



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Verwendung und Recycling von PET in Deutschland

Verwendung von PET und PET Rezyklaten aus Verpackungen in Deutschland

Eine Kurzstudie im Auftrag des NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V.

Benedikt Kauertz & Andreas Detzel

Heidelberg, Oktober 2017



Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1 Vorwort	5
2 Grundlagenwissen PET	6
3 PET Verpackungen – Marktübersicht und mögliche Alternativen	13
3.1 Aktuelle Zahlen zum PET Markt in Deutschland	14
3.2 Anwendungsfelder von PET in Deutschland	16
3.3 Alternativen zu den identifizierten PET Produkten	21
3.4 Alternativen zum PET auf Werkstoffebene	27
3.5 Zwischenfazit	28
4 PET Recycling	30
4.1 PET Recycling Technologie	30
4.2 Möglichkeiten und Grenzen der Rezyklatverwendung	35
4.3 Zwischenfazit	39
5 Verwertungswege von PET und Rezyklataufkommen	41
5.1 Verwertungswege gebrauchter PET Produkte	41
5.2 Mengenstrom primäres und recyceltes PET in Deutschland	43
6 Schlussfolgerungen	52
Literaturverzeichnis	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Fließbild PET Produktionssystem	7
Abbildung 2.2: Wasser- und Sauerstoffbarrierewirkung verschiedener Packstoffe (OTR: Sauerstoffdurchlässigkeit, WVTR: Wasserdurchlässigkeit)	10
Abbildung 2.3: relativer Vergleich unterschiedlicher Kunststoffe	12
Abbildung 3.1: Auswahl unterschiedlicher PET Produkte auf dem deutschen Markt	14
Abbildung 3.2: Kunststoffe und ihre Einsatzfelder	15
Abbildung 3.3: Beispiele unterschiedlicher formstabiler Verpackungen/ Hohlkörper aus PET auf dem deutschen Markt (von links nach rechts: für Getränke, für Detergenzien, für sonstige)	
Abbildung 3.4: Beispiele unterschiedlicher halbstarrer Folien aus PET auf dem deutschen Markt teilweise transparent, teilweise durchgefärbt oder Mix	19
Abbildung 3.5: Beispiel für eine Verpackung mit einem PET Verbundfolienanteil auf dem deutschen Markt	20
Abbildung 3.6: Beispiele unterschiedlicher Produkte aus PET-Fasern auf dem deutschen Markt teilweise Recyclingfasern	21
Abbildung 3.7: halbstarre PET Folie (Klappdeckeschale) und Alternative aus Karton	25
Abbildung 4.1: EFSA Kriterien für PET – Vergleich der Konzentration nach dem Recycling (C_{res}) mit berechneten Migrationswerten (C_{mod})	31
Abbildung 4.2: Funktionsweise unterschiedlicher Barrieren in PET Flaschen und Auswirkung auf die Recyclingfähigkeit	36
Abbildung 4.3: Preisdifferenz zwischen Virgin PET und R-PET	39
Abbildung 5.1: Mengenstrom primäres und recyceltes PET in Deutschland	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Basiswissen PET - Kompakt	6
Tabelle 2.2: Übersicht über PET Qualitäten und typische Anwendungsbereiche	9
Tabelle 2.3: Preise für Kunststoffe in €/kg frei Haus	11
Tabelle 3.1: Abschätzung der Summe an PET Produkten in Deutschland 2015	16
Tabelle 3.2: Alternativen zu PET Verpackungen	23
Tabelle 5.1: Verwertungswege von Abfällen aus gebrauchten Kunststoffverpackungen – Schätzung (2014)	41
Tabelle 5.2: Übersicht über versch. PET Sortierfraktionen der Wertstoffsammlung	43

1 Vorwort

An PET führt aktuell kaum ein Weg vorbei. Als Verpackungsrohstoff findet es in Form von leichten und dennoch robusten Getränke- oder Spülflaschen, als stabile Umverpackungsschale für Obst und Gemüse oder aber als transparenter Blister für Elektronikprodukte ganz offensichtlich seinen Weg in die Einkaufskörbe der Republik. Dass PET aber auch als Verbundwerkstoff in Folienverbänden bei abgepackten Frischeprodukten wie Wurst und Käse oder in der moderneren Variante der Verschlussfolien für Milchprodukte wie Joghurt oder Desserts auftaucht, ist vielen Verbrauchern dann doch eher unbekannt. PET hat sich in der breiten Öffentlichkeit den Ruf erarbeitet, ein „guter“ Kunststoff zu sein: frei von bedenklichen Weichmachern und gut zu recyceln, wie die vielen Tüten, Taschen, Rucksäcke und Textilprodukte aus recyceltem PET beweisen, die alle mehr oder weniger lautstark über ihr Vorleben als Flasche informieren.

Nahezu universell einsetzbar, unbedenklich, vielfältig wiederverwendbar – ist PET also der bessere Kunststoff? Für den NABU Bundesverband untersucht das ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg die Eigenschaften und möglichen wirtschaftlichen und ökologischen Vor- bzw. Nachteile von PET gegenüber anderen Werkstoffen, bzw. Produktlösungen. In der Studie werden auch das Aufkommen und die Verwertung von PET Produkten in Deutschland kurz beleuchtet, insbesondere aber stehen die Anwendungsfelder von primären PET und recyceltem PET im Fokus der Analyse.

Anlass der Studie

In der Studie werden keinen neuen Daten generiert sondern vor allen Dingen vorhandenes Material zielgerichtet zusammengetragen und analysiert. Wo immer als hilfreich erachtet, werden weitere Experten mittels Fachgesprächen in die Bearbeitung der Studie eingebunden.

Vorgehensweise der Studie

Die Studie versucht Antworten auf die drängendsten Fragen zu geben, die sich dem NABU Bundesverband im Zusammenhang mit der gesamten Thematik PET, PET Verpackungen und PET Recycling immer wieder stellen:

Kernfragen der Studie

- Warum ist PET ein so beliebter Werkstoff für Verpackungen?
- Wie groß ist die Menge an PET Verpackungen/ PET Produkten in Deutschland pro Jahr?
- Lässt sich PET überhaupt recyceln? Wo kommt das Sekundärmaterial her und in welchen Anwendungen wird es eingesetzt?
- Ist beim PET schon ein echter Materialkreislauf etabliert – oder noch nicht?
- Gibt es umweltfreundlichere Alternativen zum Einsatz von PET?

Die Ergebnisse der Studie dienen primär dem NABU Bundesverband zur allgemeinen Information und ggf. gewünschten Vertiefung einzelner Themenaspekte, richten sich aber auch an die interessierte Öffentlichkeit. Im Kapitel Schlussfolgerungen werden zu guter Letzt weitere Forschungsfragen aufgeworfen, die sich im Zusammenhang mit dem vorliegenden Bericht ergeben haben, an dieser Stelle aber noch nicht final beantwortet werden konnten.

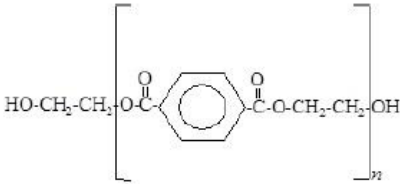
Anwendung der Ergebnisse

2 Grundlagenwissen PET

Die Abkürzung PET steht für Polyethylenterephthalat und benennt einen Kunststoff aus der Gruppe der thermoplastischen Polyester. Thermoplastisch bedeutet, dass sich der Kunststoff unter Temperaturzugabe verformen lässt. Je höher die Temperatur desto formbarer wird das Material. Polyester bezeichnet einen chemischen Stoff, der aus einer Vielzahl von Estern besteht. Als Ester wird das Resultat einer Reaktion aus Säure und Alkohol bezeichnet. Im Falle von PET wird die Terephthalsäure mit Monoethylenglycol verestert. Tabelle 2.1 stellt einige relevante Kernfakten zu PET dar.

Was ist PET?

Tabelle 2.1: Basiswissen PET - Kompakt

Name	Polyethylenterephthalat
CAS Nummer	25038-59-9
Jahr der Erfindung	1941
Strukturformel*	
Summenformel	C10H8O4
Energiegehalt (Brennwert)	24 MJ pro kg Material
Vorprodukte	Terephthalsäure und Monoethylenglycol
Globale Produktion (Ist/ Kapazität)**	10,3 Mio. Tonnen/ 28 Mio. Tonnen
Treibhausgasemissionen bei der Herstellung („bottlegrade material“ aus europ. Produktion)*	2,18 kg CO ₂ -Äq. pro kg Material

Quellen:

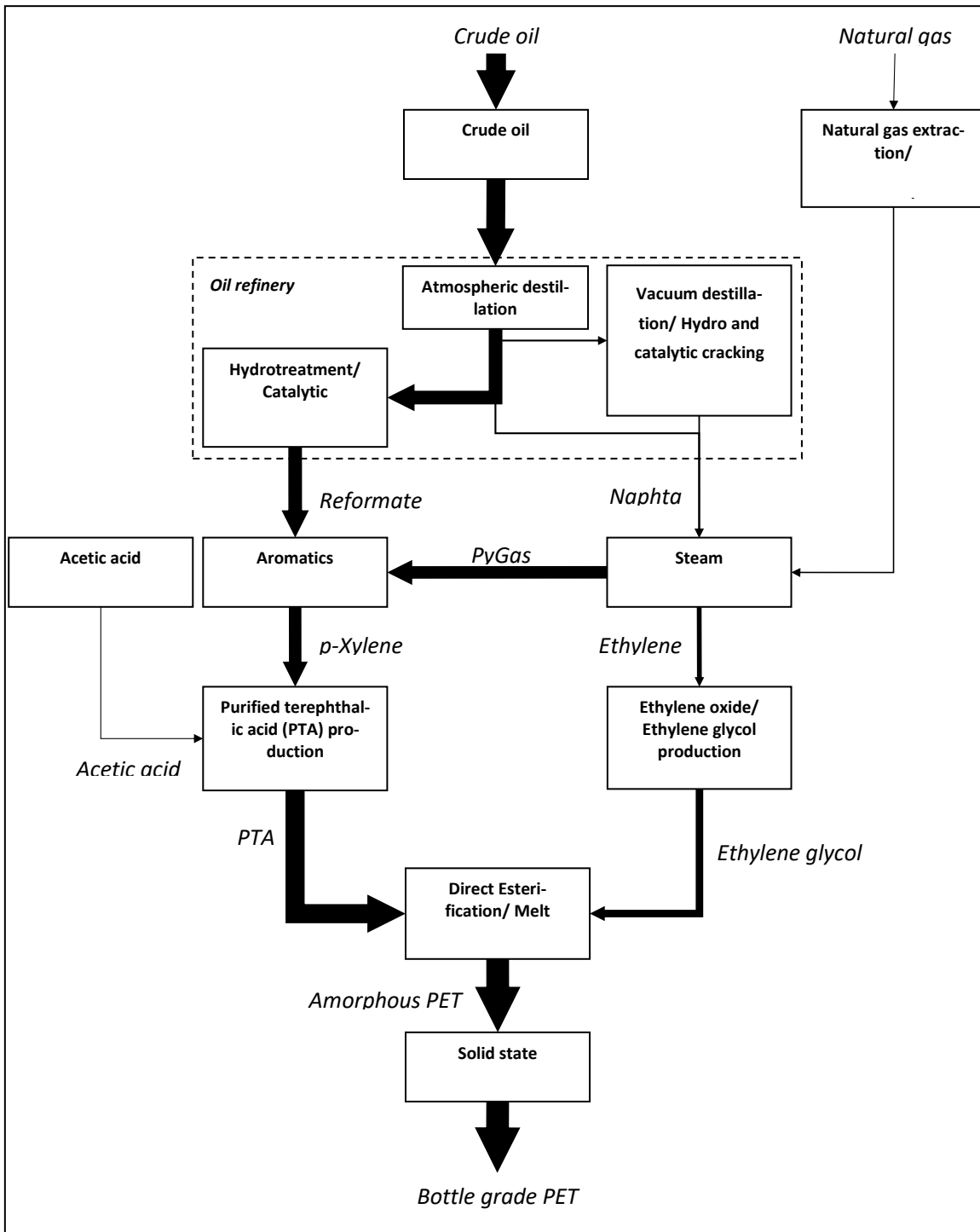
* Plastics Europe

** <https://mcgroup.co.uk/news/20140117/global-pet-supply-exceed-2439-million-tonnes-2015.html> Zahlen für 2012

Im Falle des üblicherweise verwendeten fossilen PET entstammen die beiden Grundbausteine Monoethylenglycol und Terephthalsäure der Rohölaufbereitung. Monoethylenglycol wird aus der Rohbenzinfraction (Naphta) hergestellt, die Terephthalsäure wird aus der Aromatenfraction separiert. Prinzipiell ist es denkbar, beide Grundstoffe auch aus biogenen Materialien zu gewinnen. Derzeit wird jedoch nur das Monoethylenglycol biobasiert angeboten. Dieses wird aus Zuckerrohr gewonnen. PET mit Bio-Monoethylenglycol wird als Bio PET 30 vermarktet, da im fertigen PET 30% der Kohlenstoffatome biogenen Ursprungs sind. Die Herstellung von Terephthalsäure aus einer Anbau- oder Reststoffbiomasse ist aktuell Gegenstand verschiedener Forschungs- und Entwicklungsprozesse, derzeit jedoch

PET Herstellung

noch nicht im Großindustriellen Maßstab verfügbar. Generell lässt sich festhalten, dass die Marktdurchdringung von Bio PET derzeit noch als gering zu bezeichnen ist.



(Quelle: Plastics Europe)

Abbildung 2.1: Fließbild PET Produktionssystem

Für die Veresterung von Monoethylenglycol und Terephtalsäure zu bis(hydroxyethyl) terephthalate (BHET) wird Antimon als Katalysator gebraucht. Für einige Weltregionen (Japan) ist die Verwendung von Antimon unzulässig, da Bestandteile des Katalysators im PET

verbleiben und möglicherweise bei hoher und dauerhafter Temperatureinwirkung in das in PET verpackte Gut migrieren können [IVV 2011]. Als Alternative kann Germanium eingesetzt werden. Die Veresterung findet bei ca. 220° bis 260°C statt, als Beiprodukt des Prozesses entsteht Wasser, welches per Destillation aus dem Prozess entfernt wird.

Das BHET wird in einem Vakuumreaktor vorbehandelt und dann per Schmelz-Polykondensierung zu amorphem PET Granulat aufbereitet. Dieses amorphe PET (A-PET) hat vergleichsweise kurze Polymerketten (der Techniker spricht hier von einem niedrigen Molekulargewicht) und kann bereits für Faser und Füllstoffanwendungen sowie Folien ohne weitergehende Ansprüche an die Stabilität genutzt werden. Für höherwertige Anwendungen erfolgt eine nachgeschaltete Polymerisation, in der die A-PET Moleküle unter Zugabe von Druck und Temperatur zu langkettigen Strukturen verwoben werden. Im Rahmen der Polymerisation entweichen auch noch weitere Nebenprodukte aus dem Inneren und der Oberfläche des Granulats. Das PET wird teilkristallin, lebensmittelecht und eignet sich für die biaxiale Extrusion.

Zwei grundlegend unterschiedliche Qualitäten

Im Rahmen der Polykondensierung und der Polymerisation kann anhand der Variation der Parameter Druck und Temperatur, die Kettenlänge der PET Moleküle sehr präzise eingestellt werden. Die Kettenlänge wird als intrinsische Viskosität (IV-Wert) ausgedrückt. Diese wird in Deziliter pro Gramm (dl/g) angegeben. Die Länge der Polymerketten bestimmt die Viskosität des Materials. Je länger diese Ketten sind, desto verwebter sind die einzelnen Polymere miteinander, so dass das Material insgesamt eine höhere innere Festigkeit aufweist, dabei jedoch flexibel bleibt und somit ohne die Beigabe von Weichmachern verarbeitet werden kann. Aus verarbeitungstechnischer Sicht lässt sich PET in **vier verschiedene Qualitätsstufen** einteilen.

Der IV Wert ist entscheidend

- Fiber grade Material – für Anwendungen im Faserbereich
- Film grade Material – für Anwendungen im Folien- / Tiefziehfolienbereich
- Bottle grade Material – für Anwendungen in Spritzguss und Streckblasprozessen
- Monofilament – lange, nicht gesponnene Fäden.

Darüber hinaus gibt es noch eine als C-PET bezeichnete Materialqualität die mit Hilfe einer speziellen Additivierung bei der Produktion für einen deutlich höheren Temperaturbereich (-20° bis 220° Celsius) verwendet werden kann. Im Gegensatz zu anderen PET Produkten ist C-PET immer undurchsichtig und wird daher in der Regel durchgefärbt.

Jede thermische Belastung des Materials während der anschließenden Verarbeitung zum fertigen Produkt verringert den IV Wert, da die Ketten verkürzen. Denn PET ist aufgrund seiner chemischen Struktur grundsätzlich „bereit“ Wasser aufzunehmen. Beim Erwärmen dehnt sich das Wasser aus und „sprengt“ die Polymerketten. Daher wird in der mechanischen Verarbeitung nur vorgetrocknetes PET eingesetzt. Der Prozess des IV Wert Abbaus geht jedoch auch in fertigen PET Produkten weiter, wenn diese Wärme (z.B. durch Sonnenlicht) ausgesetzt sind.

Insofern hat PET, das für stark verarbeitete aber auch stark beanspruchte Produkte eingesetzt wird, einen höheren IV Wert als PET für weniger beanspruchte Produkte. Ein zu hoher IV Wert führt jedoch zu einem erhöhten Energieverbrauch bei den weiteren Verarbeitungsprozessen wie bspw. dem Streckblasen vorgeformter Preforms aufgrund der langen, festverwobenen Polymerketten. Insofern werden von den PET Verarbeitern immer spezielle IV Wert Bandbreiten geordert, die zu den jeweiligen PET Produkten passen. Tabelle 2.2 gibt eine nicht abschließende Übersicht über Produkte und IV Werte.

Ob film grade Material nun eine abschließende Polymerisation durchläuft, hängt auch davon ab, ob die Folienprodukte Lebensmittelkontakt haben sollen oder nicht. Wenn es Non-Food Anwendungen sind und die Folien in der Produktion tendenziell wenig thermische Belastung erfahren kann auch amorphes PET verwendet werden.

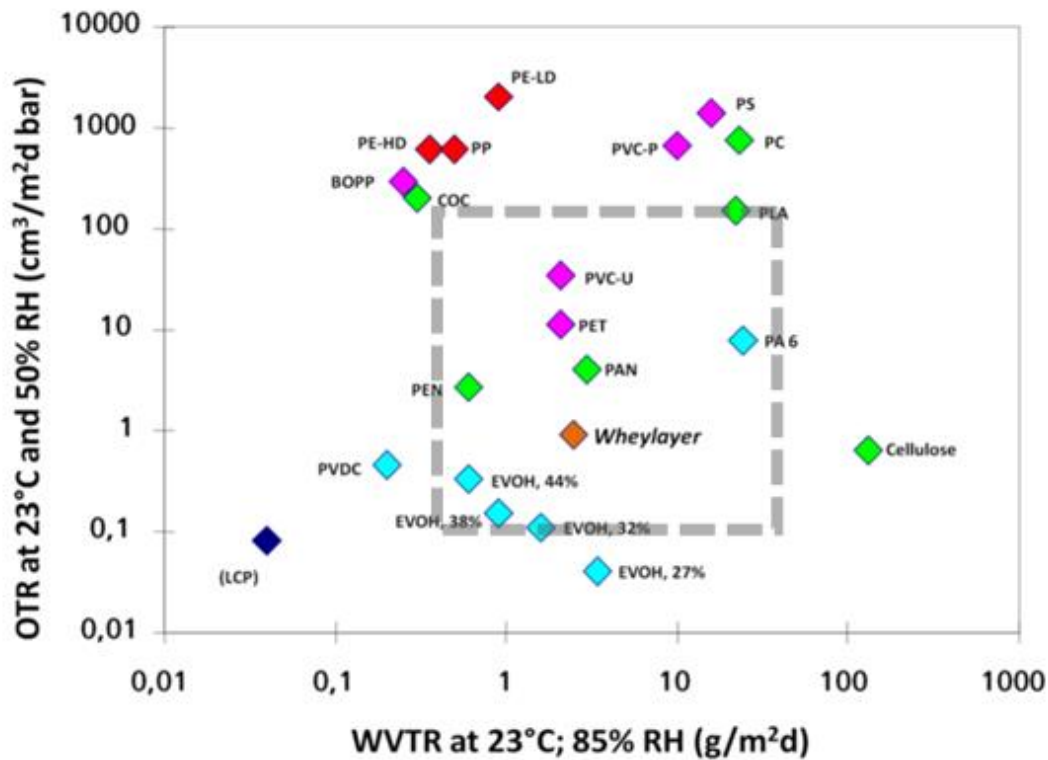
Tabelle 2.2: Übersicht über PET Qualitäten und typische Anwendungsbereiche

Qualität	IV Index	Typische Anwendungsbereiche
Fiber grade	0,40 – 0,70 dl/g	Textilfaser
	0,72 – 0,98 dl/g	Fasern für technische Anwendungen (Bsp. Umreifungsbänder)
Film grade	0,60 – 0,70 dl/g	Extrudierte PET Folien
	0,70 – 1,00 dl/g	PET Folien für Thermoformprozesse (Warmformen, Tiefziehen oder Vakuumtiefziehen)
Bottle grade	0,70 – 0,78 dl/g	Flaschen für nicht karbonisierte Getränke
	0,78 – 0,85 dl/d	Flaschen für karbonisierte Getränke
Monofilament	1,00 – 2,00 dl/g	Angelschnüre/ Medizinprodukte

Quelle: Stokoyo Fakirov; Handbook of thermoplastic Polymers

Das Material PET wurde bereits 1941 entwickelt, jedoch lange nur als Textilfaser verwendet. 1973 wurde die erste PET Flasche hergestellt und seit Ende der 1970er Jahre insbesondere durch das Unternehmen CocaCola als Alternative zu Glasflaschen und Getränkedosen auf den Markt gebracht [Forum PET 2016]. Insbesondere die Möglichkeit glasklare Verpackungen zu produzieren ist ein treibender Faktor für die Anwendung von PET.

