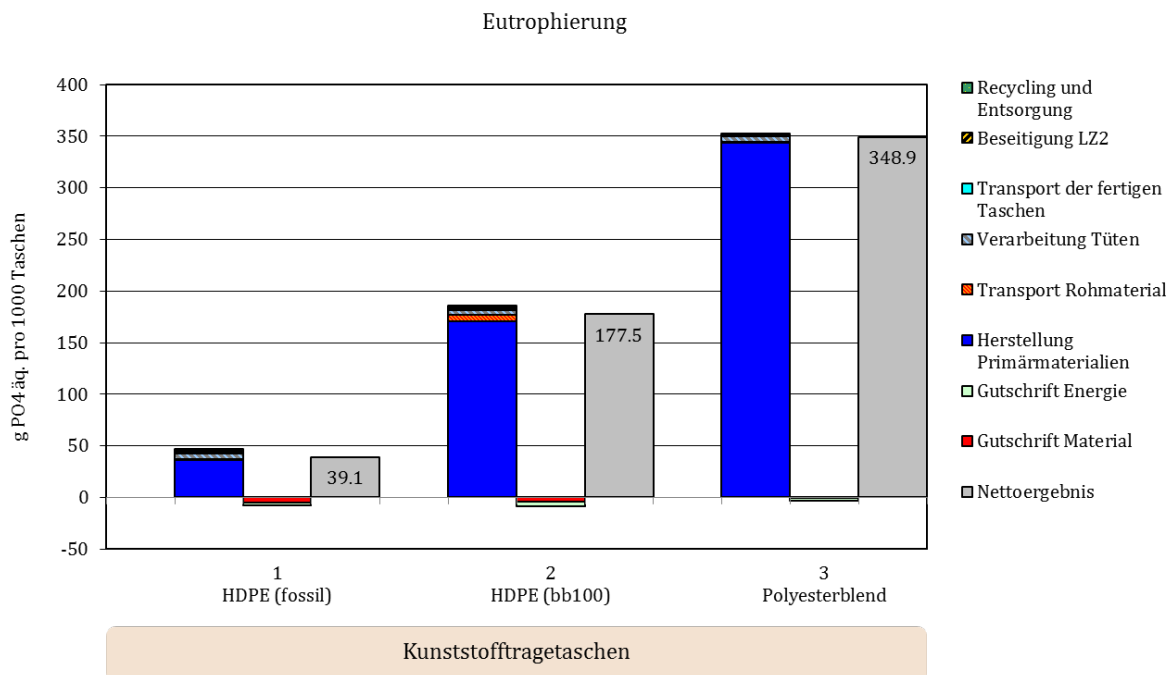
Eigene Darstellung

Abbildung 4-9: Versauerungspotenzial von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen



Eigene Darstellung

Abbildung 4-10: Eutrophierungspotenzial von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen



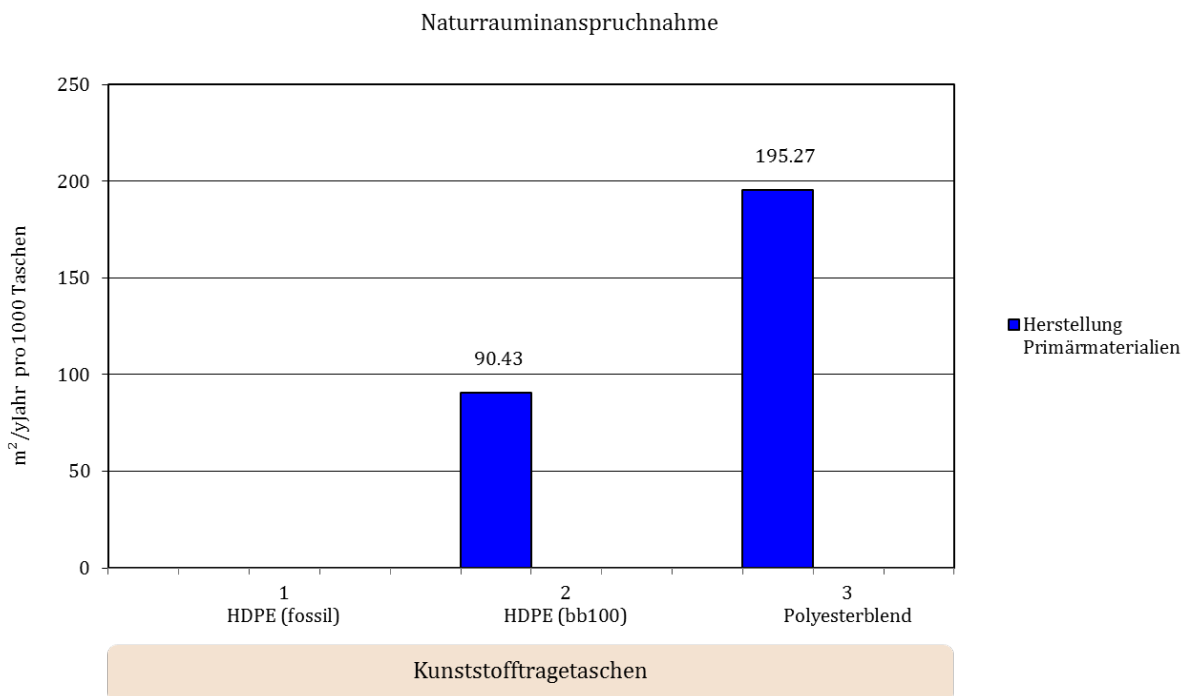
Eigene Darstellung

Die **Naturrauminanspruchnahme** ist bei den biobasierten Systemen zwangsläufig durch die benötigte Anbaubiomasse geprägt. Da die Naturrauminanspruchnahme im Kontext der Diskussion um die Nutzungskonkurrenz eine Rolle spielt, erfolgt in Abbildung 4-11 ein Vergleich der diesbezüglichen Wer-

te. Auch hier ist die Naturraumbeanspruchung bei den Tragetaschen aus biogenen Rohstoffen naturgemäß höher als bei der Verwendung fossiler Rohstoffe. Beim biobasierten Polyesterblend ist die Naturraumbeanspruchung je 1000 Taschen größer als beim biobasierten Polyethylen, was an der höheren Flächeneffizienz (Ertrag/Fläche) des brasilianischen Zuckerrohranbaus im Vergleich zu Ölpflanzen wie Rizinus sowie der höheren Ausbeute an chemischen Grundbausteinen aus den jeweiligen Feldfrüchten liegt.

Der Nutzwert dieser beispielhaften vergleichenden Betrachtung ist jedoch sehr eingeschränkt. Er ergibt sich erst im Kontext einer Lieferketten-spezifisch räumlich verorteten Bewertung.

Abbildung 4-11: Naturrauminanspruchnahme von Kunststofftragetaschen aus biobasierten und fossilen Kunststoffen



Eigene Darstellung

4.2.5.3 Ergänzende Informationen aus [UBA 2014]

Die Ergebnisse der Übersichtsökobilanzen decken sich auch mit den Erkenntnissen früherer Studien. Illustriert wird dies anhand der in [UBA 2014] dargestellten Ergebnisse einer Übersichtsökobilanz für Klappschalen aus PLA im Vergleich zu Polystyrol (PS). In beiden Fällen wurde das gleiche Volumen und Gewicht je Schale angenommen. Für die Entsorgungswege wurden realistische Annahmen bzgl. einer durchschnittlichen deutschen Verwertungsstruktur getroffen: Klappschalen aus PS werden zu einem gewissen Anteil werkstofflich recycelt; Klappschalen aus PLA über die Mischkunststoff-Fraktion energetisch verwertet.

Der Vergleich ist in Abbildung 4-12 dargestellt. Dabei wurden auch verschiedene Technikszenarien zur Rohstoffbereitstellung für die PLA-Herstellung untersucht. Die Szenarienkürzel und deren Bedeutung sind nachfolgend kurz erläutert:

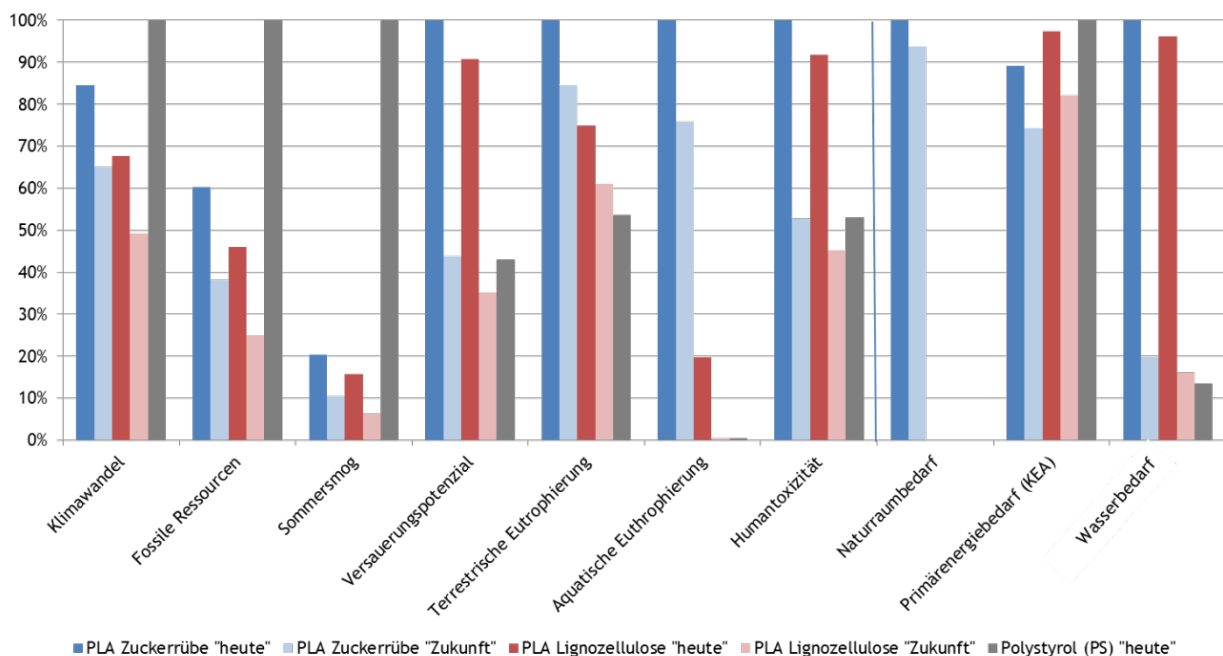
- ▶ „Zuckerrübe heute“: realistische Abbildung der derzeitigen technischen Möglichkeiten
- ▶ „Zuckerrübe Zukunft“: optimierte Fermentation von Zucker zu Milchsäure
- ▶ „Lignozellulose heute“: Lignozellulose als Rohstoff; Aufschlussverfahren gemäß der derzeit im Labormaßstab gegebenen technischen Möglichkeiten

► „Lignozellulose Zukunft“: optimierter Aufschluss.

