



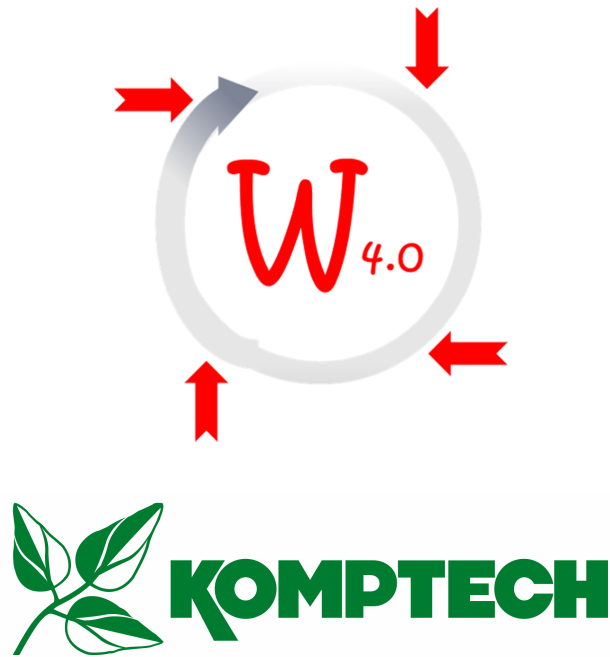
Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

Masterarbeit

Untersuchung der Kunststoffabfall-  
Stoffströme aus dem Verpackungsbereich  
inklusive Aufbereitungs- und  
Verwertungstechnologien in ausgewählten  
Ländern

Thomas Obwurzer, BSc.

September 2019



**Danksagung:**

Das Kompetenzzentrum Recycling and Recovery of Waste 4.0 - ReWaste4.0 - (860 884) wird im Rahmen von COMET – Competence Centers for Excellent Technologies durch BMVIT, BMDW, Land Steiermark gefördert. Das Programm COMET wird durch die FFG abgewickelt.



Competence Centers for  
Excellent Technologies



## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 12.09.2019

---

Unterschrift Verfasser/in  
Thomas Obwurzer, BSc  
Matrikelnummer: 1330497

**Vorgelegt von:**

Thomas Obwurzer, BSc

1330497

**Betreuer:**

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Roland Pomberger

Dipl.-Ing. Dr.mont. Renato Sarc

## DANKSAGUNG

Mit der vorliegenden Arbeit werde ich mein Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau abschließen und möchte mich an dieser Stelle bei einigen Personen bedanken, die mich dabei unterstützt haben.

Beginnen möchte ich bei der Firma Komptech GmbH, welche es mir ermöglichte, meine Masterarbeit in einem so interessanten Bereich durchführen zu können. Bei meinem firmenseitigen Betreuer, Herrn Ing. Christoph Feyerer, BSc, sowie Herrn Dr. Christian Oberwinkler bedanke ich mich für die Richtungsweisungen, die Hilfe bei schwierigen Thematiken und das abschließende Feedback. Ebenfalls bedanke ich mich bei meiner universitären Betreuerin, Frau Dipl.-Ing. Selina Möllnitz, und Herrn Dipl.-Ing. Dr. mont. Renato Sarc für die unkomplizierte Zusammenarbeit und die wichtigen Hilfestellungen beim Verfassen dieser Arbeit. Mein Dank gilt auch meinen Eltern Friedrich und Magdalena Obwurzer, welche mich in meiner Studienzeit in jeder Hinsicht unterstützt haben sowie meiner ehemaligen Freundin Michaela Penn, welche mir stets den Rücken gestärkt hat und bei arbeitsreichen Zeiten verständnis- und rücksichtsvoll war. Abschließend möchte ich mich bei meinen Kommilitonen von der „infinitesimal gscheid“-Gruppe für die entstandenen Freundschaften und die unvergesslichen Erfahrungen in den letzten sechs Jahren bedanken.

## **Kurzfassung**

### **Untersuchung der Kunststoffabfall-Stoffströme aus dem Verpackungsbereich inklusive Aufbereitungs- und Verwertungstechnologien in ausgewählten Ländern**

In den letzten Jahrzehnten hat sich der Einsatz von Kunststoff im Verpackungsbereich aufgrund seiner idealen Eigenschaften um ein Vielfaches erhöht. Diese Masterarbeit gibt einen Überblick über das mengenmäßige Aufkommen, die Verwertungsquoten und -pfade sowie rechtliche Rahmenbedingungen in Bezug auf Kunststoffverpackungsabfälle in ausgewählten Ländern weltweit. Zur Erfassung einheitlicher Daten werden Dokumente und Studien von öffentlichen und privatwirtschaftlichen Stellen sowie Experteninterviews herangezogen. In der Detaildarstellung der ausgewählten Länder wird auf die individuelle Gesetzgebung, zukünftige Ziele, das jeweilige Mengenaufkommen, die Art der Sammlung und Verwertung sowie auf die Zusammensetzung des betrachteten Abfallstroms eingegangen. Weiters werden die wichtigsten Verwertungspfade mit dem Fokus auf werkstoffliche Verwertung untersucht. Es wird festgestellt, dass die Unterschiede in Bezug auf sowohl den untersuchten Abfallstrom als auch die Entsorgungswirtschaften zwischen verschiedenen Ländern zum Teil sehr groß sind. Ebenfalls unterscheiden sich die Prozessabläufe in der Aufbereitungskette, bis auf bestimmte Grundprozesse, je nach Art der Sammlung und somit Zusammensetzung der Abfallströme. Dadurch kann ein aufschlussreicher Einblick in den Entwicklungsstand und zukünftige Potenziale der jeweiligen Entsorgungswirtschaften sowie in verschiedene aktuelle Aufbereitungsprozesse für Kunststoffverpackungsabfälle gegeben werden.

## **Abstract**

### **Investigation of plastic waste streams from the packaging sector including treatment and recovery technologies in selected countries**

In recent decades, the use of plastic in the packaging sector has increased many times over because of its ideal properties. This master's thesis provides an overview of the amount, recovery rates and pathways as well as legal framework conditions for plastic packaging waste in selected countries worldwide. To collect uniform data, documents and studies from public and private sector bodies as well as expert interviews are used. In the detailed presentation of the selected countries, the individual legislation, future goals, the respective amount, the type of collection and recovery as well as the composition of the considered waste stream are discussed. Furthermore, the most important recycling paths are examined with the focus on mechanical recycling. It is noted that the differences in both the waste stream studied and the waste management sector between different countries are in some cases very large. Also, the process flows in the treatment chain differ, except for certain basic processes, depending on the type of collection and thus composition of the waste streams. This provides informative insights into the state of development and future potential of the respective disposal industry, as well as into various current recovery processes for plastic packaging waste.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>3</b>
1.1 Problemstellung .....	3
1.2 Zielsetzung.....	4
<b>2 EINFÜHRENDE ERLÄUTERUNGEN ZU VERPACKUNGSKUNSTSTOFFEN... 5</b>	<b>5</b>
2.1 Anwendungsgebiete von Kunststoffen .....	5
2.1.1 Verpackungskunststoffe .....	8
2.1.2 Additive .....	14
2.2 Untersucher Abfallstrom .....	15
<b>3 ABFALLWIRTSCHAFTLICHE LÄNDERANALYSEN .....</b>	<b>20</b>
3.1 Methodik .....	20
3.2 Gesamtdarstellung Europa.....	23
3.2.1 Relevante EU-Legislative .....	23
3.2.1.1 EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG .....	23
3.2.1.2 EU-Verpackungsrichtlinie 94/62/EG .....	24
3.2.1.3 EU-Abfallstatistikverordnung (EG) Nr. 2150 .....	25
3.2.1.4 EU-Kreislaufwirtschaftspaket.....	26
3.2.2 Mengenaufkommen und Übersicht.....	30
3.2.3 Sammlung .....	33
3.2.4 Verwertung .....	35
3.2.5 Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle .....	38
3.3 Detaildarstellung ausgewählter EU-Länder.....	41
3.3.1 Deutschland .....	41
3.3.2 Frankreich .....	46
3.3.3 Großbritannien .....	50
3.3.4 Italien.....	56
3.3.5 Spanien .....	60
3.3.6 Polen .....	65
3.3.7 Österreich.....	70
3.4 Globale Beispiele.....	79
3.4.1 Indien .....	79
3.4.2 China.....	81
3.4.3 USA.....	84
3.4.4 Brasilien .....	87



3.4.5	Ägypten .....	90
3.5	Zukünftige Entwicklungen.....	92
<b>4</b>	<b>VERWERTUNGSVERFAHREN .....</b>	<b>96</b>
4.1	Werkstoffliche Verwertung.....	97
4.1.1	Aufbereitungsprozesse von Kunststoffverpackungsabfällen.....	98
4.1.1.1	Sammlung und Vorsortierung .....	99
4.1.1.2	Vorbehandlung und Sortierung.....	100
4.1.1.3	Recyclinganlagen für Kunststoffverpackungsabfälle.....	112
4.1.2	Hersteller für Aggregate in Sortier- und Recyclinganlagen .....	120
4.1.3	Wirtschaftliche Aspekte des werkstofflichen Recyclings.....	121
4.1.4	Recyclinggerechte Gestaltung von Kunststoffverpackungen .....	125
4.2	Rohstoffliche Verwertung.....	127
4.3	Energetische Verwertung .....	128
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE UND DISKUSSION .....</b>	<b>129</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>133</b>
<b>7</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>135</b>
7.1	Literatur.....	135
7.2	Abkürzungsverzeichnis.....	149
7.3	Tabellen .....	153
7.4	Abbildungen .....	155
<b>ANHANG I</b>	<b>.....</b>	<b>I</b>
<b>ANHANG II</b>	<b>.....</b>	<b>II</b>
<b>ANHANG III</b>	<b>.....</b>	<b>III</b>
<b>ANHANG IV</b>	<b>.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ANHANG V</b>	<b>.....</b>	<b>XII</b>

# 1 Einleitung

Kunststoffe nehmen in unserem Alltagsleben einen wichtigen Platz ein. Besonders im Verpackungsbereich führt die Verwendung von Kunststoffen in der Herstellung und Nutzungsphase zu einer Reihe von Vorteilen gegenüber alternativen Materialien. Sie sind leicht, vielseitig einsetzbar und führen zu einer erheblichen Energieeinsparung im Gegensatz zur Verwendung von z.B. Glas (H+K 2019). Die sehr kurze Nutzungsdauer, kontinuierlich wachsende Mengen und die Entwicklung in Richtung immer komplexerer Verpackungen stellte die Entsorgungswirtschaften in der Vergangenheit jedoch vor Herausforderungen (BMNT 2017). Die fortschreitende Verschmutzung der Umwelt und im Besonderen der Meere ist ein Indikator dafür, dass die nötige Infrastruktur zur geordneten Sammlung und Behandlung von Kunststoffverpackungen in weiten Bereichen nicht in ausreichendem Maß vorhanden ist. Innerhalb der Europäischen Union (EU) erfolgt eine überwiegend geordnete Deponierung, im Jahr 2016 wurden ca. 20 % (Conversio 2017) der Kunststoffverpackungsabfälle auf diese Weise entsorgt. Weltweit werden jedoch große Mengen von Kunststoffverpackungen oft ungeordnet deponiert oder gelangen durch sogenanntes „Littering“ (achtloses Wegwerfen) in die Umwelt. Um gegen diese und weitere Probleme vorzugehen, werden von immer mehr Ländern Maßnahmen für eine nachhaltigere Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen ergriffen. In der EU handelte es sich dabei um das 2015 beschlossene Kreislaufwirtschaftspaket (EC 2015b). Eines der darin enthaltenen Ziele ist es, Abfälle einem geschlossenen Kreislauf zuzuführen und daraus neue Produkte herzustellen. Als ersten Schritt zum Erreichen dieses Zieles wurden unter anderem ehrgeizige Recyclingquoten für Verpackungen aus Kunststoff und anderen Materialien für die kommenden Jahre beschlossen. Um jedoch eine stoffliche Verwertung (Recycling) ökonomisch und ökologisch sinnvoll durchführen zu können, müssen von allen Stakeholdern entlang der Wertschöpfungskette im Rohstoffkreislauf Anstrengungen unternommen werden. Es werden immer höhere Ansprüche an Sammel- und Sortiersysteme gestellt, um recycelte Kunststoffe in ihrer Qualität auf ein mit Neuware vergleichbares Niveau zu bringen und so den Markt für Sekundärrohstoffe zu stärken. (EC 2015b)