Warum PET?



(Quelle: Fraunhofer IVV: Permeability for water vapour and oxygen at 23°C and 100 µm film thickness of commonly used thermoplastics and special packaging type polymers)

Abbildung 2.2: Wasser- und Sauerstoffbarrierewirkung verschiedener Packstoffe (OTR: Sauerstoffdurchlässigkeit, WVTR: Wasserdurchlässigkeit)

Zwar bieten auch andere Kunststoffe wie bspw. Polystyrol die Möglichkeit glasklare Verpackungen herzustellen, doch unterscheiden diese sich hinsichtlich der Material- und Verarbeitungseigenschaften deutlich. Die Beliebtheit für PET als Packstoff liegt so denn auch im guten Verhältnis zwischen der Sauerstoff- und der Wasserbarrierewirkung des Materials begründet (vgl. Abbildung 2.2), die für viele nicht allzu anspruchsvolle Füllgüter vollkommen ausreichend ist.

Im Hauptanwendungsfeld der PET Verpackungen in Deutschland, den formstabilen Verpackungen/Hohlkörpern, wird PET insbesondere dafür geschätzt, dass die Hohlkörper zweistufig produzierbar sind. Somit können die Preforms zentral produziert und müssen im Rahmen der Befüllung lediglich „aufgeblasen“ werden. Dadurch ergeben sich Transportvorteile gegenüber vorgeformten Verpackungen wie Glasflaschen oder Metalldosen und Hohlkörpern aus anderen Standardkunststoffen. Diese werden üblicherweise in einem Schritt produziert, da diese Materialien aufgrund der anderen Polymerkettenstruktur weniger gut mit einer wiederholten thermischen Belastung bei einer mehrstufigen Produktion zurechtkommen.

Ein weiteres, sicherlich nicht zu unterschätzendes Argument für die weite Verbreitung von PET, ist der im Vergleich zu anderen Standardkunststoffen deutlich günstigere Preis für Neuware. In Tabelle 2.3 sind die Marktpreise für Neuware in Euro pro kg Material für Herbst/Winter 2016 und Winter 2015 zusammengestellt. Im Vergleich mit PS, PE und PP ist PET fast ein Drittel günstiger und konkurriert im Preissegment mit PVC, das jedoch, wie Abbildung 3.2 zeigt, im Verpackungssektor nur eine sekundäre Rolle spielt.

PET ist ein preisgünstiger Kunststoff

Die Marktpreise reflektieren nur bedingt die Kosten der Rohmaterialien und der Verarbeitung sondern sind – wie in der Marktwirtschaft üblich – das Resultat aus Angebot und Nachfrage.

Tabelle 2.3: Preise für Kunststoffe in €/kg frei Haus

	Nov./Dez. 2016	Okt. 2016	Nov./Dez. 2015
Preis PET europäische Folien und Flaschenware	0,89 – 0,97	0,87 – 0,95	0,96 – 1,02
Preis LDPE Folienqualität	1,31 – 1,44	1,34 – 1,44	1,45 – 1,54
Preis LLDPE Folienqualität	1,28 – 1,40	1,31 – 1,41	1,47 – 1,56
Preis HDPE Spritzguss	1,28 – 1,37	1,33 – 1,37	1,45 – 1,52
Preis HDPE Blasware	1,30 – 1,37	1,33 – 1,37	1,45 – 1,52
Preis PS glasklar	1,33 – 1,53	1,33 – 1,38	1,32 – 1,39
Preis PS schlagfest	1,42 – 1,63	1,42 – 1,48	1,41 – 1,49
Preis PP Homopolymer	1,19 – 1,29	1,22 – 1,29	1,23 – 1,29
Preis PP Copolymer	1,24 – 1,34	1,27 – 1,34	1,28 – 1,34
Preis PVC Folien/ Kabel	0,85 – 0,91	0,87 – 0,91	0,91 – 0,97

(Quelle: EUWID Preisspiegel 2016)

Die immer wieder als Argument vorgebrachte gute Recyclingfähigkeit von PET Verpackungen, ist vor allen Dingen der Verwertungsstruktur in Deutschland geschuldet. Als die ersten PET Flaschen in Deutschland auf den Markt kamen, wurden diese noch als Störstoff in den anderen Kunststofffraktionen bewertet. Erst mit einer immer größeren Marktdurchdringung wurden Rücknahme- und Recyclingsysteme für PET Verpackungen installiert, welches die aktuell hohen Verwertungsquoten von PET zulässt (die jedoch in weiten Teilen durch die Getrenntsammlung von bepfandeten PET Einweggetränkeflaschen gestützt werden). Doch auch hier werden längst nicht alle PET Produkte erfasst. Dieses Thema soll in Kapitel 4 stärker vertieft werden. Fakt ist jedoch auch, dass PET Material im Zuge des Recyclings mittels einer nachgeschalteten erneuten Polymerisation erneut auf definierte IV Werte eingestellt werden kann. Dieses Verfahren ist für andere Standardkunststoffe so nicht verfügbar.

Zum Abschluss des 2. Kapitels sollen an dieser Stelle noch die im Auftrag von PlasticsEurope erstellten Umweltprofile der gängigen Standardkunststoffe PP, HDPE, LDPE, LLDPE und PET miteinander verglichen werden. Ergänzt wird die Liste um den biobasierten Werkstoff PLA, dessen Umweltprofil nicht von PlasticsEurope sondern von NatureWorks, dem Hersteller des PLA Granulates publiziert wird.

Vergleich der Umweltprofile von Standardkunststoffen

Der Vergleich erfolgt relativ, dies bedeutet, dass die höchsten Umweltlasten immer als 100% gewertet werden. Dadurch lassen sich die unterschiedlichen Wirkungskategorien der Ökobilanz in einer Grafik darstellen. Der Betrachtungsraum ist immer von der Förderung bzw. dem Anbau der Rohstoffe bis zum Werkstor der Granulatherstellung. Weder die Kunststoffprodukte noch das Lebenswegende sind dargestellt. Bezugsgröße ist 1kg Granulat. Die ausgewerteten Wirkungskategorien adressieren die aktuellen globalen Umweltproblemfelder wie Klimawandel, Versauerung von Böden, Nährstoffdepositionen auf Böden und in Gewässern (Eutrophierung), Feinstaubbelastungen und bodennahe Ozonbil-

dung (SommerSmog). Der Verbrauch an fossilen Ressourcen wird als kumulierter fossiler Energieaufwand (KEA fossil) ausgedrückt.

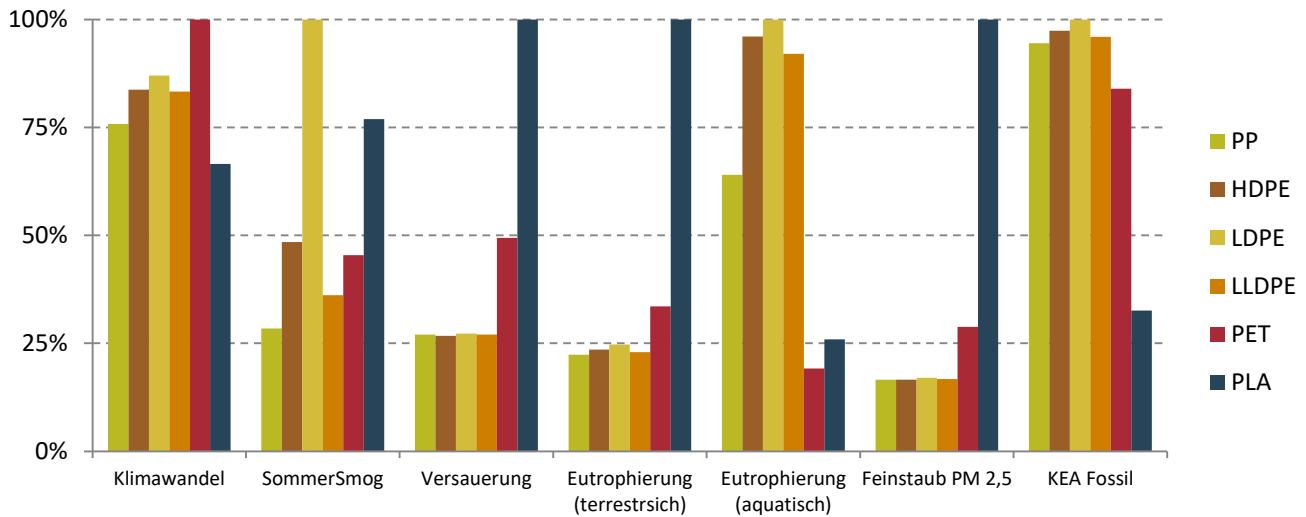


Abbildung 2.3: relativer Vergleich unterschiedlicher Kunststoffe

Die Auswertung zeigt, dass PET im Vergleich zu den anderen Standardkunststoffen in einigen Wirkungskategorien höhere Ergebnisse zeigt. Dies ist nicht unbedingt durch die Prozesstechnik bedingt, sondern kann auch durch die unterschiedlichen Produktionsstandorte und die unterschiedlichen Länderenergiemixe begründet sein. Auffällig ist das gute Ergebnis des PLAs in den Kategorien Klimawandel und KEA fossil in Verbindung mit den hohen Lasten bei den Kategorien Versauerung und Eutrophierung. Dies ist ein typischer Befund für Biokunststoffe und wird in Kapitel 3.4 noch einmal näher beleuchtet.

Aus den im Kapitel 2 aufbereiteten Informationen lassen sich die folgenden Kernaussagen ableiten:

Zwischenfazit

- PET hat gute Material- und Verarbeitungseigenschaften, die sich aus seiner molekularen Struktur langer, in sich verwobener, Polymerketten ergibt. Diese Molekülstruktur prädestiniert es für mehrstufige Produktionsprozesse, während derer das Material immer wieder thermischen Belastungen ausgesetzt ist (erst Preform, dann Flasche, erst Folienrolle, dann Tiefziehschale).
- Die Möglichkeit die Polymerkettenlänge jederzeit durch eine erneute Polymerisation anzupassen, macht PET zu einem sehr gut recycelbaren Kunststoff. Weitere Informationen dazu werden in Kapitel 4 aufbereitet.
- PET hat gerade als Verpackungsmaterial gute Eigenschaften, da es sich glasklar verarbeiten lässt und somit den visuellen Ansprüchen an eine Verpackung entgegenkommt.
- PET ist als reines Polymer ein vergleichsweise günstiger Werkstoff.
- Das Umweltprofil auf Ebene der Granulate zeigt, dass PET im Vergleich mit anderen Standardkunststoffen, in einigen Wirkungskategorien – so auch dem Klimawandel - keine positive ökonomische Bewertung erfährt.

3 PET Verpackungen – Marktübersicht und mögliche Alternativen

Im Rahmen der Studie werden die verschiedenen Anwendungsfelder von PET untersucht. Ziel ist weniger die Abbildung eines Gesamt-Materialflusses des Werkstoffs PET, sondern eine Darstellung verschiedener Produktsysteme deren Hauptbestandteil oder alleiniger Bestandteil PET ist. Im Rahmen der Untersuchung werden zur Abbildung des Marktes an PET Produkten in Deutschland die folgenden fünf Hauptgruppen gebildet:

- Formstabile Verpackungen, biaxial extrudiert
 - PET Einwegflaschen für Getränke, DPG Fraktion
 - PET Einwegflaschen für Getränke und Reinigungsmittel, DSD Fraktion
 - PET Mehrwegflaschen für Getränke
- Halbstarre Folien, glasklar
 - Schalen, Becher und Klappdeckelschalen aus PET für Obst/Gemüse/Salate (inkl. Catering)
 - PET Blister für Elektronik
- Umreifungsbänder für Paletten oder Kartons
- PET Verbundfolien
 - PET/PE Verbünde transparent (bspw. als Verschlussfolie für Fleischverpackungen)
 - Durchgefärbte Verbundfolien mit PET (Bsp. Standbodenbeutel)
- Fasern und Füllstoffe
 - Textilien
 - Tragetaschen

Untersuchungsbereich der Studie

Die Abbildung auf der folgenden Seite zeigt nur eine geringe Auswahl unterschiedlicher Produkte auf Basis von primärem oder recyceltem PET. Teilweise besteht auch nur ein Teil des Produktes aus PET.



(Quelle: eigene Aufnahmen)

Abbildung 3.1: Auswahl unterschiedlicher PET Produkte auf dem deutschen Markt

Im Kapitel 3.1 werden Informationen zur Abbildung des Marktes an PET Produkten in Deutschland zusammengetragen. Kapitel 3.2 versucht die oben getroffenen Hauptgruppen gegeneinander abzugrenzen und mit Beispielen zu illustrieren, sowie mögliche Alternativen zum PET Produkt aufzuzeigen und wo möglich, umweltseitig zu bewerten.

3.1 Aktuelle Zahlen zum PET Markt in Deutschland

Die Analyse des Marktes für Produkte aus PET stützt sich maßgeblich auf die folgenden Quellen:

1. „Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015“ erarbeitet von Consultic Marketing und Industrierberatung GmbH Alzenau (im Folgenden als Consultic 2016 bezeichnet)
2. „Aufkommen und Verwertung von PET Getränkeflaschen in Deutschland 2015“ erarbeitet von der GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH, Mainz (im Folgenden als GVM 2016 bezeichnet)
3. Aktuelle Auswertungen der GVM Datenbank „Marktmengen“

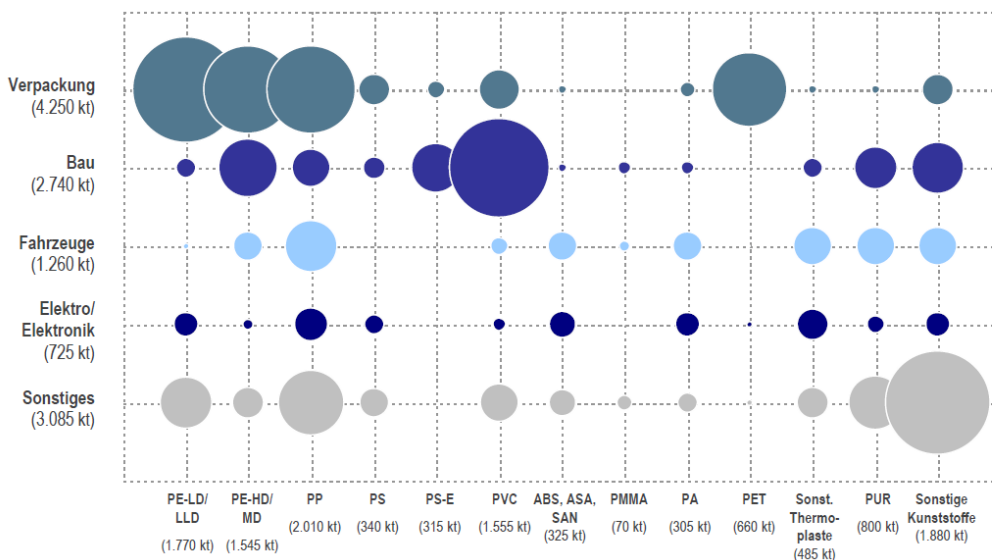
Die deutsche Kunststoffproduktion ist eingebunden in ein zumeist europäisches, in bestimmten Teilen (Spezialkunststoffe) auch globales Handelsnetz. So werden laut [Consultic 2016] ca. 18,5 Mio. Tonnen Kunststoff produziert, wovon jedoch auch 12,8 Mio. Tonnen ohne weitere Verarbeitung auf den globalen Kunststoffmarkt exportiert werden. Im Gegenzug werden jedoch auch 9,3 Mio. Tonnen – zumeist Standardkunststoffe - aus dem Ausland zur Verarbeitung nach Deutschland eingeführt. Diese Situation ergibt sich dadurch, dass die nationale Produktionsstruktur nicht deckungsgleich mit der nationalen Nachfrage ist. So produzieren von den 28 Kunststoffproduzenten in Deutschland bspw. nur zwei Unternehmen den Werkstoff PET (die Equipolymers GmbH in Schkopau und die DOW Olefinverbund GmbH in Schwarzheide).

Produktion und Verarbeitung von Kunststoffen in Deutschland

Nach Saldierung der Import-Exportsituation ergibt sich ein Inlandsverbrauch an Kunststoffen von ca. 15 Mio. Tonnen. Von diesen werden ca. 12 Mio. Tonnen zu Kunststoffprodukten verarbeitet, die übrigen 3 Mio. Tonnen finden in anderen Anwendungen wie bspw. Klebstoffen, Lacken, Harzen und Fasern Anwendung.

Jedoch nur 5,5 % dieser im Jahre 2015 verarbeiteten 12 Mio. Tonnen Kunststoffe sind PET. Dies entspricht einer Marktmenge von 660.000 Tonnen, was einem Mengenzuwachs von 6,5% gegenüber den Marktdaten aus dem Jahr 2013 bedeutet. Die Consultic Studie gibt auch eine erste Indikation über die Hauptanwendungsfelder von PET. 97 % der Materialmenge werden für Verpackungen genutzt (vgl. Abbildung 3.2). Diese entspricht in Zahlen 642.000 Tonnen. Der gesamte Markt für Kunststoffverpackungen umfasst laut Consultic im Jahr 2016 4,3 Mio. Tonnen. Somit sind ca. 15% aller Kunststoffverpackungen aus PET.

Nur ein kleiner Anteil der Kunststoffprodukte ist aus PET



(Quelle: Consultic 2016 Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015 - Kurzfassung -)
Abbildung 3.2: Kunststoffe und ihre Einsatzfelder

In Summe wird der Markt für die in dieser Studie relevanten PET Produkte auf ca. 1 Mio. Tonnen geschätzt. In diesem Wert sind allerdings auch Anwendungen für Nichtverpackungszwecke enthalten.

In Abstimmung mit der GVM – Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH wird für die Studie ein Verbrauch von ca. 912.000 Tonnen an PET für Verpackungsprodukte in Deutschland angesetzt. Die Zahlen entstammen der GVM Studie zum PET Getränkeflaschenmarkt 2015 (GVM 2016) und der Auswertung der GVM Datenbank „Marktmengen“.

Tabelle 3.1: Abschätzung der Summe an PET Produkten in Deutschland 2015

	Menge in kt	Datenquelle
Aufkommen:		
PET (virgin) in Deutschland	660 kt	Consultic 2016
davon PET in Verpackungen	642 kt	Consultic 2016
davon PET in anderen Anwendungen (Bau und Textil)	18 kt	Consultic 2016
Bedarf:		
Formstabile Verpackungen	532 kt	
davon PET Mehrweg	22,1 kt	GVM 2016
davon PET Einweg bepfandet	410,7 kt	GVM 2016
davon PET Einweg unbepfandet für Getränke (ohne Milch)	44,2 kt	GVM 2016
davon PET Einweg Milch, sonstige Lebensmittel und Detergenzien	55 kt	GVM Datenbank Marktmenge
Halbstarre Folien glasklar	200 kt	GVM Datenbank Marktmenge
Umreifungsbänder	80 kt	GVM Datenbank Marktmenge
PET Verbundfolien	100 kt	GVM Datenbank Marktmenge
Fasern und Füllstoffe	???	Außerhalb der Datenbank
SUMME	912 kt	(zzgl. Fasern + Füllstoffe)

Der auf Basis der GVM Studien und der GVM Datenbank „Marktmengen“ ermittelte Bedarf an PET für Verpackungslösungen, lässt eine gewisse Diskrepanz zu den Zahlen der Consultic Studie erkennen und legt den Verdacht nahe, dass die PET Rezyklatmengen nicht oder zumindest nicht komplett in den Consultic Zahlen berücksichtigt sind. Erst durch Addition der in der GVM Studie „Aufkommen und Verwertung von PET Getränkeflaschen in Deutschland 2015“ (GVM 2016) dokumentierten PET Rezyklatmengen von 356.400 Tonnen zur Verwendung in neuen Flaschen, Folien und Fasern bzw. sonstigen Anwendungen ergibt sich eine Summe aus primärem und rezykliertem PET, die mit der Abschätzung der Summe an PET Produkten in Deutschland 2015 korreliert. In dieser Gesamtschau lässt sich über alle PET Verpackungsanwendungen somit ein R-PET Anteil von 27,6% errechnen. Eine detaillierte Mengenstrombetrachtung ist Gegenstand des Kapitels 5.