Hinweis: Die „Zukunftsszenarien“ sind derzeit großtechnisch nicht verfügbar. Insbesondere für den Lignozelluloseaufschluss kann derzeit kein zeitlicher Zielhorizont angegeben werden. Sie beruhen zudem auf Verallgemeinerungen. Verlässliche Zahlen wären biomassespezifisch (z.B. Maisstroh, Weizenstroh, Pappelholz, Lebensmittelreste, etc.) zu erheben. Solche Zahlen sind derzeit nicht vorhanden bzw. nicht öffentlich verfügbar.

In der Ergebnisdarstellung in Abbildung 4-12 erfolgt relativ, um alle ausgewerteten Umweltindikatoren in ein einheitliches Bild bringen zu können. Das Szenario mit der jeweils höchsten Umweltwirkung wurde dafür auf 100% skaliert.

Abbildung 4-12: Vergleich von Kunststoffschalen aus PLA und Polystyrol



Quelle: ifeu [entnommen aus UBA 2014]

Der aktuellen Sachlage kommen die Szenarien „PLA Zuckerrübe heute“ (dunkelblaue Säule) und „PS heute“ (graue Säule) am nächsten. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass bei Verwendung von agrarischen Reststoffen, hier aus Ernterückstände des Maisanbaus (-> Szenario „Lignozellulose heute“ und „Zukunft“) das Wirkungsprofil von PLA-Verpackungen erheblich verbessert werden könnte, da die Umweltlasten aus dem Biomasseanbau quasi entfallen. Allerdings bedarf es dazu einer guten Effizienz bei Aufschluss und Fermentation der Zucker aus der Lignozellulose. Beim Vergleich einer Klappschale aus PLA mit PS bestünden dann auch über den Lebensweg betrachtet keine Nachteile mehr bei aquatischer und terrestrischer Eutrophierung, Versauerung und Feinstaubemissionen.

Wie das Beispiel der Übersichtsökobilanz für die Zuckerrübe als PLA-Rohstoff zeigt, könnte aber durchaus auch mit den „klassischen“ agrarischen Biomasserohstoffen bei der Umsetzung von Prozessoptimierungen (verbesserte Prozessausbeute, reduzierter Verbrauch an Energie und Prozesschemikalien bei der Herstellung von Milchsäure aus Rübensaft -> Szenario „Zuckerrübe Zukunft“) ein Umweltwirkungsprofil für PLA-Klappschalen erreicht werden, bei dem viele der aktuell noch existierenden ökologischen Nachteile gegenüber den PS-Schalen aufgehoben werden. In diesem Fall bliebe noch das Problemfeld aquatische Eutrophierung bestehen, da diese ja im Wesentlichen durch den

Feldanbau bestimmt wird. Emissionsmindernde Maßnahmen in der Landwirtschaft werden somit auch in Zukunft unerlässlich sein.

Der Frischwasserbedarf im PLA-Szenario entsteht vor allem im Zuge der Biomassekonversion. Er wird nur dann zum Umweltproblemfeld, wenn die Wasserentnahme regional Wasserknappheit verursachen könnte, bzw. in Gebieten mit einer bestehenden Wasserknappheit stattfindet.

Einfluss der Entsorgungsstruktur auf die ökobilanzielle Bewertung

Lange Jahre stand die Bioabbaubarkeit im Fokus der Diskussion um Biobasierte Kunststoffe. So wurden bspw. Produkte aus PLA noch im letzten Jahrzehnt massiv mit der Möglichkeit der Kompostierung beworben. Zahlreiche Labels (Keimling etc.) zeugen davon.

Heute wird die Diskussion aus zwei Gründen differenzierter geführt. Erstens zeigte sich die Kompostierung von bioabbaubaren Kunststoffen bzw. Kunststoffverpackungen gegenüber einer thermischen Verwertung in mehreren Studien ökologisch unterlegen. In [Detzel et al. 2012] werden hierzu z.B. zitiert: [Detzel et al. 2006], [Würdinger et al. 2002], [Pladerer et al. 2008] und [Murphy et al. 2008]. Abgesehen davon ist es aufgrund der erweiterten Herstellerverantwortung nicht zulässig, Verpackungen über den Kompost oder den Bioabfall zu verwerten, da gemäß der Bioabfallverordnung mit der Ausnahme von kompostierbaren Abfallbeuteln keine Kunststoffe in die Bioabfalltonne verbracht werden dürfen.

Die Kompostierung als solche ist im Übrigen als stoffliches (nicht jedoch als werkstoffliches) Verwertungsverfahren anzusehen. Umstritten ist jedoch, ob mit der Kompostierung von bioabbaubaren Werkstoffen ein stofflicher Nutzen verbunden ist. So beinhaltet etwa PLA-Material nach [Pladerer et al. 2008] keine pflanzenverfügbaren Nährstoffe und liefert auch keinen Beitrag zum Aufbau von Bodenstruktur. Die Kompostierung von PLA könnte dann auch als Beseitigung angesehen werden. Die Hersteller bioabbaubarer Werkstoffe vertreten demgegenüber die Auffassung, dass die bioabbaubaren Werkstoffe durchaus an der Strukturbildung beteiligt seien [Wellenreuther et al. 2009].

Ein wesentlicher Faktor für das ökobilanzielle Ergebnis der Kompostierung von biobasierten Kunststoffen ist nun gerade die getroffene Annahme zum erzielten Nutzen. Unter der Annahme, dass biobasierte Kunststoffe (im Gegensatz zu Bioabfall aus Haushalten) keine Nährstoffe enthalten, kann keine Substitution von Mineraldünger angerechnet werden. Der Nutzen könnte damit in der Bodenstrukturbildung (also im Prinzip einer Humusbildung) bestehen, was etwa als Torfersatz bilanziert werden könnte.

Da als kompostierbar zertifizierte biobasierte Kunststoffe im Labortest einen Abbau von 90% nachweisen müssen, wäre es also naheliegend von einer entsprechenden Abbaurate während der Kompostierung auszugehen. Der direkte Strukturbildungseffekt wäre damit vernachlässigbar. Bei einer auf einer solchen Abbaurate basierenden Abfallbilanzierung von PLA in [Detzel et al. 2006] zeigte sich die Kompostierung als ökologisch nachteiliger im Vergleich zur thermischen Behandlung mit Energierückgewinnung, energetischen Verwertung im Zementwerk oder einer anaeroben Behandlung.

Andererseits wird seitens der Hersteller von biobasierten Kunststoffen darauf verwiesen, dass das Abbauverhalten von Biokunststoffen in einer Kompostierungsanlage anders sein könnte, als im Laborversuch. Nach deren Auffassung wäre durchaus auch eine Abbaurate von nur ca. 50% analog zu den Bioabfällen denkbar und somit eine Förderung der Strukturbildung anzunehmen. Der Sachverhalt bedarf ob des widersprüchlichen Meinungsbilds weiterhin einer Klärung.

Zweitens drängen heute immer mehr nicht abbaubare biobasierte Kunststoffe auf den Markt (s.a. Kap. 1.2.1). Bei diesen handelt es sich vor allem um Standardkunststoffe, die auf einem biogenen Feedstock aufsetzen (wie bspw. bio-PE). Produkte aus diesen „Drop-In“ Kunststoffen werden auf den gleichen Wegen entsorgt wie ihre fossil basierten Äquivalente und können ohne nachteilige Effekte im Sekun-

därmaterialpool aufgehen. Die ökobilanziellen Vorteile des werkstofflichen Recyclings liegen aufgrund der Allokation von Gutschriften für Sekundärmaterial auf der Hand.

Der PLA Hersteller NatureWorks bewirbt mittlerweile offensiv die unterschiedlichen Verwertungsoptionen seines Materials, die neben der Deponierung, Kompostierung und thermischen Verwertung auch unterschiedliche Recyclingverfahren (mechanisch und chemisch) umfassen. Am Beispiel von Polylactid (PLA) beschäftigte sich jüngst ein Forschungsverbund gefördert vom BMEL mit der Entsorgung, Sortierung und Verwertung zu Rezyklaten [BMEL 2017]. Die betrachteten PLA-Abfälle stammten aus dem industriellen und dem Post-Consumer-Bereich. Unter anderem finden sich im Ergebnispapier des Forschungsvorhabens 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 Neumaterial.

Bislang nur in Nischen eingesetzte Biokunststoffe wie PLA sehen sich mit dem Problem konfrontiert, dass die Marktmengen nicht für eine eigene Sortierfraktion ausreichen und somit ein sortenreines Recycling derzeit in Deutschland zwar technisch möglich, aber ökonomisch unrentabel ist. Damit bleibt nach wie vor das Problem der fehlenden Positiv-Sortierung bestehen. Für ein gutes ökobilanzielles Ergebnis von Einwegprodukten aus Kunststoffen ist die sortenreine Sortierfraktion von immenser Bedeutung. Hier können die biobasierten Drop-In Standardkunststoffe Vorteile für sich verbuchen, da sie etablierte Recyclingpfade beschreiten können.

4.2.6 Fazit aus der Lebenszyklusanalyse

Produkte aus biobasierten Kunststoffen zeigen in der Regel in der Ökobilanz geringfügig bessere Ergebnisse hinsichtlich der Treibhausgasemissionen und des fossilen Ressourcenverbrauchs. Andererseits sind sie oft ungünstiger hinsichtlich anderer Umweltindikatoren, wie Versauerung und Eutrophierung. Gesamtökologisch sind diese biobasierten Kunststoffe derzeit nicht unbedingt besser als die konventionellen Kunststoffe, stehen aber mit diesen zumindest auf einer Stufe.