## 1.1 Problemstellung

Global betrachtet wird ein Erreichen höherer Recyclingquoten und damit die Rückführung von Sekundärrohstoffen in den Produktkreislauf angestrebt (EC 2015b). Die konkreten Maßnahmen einzelner Länder unterscheiden sich jedoch in ihrer Form und Umsetzung, ebenso wie der jeweilige Entwicklungsstand der Entsorgungswirtschaft. Um die Auswirkungen und Chancen, die sich damit für alle Akteure in der Entsorgungswirtschaft ergeben, abschätzen zu können, ist daher die Verfügbarkeit einer detaillierten Informationsbasis über individuell vorherrschende Bedingungen in verschiedenen Ländern unerlässlich. Das betrifft einerseits die rechtlichen Rahmenbedingungen und andererseits die gesamte Entsorgungskette, beginnend beim Abfallerzeuger (Konsument) mit der Art der Abfallsammlung bis hin zu verschiedenen Sortier- und Aufbereitungsprozessen zur Herstellung von Kunststoffregranulaten, welche als Sekundärrohstoff für die Erzeugung neuer Produkte verwendet werden können. Weiters sind Abfallaufkommen

und -zusammensetzung Indikatoren für den Wertstoffgehalt und damit das Potenzial des Abfallstroms für werkstoffliche Verwertungsprozesse. Die Wirtschaftlichkeit solcher hängt darüber hinaus maßgeblich von der gesamten Aufbereitungskette ab. Bisher verfügbare Daten zu vielen der genannten Einflussgrößen sind jedoch nicht einheitlich oder unzureichend erfasst und deshalb bei internationaler Betrachtung nur bedingt vergleichbar. Außerdem haben sich verschiedenste Aufbereitungsverfahren etabliert, die je nach vorherrschenden Verhältnissen in ihren Prozessabläufen und ihrer Effizienz variieren. In Anbetracht der aktuellen Datenlage und des starken Wandels in Richtung einer nachhaltigeren Abfallbewirtschaftung, in dem sich die Entsorgungswirtschaften auf der ganzen Welt als Folge der vorherrschenden Umweltprobleme befinden, ist es kaum möglich, derzeit einen geordneten Gesamteindruck über den IST-Zustand der jeweiligen Entsorgungswirtschaften zu erlangen.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Masterarbeit ist es, einheitliche Daten über Kunststoffverpackungsabfälle in ausgewählten Ländern auf internationaler Ebene zu erheben. Dazu gehören Abfallaufkommen und -zusammensetzung, Verwertungs- und Beseitigungsquoten sowie die jeweiligen rechtlichen Rahmenbedingungen. Es soll geklärt werden, welche Wertstoffe in diesem Abfallstrom vorhanden sind und wie diese nach aktuellem Stand der Technik für eine Verwertung gewonnen werden. Dazu sollen die Entsorgungswege von der Sammlung am Anfallort bis zur Behandlung und Aufbereitung in Sortier- und Recyclinganlagen untersucht werden. Der Fokus wird dabei auf ein werkstoffliches Recycling gelegt. Entlang dieser Behandlungskette ist es wichtig, die Aufbereitungsprozesse für die enthaltenen Wertstoffe darzustellen und bedeutende Hersteller der verwendeten Aggregate zu ermitteln. Weiters soll untersucht werden, welche wirtschaftlichen oder sonstigen Anreize eine Aufbereitung bietet bzw. welche gesetzlichen Treiber vorhanden sind. Um zukünftige Entwicklungen in diesem Bereich abschätzen zu können, sollen außerdem mögliche Trends sowie legislative Vorhaben in die Betrachtung miteinfließen.

## 2 Einführende Erläuterungen zu Verpackungskunststoffen

Im folgenden Kapitel wird auf Kunststoffe im Verpackungsbereich sowie daraus entstehende Abfallprodukte näher eingegangen.

### 2.1 Anwendungsgebiete von Kunststoffen

Kunststoffe sind aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und hervorragenden technischen Eigenschaften aus dem Alltagsleben und der Wirtschaft nicht mehr wegzudenken (EC 2018a). Sie haben sich im Automobilbau, in Haushaltsgeräten, im Bausektor, in Sport- und Freizeitartikeln, in der Medizin sowie als Verpackung gegenüber herkömmlichen Werkstoffen erfolgreich durchgesetzt. Bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus werden die ökonomischen und ökologischen Vorteile von Kunststoffen deutlich. Die Prozesstemperaturen bei der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen liegen selten über 300 °C, was um den Faktor 2 bis 4 niedriger ist als bei Eisen oder Glas. (Lechner et al. 2003) In ihrer Nutzungsphase bringen Kunststoffe u.a. folgende Vorteile:

- Sie gehören wegen ihrer geringen Dichte zu den leichtesten Werkstoffen überhaupt, was sie zu einem sehr effizienten Verpackungsmaterial macht (FCIO 2019). Der Ersatz aller Kunststoffverpackungen durch alternative Materialien würde den Energieverbrauch und das Abfallvolumen verdoppeln, weshalb Kunststoffe zum wichtigsten Verpackungsmaterial geworden sind. Durch die verbesserte Leistungsfähigkeit eingesetzter Kunststoffe werden die Verpackungen immer leichter. Vor zehn Jahren wog z.B. ein Joghurtbecher noch doppelt so viel wie heute. (Lechner et al. 2003)
- Sie ermöglichen im Transportsektor den Bau leichterer Fahrzeuge, was erhebliche Einsparungen an Treibstoff bewirkt. (Lechner et al. 2003)
- Sie weisen im Allgemeinen eine schlechte elektrische- und Wärmeleitfähigkeit auf, wodurch sie sich gut für die Herstellung von Wärmedämmprodukten und elektrischen Isolatoren eignen. (FCIO 2019)

Des Weiteren lassen sich Material- und Verarbeitungseigenschaften von Kunststoffen wie Härte, Elastizität, Formbarkeit, etc. in weiten Grenzen durch Polymerisationsverfahren, Verfahrensparameter bei der Herstellung oder die Beimischung von Füll- und Verstärkungsstoffen sowie Additiven gezielt einstellen (UBA-AT 2017). Dadurch tragen Kunststoffe zur Einsparung von Kohlenstoffdioxid(CO<sub>2</sub>)-Emissionen und Energiekosten, geringerer Lebensmittelverschwendung und der Lösung weiterer Herausforderungen bei (EC 2018a). Die Art und Weise, in der Kunststoffe gegenwärtig hergestellt, verwendet und entsorgt werden, verursacht jedoch Umweltprobleme. Alleine in der EU gelangen jährlich 150 – 500 kt (Kilotonnen) an Kunststoffabfällen ins Meer, was nur einem Bruchteil der globalen Meeresabfälle entspricht. Darüber hinaus werden jährlich 75 – 300 kt Mikroplastik (Kunststofffragmente < 5 mm) in der EU in die Umwelt eingebracht. Diese

Kunststoffeinträge stellen eine potenzielle Gefahr für die Umwelt und die menschliche Gesundheit dar. (EC 2018a; Lechner et al. 2003)

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die globale Kunststoffproduktion rasant entwickelt. Laut PlasticsEurope (2018) wurden im Jahr 2017 weltweit ca. 348 Mio. t (Millionen Tonnen) an Kunststoffen produziert. Das ist mehr als das Dreifache der Menge, die im Jahr 1989 produziert wurde. Allein im letzten Erfassungsjahr stieg der weltweite Bedarf um ca. 13 Mio. t. Der Materialbedarf der kunststoffverarbeitenden Betriebe in der EU, Norwegen und der Schweiz betrug 2017 ca. 51,3 Mio. t. (PlasticsEurope 2018) Den größten Massenanteil davon nimmt mit ca. 39 % (etwa 20,06 Mio. t) der Verpackungssektor ein, siehe Abbildung 1 (PlasticsEurope 2019).

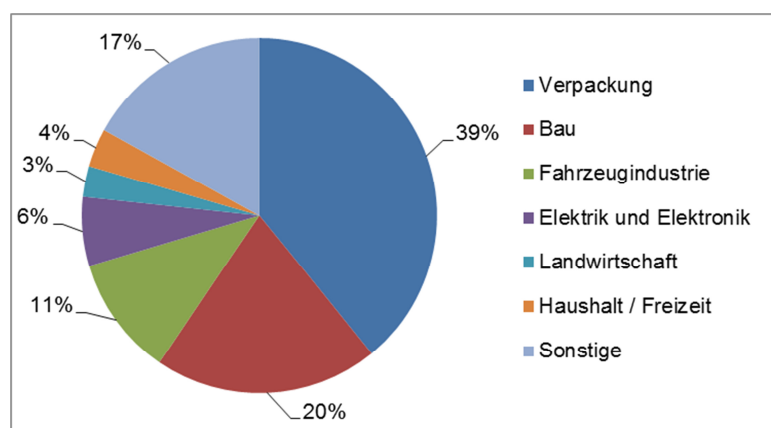


Abbildung 1: Kunststoffbedarf nach Sektoren der EU, Norwegen und der Schweiz im Jahr 2018 nach PlasticsEurope 2019.

Kunststoffe können anhand ihrer physikalischen Eigenschaften in die Hauptgruppen Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere eingeteilt werden. (UBA-AT 2017)

### Thermoplaste:

Thermoplastische Kunststoffe sind reversibel plastisch formbar, schmelzbar und können geschweißt werden (Schröder 2014, S. 17). Der Verformungsvorgang kann durch Abkühlung und Wiedererwärmung bis in den schmelzflüssigen Zustand beliebig oft wiederholt werden, solange die thermische Zersetzung durch Überhitzung nicht einsetzt (Bonnet 2016, S. 60). Deshalb können sie gut werkstofflich recycelt und durch z.B. Extrusion verarbeitet werden. Thermoplaste können anhand ihres Produktionsvolumens und Preises sowie ihrer Eigenschaften in Standardkunststoffe, technische Kunststoffe und Hochleistungskunststoffe eingeteilt werden (Doobe 2018, S. 5). Diese Einteilung wird häufig in Form einer Pyramide wie in Abbildung 2 dargestellt.