3.2 Anwendungsfelder von PET in Deutschland

Wie bereits beleuchtet, wird PET vor allem als Werkstoff für Verpackungen genutzt. Im Folgenden sollen die Hauptanwendungsfelder kurz beschrieben und hinsichtlich ihrer Marktbedeutung eingeschätzt werden.

PET ist vornehmlich ein Ausgangsstoff für Verpackungen

Formstabile Verpackungen/Hohlkörper

Aufgrund seiner Materialeigenschaften (vgl. Kap. 2) eignet sich PET für die Herstellung von dünnwandigen Verpackungshohlkörpern (mehrheitlich Flaschen) im sogenannten Streckblasprozess. Dafür wird zuerst durch einen Spritzgussprozess aus PET Granulat ein Rohling (Preform genannt) hergestellt, der dann unter Zugabe von Wärme mittels Druckluft zur fertigen Flasche biaxial aufgeblasen wird. Biaxial bedeutet, dass die Ausdehnung sowohl in die Länge als auch die Breite erfolgt.

Diese Form der Verpackung wird vor allen Dingen für flüssige oder viskose Lebensmittel eingesetzt – insbesondere für alkoholfreie Getränke (Wässer, Limonaden, Säfte und Nektare). So umfasst der Markt für Getränke in PET Flaschen in Deutschland im Jahr 2015 ca. 480.000 Tonnen Material (GVM 2015). Diese Menge lässt sich sinnvoll in die folgenden drei Gruppen unterteilen:

- Bepfandete PET Einwegflaschen für Getränke aus den Getränkesegmenten Wässer, Bier und Limonaden
- Bepfandete PET Mehrwegflaschen für Getränke aus den Getränkesegmenten Wässer und Limonaden
- Unbepfandete PET Einwegflaschen für Getränke aus den Getränkesegmenten Säfte und Nektare sowie Milch und Milchmischgetränke

Die Marktmenge von Einwegflaschen aus PET hat sich im Getränkesegment Säfte und Nektare in den letzten 10 Jahren verfünffacht. In Verbindung mit dem rückgängigen Konsum von Säften und Nektaren erreichen PET Einwegflaschen im Jahr 2015 einen Marktanteil von bald 50%; zehn Jahre zuvor waren es noch weniger als 10%. Das Segment der in PET Einweg verpackten Milchprodukte ist aktuell im Vergleich zu den oben erwähnten Getränken noch gering, doch sind zukünftig größere Mengen zu erwarten.

PET Mehrweggebinde werden für die Getränkesegmente Bier, Säfte und Nektare sowie Milch nicht angeboten, da diese Füllgüter Anforderungen an die Verpackung stellen, die von PET Mehrwegflaschen nicht erfüllt werden können. Sei es, dass die Barriereanforderungen von PET Mehrwegflaschen nicht erfüllt werden können, oder dass die Reinigung der Flaschen in einem Temperaturbereich erfolgen müsste, der für PET Mehrwegflaschen schlicht zu hoch ist.

Darüber hinaus finden sich PET Einwegflaschen auch für die Verpackung von Essig, Öl, Honig sowie Ketchup und Grillsoßen. Auch im Nichtlebensmittelbereich finden sich biaxial extrudierte PET Flaschen, so bspw. für die Verpackung von Detergenzien (Spül- und Waschmittel sowie Seifen). Insgesamt wird dieser Bereich der PET Einwegflaschen auf ca. 50.000 Tonnen Marktmenge geschätzt.

PET Flaschen werden insbesondere für Getränke genutzt ...

... aber auch für ganz andere Füllgüter



(Quelle: eigene Aufnahmen)

Abbildung 3.3: Beispiele unterschiedlicher formstabiler Verpackungen/ Hohlkörper aus PET auf dem deutschen Markt
(von links nach rechts: für Getränke, für Detergenzien, für sonstige Lebensmittel)

Halbstarre Folien

Aus PET lassen sich auch vollkommen transparente (glasklare) Folien in unterschiedlicher Dicke herstellen. Das größte Anwendungsfeld sind nicht die klassischen flexiblen Folienherzeugnisse sondern die halbstarren und somit formstabilen Folienprodukte. Produziert werden diese Verpackungen durch Extrusion des PET Granulates zu Folien. Die eigentliche Form wird dann durch ein Tiefziehverfahren (meist durch Vakuum) hergestellt. Das ganze Segment lässt sich grob in die folgenden Untergruppen einordnen:

- Klappdeckelschalen bspw. für Salate und Becher inkl. Catering und Take-away
- Schalen als Umverpackung für Obst und Gemüse (meist in Verbindung mit weiteren Kunststofffolien)
- PET Blister für Elektronik

PET kann als Werkstoff von Verpackungen viele Facetten haben. ...

... ob Folienprodukte...

Das Anwendungsfeld dieser halbstarren Folien ist entsprechend weit, die gesamte Marktmenge beträgt ca. 200.000 Tonnen, wobei hinsichtlich der Elektronikblister sicherlich auch Material zusammen mit der darin verpackten Elektronik aus Asien importiert wird.



(Quelle: eigene Aufnahmen)

Abbildung 3.4: Beispiele unterschiedlicher halbstarrer Folien aus PET auf dem deutschen Markt teilweise transparent, teilweise durchgefärbt oder Mix

Umreifungsbänder für Paletten oder Kartons

Umreifungsbänder als Transportsicherung von Paletten oder Paketen sind eine beinahe schon traditionelle Anwendung von PET Rezyklaten, so wurden diese bspw. bereits in der PETCORE Ökobilanz aus dem Jahre 2004 als Sekundärprodukt aus PET Flaschen benannt. Der Markt ist durchaus wachsend, PET Umreifungsbänder verdrängen immer mehr alternative Formen der Ladungssicherung wie Schnur o.ä. Die GVM Datenbank „Marktmengen“ subsumiert in diesem Bereich ca. 80.000 Tonnen, wobei eine genaue Abgrenzung schwer fällt.

... oder Hilfspackmittel...

PET Verbundfolien

Aufgrund seiner Materialeigenschaften eignet sich PET auch als Bestandteil sogenannter Verbundfolien. In Verbundfolien oder so genannten Laminaten werden verschiedene Materialien fest miteinander verarbeitet (lamiert) um die positiven Eigenschaften unterschiedlicher Materialien zu kombinieren. Eine der bekanntesten PET Verbundverpackungen ist sicherlich der Standbodenbeutel aus LDPE, Alu und PET, für nicht karbonisierte Erfrischungsgetränke (Capri Sonne). Aber die Bandbreite möglicher Anwendungen ist noch deutlich vielfältiger, so finden sich PET/PE Verbünde als Verschlussfolie für Fleischverpackungen oder PET/Papierverbünde als Verschluss von Kunststoffbechern für Milchproduk-

... als Teil von Verbänden...

te. Eine Einteilung des Marktes ist daher nicht ohne weiteres möglich und kann nur auf einer groben Ebene erfolgen:

- PET/ PE Verbünde transparent als Bestandteil einer Verpackung
- PET Verbünde durchgefärbt
- Standbodenbeutel aus einem Verbund von LDPE, Alu und PET

Die Marktmenge wird auf ca. 100.000 Tonnen geschätzt. Generell ist das Segment der flexiblen Verpackungen wachsend; die prinzipiell guten Umwelteigenschaften durch den gegenüber formstabilen Verpackungen reduzierten Materialeinsatz, steht jedoch die oftmals schwierige Recyclingfähigkeit der Verbünde gegenüber.



(Quelle: eigene Aufnahmen)

Abbildung 3.5: Beispiel für eine Verpackung mit einem PET Verbundfolienanteil auf dem deutschen Markt

Fasern und Füllstoffe

Die Fasern und Füllstoffe sind sicherlich nur teilweise den Verpackungen zuzurechnen, da die aus PET hergestellten Fasern ein deutlich weiteres Einsatzspektrum haben. Die auch aus PET Fasern hergestellten Umreifungsbänder sind im Rahmen dieser Studie in eine eigene Gruppe ausgegliedert, es bleiben somit noch die Füllstoffe als klassisches Packhilfsmittel. Ein weiteres großes Anwendungsfeld von PET Fasern findet sich im Textilbereich. Dieser lässt sich grob in zwei Anwendungsfelder untergliedern:

... oder etwas ganz anderes.

- PET Fasern für (Funktions-)Textilien
- PET Fasern, aber auch PET Spinnvliese für Tragetaschen

Erfahrungsgemäß ist in diesem Bereich des Marktes mit einem hohen Anteil von Importen zu rechnen – zumeist aus dem asiatischen Raum. Die Marktmenge ist – da es sich hier nicht primär um Verpackungen, sondern um eine Vielzahl verschiedener Produktanwendungen handelt - schwer zu bestimmen. Ein Artikel des Magazins „Der Spiegel“ mit dem Titel „Die Polyesterschwemme“ (Ausgabe 8/2017) zitiert eine mit „textil world“ bezeichnete Quelle, nach der im Jahr 2015 ein weltweiter Bedarf an Polyesterfasern von mehr als 40 Mio. Tonnen bestand. 43,5% dieser Menge werden für Kleidung benutzt. Die meisten Kleidungsstücke werden dabei aus Primärmaterial hergestellt, der Anteil an Recyclingfasern bei Textilien ist gering (ebenda).

Im Rahmen dieser Studie wird daher der Fokus auf die Anwendungen aus Fasern aus recyceltem PET gelegt. Als Marktmenge werden min. 126.000 Tonnen ermittelt (vgl. Kap 5).



(Quelle: eigene Aufnahmen)
 Abbildung 3.6: Beispiele unterschiedlicher Produkte aus PET-Fasern auf dem deutschen Markt teilweise Recyclingfasern

3.3 Alternativen zu den identifizierten PET Produkten

Im folgenden Kapitel sollen analog zur Aufteilung der Anwendungsfelder von PET aus Kapitel 3.2 mögliche Alternativen zum Werkstoff PET aufgezeigt und in aller Kürze vor allen Dingen umweltseitig bewertet werden. Dabei stehen technische oder auch logistische Alternativen im Vordergrund und keine Maßnahmen aus dem Bereich der Konsumvariation (wie bspw. Verzehr von Leitungswasser statt abgepackten Mineralwasser) oder Konsumverzicht (plastikfreies Einkaufen).

Der Fokus liegt dabei auf der Umweltbewertung. Daher soll wo immer möglich sich die umweltseitige Bewertung auf die Ergebnisse vorliegender Ökobilanzen stützen.

Ökobilanz als Bewertungshilfe

Formstabile Verpackungen/Hohlkörper

Die deutlich größte Menge der formstabilen Verpackungen wird für Getränke genutzt. Für diesen Anwendungsfall stehen auch eine Vielzahl an Alternativen bereit und das Segment ist – aufgrund seiner politischen Bedeutung - auch entsprechend gut untersucht, hinsichtlich der Umweltauswirkungen der verschiedenen Verpackungslösungen.

Tabelle 3.2 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Alternativen zu PET Flaschen in den jeweiligen Anwendungsfeldern sowie ob, und wenn ja, wo ein ökobilanzieller Vergleich zur Bewertung der Alternativen bereits stattgefunden hat.

- Für die Anwendungsfelder bepfandetes PET Einweg und PET Mehrweg werden die Studien GDB Ökobilanz 2008 [ifeu 2008] und IK PET Ökobilanz 2010 [ifeu 2010a] ausgewertet. Für den Vergleich mit den Getränkedosen werden auf die Ergebnisse der Studie für BCME aus dem Jahre 2010 zurückgegriffen [ifeu 2010b].
Zur Studie [ifeu2010a] gibt es verschiedene interne Updates seitens der PET Einwegindustrie, teilweise mit deutlich erhöhter Marktdeckung (bspw. verstärkte Integration der Top-Marken in den Datenpool). Die Ergebnisse der Updates bestätigen die grundlegende Ergebnisrichtung der IK Ökobilanz von 2010, zeigen jedoch darüber hinaus, dass PET Einweg seine Position im ökobilanziellen Vergleich mit Mehrweggebinden behaupten konnte.
- Für die Anwendung nicht bepfandetes PET Einweg für Getränke werden die Ökobilanzen für den FKN aus den Jahren 2004 und 2006 ausgewertet [ifeu 2004 und ifeu 2006a]
- Für die Anwendung PET Einwegverpackungen für andere Lebensmittel können teilweise Ergebnisse verschiedener Ökobilanzen ausgewertet werden, die seitens des ifeu für verschiedene Industriepartner erstellt wurden. An dieser Stelle sollen nur die Bilanzen ausgewertet werden, zu denen es Pressemitteilungen bzw. entsprechendes bereits publiziertes Material gibt. Bei der Auswertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass diese Bilanzen in der Regel den europäischen Raum adressieren. Auch sind nicht immer PET Produkte adressiert, so dass teilweise Ergebnisse und Annahmen zu übertragen sind.

Der Bereich der Getränkeverpackungen ist gut untersucht...

... der Rest eher weniger.

Generell ist eine Ökobilanz als wissenschaftliche Studie immer nur so gut wie die Eingangsdaten. Auch gewisse methodische Festlegungen wie der Systemraum oder die Allokationsentscheidung können einen großen Einfluss auf die Ergebnisse entfalten. Auch wird hinsichtlich der Bewertung in Ökobilanzen oftmals kritisiert, dass Aspekte der Ressourcennutzung bzw. Wiederverwendung auf Ebene der Wirkungsabschätzung eine zu geringe Rolle spielen würden.

Die ISO Norm 14040ff. legt zwar einen Rahmen fest, doch der Spielraum ist im Einzelfall groß. Im Anwendungsfeld der Ökobilanzen für Getränkeverpackungen haben die teils öffentlich und vehement geführten Diskussionen um die einzelnen Parameter und methodischen Festlegungen, der seitens der Industrie beauftragten Studien seit dem Jahr 2002 dazu geführt, dass die Politik (hier vor allem das Umweltbundesamt) sich ausgesprochen schwer tut die neuen Ergebnisse zu beurteilen und in den letzten Jahren im Zweifelsfall immer wieder die UBA II Studie aus dem Jahr 2000 bemüht hat. Zwischen 2013 und 2016 hat das UBA ein Vorhaben zur Definition von Mindestanforderungen an Getränkeverpackungsökobilanzen im deutschen politischen Kontext erarbeiten lassen. Dort sind nun aus Sicht der Wissenschaft genaue Vorgaben gemacht, wie die einzelnen Parameter zu erheben sind und nach welcher Methodik die Berechnung und die Auswertung zu erfolgen hat. Doch auch diese neuen Mindestanforderungen werden noch immer von einigen Akteuren diskutiert und in Gänze bzw. partiell abgelehnt. Wie groß aktuell der politische Wille ist, zu

neuen unabhängigen Ökobilanzen oder zur Akzeptanz neuer Ökobilanzergebnisse seitens der Industrie beauftragten Ökobilanzen, kann derzeit kaum bewertet werden.

Tabelle 3.2: Alternativen zu PET Verpackungen

Verpackungssystem	Alternativen	Zuletzt untersucht in:
PET Mehrweg für Wässer und Erfrischungsgetränke	Glas Mehrweg Glas Einweg PET Einweg Alu und WB Dose	IK PET LCA 2010 UBA II 2000 IK PET LCA 2010 BCME 2010
PET Einweg (Pfand) für Wässer und Erfrischungsgetränke	Glas Mehrweg Glas Einweg PET Mehrweg Alu und WB Dose	IK PET LCA 2010 UBA II 2000 IK PET LCA 2010 BCME 2010
PET Einweg (Pfand) für Bier	Glas Mehrweg Glas Einweg Alu und WB Dose	BCME 2010 BCME 2010 BCME 2010
PET Einweg für Säfte und Nektare	Glas Mehrweg Glas Einweg Getränkeverbundkarton	FKN 2004 FKN 2006 FKN 2006
PET Einweg für Milch	Glas Mehrweg Getränkeverbundkarton	FKN 2004 FKN 2006
PET Einweg für Lebensmittel (nicht Getränke)	Glas Einweg teilweise Getränkeverbundkarton Standbodenbeutel	Teilweise untersucht in internen Ökobilanzen
PET Einweg für Detergenzien	Andere Kunststoffkörper Glas Einweg Metall Dosen Standbodenbeutel (Nachfüllpack)	Nicht untersucht

Die Ergebnisse der Ökobilanzen lassen folgende Aussagen für die PET Hohlkörper und ihre wichtigsten Konkurrenzprodukte zu:

- PET Mehrweg ist nach der aktuell verfügbaren Studienlage das ökobilanziell günstigste Verpackungssystem für Wässer und Erfrischungsgetränke. Untersucht wurden aber vor allem die Pool-Mehrwegflaschen der Genossenschaft Deutscher Brunnen (GDB). Entscheidend für die Ökobilanz von Mehrwegsystemen ist immer die Umlaufzahl (für die 1,0 l GDB PET Mehrwegflasche wurden 15 Umläufe angesetzt). Daher gab es in der IK Studie von 2010 Sensitivitätsanalysen, die auf veränderte Ergebnisse bei individual Mehrweggebinden schließen lassen, insbesondere dann, wenn die Umlaufzahlen geringer ausfallen als die der Poolmehrweggebinde. Eine im Auftrag des BVE und HDE durchgeführte Studie zeigt, dass zumindest die Umlaufzahlen und Distributionsentfernungen von individual geformten Glas-Mehrwegflaschen stark von denen der Poolgebinde abweichen können (GDB 1,0 l: 16 bis 24 Umläufe, ø 20; PET Ind.: 12 bis 17 Umläufe, ø 14 [Deloitte 2014]). Eine Übertragbarkeit dieser Aussagen auf die PET Mehrwegflaschen kann nicht als gesichert betrachtet werden.

PET Mehrweg ist oft die beste Lösung – aber nicht für alle Getränke-segmente verfügbar

- Bepfandete PET Einwegflaschen für Wasser und Erfrischungsgetränke zeigen Ökobilanzergebnisse, die durchaus auf dem Niveau einer Glas Mehrwegflasche liegen. Sehr hoch optimierte Systeme können bereits heute mit PET Mehrwegflaschen konkurrieren, sind aber nicht der Standard. In der Regel sind ein geringes Flaschengewicht und ein hoher Anteil von PET Rezyklaten im Flaschenkörper positive Stellschrauben für das ökobilanzielle Ergebnis. In der praktischen Anwendung sind aber eben diese beiden Stellschrauben schwer gegeneinander auszutarieren, da sehr dünne Flaschenwände hohe Anforderungen an die Materialqualität stellen, die nicht immer ohne weiteres mit PET Rezyklat zu bedienen sind.

Im Falle von Bier ist die Bewertung stark abhängig davon, ob die erhöhten Barriereanforderungen der PET Flaschen Auswirkungen auf das Recycling und somit die ökobilanzielle Bewertung entfalten. Denn wenn zum Schutz des Füllgutes Polyamid mit dem PET extrudiert wird, oder die Flaschenwand dreischichtig (PET-Nylon-PET) aufgebaut ist, kann der Flaschenrücklauf wegen negativen Effekten im Recyclingprozess nicht mit der PET Einwegfraktion aus dem Getränkesegmenten Wasser und Erfrischungsgetränke verwertet werden.