Im Zuge der in der vorliegenden Studie durchgeführten Übersichtsökobilanzen wurden biobasierte Kunststoffe unter optimierten Randbedingungen wie sie heute schon umsetzbar wären bilanziert. Dabei lässt sich erkennen, dass die Treibhausgasemissionen und der nicht erneuerbare Ressourcenverbrauch weiter reduziert werden kann, was hier zukünftig weiter zunehmende Vorteile gegenüber den petrochemischen Kunststoffen erwarten lässt.

Die stark durch landwirtschaftliche Emissionen geprägten Umweltwirkungskategorien werden in weit geringerem Maße von technischen Verbesserungen profitieren. Die größten Verbesserungen wären hier durch Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft sowie eine Veränderung der Rohstoffbasis hin zu Reststoffen möglich.

Die hier getroffene ökobilanzielle Einschätzung von Produkten aus biobasierten Kunststoffen gilt für den Fall, dass die Produkte auch tatsächlich größere Anteile an Biomasse bzw. biogenem Kohlenstoff enthalten und zweitens eine den konventionellen Kunststoffen vergleichbare Funktionalität aufweisen (z.B. ähnliches Gewicht, ähnliche mechanische Eigenschaften).

Die aktuellen Forschungsbemühungen hin zu einer (stärker) biobasierten Chemie sind u.a. darauf ausgerichtet, durch speziell angepasste Mikroorganismen bzw. Enzyme auf der einen sowie Weiterentwicklung der Katalysatoren auf der anderen Seite die Anzahl der Verfahrensschritte zur Umwandlung biogener Rohstoffe hin zu Plattformchemikalien zu verkürzen. Der Herstellungsaufwand könnte damit

nochmal deutlich verringert werden. Diese Zukunftsoptionen konnten in den hier durchgeführten Übersichtsökobilanzen nicht berücksichtigt werden.

Es empfiehlt sich, auch für Biokunststoffe die abfallwirtschaftlichen Prinzipien anzuwenden. Wiederverwendbarkeit ist ein wünschenswertes Ziel. Sollte sie nicht möglich sein, ist ein werkstoffliches Recycling anzustreben. Die wirtschaftliche Rezyklierbarkeit ist eine sehr gute Voraussetzung für den Ressourcenschutz und die effektive Verwertbarkeit von Abfällen. Zudem werden auch schlecht bilanzierbare Risiken bei der Förderung von Erdöl oder bei klimabedingten Ernteausfällen in der Landwirtschaft durch Recycling gemildert. Diese Risiken von punktuell aber gegebenenfalls katastrophalem Ausmaß sprechen für das Recycling und den damit verknüpften Einsatz von Rezyklaten.

5 Teil III: Kriterien für biobasierte Kunststoffe

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurde von den Autoren bereits in der Anfangsphase eine Handreichung erstellt, um die Erarbeitung von Vergabekriterien für den Blauen Engel für Büromaterialien hinsichtlich der Berücksichtigung von biobasierten Kunststoffen zu unterstützen. Die Vergabekriterien wurden zwischenzeitlich veröffentlicht. Zudem wurde – ohne Beteiligung der Autoren - das Umweltzeichen für Spielzeug aktualisiert, worin ebenfalls Anforderungen zu biobasierten Kunststoffen formuliert sind.

Im Folgenden werden zunächst die beiden Umweltzeichen diskutiert. Daran anschließend werden Hinweise für die zukünftige Berücksichtigung biobasierter Kunststoffe im Rahmen von Umweltzeichen gegeben.

5.1 Bestehende Blauer-Engel-Vergabekriterien für biobasierte Kunststoffe

5.1.1 Vergabekriterien für Schreibgeräte (Bezug biobasierte Kunststoffe)

In Tabelle 5-1 sind die Anforderungen des Blauen Engel an Kunststoffe bzw. nachwachsende Rohstoffe zur Verwendung in Schreibgeräten und Stempel aufgelistet. Für biobasierte Kunststoffe wird ein biobasierter Mindestanteil von 60% gefordert, der aus nachweislich nachhaltiger Herkunft stammen muss.

Zum Vergleich sind in Tabelle 5-1 auch die Anforderungen für vergleichbare Produktgruppen im österreichischen und nordischen Umweltzeichen genannt. Was auffällt ist, dass bei beiden wird kein Nachhaltigkeitsnachweis benötigt wird. Beim nordischen Umweltzeichen reicht zudem schon ein biobasierter Anteil von 30%, um den Anforderungen zu genügen.

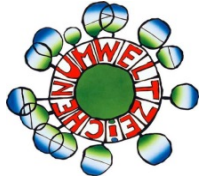
Tabelle 5-1: Anforderungen an nachwachsende Rohstoffe in verschiedenen Umweltzeichen

Label	Zertifizierung	Anforderungen an (nachwachsende) Rohstoffe
	Schreibgeräte und Stempel Blauer Engel DE-UZ 200 www.blauer-engel.de	Bei Verwendung von Holz: • zu 100% aus legalen Quellen • mindestens 70% aus nachhaltiger Forstwirtschaft Bei Verwendung von Kunststoff: • mindestens 60% biobasiert, <u>oder alternativ</u> mindestens 80% Post-Consumer-Recyclingkunststoff • für biobasierten Anteil Nachweis nachhaltiger Herkunft Bei Verwendung von Papier: • zu 100% aus Altpapier • Mindestens 65% Altpapier der unteren, mittleren und krafthaltigen Sorten

Büro- und Schulartikel

Österreichisches Umweltzeichen UZ 57

www.umweltzeichen.at



Gehäuse von Stiften:

- zu **100%** aus **Holz oder Pappe**, oder alternativ
- zu **65%** aus **biobasiertem Kunststoff**, oder alternativ
- zu **65%** aus **Recycling-Kunststoff**, oder alternativ
- aus **Metall**; für **biobasierte Kunststoffe**

Gehäuse von Stempeln:

- zu **100%** aus **Holz oder Pappe**, oder alternativ
- zu **65%** aus **biobasiertem Kunststoff**, oder alternativ
- zu **65%** aus **Recycling-Kunststoff**, oder alternativ
- aus **Metall**; für **biobasierte Kunststoffe**

Anforderungen bei Verwendung von Holz:

- zu **100%** aus **legalen Quellen**
- mindestens **70%** aus **nachhaltiger Forstwirtschaft**

Bei Verwendung von biobasierten Kunststoffen ist kein Nachweis einer nachhaltigen Herkunft gefordert

Büro- und Hobby-Bedarfsartikel

Nordic Ecolabelling of Office and Hobby Supplies Version 4.2

www.svanen.se/en



Bei Verwendung von Kunststoff:

- mindestens **30 % biobasiert**, oder alternativ
- **30% Pre- oder Postconsumer-Recyclingkunststoff**, oder alternativ
- mindestens **10% Post Consumer-Recyclingkunststoff**

Bei Verwendung von biobasierten Kunststoffen ist kein Nachweis einer nachhaltigen Herkunft gefordert

Bei Verwendung von Holz:

- zu **100%** aus **legalen Quellen**
- mindestens **70%** aus **nachhaltiger Forstwirtschaft**

Bei Verwendung von Papier/Pappe:

- mindestens **30%** aus **nachhaltiger Forstwirtschaft**, oder alternativ
- mindestens **75%** aus **Pre- oder Post-Consumer-Recyclingfasern, Restholz oder Sägeabfällen**

Bei Verwendung von Ölen und Wachsen:

- mindestens **50%** aus **pflanzlichen oder tierischen Quellen**

Der Beleg des biogenen Anteils ist im DE-UZ 200 wie folgt geregelt: „Der Antragssteller benennt gegenüber der RAL gGmbH die eingesetzte Art und Zusammensetzung des Materials und dokumentiert die Herkunft und Massenanteile der verschiedenen verwendeten Rohstoffe. Die Berechnung der Materialbilanz kann in Anlehnung an die CEN/TR 16721:2014 erfolgen.“ Nach CEN/TR 16721:2014 ist dabei sowohl die Anwendung der Radiocarbon-Methode als auch eine Berechnung über die Massenanteile und deren chemischer Struktur zulässig.

5.1.2 Vergabekriterien für Spielzeug

Es handelt sich hierbei um den Blauen Engel DE-UZ 207 für Spielzeug. In den Vergabekriterien finden sich dort folgende Anforderungen bzgl. biobasierter Kunststoffe:

1. Gesonderte Dokumentation der Anteile % (w/w) bezogen auf die Gesamtkunststoffmenge für:

- Post-Production-Recyclingmaterial
- Post-Consumer-Recyclingmaterial
- Biobasierter Kunststoff.

2. Nachhaltigkeitsanforderungen für biobasierte Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ab einem Anteil von 10 % (w/w) des jeweiligen Materials im Spielzeug:

- Die Biomasse für die Vorprodukte darf nicht auf Flächen mit hohem Wert für die biologische Vielfalt, wie Primärwäldern oder Gebieten zum Schutz seltener, gefährdeter oder bedrohter Ökosysteme oder Arten gewonnen werden. Die Gewinnung der Biomasse muss nach den Grundsätzen einer nachhaltigen Landbewirtschaftung erfolgen.
- Grundlegende Prinzipien und Rechte in Bezug auf die Arbeitsbedingungen, wie sie in den ILO-Kernarbeitsnormen sowie der ILO-Norm 155 festgelegt sind, müssen bei der Gewinnung der Biomasse erfüllt sein.

5.1.3 Nachhaltigkeitsnachweise

Die Herkunft der biobasierten (Kunststoff-)Granulate ist in beiden zuvor genannten Blauen Engel Umweltzeichen anhand eines Zertifikats eines der nachfolgenden Zertifizierungssysteme nachzuweisen:

- Rainforest Alliance (SAN)
- Bonsucro
- RSB
- ISCC
- REDcert EU
- RSPO
- FSC
- PEFC.