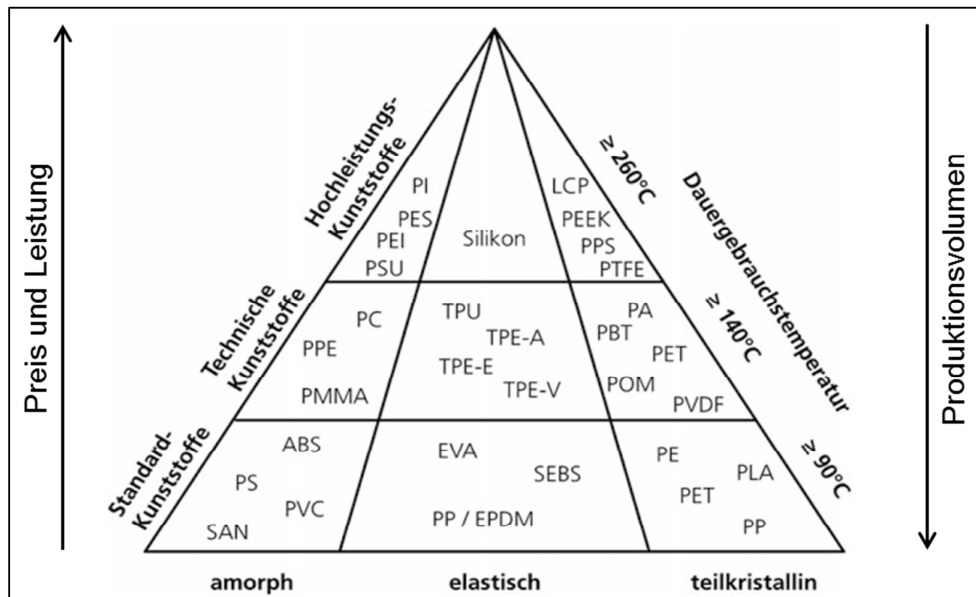


Abbildung 2: Pyramide der verschiedenen Thermoplaste mit Beispielen für amorphe, elastische und teilkristalline Standardkunststoffe, technische Kunststoffe und Hochleistungskunststoffe in Anlehnung an Doobe (2018).

Zur Spitze hin steigen Verarbeitungstemperatur, die Temperaturbeständigkeit und somit die mögliche Anwendungstemperatur der Kunststoffe. Ebenso steigt die Beständigkeit gegenüber Medien wie z.B. Lösemitteln, Ölen oder verschiedenen Betriebsstoffen. Jedoch steigt damit auch der Preis, während die Produktionsmenge abnimmt. Somit sind im unteren Bereich der Pyramide die Standardkunststoffe, im mittleren die technischen Kunststoffe und an der Spitze die Hochleistungskunststoffe angesiedelt. Letztere kommen insbesondere für hochbeanspruchte Bauteile zum Einsatz. (Doobe 2018) Eine weitere Unterteilung der Thermoplaste kann in die Zustände amorph, elastisch und teilkristallin erfolgen. Eine detaillierte Beschreibung dieser Zustände ist u.a. im Fachbuch „Kunststofftechnik“ von Bonnet 2016 zu finden.

### Duroplaste:

Duroplaste, auch Duromere genannt, besitzen eine hohe Festigkeit, Oberflächenhärte sowie Formsteifigkeit. Sie verformen sich nicht bei Hitze und verspröden nicht bei großer Kälte. Im Gegensatz zu Thermoplasten sind Duroplaste hochgradig Vernetzt und nach ihrer Aushärtung nicht mehr verformbar oder umschmelzbar, was eine Wiederverwertung erschwert. Typische Beispiele sind Epoxid- und Phenolharze. (Schröder 2014; Bonnet 2016)

### Elastomere:

Sie sind formfeste, aber elastisch verformbare Kunststoffe. Sie weisen ein gummielastisches Verhalten auf, können sich also unter Zug- oder Druckbelastungen verformen. Anschließend finden sie wieder in ihre ursprüngliche Gestalt zurück. Aufgrund ihrer chemischen Vernetzung sind Elastomere nicht schmelzbar und daher nur schwer wiederverwertbar. Sie

finden Verwendung als Material für z.B. Reifen, Gummibänder oder Dichtungsringe. (Bonnet 2016, S. 60)

## 2.1.1 Verpackungskunststoffe

Zu den wichtigsten Vertretern der Kunststoffe zählen Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), welche der Gruppe der Polyolefine (PO) zugeordnet werden. Im Jahr 2017 nahmen diese Kunststofftypen über 49 % (PlasticsEurope 2019) des Gesamtbedarfs der kunststoffverarbeitenden Betriebe in der EU, Norwegen und der Schweiz ein, siehe Abbildung 3.

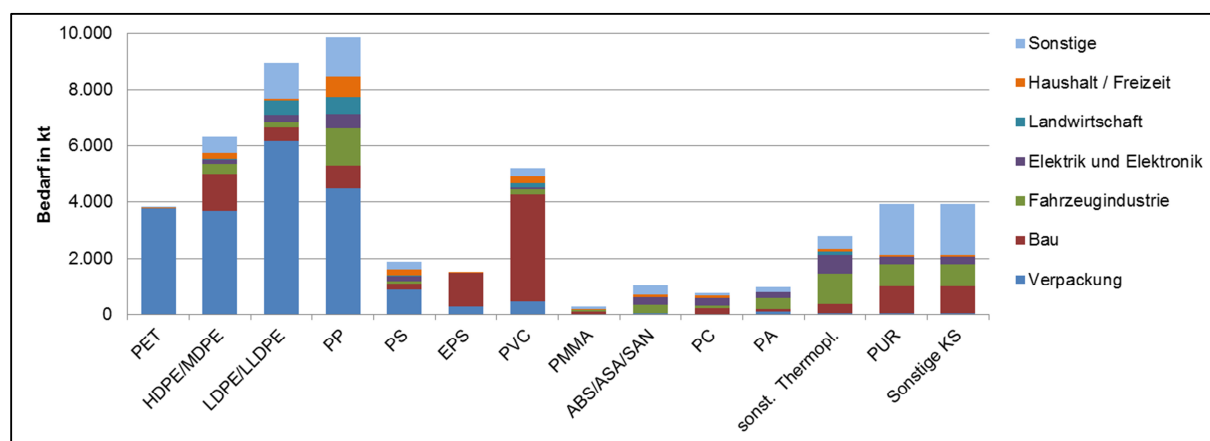









Abbildung 3: Kunststoffanteile am Herstellerbedarf 2017 in der EU, Norwegen und der Schweiz nach unterschiedlichen Kunststofftypen und Sektoren in Anlehnung an PlasticsEurope (2019).

Im Verpackungssektor sind neben PE und PP auch Polyethylenterephthalat (PET) und Polystyrol (PS) relevante Kunststoffe. In Abbildung 3 wird auch deutlich, dass fast ausschließlich thermoplastische Kunststoffe (> 99 %) in den dargestellten Marktsektoren Verwendung finden. Um die Sammlung, Wiederverwendung und Verwertung von Verpackungen zu erleichtern, wurde im Jahr 1997 von der EU ein freiwilliges Kennzeichnungssystem (EU 1997) für alle in der EU-Verpackungsverordnung (EU 1994) definierten Verpackungsmaterialien eingeführt. Die Kennzeichnung beinhaltet eine Nummer sowie die Abkürzung des Verpackungsmaterials („Recyclingcode“) und soll auf der Verpackung selbst oder auf dem Etikett deutlich sichtbar angebracht werden (EU 1994). Die verschiedenen Recyclingcodes sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Verpackungskunststoffe mit zugehörigen Abkürzungen und Recyclingcodes (EU 1997).

Kunststofftyp	Recyclingcode	Kunststofftyp	Recyclingcode
Polyethylenterephthalat	 01 PET	Polypropylen	 05 PP
Polyethylen hoher Dichte	 02 PE-HD	Polystyrol	 06 PS
Polyvinylchlorid	 03 PVC	Andere Kunststoffe	 07 O
Polyethylen niedriger Dichte	 04 PE-LD		

Die wichtigsten Verpackungskunststoffe werden in den nachfolgenden Punkten genauer beschrieben.

### Polyethylen (PE):

PE ist mit rund 30 % Anteil an der europaweit produzierten Gesamtmenge (PlasticsEurope 2019) der am meisten verwendete Kunststoff und findet am häufigsten in der Produktion von Folien und Verpackungen Anwendung. Es verfügt über eine hohe Dichte gegenüber Wasserdampf und Fett, zudem ist es kältebeständig und sehr gut schweißbar (MEDEWO GmbH 2019). Aufgrund der unterschiedlichen Materialdichte unterscheidet man vier Typen von Polyethylen:

- Polyethylen mit hoher Dichte, HDPE (high-density polyethylene),
- Polyethylen mit mittlerer Dichte, MDPE (medium-density polyethylene),
- Polyethylen mit niedriger Dichte, LDPE (low-density polyethylene) und
- lineares Polyethylen mit niedriger Dichte, LLDPE (linear low-density polyethylene). (NABU 2015)

Das Hauptanwendungsgebiet von HDPE sind im Blasformverfahren hergestellte Hohlkörper wie z.B. Flaschen für Reinigungsmittel, aber auch spritzgegossene großvolumige Behälter wie Kraftstoffkanister oder Abfalltonnen. LDPE und LLDPE hingegen werden vor allem für die Produktion von Tragetaschen sowie Folien wie beispielsweise Agrar-, Frischhalte-, Schrumpf und Mehrschichtfolien eingesetzt. (ABTS 2016; NABU 2015) Außerdem werden Sichtfenster und Beschichtungen von Lebensmittelverpackungen meist aus PE hergestellt (MEDEWO GmbH 2019).



**Polypropylen (PP):**

PP ist PE chemisch relativ ähnlich, ist jedoch deutlich härter, fester und thermisch höher belastbar. Außerdem weist es eine geringe Wasserdampfdurchlässigkeit sowie eine hohe Fettbeständigkeit auf. Im Verpackungsbereich wird PP für z.B. Joghurtbecher, Trinkhalme, Chipsbeutel, Keksverpackungen sowie in Verpackungsfolien (OPP – Oriented Polypropylen) verwendet. In der Herstellung von OPP-Verpackungsfolien wird das Material stark gedehnt, wodurch eine hohe Steifigkeit und Transparenz erzielt werden kann. Folienbeutel und -siegel werden daher häufig aus PP hergestellt. Außerdem kann PP in Form von EPP (expandiertes PP) für Thermoverpackungen genutzt werden. Weitere Anwendungen sind Mehrweg-Tragetaschen aus PP-Fasern, Medizinprodukte (z.B. Einwegspritzen, Katheter) sowie Sicherheitsfolien für Banknoten. (ABTS 2016; NABU 2015; MEDEWO GmbH 2019)

**Polyethylenterephthalat (PET):**

PET ist ein thermoplastischer Kunststoff, der ursprünglich nur für Fasern verwendet wurde, heute aber bereits zu großen Anteilen zur Herstellung von Verpackungen und Halbzeugen eingesetzt wird. PET-Fasern werden mittlerweile häufig aus recycelten PET-Flaschen gewonnen, um daraus Polyesterfasern für Fleecestoffe und Umreifungsbänder zu produzieren. Teilkristallines PET (PET-C) weist eine hohe Festigkeit und Steifigkeit, jedoch auch eine geringe Schlagzähigkeit auf. Amorphes PET (PET-A) hingegen besitzt eine bessere Schlagzähigkeit, dafür aber eine geringere Steifigkeit und Härte. Da PET eine relativ geringe Durchlässigkeit für Sauerstoff und CO<sub>2</sub> aufweist, können Glasflaschen und Metalldosen, auch für CO<sub>2</sub>-haltige Getränke, durch solche aus PET ersetzt werden. Aufgrund dieser Eigenschaften stellen blasgeformte Flaschen die Hauptanwendung von PET dar. Solche mit geringer Wandstärke dienen meist als Einwegflaschen, dickwandige als Mehrwegflaschen. Weitere Verpackungsanwendungen sind Joghurtbecher, Obstschalen, Bratbeutel sowie Flaschen für z.B. Haushaltsreiniger. PET-A wird außerdem als Trägermaterial für Magnetbänder und fotografische Filme, Schreibfolien, Klebebänder sowie für Elektroisierfolien verwendet. Formteile aus PET-C finden sich in elektrischen Kleingeräten sowie in der Herstellung von Zahnrädern, Rollen und Möbelbeschlägen wieder (ABTS 2016; RFN 2018).