- Ähnliches wie bei den Einwegflaschen für Bier ist auch bei den unbepfandeten PET Einwegflaschen für Säfte, Nektare und Milch sowie Milchgetränke festzustellen. Die erhöhten Schutzanforderungen des Füllgutes können nicht mit den Materialeigenschaften des PET in Einklang gebracht werden. Es braucht daher weitere technische Lösungen zur Licht- und Sauerstoffbarriere. Auch hier wird entweder PA mit dem PET extrudiert oder es werden Mehrschichtflaschen produziert. Darüber hinaus gibt es auch noch andere Lösungen wie bspw. eine Plasmainterbeschichtung der PET Flaschen oder eben die Akzeptanz eines deutlich eingeschränkten Mindesthaltbarkeitsdatums bei gleichzeitiger Notwendigkeit einer Kühlung (i.d.R. nur bei Direktsäften).
- Glas Mehrwegflaschen zeigen für die Getränkesegmente Wasser und Erfrischungsgetränke in den Ökobilanzen Ergebnisse, die schlechter sind als die der PET Mehrwegflasche und mehr oder weniger auf dem Niveau der PET Einwegflasche liegen. Für die Getränkesegmente Bier, Saft und Milch liegen aufgrund der in den letzten 5 Jahren stark veränderten Marktsituationen keine aussagekräftigen Bilanzen vor. Aufgrund der Individualisierungstendenzen im Getränkesegment Bier und dem starken Absinken der Mehrwegquote in den Getränkesegmenten Saft/Nektar und Milch ist davon auszugehen, dass sich die Umlaufhäufigkeiten der Gebinde und die Transportentfernungen negativ entwickelt haben und somit eine ökologische Neubewertung notwendig geworden ist.
- Glas Einwegprodukte zeigen aufgrund der hohen Verpackungsgewichte und der notwendigen Energieaufwendungen im Glas-Recycling in allen Ökobilanzen nie positive Gesamtergebnisse im Vergleich mit den PET Produkten.
- Die ökobilanzielle Bewertung von Getränkedosen aus Weißblech und Aluminium im Vergleich zu PET Ein- und Mehrwegprodukten ist - unter den methodischen Rahmenbedingungen für Ökobilanzen wie sie vom Umweltbundesamt befürwortet wurden und werden (Allokationsfaktor 50%) – nachteilig.

PET Einweg konnte sein Ökobilanz verbessern – vor allem durch den Einsatz von Rezyklaten

Bei sensiblen Füllgütern kommt PET als Material an die Grenze – es gibt technische Lösungen - aber die beeinträchtigen die Recyclingfähigkeit

Glas Mehrweg ist in den letzten Jahren verstärkt unter Druck geraten – hohe Wiederverwendungsraten sind wichtig für eine positive Umweltbilanz

Glas Einweg und Metalldosen sind nicht unbedingt Alternativen zu optimierten PET Verpackungen

- Getränkeverbundkartons werden nur in speziellen Getränkesegmenten und Lebensmittelbereichen angeboten und konkurrieren daher vornehmlich nur mit den PET Einwegprodukten¹. Die ausgewerteten Ökobilanzen zeigen zumeist ein Bild, das den Getränkeverbundkarton positiv gegenüber den PET Einweglösungen aussehen lässt.
- Kunststoffstandbodenbeutel (mit und ohne Aluminium) zeigen gegenüber den PET Einwegprodukten oftmals positive Ergebnisse, insbesondere dann, wenn auch die Verwertungsmöglichkeiten der PET Produkte stark eingeschränkt sind (z.B. wg. technischer Lösungen zur Erhöhung der Barrierewirkung in der Flaschenwand, s.o.).
- Ein Vergleich von PET Hohlkörpern mit anderen Hohlkörpern (insbesondere für Detergenzienflaschen) wurde bislang noch nicht für den deutschen Markt durchgeführt.

Flexible Verpackungen wie Pouch und Getränkekarton können Alternativen sein – aber auch weil die entsprechenden Konkurrenzprodukte aus PET wenig optimiert sind

Halbstarre Folien

Im Bereich der halbstarren Folien aus PET kommen als Alternative insbesondere halbstarre Folien aus anderen Kunststoffen (PE, PP, PLA) oder eben PET Rezyklaten in Frage. Je nach Anwendungsfall sind auch Verpackungslösungen aus Pappe/Kartonage eine Alternative.



(Quelle: eigene Aufnahmen)

Abbildung 3.7: halbstarre PET Folie (Klappdeckelschale) und Alternative aus Karton

Die Umweltbewertung dieser Produktgruppe hat in den vergangenen Jahren – im Vergleich mit den Getränkeverpackungen – deutlich geringere Aufmerksamkeit erfahren und erfolgte vornehmlich im Zusammenhang mit der Diskussion um biobasierte Kunststoffe, da vor ca. 10 Jahren der Werkstoff PLA als Alternativmaterial für Klappdeckelschalen beworben

¹ im Getränkesegment stille Mineralwässer gibt es auch eine Konkurrenzsituation zu PET Mehrweg, doch ist der Marktanteil der Getränkeverbundkartons im GS Wässer nahezu bedeutungslos

wurde. Somit stehen für die Anwendung der halbstarren Folien die Ergebnisse einer Ökobilanz zu Klappdeckelschalen aus PLA und anderen Kunststoffen aus dem Jahr 2006 zur Verfügung [ifeu 2006b]. Die dort gewonnenen Erkenntnisse lassen sich mit den Ergebnissen einer neueren Screeninganalyse für das Umweltbundesamt [UBA 2015] ins Verhältnis setzen.

Die Ergebnisse der Ökobilanzen lassen folgende Aussagen für die halbstarren Folien aus PET und ihre wichtigsten Konkurrenzprodukte zu:

- Halbstarre Folienprodukte aus (primärem) PET zeigen in der Umweltbewertung oft Nachteile gegenüber Äquivalenzprodukten aus anderen Standardkunststoffen. Die Gründe dafür liegen zum einen in der höheren Umweltbelastung der PET Produktion gegenüber PP oder HDPE, zum anderen aber auch darin, dass bei der Produktion der Klappdeckelschalen PET nicht die (vor allem Transport-)Vorteile der zweistufigen Produktion ausspielen kann wie bei den Flaschen. PLA ist an dieser Stelle ein Sonderfall, da der biobasierte Kunststoff im Vergleich mit einem fossilen Pendant hohe Umweltlasten über den Maisanbau generiert, dafür aber deutliche Einspareffekte bei den Treibhausgasemissionen und dem fossilen Ressourcenverbrauch aufweist.
- Schalen aus recyceltem PET zeigen eine bessere Umweltbilanz als Schalen aus primärem PET, zeigen sich jedoch im Vergleich mit Schalen aus PLA nachteilig in den Wirkungskategorien Klimawandel und fossiler Ressourcenverbrauch.
- Schalen aus Karton sind eine oftmals umweltseitig positiv zu bewertende Alternative, eignen sich aber nicht für alle Anwendungsfälle (keine stark feuchtenden Füllgüter) und bedürfen bisweilen noch einer zusätzlichen Umhüllung mittels Folie zur Sicherung des Füllgutes (bspw. im Obst- und Gemüsebereich).

Bei den halbstarren Folien ist PET eigentlich nie die 1. Wahl

Es soll an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass insbesondere der Bereich Obst- und Gemüse vielerorts auch als lose Ware verkauft wird. In Verbindung mit einer Mehrwegtransportlösung wie dem in Abbildung 3.6 rechts gezeigten Produkt eines Mehrwegobst-knotenbeutels, welcher übrigens auch aus PET Fasern hergestellt wird, besteht eine nachhaltige Transportlösung (hohe Wiederverwendungsraten vorausgesetzt).

Umreifungsbänder für Paletten oder Kartons

Alternativen zum PET bei der Anwendung als Umreifungsband sind sicherlich alle anderen Kunststoffe aber auch die klassische Schnur und – als Transportsicherung für Paletten – auch verstärkt eine komplette Folierung. Eine umweltseitige Bewertung anhand von Ökobilanzergebnissen kann mangels vorhandener Studien nicht durchgeführt werden.

Ob eine Transportsicherung per Schnur dem Einsatz von PET Bändern ökobilanziell überlegen oder unterlegen ist, kann nicht bewertet werden. Als sicher gilt jedoch, dass die vollständige Folierung aufgrund des deutlich erhöhten Materialbedarfs keine positive Umweltbewertung erfährt – auch wenn das Material problemlos einem Recycling zugeführt werden kann und in der Praxis sicherlich auch wird.

Folierung ist vmtl. keine Alternative

PET Verbundfolien

Flexible Verpackungen haben im Vergleich mit Monomateriallösungen einen reduzierten Materialbedarf und eine höhere Transporteffizienz (mehr Füllgut bei weniger Verpackung). Jedoch ist die Recyclingfähigkeit der Verbünde nicht immer ohne weiteres gegeben. Somit kann die Umweltbilanz bisweilen positiv für das nicht recyclingfähige Produkt ausfallen

Bewertung von Alternativen aufgrund der Komplexität von Verbänden nicht möglich

(mit dem Standbodenbeutel auf Basis von PET Folien – der Capri Sonne Verpackung - ist bereits unter der Thematik der Hohlkörper ein Produkt aus der Welt der PET Verbundfolien entsprechend bewertet worden). Alternativen zum PET sind sicherlich alle anderen Kunststoffe wobei deren Verwendung aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften Auswirkungen auf die Gesamtkomposition des Materialverbundes entfalten wird. Eine umweltseitige Bewertung anhand von Ökobilanzergebnissen kann mangels vorhandener Studien nicht durchgeführt werden.

Fasern und Füllstoffe

Der Markt an Fasern und Füllstoffen kann aufgrund seiner Größe und Unübersichtlichkeit nur schwer in das Konzept der vorliegenden Studie integriert werden (vgl. auch Kap. 3.2).

Alternativen für PET Fasern sind sicherlich andere Kunststofffasern wie bspw. Nylon oder aber auch Naturfasern. Eine Umweltbewertung fällt aufgrund der großen Spannweite der möglichen Alternativen und der intendierten Anwendungsfelder ausgesprochen schwer.

3.4 Alternativen zum PET auf Werkstoffebene

Ergänzend zu den obigen Ausführungen zu Alternativen für Produkte aus PET, soll an dieser Stelle auch ein sehr kurzer Blick auf mögliche Alternativen für fossil basiertes PET auf Ebene der Werkstoffe gelenkt werden. Es werden also kurze Informationen zu Materialien aufbereitet, die von ihrer materialtechnischen Struktur in der Lage sind, das derzeit genutzte PET Material innerhalb der existierenden Anwendungen zu ersetzen oder zu ergänzen. Zu nennen sind die folgenden Alternativen:

- recyceltes PET (R-PET) als Ersatz für primäres PET
wird im Rahmen der stofflichen Verwertung von bereits genutzten PET Produkten (vor allen Dingen Verpackungen) hergestellt und hat – bei guter Aufbereitung – annähernd die gleichen Materialeigenschaften wie primäres PET. Auch recyceltes PET kann im PET Stoffstrom recycelt werden. Eine detailliertere Auseinandersetzung mit dem Thema PET Recycling erfolgt in Kapitel 4.
- Biobasierte Materialien als Ersatz für fossiles PET (bPET und PEF)
wie bereits erwähnt kann ein Vorbestandteil des PET, nämlich das MEG derzeit aus biobasierten Monoethylenglycol und fossil basierter Terephtalsäure hergestellt. Der Anteil von Kohlenstoff aus nachwachsenden Rohstoffen liegt bei diesem Material bei 30%. Die Terephtalsäure kann prinzipiell auch durch eine biobasierte Furandicarbonsäure ersetzt werden, somit entsteht ein zu 100% biobasierter Werkstoff, der als PEF (Polyethylene Furanoate) bezeichnet wird. Dieser ist dem PET Material so ähnlich, dass es – so die Aussage der Hersteller – im Wertstoffstrom des PET mit verwertet werden kann. In der Umweltbewertung dieser biobasierten Materialien zeigen sich in der Regel Verbesserungen hinsichtlich der Treibhausgasemissionen und des Verbrauchs an fossilen Ressourcen. Diesen stehen jedoch erhöhte Umweltbelastungen beim Nährstoffeintrag und der Versauerung gegenüber, die vor allem auf die Düngung und Feldbearbeitung für die Anbaubiomasse zurückzuführen sind. Zudem sind bei der Bewertung von biobasierten Kunststoffen die Themen Flächenkonkurrenz und Nahrungsmittelkonkurrenz zu betrachten.

Werkstoffliche Alternativen zum PET

Aktuell wird den biobasierten Materialien – zumal wenn sie in die bereits etablierten Verwertungsströme passen – eine gewisse Zukunftschance eingeräumt. Zweifellos haben biobasierte Materialien Vorteile bei der Bewertung der Treibhausgasemissionen und beim Verbrauch der fossilen Ressourcen. Diese Potenziale gilt es zu nutzen, gleichzeitig sind aber auch die Nachteile und Schwierigkeiten, die mit der Bereitstellung der Biomasse als Ausgangsstoff der Produkte verbunden sind, nicht zu verschweigen, sondern aktiv anzugehen. Nachteile sind die bereits erwähnten Feldemissionen, hervorgerufen durch die Verwendung von Düngemitteln. Auch die Themen Flächenkonkurrenz und Nahrungsmittelkonkurrenz sind in die kritische Auseinandersetzung zur Bewertung der Materialien miteinzubeziehen.

Biobasierte Materialien haben Vor- und Nachteile und müssen daher differenziert bewertet werden.

Grundsätzlich erscheint eine Strategie sinnvoll, die vor allem den vorhandenen Materialpool durch eine enge Kreislaufführung und hohe Recyclingquoten nutzt und den anfallenden Neu-Materialbedarf durch vorwiegend biobasierte Materialien deckt.

3.5 Zwischenfazit

Aus den im Kapitel 3 aufbereiteten Informationen lassen sich die folgenden Kernaussagen ableiten:

- Der Verbrauch an PET als Werkstoff für Verpackungen in Deutschland nimmt zu (um 6,5% gegenüber 2013).
- 15% aller Kunststoffverpackungen in Deutschland sind im Jahr 2015 PET Verpackungen
- Insgesamt sind ca. 1 Mio. Tonnen PET Produkte auf dem deutschen Markt (Stand 2015). Knapp 28% dieser 1 Mio. Tonnen sind PET Rezyklate - vor allem aus dem Recycling der befüllten Flaschen
- Fast 60% der PET Produkte sind PET Flaschen.
- Die Verwendung von PET als Verpackungsmaterial ist lediglich bei den formstabilen Verpackungen durch die Materialeigenschaften des PET intendiert. Bei allen anderen Anwendungen spielen der durch den Wettbewerb im Markt bestimmte Preis und die aktuell gute Materialverfügbarkeit eine sicherlich deutlich stärkere Rolle.
- Im Bereich der Getränkeverpackungen finden sich die meisten Alternativen zu den PET Verpackungen.
- PET Mehrweg ist für Mineralwässer und Süßgetränke in vielen Aspekten die beste Lösung. Wenn die Umlaufzahlen entsprechend hoch sind und die Logistikaufwendungen nicht „aus dem Ruder laufen“.
- Entsprechend optimierte PET Einwegflaschen können eine gute Umweltbewertung erzielen.
- Aufgrund der Barriereigenschaften von PET eignet es sich vor allem für „mittelsprichsvolle“ Füllgüter wie Mineralwasser oder Erfrischungsgetränke. Steht - wie bei Milch, Saft oder Bier - ein höherer Schutz des Füllgutes im Fokus, muss PET entweder um weitere Barrierschichten oder Additive ergänzt werden, was die Recyclingfähigkeit beeinflusst. Oder es müssen Abstriche bei der Mindesthaltbarkeit in Kauf genommen werden.

Kernaussagen der Marktübersicht

Kernaussagen der Alternativenbewertung

- PET ist als Werkstoff für Verpackungen nie gänzlich alternativlos. Im direkten Vergleich mit möglichen Alternativen zeigt sich, dass in nahezu allen Fällen Vorteile aber auch Nachteile für die Produkte aus PET existieren.
- Die Ökobilanz der meisten PET Produkte lässt sich durch die folgenden vier Stellschrauben verbessern:
 - Einsatz von PET Rezyklaten (bei gleichzeitiger Wahrung der Recyclingfähigkeit des Materials)
 - Reduktion des Materialeinsatzes durch Gewichtsoptimierung
 - Verkürzung der Transportwege innerhalb der Wertschöpfungskette durch optimierte Logistik
 - Reduktion des Energieverbrauchs bei der Produktion durch Effizienzmaßnahmen
- Biobasierte Materialalternativen haben in der Umweltbewertung Vor- und Nachteile die ebenso wie das Thema Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz entsprechend transparent kommuniziert werden müssen.

4 PET Recycling

Im folgenden Kapitel sollen grundlegende Informationen zum PET Recycling zusammengestellt werden. Im Jahr 2015 wurden in Deutschland mehr als 360.000 Tonnen an PET Getränkeflaschen recycelt. Dazu addieren sich noch einmal fast 60.000 Tonnen an PET Verpackungen, die nicht für Getränke genutzt wurden (zumeist Verpackungen für Reinigungsmittel aber eben auch halbstarre Folien). Die Struktur an PET Verwertern in Deutschland ist schwierig zu erfassen. Es gibt große Anlagen, die sich auf die Verwertung von PET Einweggetränkeflaschen spezialisiert haben und die vornehmlich bzw. ausschließlich hochwertige PET Rezyklate zur Wiederverwendung in Getränkeflaschen produzieren. Doch ebenso gibt es Kunststoffverwerter, welche PET Recycling in kleinerem Maßstab im Firmenportfolio haben, und zumeist nur bis zur Ebene der gewaschenen Flakes neben der Verwertung anderer Kunststoffe.

4.1 PET Recycling Technologie

Grundsätzlich können zwei unterschiedliche Endprodukte Ziel des PET Recyclings sein:

- R-PET für so genannte nicht-Lebensmittelkontakt Anwendungen (non food Qualität) und
- R-PET für Lebensmittelkontakt Anwendungen (food grade Qualität)

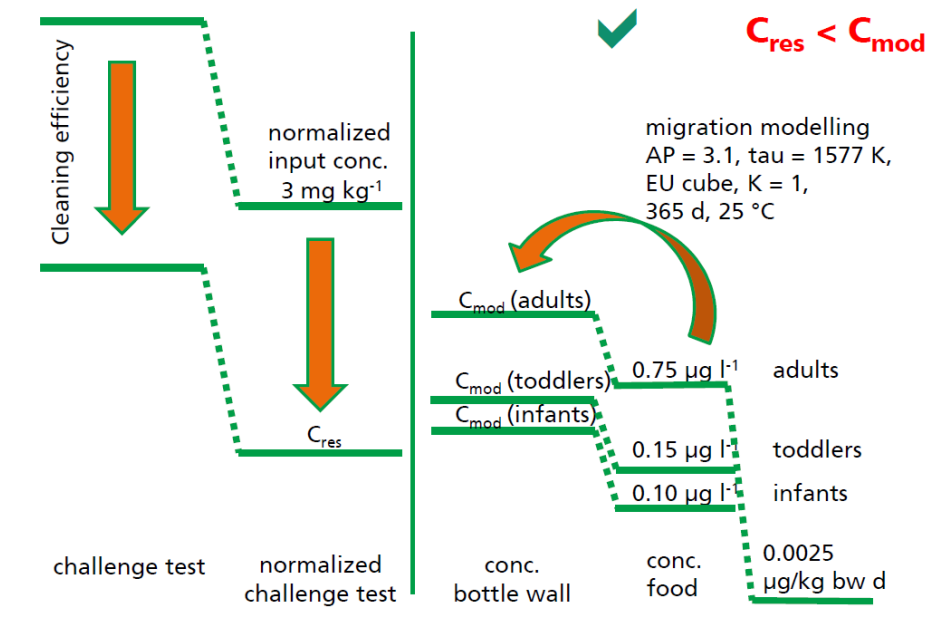
Die für den Einsatzbereich des Rezyklats entscheidenden Qualitätsanforderungen ergeben sich aus den internationalen lebensmittelrechtlichen Bestimmungen und Verordnungen der europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) oder der US Food and Drug Administration (FDA).

Die EFSA definiert die Anforderungen an den Recyclingprozess anhand einer definierten maximalen Restkonzentration an Schadstoffen – vor allen Dingen Toluol¹ aber auch andere, genotoxische Substanzen - mit den maximalen Flaschenwandkonzentrationen aus einem Expositionsszenario. Dafür wird zunächst die Reinigungseffizienz des Recyclingprozesses mit einem "Challenge Test" ermittelt. Dessen Ergebnisse werden dann auf die Normalisierte "worst-case" Kontamination im PET Flaschen Rücklauf übertragen. Hier ist auch definiert, dass der Inputstrom an gebrauchten PET Flaschen maximal zu 5% aus Non-Food Verpackungen bestehen darf. Die Bewertung der Exposition erfolgt für drei Szenarien (Kleinkinder, Heranwachsende, Erwachsene) – daraus werden die maximalen Migrationswerte für eine Mineralwasserflasche abgeleitet. Da Mineralwasserabfüller nicht sicherstellen können, dass nur Erwachsene aus (rezyklathaltigen) PET Flaschen trinken, gilt faktisch immer der Grenzwert für Kleinkinder [IVV 2017].