Ferner wird vom Lieferanten eine Plausibilitätserklärung gefordert, in der dargestellt wird, dass das vorgelegte Zertifikat die ganze Produktionskette über Zertifikate der oben stehenden Liste abdeckt. Ein Nachweis über „Book and Claim“-Zertifikate ist nicht zulässig.

Gemäß der Vergabekriterien des DE-UZ 207 für Spielzeug (nicht jedoch beim DE-UZ 200 für Schreibgeräte und Stempel) ist der Antragsteller dazu aufgefordert, Informationen aus der Lieferkette bereitzustellen, die belegen, dass die Gewinnung der Biomasse unter Verzicht auf gentechnisch veränderte Organismen (GVO / GMO) erfolgt.

5.1.4 Zusammenschauende Betrachtung der beiden Blaue-Engel-Umweltzeichen

Der Blaue Engel für Schreibstifte bezweckt den Schutz von Ressourcen, während der Blaue Engel für Spielzeug auf Umweltschutz- und Gesundheitsschutz von Kindern ausgerichtet ist. Daher ist die Berücksichtigung von biobasierten Kunststoffen in beiden Umweltzeichen jeweils unterschiedlich erfolgt. Bei ersterem wird die Verwendung von biobasierten Kunststoffen als ressourcenschonende Eigenschaft eines Produkts angesehen und qualifiziert daher für den Erwerb des Umweltzeichens, bei zweiterem ist dies nicht der Fall. Daher sind bei ersterem auch explizit Anforderungen an einen Mindestgehalt an nachwachsendem Rohstoff gestellt.

Dies erklärt auch, warum für die eingesetzten biobasierten Kunststoffe in beiden Umweltzeichen die gleichen Anforderungen bezüglich der Nachhaltigkeit und der entsprechenden Nachweisführung gelten. Allerdings wird diese beim Blauen Engel für Spielzeug erst ab 10% Gehalt an biobasierten Kunststoffen erforderlich.

Diese Regelung könnte jedoch hinsichtlich einer transparenten Verbraucherinformation ungewünschte Nebeneffekte haben. Wie in Kap. 2.1.2.3 dargestellt, gibt es Kunststoffe mit ISCC-Zertifizierung, die den Eindruck erwecken, aus nachhaltigkeitszertifizierter Biomasse zu bestehen, auch wenn sie keine oder zu vernachlässigende Anteile an Biomasse enthalten. Solche Kunststoffe dürfen somit ohne weitere Prüfung des tatsächlichen Gehalts an Biomasse in Spielzeug verwendet werden und könnten mit Hinweis auf das ISCC-Zertifikat eine Herstellung aus nachwachsenden Rohstoffen suggerieren.

Gemeinsam ist beiden Umweltzeichen, dass gesundheits- bzw. umweltschutzbezogene Anforderungen für petrochemische und biobasierte Kunststoffe gleichermaßen gelten.

5.2 Grundsätzliche Erwägungen für die Herleitung von Vergabe-Kriterien

5.2.1 Umwelt

Wie anhand der verfügbaren ökobilanziellen Informationen inklusive der im Rahmen dieses UBA-Vorhabens durchgeführten Übersichtsökobilanzen ersichtlich wurde, haben biobasierte Kunststoffe gegenüber den petrochemischen Kunststoffen in der Regel Vorteile bei der Einsparung fossiler Ressourcen und klimawirksamer Emissionen und Nachteile bei Umweltwirkungen wie Versauerung und Eutrophierung.

Unbedingt achten sollte man daher darauf, dass die Verwendung von biobasierten Kunststoffen nicht zu einem wesentlich erhöhten Materialeinsatz (Masse/Produkt) im Vergleich zu den petrochemischen führt, da dies die positiven Ergebnisse bei Klimaveränderung und fossilem Ressourcenverbrauch konterkarieren könnte.

Bei Versauerung und Eutrophierung stammen die Beiträge vor allem aus der Erzeugung der landwirtschaftlichen Rohstoffe – unabhängig davon, ob es sich um Stärke-, Zucker- oder Ölpflanzen handelt. Bei der Zeichenvergabe könnte daher mittel- und langfristig der Blick verstärkt auf die Verwendung von Reststoffen gehen. Kurzfristig ist nach Einschätzung der Autoren aus technischen wie auch Verfügbarkeitsgründen nicht mit nennenswerten Anteilen von Reststoffen im Rohstoffmix für die in diesem Bericht besprochenen biobasierten Kunststoffe zu rechnen. Zudem ist die Verwendung von Reststoffen nicht pauschal als problemlos einzuschätzen; nämlich dann, wenn die Reststoffe nur schon bisherigen nutzbringenden Anwendungen entzogen würden und dort dann auf ökologisch nachteilige Alternativen zurückgegriffen werden müsste.

Die Verringerung der Emissionen aus dem Bereich der Landwirtschaft wäre also nicht nur erstrebenswert, sondern notwendig. Jedoch gilt es hier zu beachten, dass die landwirtschaftlichen Rohstoffe für die Herstellung von biobasierten Kunststoffen global gewonnen werden. Veränderungen in der landwirtschaftlichen Praxis (Extensivierung, GVM-Verzicht, etc.) benötigen auch entsprechende politi-

sche Zielsetzung und Sicherstellung entsprechender Randbedingungen. Die Hersteller von Biokunststoffen können hier alleine wohl wenig bewegen. Der weit größere Hebel dürfte vielmehr im Bereich der Herstellung von Futtermitteln und chemischen Rohstoffen liegen, die weltweit den größten Anteil an landwirtschaftlichen Flächen beanspruchen und mit dem zunehmenden Anbau von Soja einerseits und Ölpalmen andererseits einen der wesentlichen Treiber für die Urwaldzerstörung in Südamerika und Südasien haben.

Mittlerweile liegen hinlänglich Literaturdaten vor, die zeigen, dass damit verbundene Landnutzungsänderung zu erheblichen zusätzlichen THG-Emissionen führen können. Die im vorliegenden Bericht exemplarisch durchgeführten Übersichtsökobilanzen bestätigen dies. Mit dem von [Fehrenbach et al. 2016] entwickelten aLUC-Konzept kann ermittelt werden, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, mit der eine Feldfrucht in einem bestimmten Land zum LUC beiträgt. Andererseits kann der Landbau unter bestimmten Umständen auch zur Anreicherung der organischen Bodenmasse und damit zu einer Kohlenstoffanreicherung im Boden führen. Dieser Ansatz findet sich in den ökobilanziellen Ergebnissen, die von Braskem (bPE) veröffentlicht werden und die auf einer Analyse der spezifischen dahinterstehenden Lieferkette beruhen.

Wegen der Sensitivität der Annahmen bzgl. LUC auf die Gesamtergebnisse einer Ökobilanz eines biobasierten Kunststoffs, sollten diese immer separat von den restlichen Ergebnissen dargestellt werden.

5.2.2 Nachhaltigkeit – Rohstoffgewinnung und Lieferkette

Die Herstellung von biobasierten Kunststoffen aus Feldfrüchten bedingt zwangsläufig eine Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Flächen, auf denen im Prinzip auch Lebensmittel angebaut werden könnten. Allerdings ist damit nicht zwingend eine Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion gegeben bzw. kann die Kausalität einer solchen Konkurrenz auch nicht einfach belegt werden. Wie oben schon angesprochen, ist derzeit davon auszugehen, dass die Futtermittelproduktion (und auch die Produktion von biogenen Kraftstoffen) deutlich stärker in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion steht. Andererseits verschärft natürlich jeder hinzukommende Treiber die Situation.

Daher ist auch an biobasierte Kunststoffe, die mit dem Blauen Engel ausgezeichnet werden, der Anspruch zu stellen, dass mögliche Lebensmittelkonkurrenzen nach Möglichkeit vermieden werden und grundlegende Anforderungen an eine nachhaltige Landwirtschaft aus sozialer Sicht (z.B. Landrechte, Arbeiterrechte, Mitbestimmung, etc.) sowie Umweltsicht (Schutz hochwertiger Flächen) erfüllt werden. Derzeit kann dies am ehesten durch sogenannte Nachhaltigkeitszertifikate sichergestellt werden.

Zudem ist es nach Auffassung der Autoren für den Hersteller von Produkten zumutbar, generelle Informationen zur Lieferkette seiner Produkte zurück bis zu den Rohstoffen zu ermitteln und bereitzustellen. Insbesondere Informationen zu

- Typ an biobasierten Kunststoffen
- Herstellungsort
- eingesetzte Agrarbiomassen inkl. deren geographischen Verortung (Herkunftsland)

sind dabei darzustellen.

Hinzu kommt, dass für jeden Kunststoff, der für sich reklamiert, auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen hergestellt zu sein, der Gehalt an Biomasse anzugeben ist. Die Nachweisführung wie sie im Blauen Engel für Schreibstifte umgesetzt ist, bietet jedoch nur eine argumentative Plausibilisierung. Ein echter Nachweis kann nur auf der Basis eines analytischen Messverfahrens erbracht werden.

Dieser Punkt ist nicht zuletzt deshalb wichtig, weil es derzeit vorkommen könnte, dass ein Endprodukt aus einem Kunststoff besteht, der vom Hersteller als „renewable plastic“ oder „Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen“ beworben wird und zudem mit einem Zertifikat eines auf Nachhaltigkeit aus-

gerichtetem Zertifizierungssystem (ISCC) ausgestattet ist, in der Realität u.U. aber kein einziges biobasiertes Kohlenstoffatom enthält. Ein solcher Fall könnte u.U. sogar die Glaubwürdigkeit eines produktbezogenen Umweltzeichens gefährden.

Beim derzeitigen Sachstand scheint daher mindestens die Anforderung bzgl. einer verlässlichen quantitativen Angabe des biogenen Kohlenstoffgehalts im Produkt bzw. in der betreffenden Produktkomponente angeraten. Beim Zertifizierungssystem RSB etwa ist ein Mindestgehalt von 25% biobasiertem Materialanteil Voraussetzung für eine Zertifikatsvergabe. Unter den oben genannten zertifizierten Biobasierte Kunststoffen würde dieses Kriterium von PLA (NatureWorks) und bioPE (Braskem) problemlos erfüllt werden. Für viele Mater-Bi-Typen dürfte dies auch zutreffen.