**Polystyrol (PS):**

PS zeichnet sich durch hohe Oberflächengüte und Lichtdurchlässigkeit aus und wird hauptsächlich in der Verpackungsindustrie, besonders im Bereich der Lebensmittelverpackungen (z.B. Joghurtbecher, Eierbehälter, Becher für Getränkeautomaten, Einwegbesteck), jedoch auch in Gehäusen von Monitoren, Fernsehern und weiteren elektrischen Geräten verwendet. In geschäumter Form (expandiertes Polystyrol – EPS sowie extrudiertes Polystyrol – XPS) findet Polystyrol besonders für Schall- und Wärmedämmung sowie für Verpackungen von zubereiteten Lebensmitteln und Fastfood Anwendung. PS ist brennbar und nicht witterungsbeständig. (ABTS 2016; NABU 2015; RFN 2018)

**Polyvinylchlorid (PVC):**

PVC ist ein amorpher, thermoplastischer Kunststoff mit harten bis spröden Eigenschaften, welche erst durch Zugabe von Weichmachern und Stabilisatoren geändert werden können (ABTS 2016). Er zählt neben PE und PP zu den am meisten produzierten Kunststoffen in der EU. Im Verpackungsbereich wird PVC jedoch nur zu geringen Anteilen (ca. 2 %, siehe Abbildung 3) für z.B. Folien verwendet und stellt für die meisten Verwertungsverfahren einen Störstoff dar. Da sich die Dichtebereiche von PET und PVC überlappen, ist eine Dichtentrennung dieser Kunststoffe z.B. im Zuge des PET-Recyclings nicht möglich, siehe Kapitel 4.1.1.2.1. Bei der Verbrennung von Abfällen mit PVC-Anteil in Zementwerken kann es aufgrund des hohen Chlorgehalts von PVC zu betrieblichen Problemen kommen, im Detail erklärt in der Studie „*Restmüllmitverbrennung in Anlagen zur Zementerzeugung*“ des österreichischen Umweltbundesamtes (Lahl et al. 1997). PVC besitzt eine gute Witterungsbeständigkeit und erfordert, mit Ausnahme von sehr hellen PVC-Produkten, keinen Einsatz von UV-Absorbern (ABTS 2016).

**Biokunststoffe:**

Biokunststoffe können mittlerweile unterschiedlichste Materialien mit verschiedenen Eigenschaften und Anwendungen ersetzen. Gemäß European Bioplastics (EUBP 2018a) wird ein Kunststoff als Biokunststoff definiert, wenn er entweder biobasiert oder biologisch abbaubar ist bzw. beide dieser Eigenschaften aufweist. Biobasiert bedeutet, dass das Material (zum Teil) aus Biomasse wie z.B. Mais, Zuckerrohr oder Cellulose gewonnen wird. Es ist jedoch zu beachten, dass ein Kunststoff aus 100 % fossilen Rohstoffen (petrobasiert), der biologisch abbaubar ist, genauso als Biokunststoff bezeichnet wird (EUBP 2018a). Demnach werden die folgenden drei Hauptgruppen unterschieden (siehe auch Abbildung 4):

- (teilweise) biobasierte, biologisch nicht abbaubare Kunststoffe wie z.B. biobasiertes PE, PP oder PET,
- Kunststoffe, die biobasiert und biologisch abbaubar sind (z.B. PLA – Polyactide, PHA – Polyhydroxyalkanoate, PBS – Polybutylenterephthalat) und
- petrobasierte Kunststoffe, die biologisch abbaubar sind, wie z.B. Polybutyrat-Adipat-Terephthalat (PBAT). (EUBP 2018a)

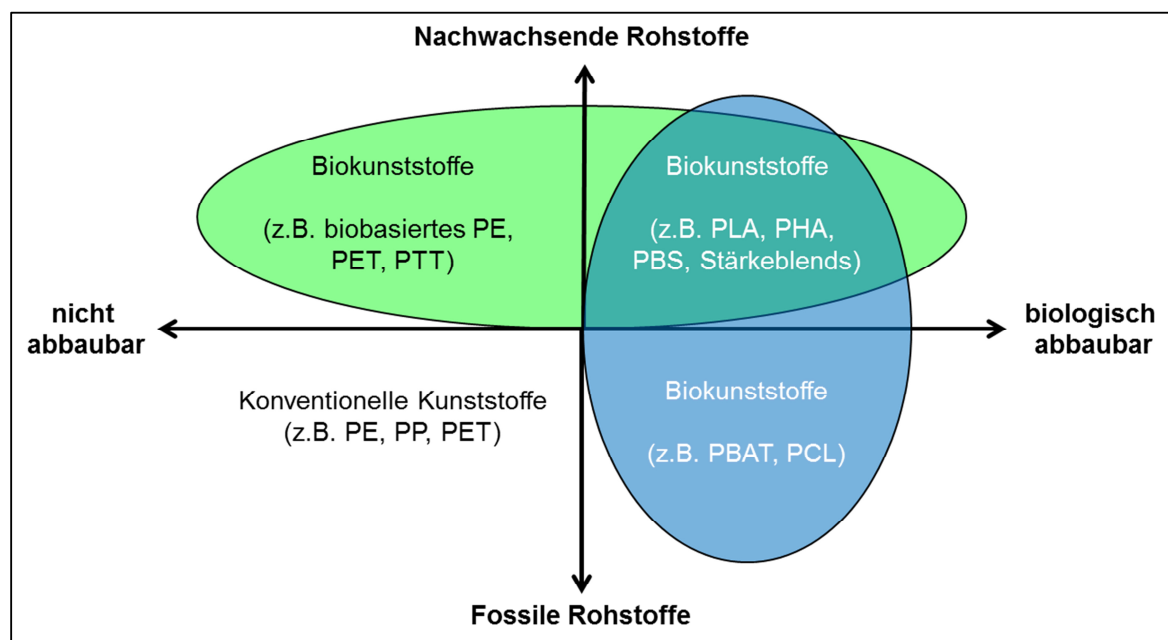


Abbildung 4: Einteilung von Biokunststoffen und konventionellen Kunststoffen in Anlehnung an EUBP (2018a).

Hinsichtlich der Begriffe „biologisch abbaubar“ und „kompostierbar“ muss jedoch unterschieden werden. Entsprechend der ÖNORM EN 13432 und EN 14995 ist ein Kunststoff nur kompostierbar, wenn er innerhalb von sechs Monaten mindestens zu 90 % abgebaut ist (gültig in Österreich). Dauert der Abbau länger, so wird der Kunststoff als biologisch abbaubar bezeichnet. Die Haupteinsatzbereiche von biologisch abbaubaren Biokunststoffen sind medizinische Anwendungen, kompostierbare Bioabfallsäcke, Frischhaltebeutel, Verpackungsfolien, Cateringprodukte (Trinkbecher, Teller, Besteck) sowie biologisch abbaubare Produkte für Land- und Forstwirtschaft. (UBA-AT 2017) Nicht abbaubares Bio-PE wird laut EUBP (2018a) bereits in größeren Maßstäben (ca. 200 kt/a) produziert, Bio-PP und Bio-PVC sollten diesem Wachstumstrend bald folgen. PET mit Bio-Anteilen wird in Verpackungen wie z.B. „Plant-Bottle“ von Coca-Cola eingesetzt. Biobasierte, nicht abbaubare Kunststoffe werden auch als sogenannte „drop-in“ Biokunststoffe bezeichnet, da sie sich in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften nicht von herkömmlichen petrobasierten Kunststoffen unterscheiden. (EUBP 2018a; UBA-AT 2017)

Die globale Produktionskapazität für Biokunststoffe nahm im Jahr 2018 laut European Bioplastics (EUBP 2018b) mit 2.110 kt nur einen sehr kleinen Anteil (< 1 %) am globalen Kunststoffmarkt ein. Jedoch wird ein Anstieg auf 2.616 kt bis 2023 prognostiziert, andere Organisationen rechnen bis dahin mit einer Verdoppelung der aktuellen Jahresmenge (EUBP 2018b). Die aktuellen Produktionskapazitäten sowie Bedarf der verschiedenen Sektoren an Biokunststoffen ist in Abbildung 5 dargestellt.

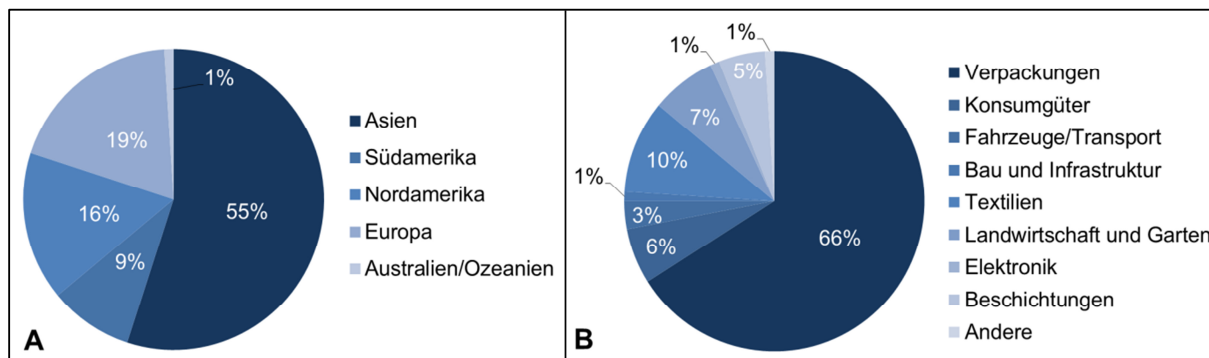


Abbildung 5: Anteile verschiedener Regionen (A) und Sektoren (B) an der gesamten Produktionskapazität von Biokunststoffen in Anlehnung an EUBP (2019).