Anforderungen an das PET Recycling

¹ 0.03 bis 0.04% der gesammelten PET Flaschen zeigten Hinweise auf mißbräuchliche Nutzung. Höchste Konzentration: 6750 mg/kg des Lösemittels Toluol (gewaschene Flakes). Daraus folgt eine Kontamination von 1.4 bis 2.7 ppm im Eingangsmaterial [IVV 2017].

Liegen nun die mittels der Expositionsrechnung ermittelten maximalen Belastungen unter den maximalen Konzentrationen in R-PET (vgl. Abbildung 4.1), so erhält das Recyclingverfahren eine Zulassung und die PET Granulate dürfen für Lebensmittelkontakt eingesetzt werden.



(Quelle: Fraunhofer IVV Vortrag Dr. Welle am 21.02.2017 im Rahmen der Freisinger Tage Folie 11)
 Abbildung 4.1: EFSA Kriterien für PET – Vergleich der Konzentration nach dem Recycling (C_{res}) mit berechneten Migrationswerten (C_{mod})

PET Recycling findet heute vor allem für PET Flaschen (Getränke und Nichtgetränke) statt. Prinzipiell sind die Verfahrensschritte aber auch auf andere PET Produkte übertragbar – solange sie recyclingfähig gestaltet sind. Auch farbige PET Produkte können recycelt werden, jedoch verbleibt die Farbe im Material, weshalb eine gemeinsame Extrusion von klarem und farbigem Material oder die Mischung verschiedener Farben zwar technisch problemlos möglich wäre, sich jedoch vor dem Hintergrund eines möglichst hochwertigen, sprich definiert einfarbigen Granulates verbietet.

Verschiedene Recycling-technologien

Das Material zum Recycling wird üblicherweise als PET Ballen angeliefert und entstammt in Deutschland mehrheitlich der Getrenntsammlung von bepfandeten PET Einwegflaschen. Diese Fraktion liegt in der Regel bereits in einem sehr gut vorsortierten Zustand vor, die Inputqualitäten des Materials sind weitestgehend bekannt und die Verarbeitbarkeit wird seitens der Recycler in der Regel als gut angegeben¹. Dazu kommt noch die Menge an PET Verpackungen aus der Wertstoffsammlung, die aus PET Flaschen und PET Schalen besteht (vgl. auch Tabelle 5.2). Darüber hinaus werden PET Ballen auch innerhalb von Europa gehandelt. Je nach Art und Weise der Erfassung der PET Verpackungen im Herkunftsland, schwanken die Qualitäten. Ware aus Ländern mit Pfandsystem auf Einwegflaschen ist dem deutschen Pfandmaterial ähnlich, Ware aus Ländern mit gemischter Sammlung entspricht eher den Qualitäten aus dem Wertstoffsystem.

Verschiedene Inputqualitäten

Der Prozess des PET Recyclings ist üblicherweise mehrstufig aufgebaut:

¹ Wobei zunehmend über abnehmende Qualitäten aufgrund zu geringer Wandstärken, bedingt durch reduzierte Flaschengewichte geklagt wird. Auch der Trend zu gefärbten bzw. durchgefärbten PE Flaschen, wird seitens der Verarbeiter mit Sorge gesehen.

- Schritt 1: Aufbrechen der PET Ballen und Sortieren der Flaschen (ggf. Farbsortierung)
- Schritt 2: Mahlen und Waschen
- Schritt 3: Tiefenreinigung mittels chemischer Verfahren oder thermischer Behandlung im Vakuumreaktor
- Schritt 4: ggf. Sortierung der gewaschenen Flakes (ggf. Farbsortierung)
- Schritt 5: ggf. Aufschmelzen des Materials und Filtration
- Schritt 6: Wiederherstellung der Kristallinität bei geschmolzenem Material
- Schritt 7: ggf. Abschließende Polymerisation zur Herstellung eines definierten IV Wertes

Verschiedene Recyclingtechnologien kombinieren diese Prozessschritte in unterschiedlicher Weise. Im Folgenden sollen die wesentlichen technischen Schritte und unterschiedlichen Verfahrensabläufe kurz erläutert werden.

Ausgangsmaterial für den Recyclingprozess sind leere PET Verpackungen (wie beschrieben zumeist Flaschen), die zerkleinert und in die verschiedenen Materialfraktionen (PET, PO, Etiketten, Metall, sonstiges) zerlegt werden. Zumeist ist der Zerkleinerung eine Sortierung der Flaschen nach Farben vorgeschaltet. Differenziert wird zwischen den Farbfractionen „Klar“, „Blau“, „Grün“, „Braun“ und „Opak“ – wobei letztere beiden in der Regel maximal zu Fasermaterial aufbereitet werden. Dieser Mahl- und Sortierprozess findet sich in allen PET Recyclingverfahren. Oft ist auch eine Wäsche (in der Regel Heißwäsche) zur ersten Vorreinigung des Mahlgutes integriert. Die Intensität der Sortierung und Vorbehandlung ist abhängig von der Qualität der angelieferten PET Ballenware. Sehr saubere, zumeist sortenreine Ware (bspw. aus der Sammlung bepfandeter PET Einwegflaschen oder PETCYCLE Material), bedarf in der Regel weniger Aufbereitung als bspw. Mischware aus dem europäischen Ausland.

**Von der Flasche zum Flake:
Mahlen und Waschen**

Staub und Etiketten werden in der Regel mittels eines Windsichters aus dem Mahlgut geblasen, ggf. könne Papieretiketten auch während der Wäsche im Wasser gelöst und abgeschwemmt werden.

Die Trennung zwischen der PET Fraktion und den PO Fraktionen findet durch einen Schwimm-Sink-Prozess statt: während die schwereren PET Flakes sedimentiert werden schwimmt die leichte PO Fraktion im Wasser auf und kann maschinell abgeschöpft werden. Als problematisch stellen sich dabei Flaschen aus PVC Material dar. Dieses gehört ebenfalls zur Sinkfraktion, führt jedoch zu Problemen bei der Weiterverwendung der PET Flakes und ist daher im Recyclingprozess unerwünscht. Wird Inputmaterial verwendet, das einen Anteil von PVC Flaschen (bspw. aus dem europäischen Ausland) enthält, empfiehlt sich daher vor dem eigentlichen Wasch- und Zerkleinerungsprozess eine weitere gezielt auf PVC Fraktionen gerichtete Sortierung.

, In einigen Verfahren wird das dichtere und vor allen Dingen dickere Material aus dem Flaschenhals und dem Flaschenboden von dem deutlich dünneren Material aus den Flaschenwänden separiert und erneut gemahlen, um eine einheitliche Körnung der Flakes für den späteren Aufbereitungsprozess zu erhalten.

Outputmaterial der Prozessstufe Flasche zu Flake sind somit oberflächengereinigte PET Flakes. Jedoch bedürfen Verunreinigungen, die während der Nutzungsphase der Flasche oder der Lagerung vor dem Recyclingprozess in das Material migriert sind, einer weitergehenden Reinigung, der so genannten Tiefenreinigung.

Ein weit verbreitetes Verfahren zur Tiefenreinigung ist die Vakuumdekontamination in Verbindung mit einer Schmelzfiltration. Diese Verfahren werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Allen gemeinsam sind die folgenden Prozessschritte:

- Trocknung der Flakes
- Tiefenreinigung im Vakuumreaktor
- Extrusion (Schmelze) zur Entgasung
- Filtration zur Abtrennung nicht schmelzender Stoffe im flüssigen Materialzustand
- Granulierung
- Kristallisation

Die Reihenfolge der Prozessschritte ist abhängig vom jeweiligen Anlagenhersteller und der vom Betreiber der Anlage gewählten Anlagenkonfiguration.

Die den Prozess bestimmenden Faktoren bei der Schmelzfiltration sind die Parameter Temperatur während der Schmelze und die Verweildauer im Vakuumreaktor. Eine wirksame Kontrolle dieser Parameter ist die Voraussetzung für vorhersehbare Ergebnisse von gleich bleibender Qualität. Endprodukt der Schmelzfiltration ist ein lebensmittelkontaktfähiges PET (Re)Granulat.

Die **Vorteile** der Schmelzfiltration sind die definierte Partikelgröße und Schüttdichte des R-PET Granulats sowie die Abfiltration nicht schmelzender Stoffe. Hinsichtlich seiner Weiterverarbeitbarkeit ist das R-PET vergleichbar mit der Qualität von Neuware. Der größte **Nachteil** des PET Recyclings durch Schmelzfiltration ist sicherlich der damit verbundene Abbau der intrinsischen Viskosität des Materials, durch die Verkürzung der Molekülketten aufgrund der thermischen Belastung während der Schmelze. Ein weiterer Nachteil der Schmelzfiltration ist, dass Additive in den Flaschen das Material während der Schmelze gelb färben. An den Flakes haftende Klebereste können als Fremdkörper im Material bleiben und bei der Weiterverarbeitung zu schwarzen, punktförmigen Verunreinigungen führen. Weiterhin kann durch die thermische Behandlung des Materials Acetaldehyd entstehen und das Material kontaminieren. Ein technischer Nachteil des Verfahrens ist, dass das Material zur Lagerung und/oder zum Transport regranuliert werden muss.

Es gibt in Europa verschiedene Anbieter für Recyclinganlagen nach dem Schmelzfiltrationsprinzip. Die Marktführer sind sicherlich EREMA oder Starlinger. Eine Konkurrenz mit Technologieanbietern aus dem asiatischen Raum kann derzeit noch nicht festgestellt werden, was im Feld des Sondermaschinenbaus auch nicht unüblich ist. PET Recyclinganlagen werden üblicherweise nicht auf Vorrat produziert und „von der Stange“ verkauft. In der Regel liegt jeder einzelnen Anlage eine spezielle, einzelfallspezifische Planung und Anlagenkonfiguration zugrunde. Das Verfahren der Schmelzfiltration stellt wie beschrieben jedoch nur eine Prozessstufe im PET Recycling (Flake zu Granulat) dar. Je nach Anlagenkonfiguration kann dieses Verfahren, ergänzt um einen vorgeschalteten Sortier-, Wasch- und Mahlprozess sowie eine nachgeschalteten Polykondensation, auch in einem kontinuierlichen Recyclingablauf eingesetzt werden (Bsp. Supercycleverfahren in Beaune, Frankreich).

Eine Alternative zu den verbreiteten Schmelzfiltrationsprozessen ist die chemische Oberflächenbehandlung. Dieses Verfahren, das auch URRC Prozess genannt wird (URRC steht

**Vom Flake zum R-PET Granulat:
Extrusion und Filtration**

**Flake to Flake:
Alternative Methoden bei der Tiefenreinigung**

für United Resource Recovery Corporation), kann in drei Prozessschritte gegliedert werden.

Nach einem Sortier-, Wasch- und Mahlschritt, wie er im Kapitel Verarbeitungsstufe Flasche zu Flake beschrieben ist, werden die gewaschenen PET Flakes durch kontinuierlichen Weitertransport dem eigentlichen URRC Hauptprozess zugeführt. Dort beginnt die Veredelung des PET-Rezyklats für den Einsatz in der Lebensmittelindustrie: In einer Mischschnecke (Drehofen) wird das PET-Mahlgut mit Natronlauge benetzt. Hierdurch löst sich die Oberfläche des Materials (durch Verseifung und Entfernung der entstehenden Monomere) ab, und anhaftende Verunreinigungen werden entfernt. Als Nebenprodukt entsteht bei dieser Reaktion ein Salz. Im hinteren Bereich des Drehrohrofens werden durch optimale Luft- und Temperaturführung auch die letzten, in das PET diffundierten Fremdstoffe entfernt.

Die Salze werden in einer Nachbehandlung vom PET-Mahlgut entfernt. Nach einem Durchlauf im Mahlgutsortierer mit Farbzeilenkamera gelangt das Rezyklat zur Qualitätskontrolle. Endprodukt des Prozesses ist ein lebensmittelkontaktfähiges PET Flake.

Vorteil des URRC Verfahrens ist, dass die food grade Qualität der recycelten Flakes ohne Abbau von Kristallinität und Reduktion der intrinsischen Viskosität erreicht werden kann. **Nachteil** des Verfahrens ist, dass die chemische Reaktion, auf welcher der Recyclingprozess basiert, Beiprodukte wie Ethylenglykol und Salz produziert, das in einem zweiten Wasch- und Trocknungsschritt von den PET Flakes entfernt und beseitigt werden muss. Auch findet keine Abfiltration nicht schmelzender Stoffe statt, die ggf. im Inneren der PET Flakes zu finden sind.

Zudem erfordern Flakes bei der Weiterverarbeitung ein anderes Handling als Material, das in Form von Pellets vorliegt (bspw. Neuware).

Die Firma Krones hat ebenfalls ein PET Recyclingverfahren entwickelt, bei dem die Flakes nicht geschmolzen werden. Diese Verfahren integriert eine mehrstufige Flake Wäsche zur Oberflächenreinigung mit einem intensiven Vakuumdekontaminationsverfahren der Flakes zur Tiefenreinigung. Ebenso wie im URRC Verfahren sortiert eine nachgeschaltete Sortierung der Flakes farblich unpassendes Material aus.

Die Umweltbewertung der unterschiedlichen Recyclingverfahren lässt sich nicht allein anhand der installierten Prozesstechnologie treffen, sondern bedarf einer gründlichen Untersuchung der jeweiligen Anlagenkonfiguration, der Inputqualität und der Betriebsweise. Wesentliche Parameter, welche die Umweltbilanz bestimmen sind:

Umweltbewertung der Recyclingverfahren

- Der Verschmutzungsgrad des Inputmaterials (Pfandware oder Mischsammlung)
- Die Zielqualität des Rezyklates (Lebensmittelkontaktmaterial, Fasermaterial, IV Werte)
- Die Aufbereitungsverluste
- Die Verweildauer des Materials in der Anlage
- Der Energieverbrauch
- Der Waschmittelverbrauch

Diese Parameter stehen in einer engen Beziehung zueinander. Verschmutztes Material bedarf einer intensiveren Aufbereitung, hohe Outputqualitäten bedürfen einer besonderen Materialführung bei der Tiefenreinigung. Vertiefte Aufbereitungen gehen immer einher mit erhöhten Materialverlusten. Üblicherweise gehen zwischen 3% und 10% des PET

Anteils im Inputmaterial während der Aufbereitung zum Zielprodukt verloren. Diese Verluste fallen als Abriebe und Filtrerrückstände an und werden mehrheitlich thermisch verwertet.

Auch die Parameter Zeit, Energie und Waschmittel stehen in einer Interdependenz, die als der „Sinnersche Kreis“ bekannt ist. Eine Optimierung eines dieser Parameter geht automatisch zu Lasten der anderen beiden, sprich ein reduzierter Energiebedarf bedarf in der Regel einer höheren Verweildauer.

Somit kann eine Umweltbewertung der Technologien immer nur in sehr weiten Bandbreiten erfolgen. Faustwerte für PET Rezyklat aus Deutschland sind 0,4 bis 0,7 kg CO₂-Äquivalente pro kg PET Rezyklat am Ausgang der Recyclinganlage. Da insbesondere der Strombedarf der Anlagen ausschlaggebend für die Treibhausgasbewertung ist, darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass die nationalen Strommixe eine nicht unwesentliche Rolle bei der Umweltbewertung der Recyclingprozesse spielen. Im europäischen Vergleich ist der deutsche Strommix aufgrund seiner hohen Kohlestromanteile nicht sehr klimafreundlich. Anlagen in Frankreich haben einen deutlichen geringeren CO₂-Fußabdruck pro kg Material, müssen jedoch das potenzielle Risiko der Kernkraft mittragen.

4.2 Möglichkeiten und Grenzen der Rezyklatverwendung

Die Hemmnisse für das Recycling sind prinzipiell eher technischer Natur. Die Hemmnisse für die Anwendung der Rezyklate sind eher in den material- und verfahrenstechnischen Problemen zu finden und sicherlich auch im Zusammenspiel mit möglichen Bedenken hinsichtlich der Materialsicherheit und letztendlich in gewisser Weise auch preisbestimmt.

Hemmnisse und Herausforderungen beim PET Recycling

Material aus Mischsammlungen wird in der Regel stärker verunreinigt sein als Material aus Getrennsammlungen. Neben den oberflächigen Verschmutzungen sind auch die Verunreinigungen des Materials durch Adsorption zu berücksichtigen, wenn Fremdstoffe in das Material migrieren. Generell gilt, je stärker das Material verunreinigt ist, desto wichtiger ist der Sortier- und Waschschrift. Die adsorbierten Verunreinigungen sind jedoch nur durch die im vorigen Kapitel beschriebenen Verfahren zur Tiefenreinigung zu beseitigen. Auch die Lagerung hat Einfluss auf die Qualität des Inputmaterials, PET ist anfällig für UV Einstrahlung, diese zerstört bei längerer Einwirkung die Polymerketten, das Material wird spröde.

Einfluss des Sammelsystems auf die Inputqualität

Generell kann im Rahmen der Inputfraktion zwischen transparenten Flaschen und blickdichten Flaschen unterschieden werden. Die häufigsten Farben für transparente PET Flaschen in Deutschland sind:

Farbige PET Flaschen

- Klare PET Flaschen (farblos)
- Grüne PET Flaschen
- Blaue PET Flaschen
- Braune PET Flaschen (vornehmlich für empfindlicherer Füllgüter wie Bier oder Saft)

Blickdichte Flaschen finden sich in Deutschland vornehmlich in den folgenden Farbgebungen:

- Schwarze PET Flaschen
- Weiße PET Flaschen (nur Milch- und Milchmodigtränke)

Der Farbstoffanteil im Flaschenmaterial ist bei den transparenten Flaschen deutlich geringer als bei den blickdichten Flaschen, wo zum Teil bis zu 5% farbiges Masterbatch zur Färbung des Flaschenmaterials eingesetzt wird.

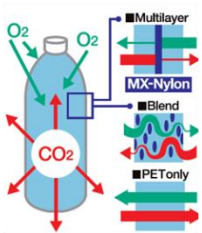
Die Farbe des Materials hat prinzipiell keine Auswirkungen auf die Recyclingfähigkeit des Materials, dennoch ist eine vorherige Farbsortierung für die meisten Recyclingprozesse notwendig um eine Vermischung der verschiedenen Farben zu vermeiden (bspw. während der Schmelzfiltration). Lediglich im URRC Verfahren können farbiges und klares PET Material gemeinsam behandelt werden. Eine Farbsortierung findet erst am Ende des Recyclingprozesses statt.

In Deutschland ist der Anteil der farbigen Flaschen geringer als der Anteil farbloser PET Flaschen. In der Weiterverarbeitung wird aus Handlinggründen in der Regel ein farbloses R-PET verlangt, daher findet größtenteils nur farbloses Material Eingang in den bottle-to-bottle Prozess. Farbiges Material wird daher üblicherweise für Faseranwendungen aufbereitet. Eine Ausnahme davon ist sicherlich der PET Stoffkreislauf der Firma LIDL. Die Mineralwasserflaschen haben eine spezielle Farbgebung, die es im Sortierprozess erleichtert die eigenen Flaschen als Zielfraktion zu sortieren und somit ganz gezielt vornehmlich eigenes Material zu recyceln.

Um den Anforderungen spezieller anspruchsvoller Füllgüter (Saft, Milch oder Bier) gerecht zu werden, sind die PET Flaschen teilweise als Multilayerflaschen (in der Flasche ist eine dünne Schicht aus Nylon oder einem äquivalenten Material eingearbeitet) ausgeführt oder mit Additiven wie bspw. Polyamid versetzt um die Barrierewirkung zu erhöhen (Abbildung 4.2. links).

PET Flaschen mit speziellen Barriertechnologien

Funktionsweise verschiedener Barrierschichten in PET Flaschen



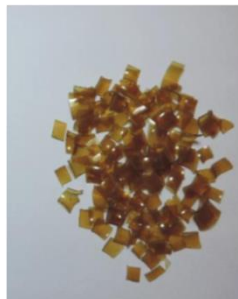
Quelle: Mitsubishi Gas Chemical Co

Produktbeispiel einer PET PA Blend Flasche



Quelle: Institut cyclos-HTP

Röstprobe der der Flakes



Kontrollprobe einer Einwegmineralwasserflasche



Abbildung 4.2: Funktionsweise unterschiedlicher Barrieren in PET Flaschen und Auswirkung auf die Recyclingfähigkeit

Diese Flaschen erfordern spezielle Behandlungsmethoden beim Recycling bzw. sind nicht für das bottle-to-bottle Recycling geeignet:

- Multilayerflaschen können vor dem Recycling durch Zerkleinerung in ihre Bestandteile (PET und Nylon o.ä.) zerlegt werden. Das PET kann dann den normalen oben beschriebenen Recyclingprozessen zugeführt werden, für das Nylon bestehen eigene Verwertungswege. Die Marktanteile von Multilayerflaschen sind gering, so dass aktuell nicht

abgeschätzt werden kann, ob dieses Verfahren auch in der Praxis zur Anwendung kommt.