Anmerkung 1: der bei SABIC (und anderen wie z.B. BASF) favorisierte Ansatz einer generellen, jedoch nicht auf ein konkretes Produkt bezüglichen Massenbilanz, ist aus Sicht der klassischen Chemieunternehmen nachvollziehbar, da dort das Interesse darauf ausgerichtet ist, Biomasse in bestehende Anlagen und Synthesewege einzuspeisen. Dies ist zweifelsohne auch einer der wichtigen Pfade in Richtung eines zukünftigen Umstiegs auf ein biogenes Kohlengerüst. Es ist somit aber eher ein Baustein für eine biobasierte Rohstoffpolitik, im Kontext einer biobasierten Produktauszeichnung jedoch problematisch.

Informationen zur Herstellungskette sind auch deshalb nützlich, weil dadurch ersichtlich wird, dass stellenweise auf Herstellungsketten zurückgegriffen, bei denen die Verarbeitung der Rohstoffe und Herstellung der Zwischenprodukte über mehrere Kontinente verstreut sind (Beispiel bMEG). Der Grund dafür liegt zumeist in den anderweitig nicht verfügbaren Verarbeitungskapazitäten und natürlich den ggf. niedrigeren Arbeitskosten. Die Pflicht zur Darstellung solcher Informationen könnte bewirken, dass die Hersteller hier zunehmend bewusster agieren. Ein Schwellenkriterium für die Vergabeentscheidung lässt sich hieraus jedoch nicht ableiten.

Anmerkung 2: es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass mit der Erbringung von Nachhaltigkeitsnachweisen per Zertifikat Anforderungen an biobasierte Kunststoffe gestellt werden, die für die petrochemischen Kunststoffe nicht gelten. Nach Auffassung der Autoren sollten auch bei petrochemischen Kunststoffen Informationen zur Rohstoffherkunft vorgelegt werden. So macht es einen Unterschied, ob ein Kunststoff aus über Fracking gewonnenes Rohöl oder Erdgas hergestellt wurde oder nicht. Auch könnten anhand der geographischen Herkunft Aussagen zum umwelt- und risikobezogenen Management der Erdöl- und Erdgasgewinnung gemacht werden. Per heute sind die Rohstoffherkünfte in petrochemischen Kunststoffprodukten weitgehend intransparent.

5.2.3 Kreislaufwirtschaft

Grundsätzlich sind die Fragen und die Problemstellung bzgl. der Entsorgung bei petrochemischen als auch biobasierten Kunststoffen ähnlich gelagert. Wie am Beispiel der Büromaterialien ersichtlich, gibt es zum einen Produkte, die im Wesentlichen aus einem Kunststoffwerkstoff bestehen (z.B. Lineale aus PLA). Zum anderen finden sich auch solche, die aus verschiedenen Werkstoffen (verschiedene Kunststoffe, Metalle und Kunststoffe, etc.) zusammengesetzt sind (z.B. Schreibstifte), jedoch prinzipiell per Demontage mechanisch voneinander separiert werden können. Eine weitere Gruppe sind die Verbundmaterialien, bei denen eine einfache mechanische Trennung der einzelnen Werkstoffe nicht - bzw. nur über spezielle Verfahren - möglich ist.

Spezifische Fragen bzgl. der biobasierten Kunststoffe ergeben sich dann, wenn die Werkstoffe nicht in die etablierten Entsorgungsstrukturen „hineinpassen“. Insgesamt stellt sich für biobasierte Kunststoffe, die nicht chemisch-stoffgleich zu konventionellen Kunststoffen sind, eine prinzipielle Entsorgungsproblematik: es fehlen weiterhin ausreichende Marktmengen, um zu erreichen, dass die Entsorgungsinfrastruktur diese Kunststoffe spezifisch erfasst und verwertet.

Bei den vom Blauen Engel umfassten Produktgruppen ist in der Regel von einer sogenannten haushaltsnahen Entsorgung (private Haushalte, Büros, etc.) auszugehen. Der Entsorgungsweg hängt letztlich von den Produktanwendungen und den dafür seitens der jeweiligen Kommune vorgesehenen Abfallhandhabung ab. Für eine Verwertung steht ggf. eine Wertstofftonne zur Verfügung. Idealerweise werden spezifische Rücknahmeoptionen seitens des Handels oder der Hersteller angeboten.

Eine höherwertige werkstoffliche Verwertung bedingt

1. dass die Kunststoffe von vornherein sortenrein vorliegen oder aus dem Produkt sortenrein separiert werden können
2. passende Sortier- und/oder Verwertungsverfahren gut verfügbar sind.

Der erste Punkt ist eine Frage des recyclinggerechten Designs. Der zweite Punkt trifft vor allem auf die Massenkunststoffe PE, PP, PET, PS und damit auch auf die stoffgleichen biobasierten Drop-In Kunststoffe jedoch nicht die neuartigen – jedoch ebenfalls rezyklierbaren – biobasierten Kunststoffe wie z.B. PLA, PHA und PEF zu. Im Rahmen der Erarbeitung von Vergabekriterien sollte berücksichtigt werden, dass die fehlende technische Infrastruktur vor allem auf den fehlenden kritischen Marktmengen dieser Kunststoffe und nicht auf inhärenten Eigenschaften dieser biobasierten Kunststoffe beruht.

5.2.4 Gesundheit und Verbraucherschutz

Biobasierte Kunststoffe müssen, um zugelassen zu werden, dieselben rechtlichen Anforderungen erfüllen wie petrochemische Kunststoffe. Auch hinsichtlich der Produktanwendung lassen sich mit Blick auf Gesundheit und Verbraucherschutz keine prinzipiellen Unterschiede zwischen biobasierten und petrochemischen Kunststoffen ableiten.

So gilt in Deutschland gemäß dem Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch [LFGB 2017] für alle Bedarfsgegenstände, dass sie so beschaffen sein müssen, dass sie bei bestimmungsgemäßem oder vorauszusehendem Gebrauch die Gesundheit durch ihre stoffliche Zusammensetzung nicht schädigen.

Hinzu kommen Regelungen für spezielle Anwendungsbereiche wie z.B. Verpackung von Lebensmitteln oder die Herstellung bzw. Inverkehrbringung von Spielzeugen:

- a. Für Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die für den Lebensmittelkontakt bestimmt sind, gilt seit 1. Mai 2011 die Verordnung (EU) Nr. 10/2011 für Lebensmittelkontaktmaterialien aus Kunststoff. Spezifisch für Lebensmittelbedarfsgegenstände (synonym: Lebensmittelkontaktmaterialien) aus Kunststoff besteht die konkrete und verbindliche Maßgabe, in schriftlicher Form Informationen über die Einhaltung der geltenden Vorschriften sowie Angaben über Hersteller oder Einführer, sog. „Konformitätserklärungen“, bereitzustellen
- b. Für Spielzeuge regelt die europäische Spielzeugrichtlinie 2009/48/EG, welche Sicherheitsanforderungen Spielzeug erfüllen muss, damit es in der EU hergestellt und / oder verkauft werden darf.

5.2.5 Nutzen und Kosten

Wesentlicher gesellschaftlicher Nutzen biobasierter Kunststoffe ist der Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz insbesondere durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen. Biobasierte Produkte bilden den Kern einer Entwicklung in Richtung einer Bioökonomisierung der Wirtschaft, die gleichsam eine Abkehr von Materialien aus fossilen Rohstoffquellen bedeutet.

Potenzial zur Substitution petrochemischer Kunststoffe

Das Substitutionspotenzial besteht. Die derzeit verfügbaren biobasierten Kunststofftypen könnten theoretisch die Massenkunststoffe PET, PE, PP und PS in vielen Anwendungen ersetzen [Detzel 2012].

Durch die Entwicklung spezifischer Additive und Anpassungen in der Molekülstruktur werden die Anwendungseigenschaften kontinuierlich verbessert und die Anwendungsmöglichkeiten erweitert. Der Gebrauchsnutzen steht damit außer Frage.

Gesellschaftlicher Diskurs

Im gesellschaftlichen Diskurs (inkl. der Medien) gibt es eine schon länger andauernde Kontroverse zu biobasierten Kunststoffen, die teilweise zu einer negativen Wahrnehmung geführt hat. Die Kontroverse ist in Deutschland besonders ausgeprägt. Auslöser war aus Sicht der Autoren der anfängliche Fokus der biobasierten Kunststoffindustrie auf kompostierbare Kunststoffe und die darauf ausgerichtete Öffentlichkeitsarbeit, die den Verbrauchern generelle ökologische Vorteile suggerierte, ohne dass dies in Ökobilanzen bestätigt werden konnte. Zudem waren (und sind) Produkte aus biobasierten inkl. kompostierbaren Kunststoffe mit Ausnahme von kompostierbaren Abfallbeuteln rechtlich von der Biotonne ausgeschlossen.

Darüber hinaus gerieten biobasierte Kunststoffe in den Strudel der Tank-versus-Teller-Debatte, die durch staatlich verordnete Biokraftstoff-Quoten bzw. -ziele angestoßen wurde und in deren Folge die stoffliche Nutzung von Agrarbiomasse grundsätzlich in Frage gestellt wurde.

Kosten

Die Kosten der biobasierten Kunststoffe liegen, wie in Kap. 1.2.7 dargestellt, über denen der petrochemischen. Je nach Kunststofftyp liegt der Aufschlag bezogen auf eine Masseneinheit zumeist zwischen 10 % und 50 %, wobei bei einzelnen Kunststofftypen auch bis zu 300 % möglich sind. Die höheren Kosten sind zum einen auf höhere Rohstoffkosten zurück zu führen. Zum anderen werden sie durch hohe Entwicklungskosten verursacht, die auf kleinere Mengen umgelegt werden. Hinzu kommt ein erhöhter Vertriebsaufwand durch intensive Beratungstätigkeit beim Kunden.

Letztlich besteht bei den petrochemischen Kunststoffen eine starke Abhängigkeit vom Rohölpreis. Dieser war in den vergangenen 10 Jahren relativ niedrig, wodurch die kostenseitige Konkurrenzfähigkeit von biobasierten Kunststoffen erschwert war.