Das italienische Verpackungskonsortium (CONAI) hat im Jahr 2013 festgestellt, dass kompostierbare Verpackungsmaterialien bis zu einem Anteil von 10 % problemlos mit herkömmlichen Verpackungen recycelt werden können (CONAI 2013). Derzeit stellt ein werkstoffliches Recycling von biologisch abbaubaren Kunststoffen laut Kreinl und Binner (2019) ohnehin die sinnvollste Art der Verwertung nach einer Wiederverwendung dar, da sämtliche andere Verwertungsmethoden inklusive Kompostierung keine wesentlichen Vorteile demgegenüber bieten. Obwohl eine Erkennung durch Nahinfrarotspektroskopie (NIR) möglich ist, sind Kunststoffsortieranlagen nach Stand der Technik aufgrund der geringen Marktmenge gepaart mit der Materialvielfalt von Biokunststoffen noch nicht darauf ausgelegt, Verpackungen aus z.B. PLA getrennt abzuscheiden. Diese werden mit den anderen Mischkunststoffen oder als Sortierrest meist energetisch verwertet. Sollten die Anteile von Biokunststoffen in Zukunft jedoch steigen, könnte ein zusätzlicher Sortierschritt zu deren Ausscheidung notwendig werden. Drop-in-Kunststoffe können direkt und ohne Qualitätsminderung des Rezyklats mit petrobasierten Kunststoffen einem werkstofflichen Recycling zugeführt werden und haben folglich dieselben Verwertungswege. (Kreinl und Binner 2019; IfBB 2017)

### 2.1.2 Additive

Die wenigsten Kunststoffe sind im Rohzustand zufriedenstellend verarbeitet- und verwendbar. Umwelteinflüsse bei Herstellung, Lagerung oder im Gebrauch würden mit der Zeit zu einer Schädigung (physikalische bzw. chemische Alterung) und damit zu Verschlechterungen der Materialeigenschaften führen. Zu diesen Einflüssen gehören alle Medien, mit denen der Kunststoff in Kontakt kommt, aber auch energiereiche Strahlung (z.B. UV-Anteil aus Sonnenlicht), erhöhte Temperaturen sowie mechanische Beanspruchungen. Zum Schutz vor diesen Einflüssen sowie zur Optimierung von Material- als auch optischen Eigenschaften wird eine Vielzahl von Additiven eingesetzt. Die Zugabe von Additiven erfolgt meist in geringen Anteilen (< 1 %), kann jedoch in Ausnahmefällen auch ein Vielfaches betragen (UBA-AT 2017). So kann beispielsweise in PVC ein Additivanteil von 40 % und mehr zum Einsatz kommen. (Bonnet 2016, S. 111) Kunststoffadditive können vereinfacht in folgende Gruppen unterteilt werden:

- Funktionelle Additive (z.B. Stabilisatoren, Antistatika, Flammschutzmittel, Weichmacher, Schmierstoffe, Gleitmittel, Härtungsmittel, Biozide),
- Farbstoffe (anorganische/organische Pulverpigmente wie z.B. Titandioxid),
- Füllstoffe (z.B. Talk, Glimmer, Ton, Kaolin, Calciumcarbonat, Bariumsulfat) und
- Verstärkungen wie z.B. Glas-, Kohle- oder Aramidfasern. (UBA-AT 2017)

Beim Kunststoffrecycling haben Additive je nach Anwendungsfall unterschiedliche Auswirkungen auf den Recyclingprozess sowie auf die Anwendungsmöglichkeiten und Qualität der Rezyklate. Im „Closed-Loop“-Recycling sind im Altkunststoff vorhandene Additive teilweise erwünscht, weil sie im Rezyklat ebenfalls notwendig sind. Führen jedoch Additive zu unerwünschten Eigenschaften des Rezyklats und können diese Effekte nicht korrigiert werden, bleibt oft nur die Möglichkeit des down-cyclings. Dabei werden aus dem Rezyklat Produkte mit eingeschränkten Eigenschaften gegenüber dem Ursprungsprodukt hergestellt. (Consultic 2015)

## 2.2 Untersucher Abfallstrom

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Stoffstrom „Kunststoffverpackungsabfälle“. Dabei werden sowohl Haushalte als auch Gewerbe und Industrie als Abfallquellen berücksichtigt. Wann ein Gegenstand als Verpackung bzw. Abfall gilt, wird nachfolgend beschrieben. Da es in verschiedenen Ländern Unterschiede in den Definitionen geben kann, werden die übergeordnet von der EU verwendeten Begriffsdefinitionen herangezogen.

### Definition von Verpackungen:

Gemäß der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994) sind Verpackungen *„aus beliebigen Stoffen hergestellte Produkte zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung und zur Darbietung von Waren, die vom Rohstoff bis zum Verarbeitungserzeugnis reichen können und vom Hersteller an den Benutzer oder Verbraucher weitergegeben werden. Auch alle zum selben Zweck verwendeten „Einwegartikel“ sind als Verpackungen zu betrachten“* (EU 1994). Diese Definition umfasst Verkaufsverpackungen, Umverpackungen und Transportverpackungen. Beispiele für Verpackungen aus Kunststoff sind:

- Kunststoffflaschen für Getränke sowie Wasch- und Reinigungsmittel,
- Joghurt-, Kaffee- und Margarinebecher,
- Verpackungsfolien oder
- Schaumstoffverpackungen. (BMNT 2019d)

### Materialzuordnung:

Bei Verpackungen, die zur Gänze aus Kunststoff bestehen, ist die Zuordnung des Verpackungsmaterials eindeutig. Bei Materialverbunden wie z.B. Getränkeverbundkartons (GVK) ist eine Abgrenzung meist in den nationalen Gesetzen der jeweiligen Länder geregelt und kann z.B. nach einer 95/5-Regel wie in Österreich (BMLFUW 2014) und Deutschland (BT 2017) erfolgen. Das bedeutet, dass eine Verpackung bei einem Kunststoffanteil von > 95 Gewichtsprozent (Gew.-%) als Kunststoffverpackung und bei einem Kunststoffanteil von < 95 Gew.-% als Verpackung aus Verbundmaterial eingeordnet wird (BMLFUW 2014).

### Definition der Abfallarten:

In der EU-Abfallrahmenrichtlinie (EU 2008a) ist der Begriff „Abfall“ als *„jeder Stoff oder Gegenstand, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“* (EU 2008a) definiert. Nach Quelle der Rückstände kann in Produktionsrückstände, Verbrauchsrückstände und Abfallbehandlungsrückstände unterschieden werden. Abfall aus Verbrauchs- und Produktionsrückständen wird als Primärabfall eingestuft, während es sich bei Abfall aus Abfallbehandlungsrückständen um Sekundärabfälle handelt, wie in Abbildung 6 dargestellt (EU 2013). Eine weitere Einteilung kann in Pre- und Post-Consumer-Abfälle erfolgen. Abfälle, die aus der Produktion und Verarbeitung stammen, werden als Pre-Consumer- bzw. Produktionsabfälle bezeichnet (UBA-AT 2017). Post-Consumer-Abfälle sind Primärabfälle, die infolge des Ge- und Verbrauchs privater Haushalte und Unternehmen

entstehen. Beispiele hierfür sind Lebensmittelreste, verschiedenste Verpackungsmaterialien und demnach auch Kunststoffverpackungsabfälle (EU 2013).

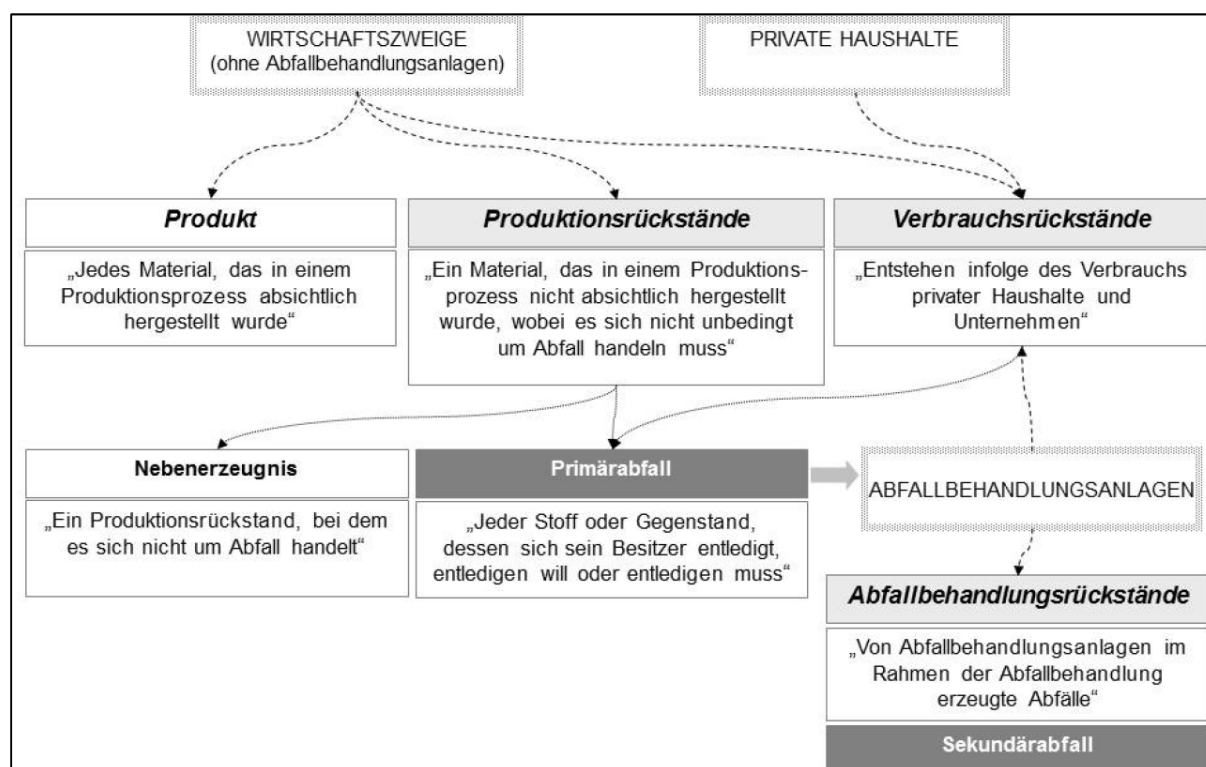


Abbildung 6: Definition der Abfallarten (EU 2013).

Sind Haushalte oder ähnliche Einrichtungen der Entstehungsort von Kunststoffverpackungsabfällen, so werden diese in der Regel der Abfallart „Siedlungsabfälle“ zugeordnet. Gemäß der Richtlinie (EU) 2018/851 zur Änderung der EU-Abfallrahmenrichtlinie (EU 2008a) umfasst der Begriff „Siedlungsabfälle“ gemischte und getrennt gesammelte Abfälle aus Haushalten sowie aus anderen Bereichen, sofern diese Abfälle in Beschaffenheit und Zusammensetzung jenen aus Haushalten ähnlich sind. Darin miteingeschlossen sind Papier, Pappe und Karton (PPK), Glas, Metall, Kunststoff, Bioabfälle, Holz, Textilien, Verpackungen, Elektro- und Elektronik-Altgeräte, Altbatterien und Altakkumulatoren sowie sperrige Abfälle (EU 2008a). Da diese Definition jedoch Spielraum für die Festlegung der Systemgrenzen zulässt, gibt es häufig leichte Unterschiede in der Erfassung der Siedlungsabfälle zwischen den EU-Mitgliedstaaten. Wie die einzelnen Abfallfraktionen der Siedlungsabfälle gesammelt werden (getrennt/gemischt), ist zwischen verschiedenen Ländern und Regionen sehr unterschiedlich und wird in Kapitel 3 genauer behandelt. Als Schritt in Richtung einer Vereinheitlichung der Abfallarten wurde im Jahr 2014 ein überarbeitetes Abfallverzeichnis (EU 2014) verabschiedet. Demnach wurde für Verpackungen einschließlich getrennt gesammelter kommunaler Verpackungsabfälle der EU-weit gültige Abfallcode 15 01 sowie für Verpackungsabfälle aus Kunststoff der Abfallcode 15 01 02 eingeführt.