- Flaschenmaterial, das mit einem Additiv zur aktiven Sauerstoffbarriere versehen wurde ist nicht für das bottle-to-bottle Recycling geeignet, da
 - das Additiv bei Schmelzprozessen zu Verfärbungen des Materials führen und
 - sich durch die Kreislaufführung des PET die Additive im Material anreichern könnten.

Eine Sortierung zwischen Multilayerflaschen, Flaschen mit Additiven im Material und reinen PET Flaschen ist sicherlich möglich, derzeit jedoch nicht Standard. In Deutschland liegen diese Fraktionen derzeit durch die unterschiedlichen Sammelsysteme (Wertstoffsammlung und Pfandsystem) zumeist in getrennter Form vor.

Hemmnisse beim Einsatz von Rezyklaten

Die Bedenken gegenüber dem Einsatz von PET Rezyklaten, gerade für hochwertige Verpackungen wie bspw. Getränkeflaschen, sind vielfältig. Neben material- und verfahrenstechnischen Problemen sind sicherlich auch die Aspekte Materialsicherheit und Materialpreis entscheidend.

Bei den material- und verfahrenstechnischen Problemen sind sicherlich die folgenden unerwünschten Resultate des PET Recyclings die größten Hemmnisse:

- Färbung

Mögliche, den PET Flaschen zugesetzte Additive (entweder zur chem. Sauerstoffbindung oder Acetaldehyd Reducer) verändern sich unter den Temperaturbedingungen des Schmelzfiltrationsprozesses und verfärben das Material gelb.

Zusätzlich besteht im Rahmen der Schmelzfiltration die Gefahr, dass Kleberreste das gesamte Rezyklat leicht grau einfärben.

Die Beeinträchtigung ist jedoch nur optisch, verarbeitungstechnisch bestehen keine Unterschiede zu nicht verfärbtem Rezyklat.

Da solche Färbungen nicht gewünscht sind und vom Verbraucher ggf. auch nicht akzeptiert werden, kann das Material durch die Zugabe von Kontrastfarben chemisch aufgehellt werden. Das Material wird dadurch wieder klar, späteres Recycling wird dadurch nicht beeinträchtigt.

Im Falle der Graufärbung entscheidet die Wäsche der Flakes über das Resultat des Recyclingprozesses. Zur Vermeidung der Gelbfärbung empfiehlt sich eine strengere Vorsortierung. Da jedoch nicht immer erkennbar ist, welchen Flaschen Additive zugesetzt sind, bzw. AA Reducer häufig in Flaschen eingesetzt werden, wird eine leichte Gelbfärbung nie zu 100% vermeidbar sein. Um aufwendige Verfahren der inputspezifischen Additiv-Detektion zu umgehen, gib es aktuell in Deutschland durch die RAL Gütegemeinschaft Wertstoff PET, Bestrebungen die Gabe von Additiven in den Flaschen zu reglementieren, mit dem Ziel die Outputqualität der PET Rezyklate zu schützen.

- Schwarzpunkte

An den Flakes anhaftende Kleberreste verfärben sich unter Temperatureinwirkung schwarz und sind später als Schwarzpunkte in den Verpackungen, die aus dem Rezyklat hergestellt werden sichtbar. Diese Schwarzpunkte sind Fremdkörper und können bspw. bei Preforms im Streckblasprozess zu Fehlern (Reißen der Flaschenwand) führen.

Material- und Verfahrenstechnische Aspekte

Zur Vermeidung von Schwarzkernen werden die Flakes gewaschen, die anhaftenden Kleberreste somit entfernt. Im Falle der Schmelzfiltration wird das plastifizierte Material durch ein Sieb gedrückt, welches die Fremdkörper abfiltriert. Im Falle der chemischen Oberflächenbehandlung nach dem URRC Prozess bleiben keine Kleberreste an den Flakes haften. Im Krones Verfahren wird dem Problem mit einer intensiven Wäsche der Flakes begegnet, eine Abfiltration möglicher Fremdkörper findet wie erwähnt nicht statt.

- IV Abbau

Im Rahmen der Homogenisierung und Plastifizierung des PET Materials im Schmelzfiltrationsprozess werden auch die Polymerketten zerschnitten. Dadurch reduziert sich die intrinsische Viskosität, es findet demnach ein Qualitätsabbau statt. Ob das Rezyklat aus dem Schmelzfiltrationsprozess für den bottle-to-bottle Prozess geeignet ist, hängt demnach von der Qualität (also vom IV Index) des Inputmaterials ab. Ist die Qualität nicht ausreichend ist ggf. eine Nachbehandlung durch Polykondensation notwendig. Durch diese Möglichkeit der Nachbehandlung kann das Material immer wieder auf Neuwarequalität gehoben werden. Dies ist der große Unterschied von PET gegenüber den anderen Standardkunststoffen wie PP, PE oder PS. Deren Polymerkettendegradation ist mit den üblichen Recyclingverfahren irreversibel.

- Acetaldehyd

Wenn PET über einen längeren Zeitraum höheren Temperaturen ausgesetzt wird, kann Acetaldehyd als Abbauprodukt entstehen. Acetaldehyd ist leicht flüchtig und kann daher mittels des im Recyclingverfahren angelegten Vakuums ausgegast werden. Eine vollständige Entfernung findet jedoch nicht statt. Für Anwendungen mit Lebensmittelkontakt müssen die entsprechenden Grenzwerte eingehalten werden, die von Land zu Land unterschiedlich sein können.

- Mehrfachrecycling

In der Praxis noch nicht völlig erforscht sind die Auswirkungen des Mehrfachrecyclings. Derzeit beträgt der Rezyklatanteil in den PET Flaschen ungefähr 26%. Mit dem verstärkten Ausbau der Recyclingkapazitäten können für die Zukunft höhere durchschnittliche Rezyklatanteile prognostiziert werden. Technisch sind auch Flaschen aus 100% Rezyklat herstellbar und finden sich zum Teil auch schon am Markt.

Unklar ist noch, wie sich dieses Material langfristig im Recyclingprozess verhält. Durch die Möglichkeit des Wiederaufbaus der Polymerketten stehen dem keine Aspekte der Materialqualität entgegen. Als problematisch werden daher vor allem die Anreicherung von Additiven wie Acetaldehyd-Reducern oder chemischen Sauerstoffbarrieren, die im Recyclingprozess nicht vollständig entfernt werden können, angesehen. Auch gasen die ins Material migrierten Stoffe im Vakuumverfahren nicht immer zu 100% aus. Eine – wie oben erwähnte - strikte Reglementierung der Zugabe von Additiven bei der Flaschenproduktion, könnte hier Hemmnisse bei der Verwendung von Rezyklaten beseitigen.

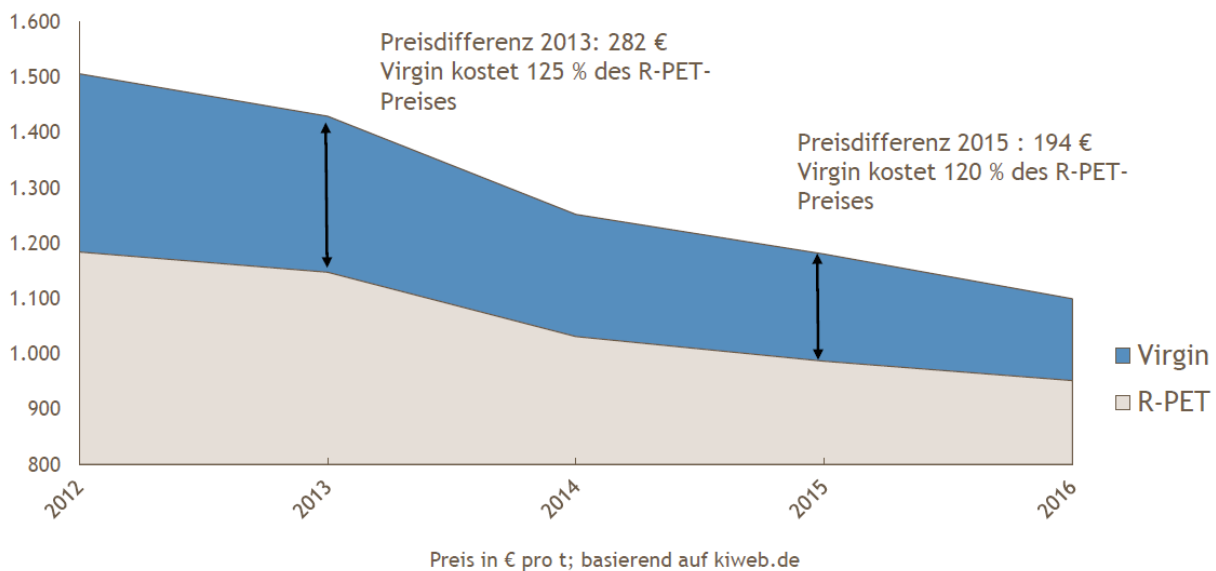
- Sicherheit

Trotz strenger EFSA und FDA Anforderungen und einer stetigen Qualitätskontrolle gibt es beim PET Recycling – wie bei allen anderen technischen Prozessen auch – keine 100%ige Sicherheit gegenüber Fehlern. Die Qualitätskontrollen sind streng und lassen üblicherweise eine Materialbatch spezifische Nachverfolgung zu, so dass etwaige Qualitätsmängel nachvollziehbar werden und bspw. durch Rückrufaktionen, Schaden für die Konsumenten abgewendet werden kann. Dennoch gibt es Unternehmen, die das mit der Verwendung von PET Recyclingmaterial verbundene Risiko scheuen und daher nur primäres PET einsetzen. Die RAL Gütegemeinschaft Wertstoff PET hat es sich zur Aufga-

be gesetzt die Sicherheit von PET Regranulaten zu erhöhen und hat dafür Gütekriterien für das PET Recycling hinsichtlich Inputmaterial, Recyclingtechnik und Warenausgang definiert. PET Recycler, die ihr Material unter dem Gütezeichen Wertstoff PET vertreiben wollen müssen sich einem entsprechenden Audit unterziehen.

- Preis

Die preisliche Attraktivität von PET wurde bereits in Kapitel 2 thematisiert. Unten stehende Abbildung 4.3 zeigt, dass recyceltes PET zumindest in der Vergangenheit noch einmal günstiger war. Diese Situation hat sicherlich dazu beigetragen den Anteil von R-PET in Verpackungen und im Fasermarkt zu erhöhen. Mit dem weiteren Verfall der Preise für primäres PET hat sich die Preisdifferenz jedoch verringert und die Verwendung von Primärware ist wieder attraktiver geworden.



(Quelle: GVM 2016)

Abbildung 4.3: Preisdifferenz zwischen Virgin PET und R-PET

4.3 Zwischenfazit

Aus den im Kapitel 4 aufbereiteten Informationen lassen sich die folgenden Kernaussagen ableiten:

- PET Recycling wird seit vielen Jahren in der Praxis recht erfolgreich betrieben
- Generell lassen sich alle formstabilen und halbstarren PET Verpackungen zu PET Regranulaten aufbereiten.
- PET ist der einzige Kunststoff, der auch als Post-Consumer Material durch ein entsprechendes Recyclingverfahren in ein Regranulat aufbereitet werden kann, das die gesetzlichen Anforderungen an ein Material mit Lebensmittelkontakt erfüllt. In diesem als Tiefenreinigung genannten Verfahren werden die Schadstoffe, die während der Nutzung als Verpackung in das Material migriert sein könnten, beseitigt.

- Erfolgreiches PET Recycling kann jedoch nur dann stattfinden, wenn die Inputfraktion gewisse Gütekriterien hinsichtlich der Materialreinheit erfüllt.
- In Deutschland nutzt die Mehrheit der Recycler die qualitativ hochwertige Inputqualität aus der getrennten Sammlung der bepfandeten PET Einwegflaschen für die Aufbereitung zu lebensmitteltauglichem Material. Aber auch europäisches Material und PET Ballen aus der Wertstoffsammlung werden verwertet, zumeist aber zu Fasermaterial.
- Eine Vorsortierung des Inputmaterials ist für den Recyclingprozess unerlässlich. Die aktuellen Technologien sortieren jedoch mehrheitlich nur hinsichtlich des Parameters Farbe. Additive lassen sich nicht ohne weiteres detektieren. Daher versuchen die Akteure in der Wertschöpfungskette PET die Verwendung von Additiven durch einheitliche Gütekriterien zu reglementieren.

5 Verwertungswege von PET und Rezykeltaufkommen

5.1 Verwertungswege gebrauchter PET Produkte

Laut dem UBA Bericht „Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland lag im Jahr 2014 die Verwertungsquote von Kunststoffen bei 99,8%, da mittlerweile auch jede energetische Verwertung mit Energierückgewinnung als Verwertungsweg zählt. Wird jedoch nur die werkstoffliche Verwertung betrachtet, so liegt die Rate noch bei 50,2%.

Die Verwertung von PET Einweg hebt die Rate der stofflichen Verwertung aller Kunststoffverpackungen an

Tabelle 5.1: Verwertungswege von Abfällen aus gebrauchten Kunststoffverpackungen – Schätzung (2014)

In kt	Anteil an Gesamtverwertungsmenge	einer Verwertung zugeführte Menge			
		Inland			Ausland (werkstofflich)
		Werkstoffliche Verwertung	Andere Form der stofflichen Verwertung	Energetische Verwertung	
Duale Systeme	50%	29%	5%	58%	8%
Branchenlösungen, Sonstige Rücknahmesysteme, Eigenrücknahme	14%	50%	8%	25%	18%
Korrektur wg. Überschneidung mit Aluminium-Verwertung	1%	100%	0%	0%	0%
Verwertung von Mehrwegverpackungen (Verschlüsse, Kästen, Flaschen etc.)	7%	52%	0%	24%	24%
Verwertung von bepfandeten Kunststoff Einwegflaschen	18%	78%	0%	2%	20%
Mengen aus der Direktentsorgung des Handels und großgewerblichen Anfallstellen	9%	61%	0%	15%	24%
Insgesamt	100%	46%	4%	36%	14%

Der Blick auf die Zahlen in Tabelle 5.1 zeigt, dass diese im Vergleich mit anderen Verpackungsmaterialien ohnehin nicht sehr hohe Rate der stofflichen Verwertung (Metalle: 92,5%, Glas: 89%, Papier/Pappe/Karton: 87,3%, Insgesamt: 71,4%), vor allem durch die hohen Anteile stofflicher Verwertung der bepfandeten PET Einwegflaschen und der Mengen aus der Direktentsorgung des Handels und großgewerblichen Anfallstellen resultiert.

Obwohl diese mit 18% bzw. 9% nicht einmal ein Drittel der Gesamtverwertungsmenge ausmachen. Ohne diese läge die Quote der werkstofflichen Verwertung im Inland bei gerade noch 36%. Der große Teil der Verpackungen, der über die Dualen Systeme entsorgt wird, erlangt lediglich eine Rate der stofflichen Verwertung von 34% (werkstoffliche Verwertung + andere Formen der stofflichen Verwertung). Die Zahlen für das Jahr 2015 zeigen aber auch, dass die Fraktion der PET Einwegflaschen noch immer zu 20% im Ausland werkstofflich verwertet werden; überdurchschnittlich häufig im Vergleich zu anderen Kunststoffverpackungen. Dieser Wert wird in seiner Größenordnung durch die Studie der GVM zum „Aufkommen und Verwertung von PET Getränkeflaschen in Deutschland 2015“ (GVM 2016) für den PET Stoffstrom im Jahr 2015 in seiner Größenordnung bestätigt (dort sind es 18%). Vmtl. handelt es sich dabei um Mengen, die in den PET Recyclinganlagen in den europäischen Nachbarländern aufbereitet werden. Insbesondere die große PET Recyclinganlage in Beaune (Frankreich) hat in der Vergangenheit viel Material aus Deutschland umgesetzt. Aber auch von Anlagen in den Niederlanden und Luxemburg ist bekannt, dass Material aus der Getrenntsammlung der bepfandeten PET Einwegflaschen dort verarbeitet wird.

Mit Hilfe der detaillierten Informationen aus der GVM Studie (GVM 2016) lassen sich auch die spezifischen Sammelquoten für bepfandetes und unbepfandetes PET Einweg bestimmen:

Unterschiedliche Erfassungsquoten für PET Einwegflaschen

- Erfassungsquote PET Einweg mit Pfand (DPG System - Getrenntsammlung): 98,8%
- Erfassungsquote PET Einweg ohne Pfand (DSD Systeme - Gemischtsammlung): 65,3%

Die Erfassungsquote gibt an der Stelle noch keine Auskunft darüber, was mit den eingesammelten Verpackungen passiert:

- Im Rahmen der Sammlung der bepfandeten Flaschen wird in der Regel schon während der Rücknahme nach Material- und teilweise sogar nach Farbfraktionen sortiert. Die leeren Flaschen werden dann von den Rücknahmestellen des Handels in die Zentrallager verbracht und von dort aus dem Recycling zugeführt. Bisweilen sind noch Zähl- und Sortierzentren zwischengeschaltet, insbesondere dann, wenn die Flaschenrücknahme bei den Verkaufsstellen händisch erfolgte. Der Materialfluss ist schwer zu steuern, da die gesammelten leeren und zu Ballen verpressten PET Flaschen von den Handelshäusern weiterveräußert werden. Es liegt somit an der Politik der jeweiligen Handelshäuser wohin bzw. in welche Form der Verwertung das Material abgegeben wird (inländisch oder ausländisch, Recycling zu Faser oder Recycling zu lebensmitteltauglichem Material). Dass an dieser Stelle nicht immer zwingend kurzfristige Profitziele an erster Stelle stehen (Verkauf auf dem Spotmarkt), zeigt das Beispiel der Schwarzgruppe (LIDL, Kaufland). Hier werden die eingesammelten Flaschen an eigene Recyclingstandorte verbracht, aufbereitet und in einer eigenen Kunststoffverarbeitung wieder zu Flaschenrohlingen geformt. Dadurch haben die LIDL Flaschen einen im Vergleich mit dem Branchenschnitt überdurchschnittlich hohen Anteil an PET Rezyklaten (im Schnitt 55%).
- Ein Sonderfall stellen die kastengebundenen PET Einwegsyste me dar (bspw. PETCYCLE). Hier gelangen die Flaschen in den Kästen zurück zum Abfüller und werden von dort aus weitergegeben. Üblicherweise erreichen solche Systeme höhere PET Rezyklateinsatquoten, da die Systeme auf enge Materialkreisläufe optimiert sind. So ist im PETCYCLE System bspw. eine R-PET Einsatzquote von 55% vorgegeben.
- Die nicht bepfandeten PET Verpackungen werden mit der gemischten Wertstoffsammlung erfasst und in zumeist mechanischen Sortieranlagen zuerst in einzelne Materialströme und dann in die sogenannten Sortierfraktionen sortiert. Für PET gibt es ver-

Das Erfassungssystem hat einen Einfluss auf die Verwertung der PET Produkte

schiedene Sortierfraktionen: am häufigsten werden (so Aussage Grüner Punkt) die Misch PET 90/10 Fraktion und die Misch PET 70/30 Fraktion bedient. Tabelle 5.2 gibt eine Übersicht über alle vorhandenen Fraktionen.

Das Material in diesen Fraktionen kann aus technischer Sicht genauso recycelt werden wie das Material aus der Getrenntsammlung, jedoch verhindert die 5% EFSA Regelung, dass von dem Material große Mengen in das lebensmitteltaugliche Regranulat aufbereitet wird. De facto ist es sogar so, dass Bestrebungen zur Sicherung der Qualität der PET Regranulate für Lebensmittelverpackungen wie bspw. die RAL Gütegemeinschaft Wertstoff PET, in ihren Gütekriterien die Verwendung von PET Material aus der Gemischsammlung komplett ausschließen, um eine ungewollte Restkontamination mit Stoffen, die evtl. aus den Nicht-Lebensmittelverpackungen in das Material migriert sein könnten, sicher auszuschließen.

Es fällt auf, dass es keine eigenständige PET Folienfraktion gibt, sondern dass diese Anwendungen nur in Verbindung mit PET Flaschen verwertet werden.