Die Kosten für die Entsorgung unterscheiden sich in solchen Fällen, in denen durch die Verwendung von biobasierten Kunststoffen die Verwertungserlöse ggf. unter denen liegen, die für das entsprechende Produkt aus petrochemischen Kunststoffen möglich gewesen wäre. Praxisdaten hierzu liegen jedoch nicht vor.

5.3 Kriterien für biobasierte Kunststoffe im Kontext von Vergabekriterien

Bei den biobasierten Kunststoffen handelt es sich nicht um verbrauchernahe Endprodukte im Sinne des Blauen Engel sondern um Werkstoffe, die in den verschiedensten Produktgruppen zum Einsatz kommen können. Daher werden in der Folge Hinweise gegeben, die in der Erarbeitung von Vergabekriterien für Umweltzeichen spezifischer Produktgruppen Berücksichtigung finden sollen.

Dazu wird einerseits auf die Empfehlungen für Vergabekriterien biobasierter Produkte gemäß der Machbarkeitsstudie zu übergreifenden Aspekten [Hennenberg et al. 2017] zurückgegriffen. Zum anderen werden spezifische Anforderungen/Kriterien für biobasierte Kunststoffe ergänzt.

5.3.1 Biogener Gehalt

In [Hennenberg et al. 2017] wurde vorgeschlagen, dass im Rahmen der Vergabe des Blauen Engel ein nachweisbarer Mindestgehalt an biogenem Kohlenstoff bzw. Biomasse vorhanden sein muss. Denn es ist dem Verbraucher wie der Gesellschaft insgesamt schwer zu vermitteln, wenn ein als biobasiert deklariertes Produkt physisch nahezu vollständig aus fossiler Basis bestehen würde. Es wird daher

empfohlen, eine vom biogenen Ursprung vollständig entkoppelte Biogenität für eine Produktauszeichnung im Rahmen des Blauen Engel nicht zuzulassen.

Damit bleibt im zweiten Schritt die Frage, welcher Mindestanteil (realen) biogenen Kohlenstoffs im Rahmen des Umweltzeichens des Blauen Engel sinnvoll ist. Die Frage, wieviel biobasierter Anteil aus technischen Gründen oder Gründen des Produkt-Designs überhaupt möglich ist und wie in Relation hierzu ein Mindestgehalt abzuleiten wäre, muss gemäß [Hennenberg et al. 2017] grundsätzlich innerhalb der konkreten Produktgruppe definiert werden. Wobei hier nochmal darauf hingewiesen werden soll, dass Biokunststoffe keine Produktgruppe im Sinne des Blauen Engel sind, sondern vielmehr für die Herstellung von Produkten verwendbare Werkstoffe.

5.3.1.1 Mindestgehalt im Produkt oder spezifischen Produktkomponenten:

- a) Ein Masseanteil von mindestens 60 % der Trockenmasse der Produktkomponente muss auf biogenen Kohlenstoffverbindungen basieren. Der Wassergehalt des Produkts liegt bei maximal 50 %.
- b) Ein Massenanteil von 100 % der Kohlenstoffverbindungen muss aus nachhaltiger Biomasse stammen (Nachweis über „Segregation“ oder „Massenbilanz“).
- c) Der Trockenmassenanteil an nachhaltiger Biomasse wird ausgewiesen ($f \cdot g$).
- d) Benennung: Direkte Nutzung von nachhaltiger Biomasse (X % Trockenmassenanteil).

Auf der Verpackung muss ausgewiesen werden, wie hoch die Anteile an biogenen und fossilen Kohlenstoffverbindungen sein sollen und welcher Anteil aus Segregation bzw. Massenbilanz stammt.

Die Entscheidung, ob eine Segregation erforderlich oder eine Massenbilanz ausreichend ist, soll darauf basieren, ob es sich um Produkte handelt, bei denen für den Verbraucher eine Sicherstellung der rohstofflichen Eigenschaft von Bedeutung ist, die nur über eine physische Nachverfolgbarkeit gewährleistet werden kann. Dies ist z.B. der Fall

- ▶ bei Körperanwendungen mit Hautkontakt als Indikator – weil es z.B. toxikologische oder dermatologische Argumente in Bezug auf die Verträglichkeit gibt (z.B. Pestizid-Belastung von Rohstoffen oder wenn human- oder ökotoxikologische Unterschiede zwischen dem biogenen Produkt und der fossilen Alternative vorliegen, oder auch z.B. bei Allergien gegen einzelne pflanzliche Inhaltsstoffe),
- ▶ wenn die Abbaubarkeit oder eine andere Umweltbelastung im Vordergrund steht (z.B. bei Verlustschmierstoffen, bei denen die Abbaubarkeit wegen Biobasiertheit das zentrale Anfangsargument für Umwelt-Labeling ist), oder
- ▶ wenn es den Verbraucherwunsch gibt.

5.3.1.2 Nachweis des biogenen Anteils

Der biogene Anteil sollte überprüfbar sein. Im Rahmen von Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen erfolgt eine solche Bemessung in der Regel nicht. Daher reicht ein Nachhaltigkeitszertifikat nicht ohne Weiteres aus, um einen angegebenen Biomassegehalt zu belegen.

Idealerweise sollten Herstellerangaben zum biogenen Gehalt auf der Grundlage von Radiocarbon-Messungen erfolgen. Ggf. wären auch die Messprotokolle zu hinterlegen.

Dabei gilt es Folgendes zu beachten: Der biogene Anteil wird von einem Hersteller aus praktischen Gründen in der Regel nicht an der Warenausgangsstelle, also im von ihm hergestellten Produkt oder Produktkomponente bestimmt werden, sondern am Punkt der Wareneingangskontrolle, also im angelieferten Granulat. Um eine kausale bzw. physische Verbindung zwischen dem angelieferten und bemessenen Granulat und dem daraus hergestellten Produkt zu belegen, sind dann zwei Voraussetzungen zu erfüllen:

1. Eine getrennte Materialführung, entweder über getrennte Produktionslinien oder alternativ durch eine Bestückung der Produktionslinie im Batch-Verfahren
2. Eine ausreichend differenzierte Materialbuchhaltung und ggf. eine automatisierte Steuerung (und damit Aufzeichnung) der Materiallagerhaltung sowie Bestückung der Produktionslinien.

Der Antragsteller sollte das entsprechende Materialmanagement in seiner Produktion ggf. kurz, jedoch ausreichend transparent beschreiben.

Informationen zum biogenen Gehalt können auch über DIN Certco bzw. Vincotte bereitgestellt werden. In beiden Systemen werden Bandbreiten an biogenem Gehalt ausgewiesen.

Im Rahmen der Prüfung nach dem Zertifizierungsprogramm von DIN Certco (Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH) ist eine Doppelmindestanforderung festgelegt. Der festgelegte Mindestgehalt an organischem Material muss 50 % betragen und der Anteil biobasierten Kohlenstoffs 20 % überschreiten. Es werden hierbei 3 verschiedene Klassen mit unterschiedlichen Anteilen an biobasiertem Kohlenstoff unterschieden:



Die Prüfung nach dem Zertifizierungsprogramm von Vincotte (belgischer Zertifizierungsdienstleister) stellt ebenfalls Mindestanforderungen, wobei hier ein Gehalt von mindestens 30% biobasiertem Kohlenstoff und 20% Biomasse zur Zeichenvergabe erforderlich ist. Der Biomassegehalt wird mithilfe von ASTM D6866 und der biobasierte Kohlenstoffanteil mithilfe des TS-OK20 Standards von Vincotte⁹ gemessen. Je nach Prozentzahl der im Produkt enthaltenen Biomasse werden vier verschiedene Klassen mit 1-4 vergebenen Sternen unterschieden.

			
zwischen 20 und 40 % biobasiert	zwischen 40 und 60 % biobasiert	zwischen 60 und 80 % biobasiert	über 80% biobasiert

5.3.2 Nachweis zur Erfüllung der Anforderungen für eine nachhaltige Biomasseproduktion:

A. Nachhaltigkeitszertifikate

Eingesetzte Biomasse muss den Anforderungen für eine nachhaltige Biomasseproduktion des

⁹ www.vincotte.com/

- ▶ Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB),
- ▶ Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO),
- ▶ International Sustainability and Carbon Certification (ISCC PLUS),
- ▶ Forest Stewardship Council (FSC),
- ▶ Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes (PEFC),
- ▶ einem vergleichbaren Zertifizierungssystem
- ▶ oder einem gleichwertigen Einzelnachweis für die Erfüllung der Prüfkriterien genügen.

Diese Nennung von Zertifizierungssystemen ist bis zum Jahr [2022 oder 2023] erneut zu prüfen.

Um die prinzipielle Rückverfolgbarkeit sicherzustellen, ist die Verwendung eingekaufter Zertifikate auf der Basis von Book & Claim ausgeschlossen. Der Einkaufsnachweis der Rohstoffe oder Halbprodukte erfolgt auf der Grundlage von Verfahren gemäß Segregation oder Massenbilanz.

B. Nachweis einer positiven Entwicklung der Lebenswegbilanz

Insgesamt sollte das biobasierte Produkt über den Lebensweg eine **THG-Einsparung** gegenüber dem entsprechenden nicht-biobasierten Vergleichsprodukt aufweisen. Diese Anforderung muss jedoch auf der Ebene der eigentlichen Produktgruppen erfolgen, ein alleiniger Vergleich auf der Werkstoffebene ist dafür nicht ausreichend.

Bei der Festlegung des Umfangs der erforderlichen Einsparung(srate):

- ▶ Sollte die Komplexität des Lebenswegs der jeweiligen Produktgruppe berücksichtigt werden.¹⁰
- ▶ Kann die Anforderung des unter A angewandten Zertifizierungssystems herangezogen werden.

Die THG-Bilanzierung erfolgt entweder

- ▶ innerhalb der Zertifizierung des unter A angewandten Zertifizierungssystems oder
- ▶ durch Vorlage einer entsprechenden Bilanzierung gemäß ISO 14040/44 oder 14067.