### Ermittlung der Menge von Kunststoffverpackungsabfällen:

Die nach EU-Abfallstatistikverordnung zulässigen Methoden der abfallwirtschaftlichen Datenerfassung sind im Kapitel 3.2.1.3 „EU-Abfallstatistikverordnung (EG) Nr. 2150“ zu finden. Aufgrund der kurzen Nutzungsdauer von Verpackungen ist in den meisten Fällen davon auszugehen, dass innerhalb der EU die in einem Bezugsjahr in Umlauf gebrachte Menge an Verpackungen (Verbrauch) als Berechnungsgrundlage für die jährliche Menge an Verpackungsabfällen herangezogen wird. Gemäß EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994), geändert am 30. Mai 2018 durch Änderungsrichtlinie 2018/852, kann die Verpackungsabfallmenge als Äquivalent der in einem Kalenderjahr in Verkehr gebrachten Menge von Verpackungen gesehen werden. Im Allgemeinen handelt es sich bei der so ermittelten Menge meist um die Marktmenge inklusive Importe und exklusive Exporte (Eurostat 2019). Ein Beispiel für die Berechnungsmethode der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen ist in Tabelle 2 anhand von Deutschland für das Jahr 2016 dargestellt. Die Positionen Import/Export „leer“ stellen dabei die ein- und ausgeführten Mengen von „Rohverpackungen“ ohne Inhalt für ein späteres Abpacken dar. Hingegen wird mit Import/Export „gefüllt“ jene Verpackungsmenge bezeichnet, die als Packstoff für importierte bzw. exportierte Güter dient. Die Position „Verbrauch bereinigt“ entspricht exakt jener Menge an Kunststoffverpackungsabfällen, die von Deutschland für das Jahr 2016 an das statistische Amt der Europäischen Union (Eurostat) übermittelt wurde.

Tabelle 2: Berechnung der Kunststoffverpackungsabfälle für 2016 in Deutschland in Anlehnung an UBA-DE (2018).

Produktion von Kunststoffverpackungen	+ Import leer	- Export leer	± Sonstige Veränderung	= Verpackungseinsatz
3.550 kt	+ 1.375,3 kt	- 1.512,6 kt	- 139,3 kt	3.273,4 kt
	+ Import gefüllt	- Export gefüllt		= Verbrauch Marktmenge
	+ 998,4 kt	- 968,6 kt		3.303,3 kt
		- Nicht-verpackungen		= Verbrauch bereinigt
		- 205,6 kt		<b>3.097,7 kt</b>



### **Einflussfaktoren auf Abfallmenge und -zusammensetzung:**

Die Menge und Zusammensetzung der Abfallströme wird von einer Vielzahl von Faktoren und Rahmenbedingungen beeinflusst. Es spielen sowohl Gesetze und Verordnungen, die Struktur der Entsorgungsgebiete, die Ausgestaltung der Abfallwirtschaftskonzepte als auch sozio-ökonomische Faktoren eine wesentliche Rolle. Ebenfalls fließen Lebensstandard, Bildung und Konsumverhalten der Menschen in Abfallaufkommen und -zusammensetzung ein. (Martin Kranert 2015, S. 70)

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen beeinflussen Abfallentstehung und -verwertung als auch Abfallbeseitigung maßgeblich. So wird beispielsweise durch die Umsetzung der Herstellerverantwortung die Zusammensetzung der Abfallströme (besonders gemischte Siedlungsabfälle, umgangssprachlich oft als „Restmüll“ bezeichnet) verändert, was logistische sowie ökonomische Auswirkungen hat. (Martin Kranert 2015, S. 73)

#### Abfallwirtschaftskonzepte:

Die Gestaltung der kommunalen Abfallwirtschaftskonzepte hat einen Einfluss auf die gesamte Abfallmenge, jedoch einen noch deutlich größeren auf die Zusammensetzung. Durch die Art der getrennten Sammlung von Wertstoffen, die Behältergröße, die Gebührenstruktur sowie den Abfuhrhythmus werden Stoffströme in bestimmte Entsorgungswege umgelenkt. Die daraus resultierende Anzahl an Fehlentsorgungen kann die getrennte Erfassung von Wertstoffen stark beeinflussen. (Martin Kranert 2015, S. 72)

#### Lebensstandard und Bildung:

Entsprechend der zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel des Konsumenten werden die verschiedenen Produkte länger oder kürzer genutzt. Ob die Bildung des Konsumenten eine wesentliche Rolle spielt ist nicht erwiesen, jedoch korreliert der Bildungsstandard meist mit dem Umweltbewusstsein und beeinflusst somit Konsum- und Entsorgungsverhalten. (Martin Kranert 2015, S. 71)

#### Haushaltsgröße:

Untersuchungen zufolge produzieren Single-Haushalte mehr Abfälle als Mehrpersonen-Haushalte. Während der Anteil von Single-Haushalten in Deutschland im Jahr 1950 lediglich 20 % betrug, gehen Prognosen von einem Anteil von ca. 41 % bis zum Jahr 2020 aus. Trotz Reaktion der Industrie auf die daraus resultierende Nachfrage nach kleineren Gebindegrößen ist mit einer Veränderung der Abfallmenge und -zusammensetzung aufgrund der steigenden Anzahl an Single-Haushalten zu rechnen. (Martin Kranert 2015, S. 71f.)

**Aktuelle Trends im Kunststoffverpackungsbereich:**

In den letzten Jahren gab es eine stetige Zunahme im Verbrauch von Kunststoffverpackungen (UBA-DE 2018). Es sind verschiedene Trends zu beobachten, die diese Zunahme begünstigen oder kompensieren.

**Begünstigende Trends:**

- Steigender Verbrauch von Kunststoffgetränkeflaschen,
- Zunehmender Verbrauch für verpackte Produkte zum sofortigen Verzehr,
- Steigender Verbrauch von Sichtverpackungen (Blisterverpackungen),
- Trend zu Versandbeuteln im Versandhandel (z.B. bei Bekleidung),
- Steigender Verbrauch von Kunststoff-Kleinverpackungen und
- Tendenz in Richtung von Sammelverpackungen von portionierten Einheiten. (UBA-DE 2018)

**Gegenläufige Trends:**

- Abnehmendes Gewicht bei formstabilen Kunststoffverpackungen,
- leicht abnehmende Gewichte bei Folien und
- der stark abnehmende Verbrauch von Tragetaschen aus Kunststoff. (UBA-DE 2018)

Die gegenläufigen Trends haben wesentlich geringere Auswirkungen auf den Verbrauch als begünstigende Trends, weshalb weiter mit einem Anstieg zu rechnen ist (UBA-DE 2018).

## 3 Abfallwirtschaftliche Länderanalysen

In diesem Kapitel wird auf die abfallwirtschaftliche Situation ausgewählter Länder in Bezug auf Kunststoffverpackungsabfälle eingegangen. Dafür wurden die jährliche Menge, Entsorgungs- und Verwertungswege, Abfallzusammensetzung sowie aktuelle und zukünftige rechtliche Rahmenbedingungen der einzelnen Länder ermittelt. Weiter wurde ein Überblick über die europäischen Länder mit Fokus auf die EU erstellt. Begonnen wird dabei mit einer Übersicht über die erfassten Länder und Regionen sowie der Methodik bei der Datenermittlung in diesem Kapitel.

### 3.1 Methodik

Im Folgenden wird auf die Auswahl des Erfassungsbereichs sowie auf Problemstellungen und Herausforderungen bei der Datenerfassung für die Länderanalysen eingegangen.

#### Erfassungsbereich:

Um bei allen Analysen einen möglichst großen Erfassungsraum abzudecken, wurden bevölkerungsreiche Länder mit ausreichender Datenlage in Bezug auf den Stand der Abfallwirtschaft untersucht. Die ausgewählten Länder sind in Abbildung 7 farblich hervorgehoben. Betrachtet wurden die derzeit 28 EU-Staaten, Norwegen, die Schweiz, die USA, Brasilien, China, Indien und Ägypten.

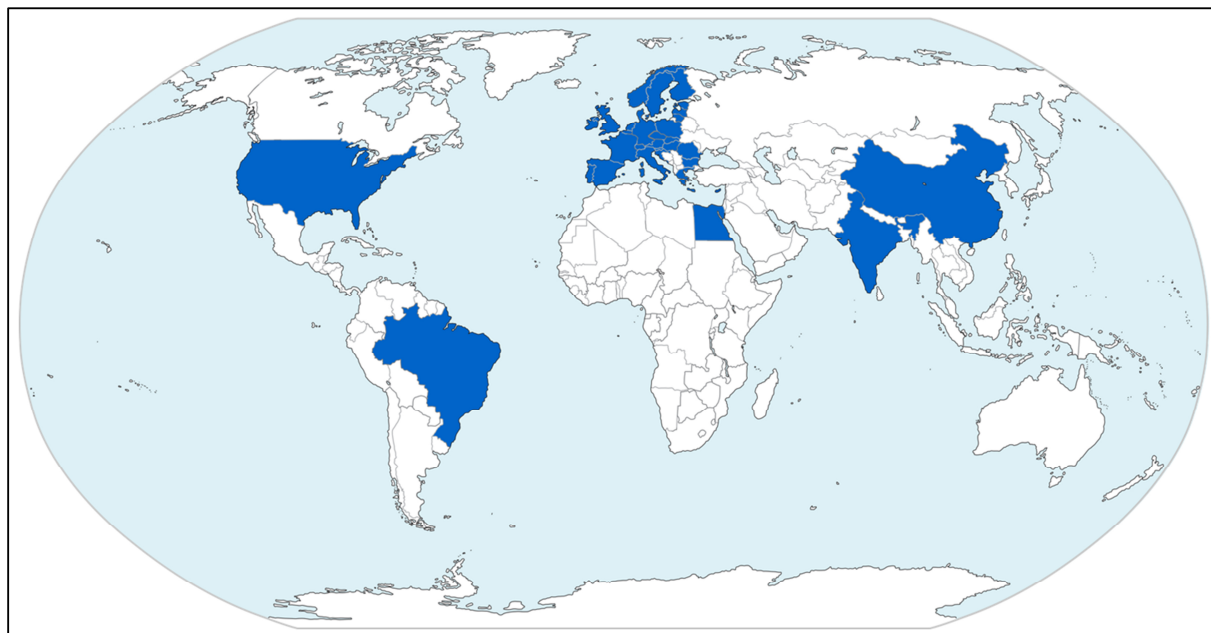


Abbildung 7: Überblick über die in dieser Arbeit untersuchten Länder.

In Summe lebt in den ausgewählten Ländern ca. 50 % der Weltbevölkerung. Außerhalb der EU wurden mit Ausnahme von Norwegen und der Schweiz alle Länder einzeln betrachtet. Innerhalb der EU wurden Österreich sowie jene Staaten einzeln untersucht, in denen mehr

als 20 Millionen Menschen leben. Für die Daten der restlichen EU-Länder sowie die Gesetzgebung auf EU-Ebene wurde übersichtsmäßig eine Gesamtdarstellung erstellt.