Tabelle 5.2: Übersicht über versch. PET Sortierfraktionen der Wertstoffsammlung

Sortierfraktion	PET - FLASCHEN, TRANSPARENT	Misch – PET 90 / 10	Misch – PET 70/30	Misch – PET 50/50
Spezifikation/Beschreibung	Gebrauchte, restentleerte, formstabile, systemverträgliche Verpackungen aus Polyethylenterephthalat (PET), Volumen ≤ 5 Liter z. B. Getränke-, Waschmittel- und Haushaltsreinigerflaschen, inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw.	Gebrauchte, restentleerte, formstabile, systemverträgliche Verpackungen aus Polyethylenterephthalat (PET), Volumen ≤ 5 Liter in der Zusammensetzung 1. Flaschen transparent, z. B. Spülmittelflaschen, Getränkeflaschen 2. sonstige formstabile PET-Verpackungen, z. B. Becher, Schalen Klar, bunt, opak inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw.	Gebrauchte, restentleerte, formstabile, systemverträgliche Verpackungen aus Polyethylenterephthalat (PET), Volumen ≤ 5 Liter in der Zusammensetzung 1. Flaschen transparent, z. B. Spülmittelflaschen, Getränkeflaschen 2. sonstige formstabile PET-Verpackungen, z. B. Becher, Schalen Klar, bunt, opak inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw.	Gebrauchte, restentleerte, formstabile, systemverträgliche Verpackungen aus Polyethylenterephthalat (PET), Volumen ≤ 5 Liter in der Zusammensetzung 1. Flaschen transparent, z. B. Spülmittelflaschen, Getränkeflaschen 2. sonstige formstabile PET-Verpackungen, z. B. Becher, Schalen Klar, bunt, opak inkl. Nebenbestandteilen wie Verschlüsse, Etiketten usw.
Reinheit	Mindestens 98 Masse-% gemäß Spezifikation/Beschreibung	Mindestens 90% PET – Flaschen, transparent Maximal 10% sonstige, formstabile Verpackungen aus PET Masse-% gemäß Spezifikation/Beschreibung	Mindestens 70% PET – Flaschen, transparent Maximal 30% sonstige, formstabile Verpackungen aus PET Masse-% gemäß Spezifikation/Beschreibung	Mindestens 50% PET – Flaschen, transparent Maximal 50% sonstige, formstabile Verpackungen aus PET Masse-% gemäß Spezifikation/Beschreibung
Maximaler Gesamtstörfstoffanteil	2 Masse-% Metallische und mineralische Störstoffe mit einem Stückgewicht > 100 g dürfen nicht enthalten sein!	2 Masse-% Metallische und mineralische Störstoffe mit einem Stückgewicht > 100 g dürfen nicht enthalten sein!	2 Masse-% Metallische und mineralische Störstoffe mit einem Stückgewicht > 100 g dürfen nicht enthalten sein!	2 Masse-% Metallische und mineralische Störstoffe mit einem Stückgewicht > 100 g dürfen nicht enthalten sein!

5.2 Mengenstrom primäres und recyceltes PET in Deutschland

Im folgenden Kapitel sollen nun die bisher präsentierten Informationen zum Marktaufkommen der verschiedenen PET Produkte in Deutschland mit den Daten zu den Verwer-

tungswegen, unter Berücksichtigung der technischen Recyclingmöglichkeiten, zu einem generischen Mengenstrommodell verwoben werden. Ziel ist es darzustellen, in welche Anwendungen primäres PET fließt, wo die R-PET Mengen herkommen und in welche Anwendungen diese abfließen.

Die Ableitung dieses generischen Mengenstrommodells bedarf verschiedener Daten, Annahmen und Berechnungen, die im Folgenden zur Erhöhung der Transparenz kurz und übersichtlich zusammengestellt werden sollen.

Ausgewertete Studien und Informationen:

- „Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015“ erarbeitet von Consultic Marketing und Industrieberatung GmbH Alzenau „Aufkommen und Verwertung von PET Getränkeflaschen in Deutschland 2015“ erarbeitet von der GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH, Mainz Informationen zur Marktmasse weiterer PET Verpackungen aus dem Hause GVM **Grundlagendaten**
- PET Sortierspezifikationen (90/10 und 70/30) aus dem Hause Grüner Punkt

Gegeben sind somit die folgenden Parameter:

- Einsatz PET in Deutschland in [Consultic 2016]: 660 kt, davon 642 kt für Verpackungen. Es wird angenommen, dass es sich bei dieser Zahl vornehmlich um PET Neuware handelt, da sonst die Zahlen aus der GVM Studie nicht korrelieren. **Gegebene Parameter**
- Marktmenge PET Getränkeverpackungen (ohne Milch) in Deutschland in [GVM 2016]: 477 kt
- Verfügbare PET Rezyklate in Deutschland aus bepfandeten und nicht bepfandeten PET Getränkeflaschen (inkl. PET Mehrweg) in [GVM 2016]: 356,4 kt inkl. Angabe der Anwendungsfelder der Rezyklate:
 - Formstabile Verpackungen/ Hohlkörper: 121 kt
 - Halbstarre Folien: 96 kt
 - Umreifungsbänder (angegeben als sonstiges): 58 kt
 - Fasern: 81 kt

Seitens der GVM wurden die folgenden Informationen zur Marktmasse weitere PET Verpackungen zur Verfügung gestellt:

- Weitere Hohlkörper (Milch, Öle, Fette, Saucen und Non-Food): 55 kt **Ergänzende Informationen seitens GVM**
- Halbstarre Folien 200 kt
- Umreifungsbänder 80 kt
- PET Verbundfolien: 100 kt

Seitens Grüner Punkt wurden die folgenden Informationen zur Verwendung der PET Fraktionen aus der Wertstoffsammlung zur Verfügung gestellt:

- von der PET 90/10 Fraktion werden ca. 45 % für die Flaschen-/Tiefziehschalenindustrie aufbereitet. **Ergänzende Informationen seitens Grüner Punkt**

- max. 5% des Materials für Lebensmittelkontaktrezyklate darf aus Non-Food Anwendungen stammen¹.
- Die restlichen 55% der 90/10 Fraktion werden für textile Anwendungen (Kleidung, Baubereich, etc.) verarbeitet.
- Die PET 70/30 Fraktion wird zum Großteil für textile Anwendungen aufbereitet (da Fasermaterial in der Regel durchgefärbt wird und somit besser ggf. schwierige Materialqualitäten aufnehmen kann).

Folgende Annahmen hinsichtlich der Verwertung der Nicht-Getränkeverpackungen aus PET werden getroffen:

- Für die Nicht-Getränkeflaschen aus PET wird eine gleiche Sammelquote angenommen wie die, welche sich aus den Zahlen in GVM 2016 für die nicht bepfandeten PET Getränkeflaschen berechnen lässt: 65,3 %. Diese Annahme ist sicherlich optimistisch aber in Ermangelung anderer konkreter Informationen alternativlos.

Getroffene Annahmen

-> Somit bleiben 35,9 kt PET zur weiteren Verwertung aus PET Nicht-Getränkeflaschen.

- Diese wird in 90/10 und 70/30 Fraktion sortiert und entsprechend verwertet. Die Größenordnungen der 90/10 und 70/30 Fraktionen wird wie folgt rechnerisch bestimmt:
 - 5% der lebensmitteltauglichen Rezyklate aus der Sammlung der Getränkeflaschen darf mit Nicht-Getränkeflaschen versetzt werden. Das Modell geht davon aus, dass diese Summe an Material auch komplett eingesetzt wird. Dies umfasst die 121,1 kt der bottle-to-bottle Fraktion sowie die 96,4 kt aus dem Recycling zu Folienmaterial und entspricht somit max. 10,88 kt an PET als Zuschlag aus Nicht-Getränkeflaschen.
 - Da nur 45% der 90/10 Fraktion im bottle-to-bottle Verfahren aufbereitet wird, ergibt sich eine Gesamtfractionsmenge von 24,17 kt, wovon 21,75 kt Flaschen sind.
 - Ergo bleiben aus der Fraktion der gesammelten Nicht-Getränkeflaschen aus PET (35,9 kt siehe oben) noch 14,19 kt übrig, die entsprechend der Sortierspezifikation mit PET Folien „aufgefüllt“ werden können.
 - Somit umfasst die 70/30 Fraktion weitere 20,27 kt.

-> De facto werden also zusammen mit den Nicht-Getränkeflaschen 8,5 kt PET Folien verwertet.

- Eine weitere Verwertung von PET Folien findet auch noch mit den nicht bepfandeten PET Einwegflaschen statt. Hier können im Idealfall 15,8 kt Folien zu Fasern verwertet werden, wenn hilfsweise (und positiv für die Folienfraktion) angenommen wird, dass alle nicht bepfandeten PET Einwegflaschen in eine 70/30 Fraktion sortiert werden.

Anmerkung: Es handelt sich hier um eine Hilfsrechnung. Nicht bepfandete PET Getränkeflaschen und PET Nicht-Getränkeflaschen werden zusammen über die Wertstoffsammlung entsorgt. Die Größenordnung der 90/10 Fraktion lässt sich wie oben beschrieben rechnerisch bestimmen. Sicherlich finden in der Praxis auch nicht bepfandete PET Getränkeflaschen Eingang in die 90/10 Fraktion, was jedoch für die rechnerischen Ergebnisse der hier durchgeführte PET Massenbilanz ohne weiteren Belang ist.

¹ Was eine recht optimistische Annahme ist, da sie zwar den gesetzlichen Regelungen entspricht, in der Praxis so aber nicht immer durchgeführt wird. Es wird im Rahmen der Mengenstrombilanzierung aber angenommen, dass diese Mengen bevorzugt in Hohlkörper für Nicht-Lebensmittelanwendungen fließen.

- Insgesamt werden somit 24,27 kt der Folienfraktion weiter als R-PET verarbeitet. Vornehmlich jedoch im Fasermarkt.
- Die Gesamtmenge an PET Rezyklaten aus Nicht-Getränkeverpackungen beträgt somit 60,2 kt. Davon:
 - 6,1 kt zur Verwendung in formstabilen Verpackungen
 - 4,8 kt in Folien
 - Und 49,3 kt in Fasern/ Umreifungsbändern

Die Aufstellung des Massenstroms erfolgt nun durch Zuordnung.

- Startpunkt sind die aus GVM 2016 und der GVM Abschätzung bekannten Marktmengen an formstabilen Verpackungen, PET Folien, Umreifungsbändern und PET Verbundfolien.
- Diesen vier Segmenten werden nun die abgeleiteten Recyclingmengen aus Getränkeflaschen (gegeben in GVM 2016) und den Nicht-Getränkeflaschen (errechnet) zugeordnet.
- Durch Differenzbildung werden die Anteile von primärem PET ermittelt und mit der Zahl aus Consultic 2016 ins Verhältnis gesetzt.
- Der Anteil an Nicht-Verpackungs PET aus Consultic 2016 wird dem Fasermarkt zugeschlagen.
- Der verbleibende Rest bildet eine neue, nicht weiter spezifizierte Fraktion mit dem Namen „Bilanzreste“. Diese Fraktion „sammelt“ all die Anwendungen ein, die nicht unter den anderen 5 zu fassen sind.
- Für die Produktfraktionen PET als Teil sonstiger Verpackungen und Fasern und Füllstoffe kann keine detaillierte Marktmenge angegeben werden.

Der Gesamt mengenstrom ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

Verarbeitung der Erkenntnisse zum Massenstrommodell

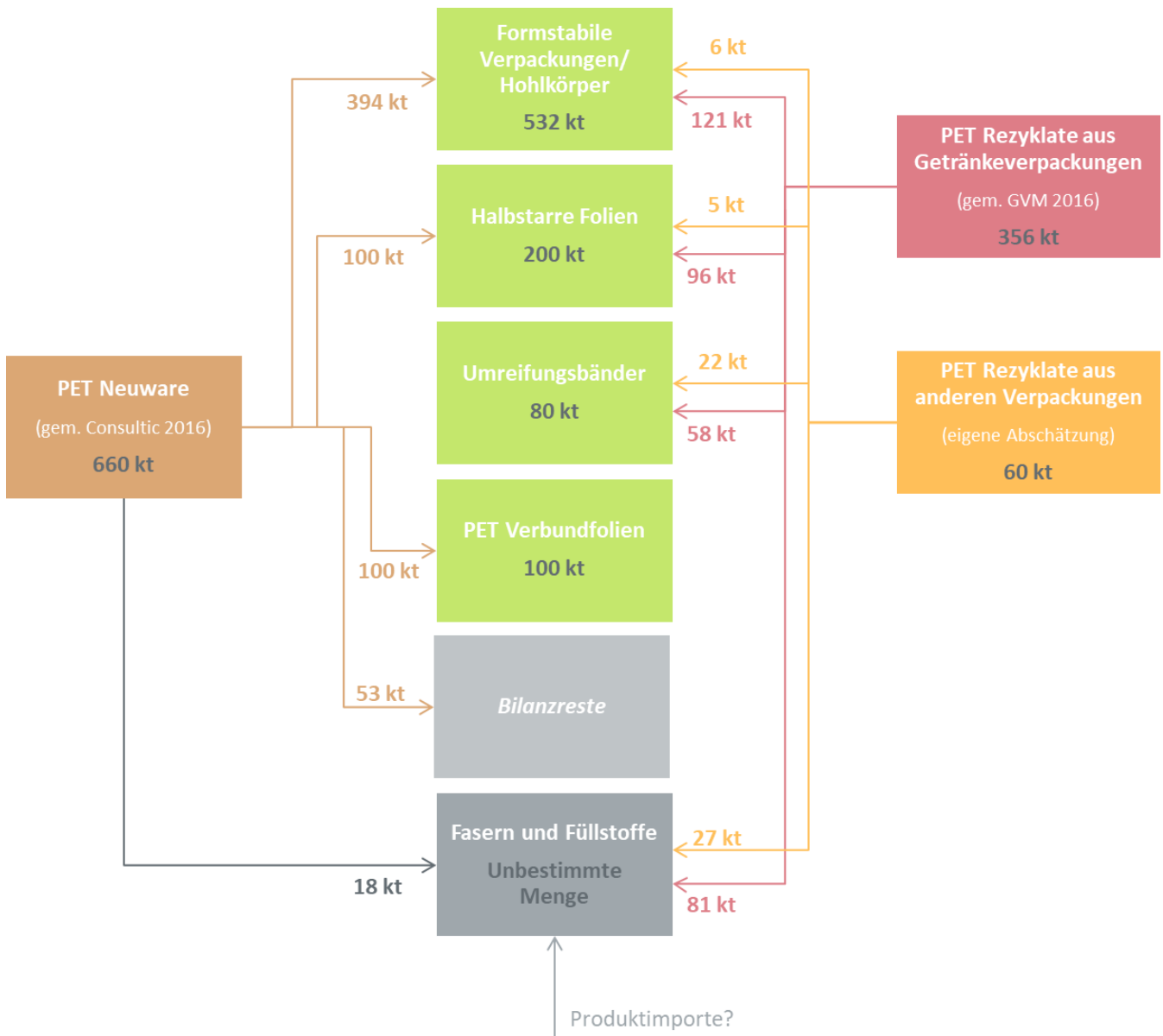


Abbildung 5.1: Mengenstrom primäres und recyceltes PET in Deutschland

Aus der Betrachtung des Mengenstrommodells lassen sich die folgenden Aussagen ableiten:

Erkenntnisse aus dem Mengenstrommodell

- Der Gesamtmarkt an PET in Deutschland beträgt mindestens 1.076.000 Tonnen. Dazu kommen noch die Mengen an Material der Gruppe Fasern und Füllstoffe, die als Produkt nach Deutschland importiert werden.
- Die Gruppe formstabile Verpackungen/Hohlkörper bestimmt 50% des deutschen PET Marktes.
- Der weitaus größte Anteil von PET Rezyklaten entstammt dem Recycling von Getränkeflaschen (86%) – jedoch finden nur 34% dieser Rezyklate den Weg zurück in die Getränkeverpackungen. Die restlichen Mengen werden von anderen Produktgruppen aufgenommen, allen voran halbstarre Folien sowie Fasern und Füllstoffe.

- Neben den PET Getränkeflaschen trägt nur noch die Gruppe der halbstarren Folien zur Menge an PET Rezyklaten bei, dies jedoch auch nur in geringem Umfang.
- Die „Materialausbeute“ von der PET Verpackung zum PET Regranulat beträgt bei der Gruppe der Getränkeflaschen 67%, bei der Gruppe der halbstarren Folien nur 30%.
- Die Rezyklateinsatzquoten der untersuchten Anwendungsfelder von PET unterscheiden sich deutlich:
 - Formstabile Verpackungen/Hohlkörper: 26%
 - Halbstarre Folien: 50%
 - Umreifungsbänder: 100%
 - PET Verbundfolien: 0%
 - Fasern und Füllstoffe: 86% (Achtung: Produktimporte nicht berücksichtigt)
 - SUMME: 39%

Dieses Bild lässt die Schlussfolgerung zu, dass der aktuelle Stofffluss von PET in Deutschland eine Kaskade ist, aber kein Kreislauf. Das aus den PET Getränkeflaschen gewonnene Sekundärmaterial geht mehrheitlich in andere Anwendungen mit einer deutlich geringeren bzw. schlicht nicht vorhandenen Verwertungswahrscheinlichkeit, im Sinne einer material-spezifischen Aufbereitung. Somit geht ein Großteil des Sekundärmaterials nach nur einer einzigen Weiternutzungsstufe verloren.

Schlussfolgerung

- Material aus einer PET Einwegflasche zum Wiedereinsatz in der Flasche (Bottle-to-Bottle) steht mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit (Erfassungsquote von 98%) einer weiteren Anwendung zur Verfügung. Rein technisch ist das Mehrfachrecycling nur durch die Anreicherung von Additiven im PET beschränkt.
- Material aus einer PET Einwegflasche zum Wiedereinsatz in einer halbstarren Folie hat bereits eine deutlich reduzierte Wahrscheinlichkeit in einen weiteren Produktlebenszyklus einzutreten (30%).
- Material aus einer PET Einwegflasche zum Wiedereinsatz in den Anwendungsfeldern Umreifungsband oder Fasern und Füllstoffe jedoch, wird mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit, wenn überhaupt, nur noch thermisch verwertet und ist somit für den Kreislauf verloren.

Um eine ressourcenoptimierte Verwendung des Werkstoffe PET zu erreichen gilt es daher:

Zukünftige Herausforderungen

- den Bedarf an Primärmaterial zu reduzieren,
- die Materialkreisläufe nachhaltig zu schließen,
- und die Austräge des Materials aus dem Kreislauf so gering wie möglich zu halten.

Diese Schritte werden sich nicht nur mit einer Umlenkung der Sekundärmaterialflüsse erreichen lassen, da das Material dann an anderer Stelle fehlt und ggf. durch primäres PET substituiert wird. Vielmehr gilt es daher ein Bewusstsein dafür zu entwickeln wo PET als Werkstoff aufgrund seiner Materialeigenschaften gebraucht wird und wo es nur wegen seiner Verfügbarkeit und seiner preislichen Attraktivität eingesetzt wird.

Dort wo PET als Material alternativlos ist, sollte die Materialeffizienz erhöht werden, bspw. durch Mehrweganwendungen oder besonders enge Kreislaufführungen. Beim PET Recycling ist darauf zu achten, dass keine Verunreinigungen des Materialpools durch die Vermischung von PET mit anderen Kunststoffen (PA-Blends oder Multilayer) oder die Anreiche-

rung von Additiven stattfinden und somit langfristig die Sicherheit und Qualität des Materialpools korrumpieren.

Dort wo PET aufgrund seiner preislichen Attraktivität eingesetzt wird, gilt es alternative Lösungen zu finden, die eine mindestens gleichwertige Umweltbilanz aufweisen. Die in diesem Bericht aufbereiteten Informationen zeigen, dass dies durchaus im Rahmen des Möglichen liegt (z.B. Klappdeckelschalen).

Das neue Verpackungsgesetz hat derzeit zwei Hebel, die langfristig dazu geeignet erscheinen den Stoffstrom von primärem und sekundärem PET zu lenken. Im Folgenden soll kurz andiskutiert werden ob die Maßnahmen den Materialfluss auch in die gewünschte Richtung lenken.

Hilft das neue Verpackungsgesetz?

§21 Verpackungsgesetz (Ökologische Gestaltung der Beteiligungsentgelte)

Der §21 des am 1. Januar 2019 in Kraft tretenden Verpackungsgesetzes verpflichtet die Dualen Systeme bei der Bemessung der Beteiligungsentgelte Anreize zu schaffen, um bei der Herstellung von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen (...) die Verwendung von Rezyklaten (...) zu fördern. Dies bedeutet, dass PET Verpackungen die über die Wertstoffsammlung erfasst und entsprechend verwertet werden, günstigere Lizenzgebühren zu entrichten hätten, wenn sie ganz oder teilweise aus R-PET hergestellt wären.