Anmerkung: dieses Kriterium ist nach Auffassung der Autoren insbesondere bei Blauer Engel Produkten anzuwenden, bei denen das Schutzziel Klima im Vordergrund steht.

C. Landnutzungsänderung

Die Biomasse wird in einem Land erzeugt, in welchem im Mittel der letzten 10 Jahre die Ausdehnung der

- a. Anbaufläche der entsprechenden Feldfrucht oder
- b. der Agrarfläche insgesamt, wenn ein direkter Zusammenhang zwischen der entsprechenden Feldfrucht und der Landnutzungsänderungen nicht hergestellt werden kann,

zu weniger als 3 % zu Landnutzungsänderung zu Lasten von Wald und/oder Grünland und/oder anderen Naturräumen geführt hat.

Die Biomasse wird in einem Land erzeugt, in welchem im Durchschnitt der letzten 10 Jahre der mittlere jährliche Verlust von Wald und/oder Grünland und/oder anderen Naturräumen verursacht durch die Ausdehnung der Agrarfläche weniger als 3 % beträgt.

Wenn für das Herkunftsland der Biomasse einer der beiden genannten Schwellenwerte überschritten ist,

¹⁰ Ein Vorschlag, wie hier vorgegangen werden sollte, wurde im UBA-Forschungsprojekt „Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen“ (Carus et al. 2014) erarbeitet.

- a. jedoch nachgewiesen werden kann, dass zumindest in den drei jüngsten Jahren liegen beide Werte unter 1 % liegen oder
- b. für die Biomasse per Zertifizierung nachgewiesen werden kann, dass die Produktion der Biomasse, auf einem Ansatz beruht, der ein niedriges iLUC Risiko sicherstellt (z.B. nach RSB Low iLUC¹¹ oder etwas Gleichwertiges).

gelten die Kriterien als erfüllt.

5.3.3 Weitere Aspekte zur Berücksichtigung von biobasierten Kunststoffen im Kontext Blauer Engel

Die Herstellung biobasierter Kunststoffe hat derzeit noch vergleichbare gesamtökologische Umweltwirkungen wie die petrochemischen Kunststoffe, verbraucht in der Regel aber weniger fossile Rohstoffe und verursacht weniger klimawirksame Emissionen als die Herstellung petrochemischer Kunststoffe. Demzufolge sollte eine Blauer Engel Auszeichnung für die Verwendung von biobasierten Werkstoffen insbesondere mit Bezug auf die Einsparung fossiler Ressourcen erfolgen. Folgende Aspekte sollten dabei im Rahmen der Erarbeitung von Vergabekriterien berücksichtigt werden:

Materialeffizienz: Die Verwendung von biobasierten Kunststoffen anstelle petrochemischer Kunststoffe in einem Produkt sollte nicht zu höheren (sondern idealerweise zu niedrigeren) Materialeinsätzen führen. Die Obergrenze könnte bei max. +10% im Verhältnis zu vergleichbaren Produkten aus petrochemischen Kunststoffen angesetzt werden.

Mindestgehalt an Biomasse: Der Zweck der Einsparung fossiler Rohstoffe durch Verwendung biobasierter Kunststoffe bedingt aus sich selbst heraus, dass im Endprodukt ein möglichst großer Anteil eingesetzt wird.

Kreislauffähigkeit: Die Verwendung von biobasierten Kunststoffen sollte die Recyclingfähigkeit eines Produkts nicht beeinträchtigen (Monomaterialien, Zerlegbarkeit, etc.).

Nachhaltigkeit: die möglichst nachhaltige Herstellung der gesamten Lieferkette, aber insb. der landwirtschaftlichen Rohstoffe, sollte sichergestellt sein. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden hierfür folgende Vorgehensweisen vorgeschlagen

- Nachhaltigkeitszertifikate (s.o.)
- Nachweisführung, die als gleichwertig gegenüber den zulässigen Zertifizierungssystemen angesehen werden kann.

Ein Umweltzeichen begründet auf den Vorteilen beim Klima- und Ressourcenschutz würde voraussetzen, dass die mit dem Anbau bedingten Nachteile (Versauerung, Naturraum) als Begleiterscheinung der Landwirtschaft aufgrund des Handlungsdrucks bei der Stickstoffproblematik und des Biodiversitätsverlusts durch geeignete Maßnahmen vermindert werden.

Ergänzende Informationen: Die Nachhaltigkeitszertifikate geben keine Informationen zur spezifischen Lieferkette. Nur durch Kenntnis seiner Lieferkette kann ein Hersteller Schwachstellen im Vorleben seiner Produkte und der eingesetzten Werkstoffe erkennen. Vergabeanträge sollten daher auch ergänzende Informationen zur Lieferkette der eingesetzten biogenen Werkstoffe enthalten.

¹¹ **RSB-STD-04-001** (<https://rsb.org/the-rsb-standard/standard-documents/low-iluc/>)

Abschließender Hinweis

Dieser Bericht bietet Informationen zur Einordnung von biobasierten Kunststoffen im Kontext der Nachhaltigkeitsdiskussion und des Marktumfelds im Bearbeitungszeitraum (2015-2018). Er ist nicht als allein stehende Bewertung von biobasierten Kunststoffen anzusehen, sondern soll vielmehr dem Umweltbundesamt Hilfestellung und Anhaltspunkte liefern, um biobasierte Kunststoffe bei der Erarbeitung von Anforderungskriterien für kunststoffhaltige Produkte bzw. Produktgruppen dem Zweck des Blauen Engel angemessen berücksichtigen zu können.

6 Quellenverzeichnis

- [Akanuma et al. 2014] Akanuma, Y & Selke, S & Auras, R: A preliminary LCA case study: comparison of different pathways to produce purified terephthalic acid suitable for synthesis of 100 % bio-based PET. Int J Life Cycle Assess (2014) 19:1238–1246. DOI 10.1007/s11367-014-0725-2.
- [BMEL 2017] Ergebnispapier Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen. Stand: 12. Oktober 2017. Vorgelegt von den Partnern des BMEL-Verbundvorhabens: Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen. Förderkennzeichen 22010814, 22031312, 22031812, 22012414, 22019212. Informationen zu den einzelnen Vorhaben: www.fnr.de/projektfoerderung/projekte-und-ergebnisse/projektverzeichnis.
- [Carus 2014] Mass Balance. Can ISSC PLUS certification be misleading – if the bio-based share is not labelled too? In: Bioplastics Magazine, Jg. 4, Nr.4. Online: http://www.rsb.org/pdfs/documents_and_resources/August%202014%20Bioplastics%20Magazine%20-%20sustainability_certification_and_mass_balance.pdf, abgerufen am 08.04.2015.
- [DBFZ 2009] Folienauszug zum Leipziger Biokraftstoff-Fachgespräch, September 2010; zur Verfügung gestellt durch Herrn Stefan Majer, DBFZ
- [Detzel et al. 2006] Detzel, Andreas; Krüger, Martina; Ostermayer, Axel (2006): Assessment of Bio-Based Packaging Materials. In: Dewulf, Jo und Van Langenhove, Hermann (Hg.): Renewables-Based Technology. Sustainability Assessment.
- [Detzel et al. 2018] Andreas Detzel (ifeu), Florian Bodrogi (ifeu), Benedikt Kauertz (ifeu), Carola Bick (ifeu), Dr. Frank Welle (IVV), Markus Schmid (IVV), Kevin Schmitz (IVV), Kerstin Müller (IVV), Dr. Harald Käß (narocon): Biobasierte Kunststoffe als Verpackung von Lebensmitteln. Im Auftrag des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und unter Projekträgerschaft der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. In Bearbeitung.
- [DIN EN 14995] DIN EN 14995:2007-03, Kunststoffe - Bewertung der Kompostierbarkeit - Prüfschema und Spezifikationen. Berlin, Beuth Verlag. (EN 14995:2006).
- [Detzel et al. 2018] Andreas Detzel (ifeu), Florian Bodrogi (ifeu), Benedikt Kauertz (ifeu), Carola Bick (ifeu), Dr. Frank Welle (IVV), Markus Schmid (IVV), Kevin Schmitz (IVV), Kerstin Müller (IVV), Dr. Harald Käß (narocon): Biobasierte Kunststoffe als Verpackung von Lebensmitteln. Im Auftrag des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und unter Projekträgerschaft der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. In Bearbeitung.
- [EcoInvent 3] EcoInvent Datenbank für Ökobilanzinventare. <https://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- [Erhart et al. 2012] Erhart, Aloysius; Faaij, André; Pateland, Martin (2012): Replacing fossil based PET with biobased PEF; process analysis, energy and GHG balance. In: Energy and Environmental Sciences. Jg. 5, Nr. 4, S. 6407-6422. London, Royal Society of Chemistry.
- [EuBP 2013] European Bioplastics e.V. (EuBP) (2013): EuBP market data. Documentation of survey methodology. Online: http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2013/publications/EuBP_market%20data_method_web_2012_BM.pdf, abgerufen am 30.04.2015.
- [European Bioplastics 2017] Bioplastics – furthering efficient waste management. Recycling and recovery options for bioplastics. Fact Sheet. European Bioplastics, EUBP.