### **Ermittlung von Aufkommen, Behandlungswegen und Zusammensetzung:**

Das Ziel war es, möglichst aktuelle Daten in Bezug auf Aufkommen, Behandlungswege und Zusammensetzung aller Länder für ein einheitliches Betrachtungsjahr zu erfassen. EU-Mitgliedstaaten müssen alle zwei Jahre die statistischen Daten über Abfallaufkommen und -behandlung vorlegen, die Meldefrist beträgt hierfür 18 Monate nach Ende des jeweiligen Bezugsjahres (EU 2013). Deshalb ist innerhalb der EU das Jahr 2016 derzeit das aktuellste Jahr, in dem alle EU-Mitgliedstaaten die Daten zu Abfallaufkommen und -behandlung bereits veröffentlicht oder an öffentliche Stellen wie z.B. Eurostat gemeldet haben. Für Länder außerhalb der EU bzw. für Studien über die Zusammensetzung der Abfallströme im Kunststoffverpackungsbereich sind teilweise nur ältere bzw. gar keine Daten verfügbar. Aufgrund der unterschiedlichen Art der statistischen Erfassung und dem Stand der Abfallwirtschaft ist es schwierig, die Abfallmengen in Ländern wie Österreich oder Deutschland mit denen anderer Staaten innerhalb der EU oder gar weltweit zu vergleichen. Die früher erwähnten Einflussfaktoren wie Lebensstandard, Bildung, Einkommen und Gesetzgebung wirken sich im internationalen Vergleich noch deutlicher aus als im regionalen. Die wesentliche Herausforderung besteht hierbei in der Zuordnung der verschiedenen Stoffströme bzw. in der Beantwortung der Frage, welche Stoffströme mit welchen Eingrenzungen unter den angegebenen Mengen zusammengefasst wurden. Auf europäischer Ebene wird der Vergleich der jährlichen Menge an Abfällen seit der Einführung des Europäischen Abfallartenkatalogs sowie durch voranschreitende Vereinheitlichungen der Begriffe zunehmend leichter, es treten allerdings noch häufig Interpretationsprobleme auf (Martin Kranert 2015, S. 83). Zu den häufigsten Unsicherheiten gehören:

- Systemgrenzen und Referenzzeiträume bei der Erfassung,
- Definitionen der Begriffe „Verpackung“, „Verwertung“, „Recycling“ usw.,
- Berücksichtigung von Importen und Exporten,
- Abgrenzung von Verbundmaterialien sowie
- Unsicherheiten in Bezug auf verwendete Einheiten (außerhalb der EU).

In Abbildung 8 wird am Beispiel Österreich ersichtlich, welche Schwankungsbreite zwischen verschiedenen Studien zur Erhebung der jährlich anfallenden Menge an Kunststoffabfällen aus den oben genannten Faktoren resultiert. Dabei ist zu beachten, dass sowohl Verpackungen (VP) als auch Nichtverpackungen (NVP) miteingeschlossen sind.

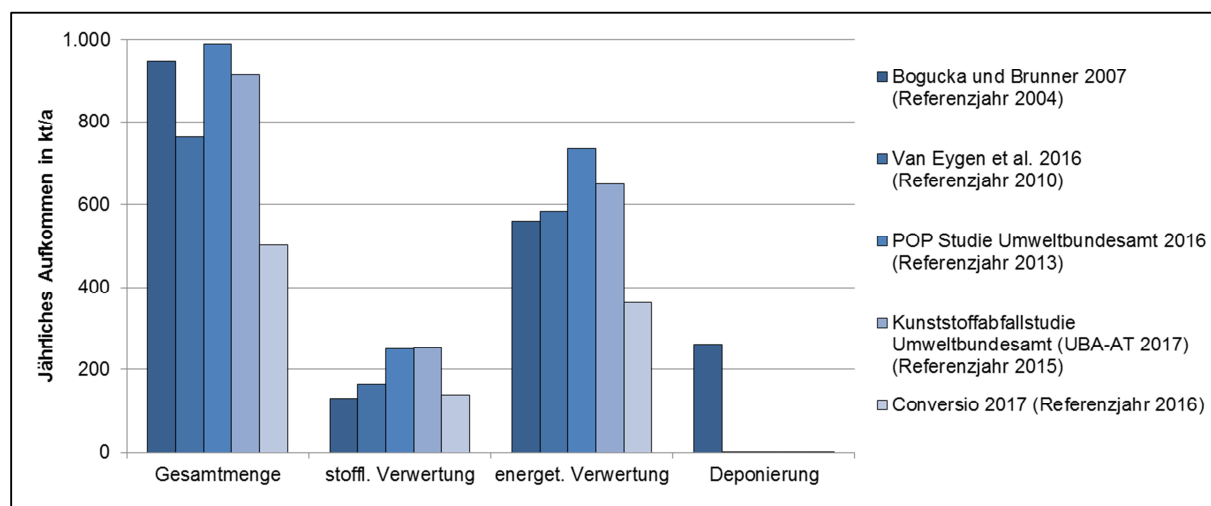


Abbildung 8: Gegenüberstellung verschiedener Studien über Aufkommen und Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich.

Aufgrund der starken Unterschiede in den Referenzjahren der in Abbildung 8 gegenübergestellten Studien ergibt sich eine erste Ursache für die Abweichungen. Das Deponierungsverbot für u.a. Kunststoffabfälle wurde in Österreich im Jahr 2004 verabschiedet und war erst 2009 flächendeckend umgesetzt (siehe Kapitel 3.3.7). Im Jahr 2004 wurde nach Bogucka und Brunner 2007 noch eine Menge von ca. 260 kt von Kunststoffabfällen deponiert. Folglich ist die einer stofflichen bzw. energetischen Verwertung zugeführte Menge geringer, als in nachfolgenden Jahren. Die verhältnismäßig großen Mengen, die vom österreichischen Umweltbundesamt (UBA-AT 2017) ermittelt wurden, sind auf unterschiedliche Systemgrenzen zurückzuführen. In diesen Studien wurden Produktionsabfälle sowie Post-Consumer-Abfälle berücksichtigt. Von Conversio 2017 wurden hingegen nur Post-Consumer-Abfälle erfasst, welche der tatsächlich gesammelten Abfallmenge entsprechen. Die Gesamtmenge der übrigen Studien entspricht hingegen der in Österreich endbehandelten Abfallmenge. Bei der endbehandelten Menge werden Abfallimporte bzw. -exporte der tatsächlich gesammelten Abfallmenge zugerechnet bzw. abgezogen.

Um für die Länderanalysen konsistente und vergleichbare Daten zu erhalten, wurde der Fokus auf Studien mit einem möglichst großen geographischen Erfassungsbereich gelegt, da innerhalb der einzelnen Studien die Daten von unterschiedlichen Ländern und Regionen größtenteils vereinheitlicht wurden. Sofern die Datenlage es zuließ, wurden verschiedene Quellen miteinander verglichen und es wurde versucht, die Ursachen für eventuelle Abweichungen zu ermitteln um die Ergebnisse zu plausibilisieren. Bei Unklarheiten in Bezug auf oben genannte Punkte wurden zuständige Stellen telefonisch oder per Email kontaktiert. Für viele Schwellen- und Entwicklungsländer gibt es allerdings keine Daten über Aufkommen, Behandlung und Verbleib der jährlich anfallenden Abfälle sowie keine geordnete Entsorgung. So musste z.B. im Fall von Indien oder Ägypten mit Hilfe von Schätzungen und Werten aus Ländern mit vergleichbaren Rahmenbedingungen auf die jährlichen Mengen geschlossen werden.

## 3.2 Gesamtdarstellung Europa

Im Folgenden wird auf die Gesetzgebung mit besonderer Relevanz für den Kunststoffverpackungsbereich, das Gesamtaufkommen sowie auf den aktuellen Stand der Sammel- und Verwertungssysteme innerhalb Europas mit Fokus auf die EU eingegangen.

### 3.2.1 Relevante EU-Legislative

Beginnend werden die wesentlichen gesetzlichen Vorgaben auf EU-Ebene erläutert. Diese Vorgaben sind die Grundlage, auf der die meisten aktuellen Gesetze der Mitgliedstaaten in Bezug auf Abfallbehandlung beruhen.

#### 3.2.1.1 EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG

Durch die EU-Richtlinie 2008/98/EG oder „EU-Abfallrahmenrichtlinie“ wurden verschiedene Maßnahmen zur Verringerung der schädlichen Auswirkungen der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen festgelegt. Im Sinne dieser Richtlinie bezeichnet man den Begriff „Abfall“ im genauen Wortlaut als *„jeden Stoff oder Gegenstand, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“* (EU 2008a). Ebenso wurden in dieser Richtlinie Abfallrelevante Begriffe wie „Behandlung“, „Recycling“, etc. definiert. Darüber hinaus wurde festgelegt, wann Abfall nach Durchlaufen eines Verwertungsverfahrens, wozu beispielsweise Recyclingverfahren zählen, nicht mehr als solcher anzusehen ist. Dazu gehört die Erfüllung der folgenden Bedingungen:

- Der Stoff oder Gegenstand wird vorwiegend für bestimmte Zwecke verwendet und genügt den bestehenden Rechtsvorschriften und Normen für Erzeugnisse,
- es besteht ein Markt für diesen Stoff oder Gegenstand bzw. eine Nachfrage danach und
- die Verwendung des Stoffs oder Gegenstands führt insgesamt nicht zu schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen. (EU 2008a)

Weiter wurde die dreistufige Abfallhierarchie (Vermeidung, Verwertung und Beseitigung) durch eine fünfstufige Hierarchie ersetzt. Diese gibt die Prioritätenfolge für Abfallvermeidung und -bewirtschaftung vor, wie in Abbildung 9 dargestellt. (EU 2008a)

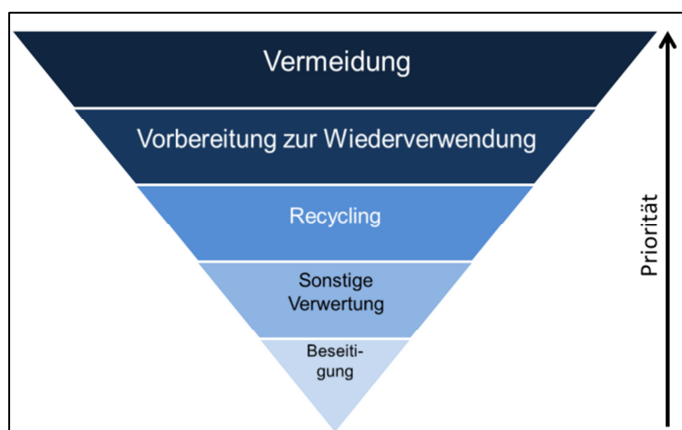


Abbildung 9: Eigene Darstellung der fünfstufigen Abfallhierarchie (EU 2008a).