Es fehlt an dieser Stelle jedoch die Kontrolle für die ökologische Gestaltung der Beteiligungsentgelte. Es gibt diesbezüglich aktuell keine Vorgaben oder Kriterien. Die Aufstellung des Mengenstroms zeigt zudem, dass die Mehrzahl der PET Rezyklate nicht aus der Verwertung der Gemischtsammlung, sondern aus der Verwertung der Getrenntsammlung kommt. Die Verpackungen der Getrenntsammlung (Pfandsystem) sind jedoch nicht im Geltungsbereich des §21, es fehlt somit die Anreizwirkung das Rezyklat in dem System einzusetzen, in dem auch die hohen Verwertungsquoten erreicht werden können. Die aktuelle Regelung stützt demnach die Kaskade mit den hohen Materialverlusten nach der zweiten Nutzung und unterbindet die Kreislaufführung des Materials im DPG Flaschenkreislauf.

Mit den Regelungen des §21 wird die aktuelle Situation der PET Kaskade somit eher noch weiter zementiert und langfristig festgeschrieben.

§1 Abs.3 Verpackungsgesetz (Mehrwegquote) und §32 Verpackungsgesetz (Hinweispflichten)

Das neue Verpackungsgesetz verbindet erstmalig eine „Appellative Mehrwegquote“ in Höhe von 70 Prozent mit einer Verpflichtung des Einzelhandels zu einer gut sichtbaren Regalkennzeichnung zur besseren Unterscheidung von Einweg- und Mehrwegflaschen.

Beide Maßnahmen zielen darauf, den Anteil von Mehrwegverpackungen für Getränke zu stärken. Sollten die Maßnahmen zum Erfolg führen, würden sicherlich auch die PET Mehrwegflaschen davon profitieren. Im Rahmen des Gesetzes sind jedoch keine Sanktionsinstrumente vorgesehen die greifen wenn die Mehrwegquote verfehlt wird (daher ist sie ja auch nur „Appellativ“). Somit bleibt das Instrument sehr weich. Auch die Hinweispflicht im Einzelhandel ist vor dem Hintergrund, dass viele Verbraucher scheinbar verunsichert sind, was Einweg- und was Mehrwegflaschen sind, definitiv zu begrüßen. Leider löst die Hinweispflicht nicht das Problem, dass verschiedene, für den Vertrieb von Getränken sehr relevante Vertriebskanäle (bspw. Discount) keine Mehrwegflaschen anbieten. Auch wird

das Problem der vielen individualisierten Mehrwegsysteme mit zum Teil deutlich abweichenden Werten hinsichtlich der ergebnisrelevanten Parameter wie Umlaufzahl und Distributionsentfernung außer Acht gelassen und pauschalisiert somit die Bewertung von Mehrweggebinden.

Insofern sind die Regelungen des §1 Abs. 3 und des §32 wohlmeinende Absichten, die informationswilligen Verbrauchern eine Orientierungshilfe sein können, jedoch aktuell keine starken Instrumente im Sinne einer ökologisch motivierten Stoffstromlenkung sind.

Das neue Verpackungsgesetz enthält bereits Ansätze zur Stützung der Mehrwegsysteme, was eine Reduktion des Materialeinsatzes bedingt, sowie die Förderung des Einsatzes von Rezyklaten. Doch wie bereits ausgeführt, greifen die Instrumente aktuell womöglich zu kurz (Mehrwegquote) bzw. lassen wesentliche Bereiche des Anwendungsfeldes von PET außen vor (§21). Im Folgenden sollen daher kurz und stichwortartig weitergehende Lösungsmöglichkeiten skizziert werden, die für den gesamten Verpackungsmarkt eine Lenkungswirkung hinsichtlich einer umweltfreundlicheren Materialnutzung entfalten sollen:

Lösungsmöglichkeiten

- **Finanzielle Anreizinstrumente für die Verwendung umweltfreundlicher Materialien (Kohlenstoffsteuer)**

Die Verwendung von PET Rezyklaten ist - ebenso wie die Verwendung von biobasiertem PET (solange die Agrarrohstoffe aus zertifiziert nachhaltigem Anbau stammen) – aus Umweltgesichtspunkten der Nutzung von primärem fossilem PET vorzuziehen. Eine finanzielle Förderung dieser Materialien gegenüber dem fossilen Äquivalent – wie sie auch in §21 des VerpackG festgeschrieben ist – erscheint daher sinnvoll, sollte jedoch auf den gesamten Verpackungsmarkt ausgerollt werden.

Es bietet sich daher eine Steuer auf Verpackungsmaterialien an, die deren Anteil an primären fossilen Kohlenstoffen in den Fokus nimmt. Dadurch würden biobasierte Materialien und Rezyklate deutlich besser gestellt als fossil basierte Neuware. Diese Steuer muss für den gesamten Verpackungssektor gelten und sollte sinnvollerweise additiv zu aktuellen Regelungen des Einwegpfandsystem erhoben werden, um die hohen Rücklaufquoten nicht gefährden. Die aktuellen ambitionierten Ziele hinsichtlich der Verwertung von Kunststoffverpackungen sollten ebenso erhalten bleiben, um den Anreiz für das „Design for Recycling“ zu erhalten.

- **ÖO-Quote additiv zur Mehrwegquote**

Hoch optimierte PET Einweggetränkeflaschen zeigen bereits heute in der Umweltbewertung Ergebnisse, die sich in wichtigen Umweltkenngößen wie dem Klimawandel durchaus auf dem Niveau typischer Mehrwegflaschen (auch aus PET) bewegen können. Es wäre daher wünschenswert, wenn im VerpackG additiv zur Mehrwegquote auch eine Zielquote für eben jene Gebinde definiert wäre. Über eine genaue Verteilung der Zielquoten zwischen Mehrweg- und ökologisch optimierte Einwegverpackungen wäre zu diskutieren.

Im VerpackG wären dann Mindestanforderungen hinsichtlich der ergebnisrelevanten Parameter der Einweggebinde wie: Höchstgewichte, Mindestrezyklatgehalte sowie Distributionsentfernungen zu definieren. Diese Parameter sollten anhand von Ökobilanzen identifiziert und in Diskussion mit allen Akteuren der Wertschöpfungskette festgelegt sowie sinnvollerweise turnusmäßig verschärft werden.

In diesem Zuge könnten auch Mindestanforderungen an die Mehrwegsysteme definiert werden, um auch in diesem Sektor der Getränkeverpackungen den aus ökobilanzieller Sicht ungünstigen Entwicklungen wie fortschreitende Individualisierungstendenzen bei gleichzeitigem Anstieg der Distributionsentfernungen zu begegnen.

Die Quoten für Mehrweg und ökologisch optimierte Einweggetränkeverpackungen soll-

ten für den Beginn ambitioniert aber realistisch gewählt werden und einer zukünftigen Progression mit dem Ziel von 100% in der Summe unterliegen.

- Bestimmungen der RAL Gütegemeinschaft Wertstoff PET als beste verfügbare Technik für PET Einwegflaschen interpretieren.

Mit der RAL Gütegemeinschaft Wertstoff PET haben sich die beteiligten Akteure der Wertschöpfungskette PET Einwegflasche ein Regelwerk mit Mindeststandards hinsichtlich des Einsatzes von PET Rezyklaten gegeben. Diese Standards wurden aus der Industrie heraus entwickelt und reflektieren somit das, was heute schon realistisch umsetzbar ist. Insofern können diese Gütekriterien als beste verfügbare Technik bewertet werden und sollten somit mittelfristig der Mindeststandard für alle PET Einweggetränkeverpackungen in Deutschland bzw. sogar in Europa werden.

Die hier vorgeschlagenen Lösungsmöglichkeiten nehmen alle vorerst nur das Anwendungsfeld PET in den Blick. Es ist insbesondere bei den ordnungsrechtlichen Instrumenten kritisch und detailliert zu prüfen ob und wie die notwendige Übertragbarkeit auf andere Systeme und weitere Materialgruppen möglich sein kann.

Weiterhin ist zu überprüfen ob und wie die hier skizzierten Ideen in eine Diskussion zur Weiterentwicklung des Verpackungsgesetzes im Jahr 2021 eingebracht werden können. An dieser Stelle gilt es die Ideen ggf. weiter auszuarbeiten und Interessensallianzen zu bilden.

6 Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Studie wurde das Thema PET und PET Verpackungen sowie Materialbedarf und Rezyklatverfügbarkeit umfassend beleuchtet. Dabei wurden die vielen Facetten des Themas umfassend analysiert und dokumentiert. An dieser Stelle sollen die wesentlichen Kernaussagen in kompakter Form zusammengefasst werden:

- PET hat gute Material- und Verarbeitungseigenschaften, die sich aus seiner molekularen Struktur langer, in sich verwobener Polymerketten ergibt. Damit ist es der ideale Werkstoff für anspruchsvolle Verpackungen, die in ihrem Produktionsprozess wiederholten thermischen Belastungen ausgesetzt sind. Neben diesen guten Verarbeitungseigenschaften hat es auch gegenüber anderen Standardkunststoffen den Vorteil glasklar verarbeitbar zu sein und ist obendrein auch noch vergleichsweise preisgünstig. Von daher wundert es nicht, dass der Verbrauch an PET als Werkstoff für Verpackungen zunimmt (um 6,5% gegenüber 2013) und schon 15% aller Kunststoffverpackungen in Deutschland im Jahr 2015 PET Verpackungen sind. Aufgrund der Barriereigenschaften von PET eignet es sich nur vor allem für „mittelanspruchsvolle“ Füllgüter. Steht ein höherer Schutz des Füllgutes im Fokus, muss PET entweder um weitere Barrierschichten oder Additive ergänzt werden, was die Recyclingfähigkeit beeinflusst. Oder es müssen Abstriche bei der Mindesthaltbarkeit in Kauf genommen werden. Doch die Verwendung von PET als Verpackungsmaterial ist lediglich bei den formstabilen Verpackungen durch die Materialeigenschaften des PET intendiert. Bei allen anderen Anwendungen spielen womöglich Preis und Materialverfügbarkeit eine deutlich stärkere Rolle.
- PET Mehrweg ist für Mineralwässer und Süßgetränke in vielen Aspekten die umweltseitig beste Lösung. Wenn die Umlaufzahlen entsprechend hoch sind und die Logistikaufwendungen nicht „aus dem Ruder laufen“. Doch auch entsprechend optimierte PET Einwegflaschen, die teilweise schon heute im Handel stehen – aber nicht als solche erkennbar werden - können eine gute Umweltbewertung erzielen. Generell ist PET als Werkstoff für Verpackungen nie gänzlich alternativlos. Im direkten Vergleich mit möglichen Alternativen zeigt sich, dass in nahezu allen Fällen Vorteile aber auch Nachteile für die Produkte aus PET existieren. Letztendlich entscheidet die individuelle Wichtung der Parameter seitens der Inverkehrbringer und der nachgeschalteten Akteure in der Wertschöpfungskette und schlussendlich auch der Verbraucher.
- Der Gesamtmarkt an PET in Deutschland beträgt mindestens 1.076.000 Tonnen. Davon sind 660.000 Tonnen primäres PET, der Rest ist Sekundärmaterial. Dazu kommen noch die Mengen an Material der Gruppe Fasern und Füllstoffe, die als Produkt nach Deutschland importiert werden. Hauptanwendungsfeld von PET in Deutschland sind formstabile Verpackungen /Hohlkörper (50% der Marktmenge).
- In Deutschland hat sich eine Verwertungsstruktur für PET etabliert, die große Mengen an qualitativ hochwertigen Rezyklaten produziert, welche – je nach verwendeter Technik - die gesetzlichen Anforderungen an ein Lebensmittelkontaktmaterial erfüllen. Der weitaus größte Anteil von PET Rezyklaten entstammt dem Recycling von Getränkeflaschen (86%) – jedoch finden nur 34% dieser Rezyklate den Weg zurück in die Getränk-

Die Materialeigenschaften von PET prädestinieren es für Verpackungen

Es gibt für alle Anwendungen Alternativen

Der Gesamtmarkt PET in Deutschland ist über 1 Mio. Tonnen groß

keverpackungen. Die restlichen Mengen werden von anderen Produktgruppen aufgenommen, allen voran halbstarre Folien sowie Fasern und Füllstoffe.

Doch das bis hierhin durchaus positive Bild wird somit ein wenig getrübt durch die aktuell nicht optimale Verwendung des sekundären PET Materials. Denn der aktuelle Stofffluss von PET in Deutschland ist eine Kaskade aber kein Kreislauf. Das aus der PET Getränkeflaschen gewonnene Sekundärmaterial geht mehrheitlich in andere Anwendungen mit einer deutlich geringeren bzw. schlicht nicht vorhandenen Verwertungswahrscheinlichkeit im Sinne einer materialspezifischen Aufbereitung. Somit geht ein Großteil des Sekundärmaterials nach nur einer einzigen Weiternutzungsstufe verloren.

Der Kreislauf ist noch nicht geschlossen

Um eine ressourcenoptimierte Verwendung des Werkstoffe PET zu erreichen gilt es:

- den Bedarf an Primärmaterial zu reduzieren,
- die Materialkreisläufe nachhaltig zu schließen,
- und die Austräge des Materials aus dem Kreislauf so gering wie möglich zu halten.

Diese Schritte werden sich nicht nur mit einer Umlenkung der Sekundärmaterialflüsse erreichen lassen, da das Material dann an anderer Stelle fehlt und ggf. durch primäres PET substituiert wird. Vielmehr gilt es daher ein Bewusstsein dafür zu entwickeln wo PET als Werkstoff aufgrund seiner Materialeigenschaften gebraucht wird und wo es nur wegen seiner Verfügbarkeit und seiner preislichen Attraktivität eingesetzt wird.

Es lassen sich drei konkrete Handlungsfelder identifizieren, die positive Auswirkungen auf die umweltseitige Bewertung des PET Stoffstroms entfalten können:

Zukünftige Handlungsfelder

- Reduktion des Gesamtbedarfs an PET Material durch die Mehrfachnutzung von PET Verpackungen wo immer dies unter ökologischen Kriterien sinnvoll gestaltet werden kann (insbesondere bei Distributionen im regionalen Umfeld)
- Erhöhung des R-PET Einsatzes in den bepfandeten PET Getränkeflaschen (Getrenntsammlung) um die besonders enge Kreislaufführung zu stärken, die Materialausträge zu minimieren und somit die Möglichkeit für einen dritten und weitere Nutzungszyklen des Materials zu eröffnen. Ziel ist es, einen echten Materialkreislauf zu etablieren, in dem Neuware nur noch zur Deckung von Aufbereitungsverlusten und Materialbedarf wegen Marktwachstum verwendet wird
- Die Stärkung der hochwertigen PET Verwertung für Material aus der Gemischtsammlung um mit diesem Material mindestens in eine längerkettige Kaskade einsteigen zu können. Dafür braucht es PET Verwerter, die aktiv mit der – im Vergleich zur Pfandware - schlechteren Inputqualität umgehen und Produktanwendungen, die dieses Material trotz ggf. optischer Mängel aufnehmen, bzw. den optischen Mangel mit der verbesserten Umweltbewertung an den Kunden kommunizieren.
- Wenn sich die Marktmenge der halbstarren PET Folien weiterhin auf dem aktuellen Niveau von 200.000 Tonnen bewegt, sollte über eine fokussierte Verwertung von PET Folien über die bestehenden Sortierfraktionen hinaus nachgedacht werden um dieses Materialpotenzial langfristig in der Nutzungskaskade zu halten.

Ideen das Material aus dem Faser- und Füllstoffbereich wieder einem stofflichen Recycling zuzuführen scheitern vmtl. an der Zugänglichkeit der Abfallfraktion, da diese Produkte in der Regel nicht über die Wertstoffsammlung erfasst werden. Der Markt der Umreifungsbänder ist zu kleinteilig und die Sammelfraktion zu heterogen in der Kunststoffzusammensetzung, als dass ein auf PET fokussiertes Recycling etablierbar wäre. Das Recycling von PET Verbundfolien scheitert aktuell schlicht an den fehlenden technischen Lösungsmög-

lichkeiten. Insofern bleibt für diese Bereiche nur die Prüfung, ob es anwendungsspezifische oder materialbezogene Alternativen gibt, die eine bessere Umweltbewertung erzielen.

Die politischen und gesetzlichen Regelungen des ab dem 1. Januar 2019 in Kraft tretenden Verpackungsgesetzes, enthalten leider wenige wirklich hilfreiche Ansätze um eine Kreislaufführung des Materials langfristig in Gang zu setzen.

Eine Weiterentwicklung und Verschärfung der bestehenden Regelungen und Instrumente wie bspw. der Umbau der Mehrwegquote in ein Zielregime für ökologisch optimierte Verpackungen, sowie die Implementierung weiterer Regelungen wie bspw. einer „Kohlenstoffsteuer“ auf den Ersteinsatz fossiler Kohlenstoffverbindungen mit dem Ziel Rezyklate und biobasierte Materialien zu fördern, erscheint daher notwendig und erstrebenswert.

Dem NABU Bundesverband sei an dieser Stelle daher empfohlen die oben skizzierten und ggf. weitere, eigene Maßnahmen zur Lenkung des Stoffstroms zu diskutieren und zu überprüfen. Insbesondere der Aspekt der Materialsubstitution mit primärem PET, wenn Sekundärmaterial für engere Kreislaufführungen „abgezogen“ wird, bedarf einer tiefergehenden Untersuchung, da mit diesem Argument von involvierten Kreisen oftmals für die Kaskadennutzung geworben wird.

Literaturverzeichnis

- [Deloitte 2014] Umlaufzahlen und Transportentfernungen in der Getränkeindustrie Studie im Auftrag der Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie e.V. (BVE) und des Handelsverbands Deutschland e.V. (HDE), Berlin 2014
- [GVM 2015] GVM :Aufkommen und Verwertung von PET-Getränkeflaschen in Deutschland 2015. Mainz 2016
- [Forum PET 2016] Infobroschüre Forum PET, Internet Link (Download am 28.3.2017): http://www.forum-pet.de/rs/d/PET_Brosch%C3%BCre.pdf
- [ifeu 2004a] Detzel, A. Böß, A.: Ökobilanzieller Vergleich von Getränkekartons und Glas-Mehrwegflaschen. Im Auftrag des FKN, Wiesbaden. IFEU-Heidelberg, 2004
- [ifeu 2004b]: Andreas Detzel et al. (IFEU): Ökobilanz PET-Einwegverpackungen und sekundäre Verwertungsprodukte. Im Auftrag von PETCORE, Brüssel. IFEU-Heidelberg, August 2004.
- [ifeu 2006a] Andreas Detzel, Andreas Böß: Ökobilanzieller Vergleich von Getränkekartons und PET-Einwegflaschen. Im Auftrag des FKN, Wiesbaden. IFEU-Heidelberg, August 2006
- [ifeu 2006b] Andreas Detzel, Martina Krüger: Life Cycle Assessment of POLYLACTIDE (PLA) A comparison of food packaging made from NatureWorks® PLA and alternative materials
- [ifeu 2010a] Benedikt kauertz, Andreas Detzel, Andrea Döhner: PET Ökobilanz 2010. Ökobilanzielle Untersuchung verschiedener Verpackungssysteme für kohlenensäurehaltige Mineralwässer und Erfrischungsgetränke sowie stille Mineralwässer. Im Auftrag der Industrievereinigung Kunststoffverpackungen. IFEU-Heidelberg, April 2010
- [ifeu 2010b] Martina Krüger, Stefanie Theis, Sybille Kunze, Andreas Detzel: Ökobilanzielle Untersuchung verschiedener Verpackungssysteme für Bier. Im Auftraggeber des europäischen Verbands der Dosenhersteller BCME (Beverage Can Makers Europe), Brüssel. IFEU-Heidelberg, April 2010
- [IVV 2011] Frank Welle, Roland Franz: Migration of antimony from poly(ethylene terephthalate) bottles into beverages, Internet Link (Download am 28.3.2017): [https://www.ivv.fraunhofer.de/content/dam/ivv/en/documents/Forschungsfelder/Produktsicherheit-und-analytik/Migration_of_antimony_from_poly\(ethylene_terephthalate\).pdf](https://www.ivv.fraunhofer.de/content/dam/ivv/en/documents/Forschungsfelder/Produktsicherheit-und-analytik/Migration_of_antimony_from_poly(ethylene_terephthalate).pdf)
- [RAL Wertstoff PET] Gütegemeinschaft Wertstoffkette PET-Getränkeverpackungen e. V.: Besondere Güte- und Prüfbestimmungen Recyclatherstellung, Internet Link

(Download am 17.05.2017): <http://wertstoff-pet.de/content/4-guete-und-pruefbestimmungen/gup-recyclatherstellung.pdf>

[UBA 2014] Nils Rettenmaier, Andreas Detzel, Heiko Keller, Benedikt Kauertz, Sven Gärtner, Joachim Reinhardt: Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse (UBA Texte 1-2014) Anlage: Lebenszyklusanalyse für ausgewählte bio-basierte Produkte Langfassung des AP 4-Berichts IFEU- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg 2014