- [European Bioplastics 2017] Biopolymers - facts and figures 2016. docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf, European Bioplastics, EUBP.
- [Fehrenbach, H., Köppen, S., Kauertz, B., Detzel, A., Wellenreuther, F., Breitmayer, E., Essel, R., Carus, M., Bience, K., Von Geibler, J. 2017] Biomassekaskaden. Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse - von der Theorie zur Praxis. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- [FNR 2015] Hintergrundinformation zu Biokunststoffen. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow.
- [FNR 2017] <https://biowerkstoffe.fnr.de/index.php?id=11551>.
- [Hennenberg et al. 2017] Machbarkeitsstudie zu übergreifenden Aspekten: Stoffliche Nutzung von Biomasse, FKZ 3714 95 308 0, Berichtsentwurf 9/2017.
- [ifeu 2014] Gutachten zur Umweltbedeutung von Biokunststoffen. Hintergrunddokument für das Büro Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestags (TAB) erstellt im Auftrag des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), ifeu 2014.
- [ifeu 2007] Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie: Optionen und Potenziale für die Zukunft. Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg (2007) im Auftrag des VCI.
- [ISCC 2015] International Sustainability & Carbon Certification GmbH (ISCC) (Stand 2015): ISCC-Datenbank über Zertifikate-Inhaber. Online: <http://www.iscc-system.org/zertifikate-inhaber/alle-zertifikate/>, abgerufen am 26.03.2015.
- [ISCC 2017] ISCC PLUS - Übersicht. Zugriffen 18.04.2017, <http://www.iscc-system.org/iscc-system/iscc-plus/>.
- [ISZ 2013] Industrieverband Schreiben, Zeichnen, Kreatives Gestalten e.V. (ISZ) (2013): Recyclingmaterial und Biokunststoff in Schreibgeräten. Online: http://ewima-isz.de/cms/upload/pdf/veroeffentlichungen/Recyclingmaterial_und_Biokunststoffe_in_Schreibgeraeten_V201301_fg.pdf, abgerufen am 30.03.2015.
- [LFGB 2017] Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. Juni 2013 (BGBl. I S. 1426), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 30. Juni 2017 (BGBl. I S. 2147) geändert worden ist.
- [Murphy et al. 2008] Murphy, Richard; Davis, Gareth; and Payne, Michaela (2008): Life Cycle Assessment (LCA) of Biopolymers for single-use Carrier Bags. London, Imperial College. (Research report for The National Non-Food Crops Centre NNFC).
- [o. Author 2014] o. Author (2014): SABIC launches first portfolio of certified renewable polyolefins. In: Bioplastics Magazine. Online: <http://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/Sabic-launches-renewable-polyolefins.php>, abgerufen am 07.04.2015.
- [Pladerer et al. 2008] Pladerer, Christian; Dinkel, Fredy; Dehoust, Günter et al. (2008): Vergleichende Ökobilanz verschiedener Bechersysteme beim Getränkeauschank an Veranstaltungen. Österreichisches Ökologie-Institut, Carbotech AG und Öko-Institut e.V. Deutschland, Wien, Basel, Darmstadt.
- [PlasticsEurope 2017] Eco-profiles. Zugriffen 01.04.2017 <http://www.plasticseurope.org/plastics-sustainability-14017/eco-profiles.aspx>.
- [RSB 2015] Roundtable on Sustainable Biomaterial (RSB): Certification. Online: <http://rsb.org/certification/>, abgerufen am 07.04.2015.
- [TAB 2016] Büro Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestags (TAB): Weiße Biotechnologie - Stand und Perspektiven der industriellen Biotechnologie: Verfahren, Anwendungen, ökonomische Perspektiven. Innovationsanalyse Teil I und Teil II. TAB-Arbeitsberichte Nr. 168 und 169; 2016.

- [UBA 2012] [Detzel et al. 2012] Detzel, Andreas; Kauertz, Benedikt; Derreza-Greeven, Cassandra; et al. (2012): Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. In: Texte des Umweltbundesamtes 52/2012. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt. (Forschungskennzahl 37 10 95 314, UBA-FB 001643).
- [UBA 2014] Rettenmaier, N., Detzel, A., Keller, H., Kauertz, B., Gärtner, S., Reinhardt, J. (2014): Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse - Anlage: Lebenszyklusanalyse für ausgewählte bio-basierte Produkte Langfassung des AP 4-Berichts; im Auftrag des Umweltbundesamts; FKZ 3710 93 109; Texte 01/2014.
- [UBA 2017] Fehrenbach, H., Köppen, S., Breitmayer, E., Essel, R., Baur, F., Kay, S., Wern, B., Biengen, K., Geibler, J.v., Kauertz, B., Detzel, A., Wellenreuther, F., Carus, M. (2017): Biomassekaskaden - Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse - von der Theorie zur Praxis; im Auftrag des Umweltbundesamts; FKZ 3713 44 100; Veröffentlichung 2017 erwartet.
- [Wellenreuter et al. 2009] Wellenreuther, Frank; Kunze, Sybille; Detzel, Andreas; Kauertz, Benedikt; Krüger, Martina; Reinhardt, Joachim: Life Cycle Assessment of Wastebags. IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg.
- [WFBR 2017] Van den Oever M., Molenveld K., Van der Zee M., Bos H.: Bio-based and biodegradable plastics - Facts and Figures. Wageningen Food & Biobased Research, 2017.
- [Würdinger et al. 2002] Würdinger, Eduard; Detzel, Andreas; Mühlberger, Dieter et al. (2002): Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Vergleichende Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. Polystyrol. Augsburg, Heidelberg, Herbrechtingen, Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik, Institut für Energie und Umweltforschung, Flo-Pak. (DBU-Az. 04763).
- [Zeddies et al. 2012]: Globale Analyse und Abschätzung des Biomasse-Flächennutzungspotentials. Zeddies J., Bahrs E., Schönleber N., Gamer W. Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre Universität Hohenheim 15. Februar 2012 (aktualisiert: August 2012)

7 Anhang

7.1 Anhang I: Berücksichtigte Wirkungskategorien der vereinfachten Ökobilanz

- Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA)
- Treibhauspotenzial (GWP)
- Versauerungspotenzial (AP)
- Eutrophierungspotenzial (EP)
- Naturrauminanspruchnahme (NFP)

7.1.1 Kumulierter Primärenergiebedarf

Die energetischen Rohstoffe werden anhand des Primärenergieverbrauchs bewertet. Als Wirkungsindeikatorwert wird der nicht-regenerative (d.h. fossile und nukleare) Primärenergieverbrauch als kumulierter Energieaufwand (KEA) angegeben.

7.1.2 Treibhauspotential

Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen, werden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials bilanziert, welches das Treibhauspotenzial des Einzelstoffs relativ zu Kohlenstoffdioxid kennzeichnet. Als Indikator wird das Gesamttriebhauspotenzial in CO₂-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach IPCC 2007 berücksichtigt.

7.1.3 Versauerungspotential

Schadstoffe, die als Säuren oder aufgrund ihrer Fähigkeit zur Säurefreisetzung zur Versauerung von Ökosystemen beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Versauerungspotenzials bilanziert und aggregiert. Das Versauerungspotenzial kennzeichnet die Schadwirkung eines Stoffes als Säurebildner relativ zu Schwefeldioxid. Als Indikatoren für die Gesamtbelastung wird das Gesamtversauerungspotenzial in SO₂-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2010 berücksichtigt.

7.1.4 Eutrophierungspotential

Nährstoffe, die zur Überdüngung (Eutrophierung) aquatischer und terrestrischer Ökosysteme beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Eutrophierungspotenzials bilanziert und aggregiert. Das Eutrophierungspotenzial kennzeichnet die Nährstoffwirkung eines Stoffs relativ zu Phosphat. Als Indikator für die Gesamtbelastung werden das aquatische und das terrestrische Eutrophierungspotenzial in Phosphat-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2010 berücksichtigt.

7.1.5 Naturrauminanspruchnahme (NFP)

Für die Naturraumbeanspruchung wird das von UBA (1999) empfohlene Konzept der Naturnähe-Klassen, bzw. Hemerobieklassen angewendet (siehe unten stehende Tabelle). Dieses wurde im Rahmen der UBA-Projekte von IFEU, Integrah, GVM (2014) und IFEU, Integrah, Öko-Institut (2016) aktualisiert. Dabei wurde ein Charakterisierungsmodell entwickelt, das ermöglicht die Sachbilanzergebnisse auf Ebene der einzelnen Klassen zu aggregieren nach dem Konzept des Naturfernepotenzials (NFP) (Fehrenbach et al. 2015).

Tabelle 7-1: Die Naturnähe-Klassen nach dem Hemerobiekonzept (UBA 1999)

Naturraumbeanspruchung nach Hemerobieklassen	
Klasse I	unbeeinflusste Natur (z.B. Primärwald)
Klasse II	naturnahe forstwirtschaftliche Nutzung
Klasse III	bedingt naturnahe forst- und landwirtschaftliche Nutzung
Klasse IV	halbnatürliche forst- und landwirtschaftliche Nutzung
Klasse V	bedingt naturferne forst- und landwirtschaftliche Nutzung
Klasse VI	naturferne landwirtschaftliche Nutzung
Klasse VII	überbaute, versiegelte Fläche, Deponien, Halden, Abbauf Flächen

Anmerkung: Klasse I schließt sich für vom Menschen bewirtschaftete Systeme per se aus und tritt daher in den Bilanzen nicht in Erscheinung.

Die Naturnähe-Klassen nach dem Hemerobiekonzept. Quelle: UBA 1999

7.2 Anhang II: Zuordnung der EuBP Produktgruppen

Abbildung 7-1: Zuordnung von Produkten zu den Produktgruppen des EuBP

Consumer products		Pharmaceutical & medical	Horticulture & agriculture
<i>Household products:</i> Bathroom supplies, cosmetics, hygiene, cars, watering cans, vacuum cleaners, drinking straws		Implants, bone screws, tablet capsules	Agricultural films and liners, dispenser, plant pots
<i>Office supply:</i> Writing utensils, correction rollers, rulers		Construction	Catering
<i>Toys:</i> Board games, sandbox accessories		Tool handles, plugs, Bio-PUR insulation, insulants, terrace surfaces, carpets and floor surfaces	Disposable cutlery and tableware
<i>Furniture:</i> Chairs, fruit and designer bowls			Others
<i>Sport & leisure:</i> Golf tees, loudspeakers, walking sticks, ski gloves, spectacle frames, watchcases, jewellery			Other products and not classifiable blend components
Bottles	Other packaging (incl. carrier/waste bags)	Technical applications (incl. automotive)	
Injection stretch and extrusion blow moulded bottles made from PLA or biobased PET	<i>Food & beverage:</i> Dimensionally stable flat sheet films, blown film, nets	<i>Consumer electronics:</i> Casings for computer mice, keyboards, phones, mobile phones, cable insulation	
	<i>Other:</i> Air bolsters/loose fill, heat shrink films	<i>Automotive:</i> Hoses, foams, footmats, airbag covers, components made from natural fibre composites and biobased engineering plastics	
	<i>Shopping bags and biodegradable biowaste bags</i>		

Quelle: [EuBP 2013, S.5]