Bei Anwendung der Abfallhierarchie sollen Mitgliedstaaten diejenigen Maßnahmen fördern, die insgesamt das beste Ergebnis unter dem Aspekt des Umweltschutzes erbringen. Als weiterer wichtiger Punkt wurde innerhalb dieser Richtlinie der Grundstein für die erweiterte Herstellerverantwortung gelegt. Diese gilt für jede Stelle, die Erzeugnisse entwickelt, herstellt, verarbeitet, behandelt, verkauft oder einführt und soll zur Verbesserung der Wiederverwendung und der Vermeidung von Abfällen sowie zum Ausbau der getrennten Sammlung beitragen. Letzterer Punkt war bis 2015 zumindest für Papier, Metall, Kunststoffe und Glas in allen Mitgliedstaaten umzusetzen. Mögliche Maßnahmen für die Erfüllung der erweiterten Herstellerverantwortung können Rücknahme zurückgegebener Erzeugnisse, Bewirtschaftung der Abfälle sowie finanzielle Verantwortung für diese Tätigkeiten umfassen. Sie sind jedoch nicht verpflichtend umzusetzen, sondern lediglich als Empfehlung anzusehen. Im Verpackungsbereich ist diese Empfehlung in ähnlicher Form innerhalb der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994) über eine gesonderte Regelung zur erweiterten Herstellerverantwortung verankert. (EU 2008a)

### 3.2.1.2 EU-Verpackungsrichtlinie 94/62/EG

Die Richtlinie 94/62/EG vom 20. Dezember 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, auch „EU-Verpackungsrichtlinie“ genannt, sowie deren spätere Änderungsrichtlinien, sind die Grundlage, auf der die derzeitigen nationalen Gesetze der EU-Mitgliedstaaten in Bezug auf Verpackungen und Verpackungsabfälle beruhen. Die Ziele sind im Wesentlichen eine Harmonisierung der Verpackungsabfallbewirtschaftung, Vermeidung bzw. Verminderung der anfallenden Menge an Verpackungsabfällen sowie eine Erhöhung der Wiederverwertungsquoten. Für die Gesamtheit der Verpackungsabfälle müssen derzeit mindestens 60 Gew.-% verwertet oder mit Energierückgewinnung (ERG) verbrannt werden. (EU 1994)

Die Mindestquoten für die stoffliche Verwertung der verschiedenen Verpackungsmaterialien lauten zurzeit gemäß EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994) geändert am 11. Februar 2004 durch Richtlinie 2004/12/EG:

- 60 Gew.-% für Glas,
- 60 Gew.-% für Papier und Karton,
- 50 Gew.-% für Metalle,
- 22,5 Gew.-% für Kunststoff und
- 15 Gew.-% für Holz. (EU 1994)

Des Weiteren sollen, wie auch in der Abfallrahmenrichtlinie empfohlen, die Verursacher von Verpackungen (jene Stellen, die solche in Verkehr bringen bzw. sie Herstellen) Verantwortung für den anfallenden Abfall durch die Benutzung ihrer Produkte übernehmen. In den meisten Mitgliedstaaten wurde diese bereits umgesetzt, jedoch bestehen große Unterschiede in Bezug auf ihre Struktur, ihre Effizienz sowie in ihrem Umfang. Einige Beispiele hierfür sind in der nachfolgenden Detaildarstellung ausgewählter Länder (Kapitel 3.3) zu finden. Im Wortlaut der Verpackungsrichtlinie werden Verpackungen als *„aus beliebigen Stoffen hergestellte Produkte zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung und zur Darbietung von Waren, die vom Rohstoff bis zum Verarbeitungserzeugnis reichen können und vom Hersteller an den Benutzer oder Verbraucher weitergegeben werden. Auch alle zum selben Zweck verwendeten „Einwegartikel“ sind als Verpackungen zu betrachten“* (EU 1994). Diese Definition wurde im Zuge der nationalen Umsetzung der einzelnen Mitgliedstaaten direkt oder indirekt übernommen, darüber hinaus gibt es jedoch gewisse Unterschiede. Dadurch entsteht der große Vorteil, dass die vorhandenen Daten in Bezug auf Verpackungen und folglich Verpackungsabfälle relativ ähnlich erfasst werden.

### 3.2.1.3 EU-Abfallstatistikverordnung (EG) Nr. 2150

Um die Umsetzung der von der EU vorgegebenen rechtlichen Rahmenbedingungen und insbesondere die Einhaltung der Grundsätze der Verwertung und der sicheren Entsorgung überprüfen und erfassen zu können, gibt es für die Abfallstatistik seit 2002 eine Rechtsgrundlage in Form der Abfallstatistikverordnung (Verordnung (EG) Nr. 2150). Diese sieht vor, alle zwei Jahre die relevanten Daten gemäß einer gemeinsamen Empfehlung zu erheben und zu veröffentlichen. (EU 2013, S. 3) In der Praxis wurde jedoch anfangs ersichtlich, mit welchen Schwierigkeiten eine harmonisierte und aussagekräftige Erstellung von Abfallstatistiken verbunden ist. Probleme bei der Datenerhebung der ersten zwei Erfassungsjahre führten zu einer Überarbeitung der Abfallstatistikverordnung im Jahr 2010. (EU 2013, S. 7) Folgende Methoden sind zulässige Mittel zur Datenerfassung (Artikel 3 Absatz 1):

- *„Erhebungen,*
- *administrative oder sonstige Quellen,*
- *statistische Schätzungen oder*
- *eine Kombination dieser Mittel.“* (EU 2013, S. 11)



Die Werte zu Abfallaufkommen und Abfallbehandlung werden ganzzahlig in Tonnen pro Jahr angegeben. Lässt die Schätzmethode keinen so hohen Genauigkeitsgrad zu, so ist der Wert nur mit den aussagekräftigen Stellen anzuführen. Da die Mitgliedstaaten eine Frist von 18 Monaten nach Ende des jeweiligen Bezugsjahres zur Übermittlung der Daten haben, können nur ältere Bezugsjahre als Datengrundlage herangezogen werden. (EU 2013, S. 132)

### **3.2.1.4 EU-Kreislaufwirtschaftspaket**

Im Dezember 2015 legte die EU-Kommission einen Aktionsplan zur Schaffung einer stärker kreislaforientierten Wirtschaft, das sogenannte „Kreislaufwirtschaftspaket“, fest. Das Kreislaufwirtschaftspaket enthielt Legislativvorschläge zur Änderung von sechs Richtlinien im Abfallbereich und einen Aktionsplan der rund 50 legislative und nicht legislative Vorschläge auflistet, die bis 2020 umzusetzen sind (BMNT 2017). Der Aktionsplan ist ein Teil der Bemühungen der EU, eine nachhaltige, CO<sub>2</sub>-arme, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft zu schaffen, in welcher der Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen so lange wie möglich erhalten und möglichst wenig Abfall erzeugt wird. Er soll dazu beitragen, Ziel Nr. 12 der UN-Agenda 2030 „nachhaltige/r Produktion und Konsum“ (UN 2015) zu erreichen. Die Maßnahmen fördern die Kreislaufwirtschaft in jeder Phase der Wertschöpfungskette, von der Produktion bis hin zum Verbrauch. Auf die Kernthemen des Aktionsplans wird im Folgenden eingegangen. (EC 2015b)

#### **Produktgestaltung und Produktion:**

Das Ziel ist eine Forcierung von Produktdesigns, die Reparierbarkeit, Langlebigkeit, Nachrüstbarkeit und Recyclingfähigkeit erleichtern (Ökodesign) sowie eine effizientere Nutzung von Ressourcen in der Produktion. Des Weiteren sollen wirtschaftliche Anreize für bessere Produktgestaltung geschaffen werden. Eine Möglichkeit hierfür wäre die Bemessung des aufgrund der erweiterten Herstellerverantwortung zu zahlenden Betrags an den Kosten am Ende der Nutzungsdauer des Produkts (EC 2015b).

#### **Verbrauch:**

Die Konsumententscheidungen, die von Millionen von Verbrauchern getroffen werden, können die Kreislaufwirtschaft massiv fördern oder behindern. Oft ist es für Verbraucher aufgrund der Vielzahl an Etiketten und Umweltangaben schwierig, zwischen Produkten zu differenzieren und vorhandenen Angaben zu trauen. Deshalb arbeitet die EU-Kommission daran, Umweltaussagen glaubwürdiger zu machen und Vorschriften besser durchzusetzen. Einer der ersten Schritte in diese Richtung ist das freiwillige EU-Umweltzeichen zur Kennzeichnung von Produkten mit geringen Umweltauswirkungen während ihrer gesamten Lebensdauer. Eine große Auswirkung auf die Kreislaufwirtschaft hat auch das öffentliche Beschaffungswesen, das 20 % des Bruttoinlandsproduktes (BIP) der EU ausmacht. Dort soll der Fokus auf Nachhaltigkeit bei Ausschreibungsverfahren gelegt werden. (EC 2015b)

**Abfallbewirtschaftung:**

Die Art der Abfallbewirtschaftung kann einen Anstieg der Recyclingquoten bewirken, jedoch auch zu einem ineffizienten System mit großen Deponierungsanteilen führen. Um ein hohes Maß an stofflicher Verwertung zu erreichen, müssen deshalb auf EU-Ebene die richtigen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Derzeit werden etwa 40 % der EU-weit erzeugten Haushaltsabfälle recycelt (EC 2015b), zwischen den Mitgliedstaaten liegt dieser Wert jedoch zwischen 5 % und 80 %. Deshalb werden von der EU-Kommission neue Legislativvorschläge vorgelegt, um die Recyclingziele zu erhöhen und die Deponierung von Siedlungsabfällen weiter einzuschränken. Dazu gehört eine Verbesserung von Abfallsammlung und -trennung sowie von Systemen erweiterter Herstellerverantwortung. Des Weiteren sollen Begriffsbestimmungen und Berechnungsmethoden vereinheitlicht und die Inanspruchnahme von wirtschaftlichen Instrumenten wie Deponiegebühren, oder Pay-as-you-throw-Regelungen (z.B. Bemessung von Abfallgebühren in Haushalten anhand der anfallenden Menge an der nicht getrennt gesammelten Abfallmenge) verstärkt werden. (EC 2015b)

**Stärkung des Marktes für Sekundärrohstoffe und Förderung der Wiederverwendung von Wasser:**

Sekundärrohstoffe (z.B. Regranulate) machen einen geringen Teil der in der EU verwendeten Materialien aus, beispielsweise sind es bei Kunststoff lediglich ca. 5 % (EC 2015b). Das fehlende Interesse vieler Marktteilnehmer in Bezug auf die Verwendung von Sekundärrohstoffen beruht auf der ungewissen Qualität dieser Stoffe. Die Ausarbeitung einheitlicher Standards für den Verunreinigungsgrad von Sekundärrohstoffen soll das Vertrauen in Sekundärrohstoffe und recycelte Materialien stärken und zur Förderung des Markts beitragen. Außerdem soll es harmonisierte Vorschriften zum „Ende der Abfalleigenschaft“ geben, um Sicherheit und gleiche Wettbewerbsbedingungen für alle Marktteilnehmer zu schaffen. (EC 2015b)

**Schwerpunkt Kunststoffe:**

In diesem Bereich hat die EU-Kommission „eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft“ angenommen, die sich mit Fragen wie Recyclingfähigkeit, biologischer Abbaubarkeit und ehrgeizigeren Recyclingzielen beschäftigt, wie in Kapitel 3.2.1.4.1 näher beschrieben. (EC 2015b)

### 3.2.1.4.1 Gesetzgebung im Rahmen des Kreislaufwirtschaftspaketes

Nachfolgend wird auf die im Zuge des Kreislaufwirtschaftspaketes verabschiedeten und für Kunststoffverpackungen relevanten Änderungsrichtlinien bzw. neu verabschiedeten Richtlinien eingegangen.

#### Änderungsrichtlinien zur Änderung bestehender Richtlinien:

Für Kunststoffverpackungsabfälle sind die Änderungsrichtlinien der EU-Abfallrahmenrichtlinie (EU 2008a), der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994) sowie der Richtlinie über Abfalldeponien (EU 1999) von besonderer Relevanz.

#### EU-Abfallrahmenrichtlinie (EU 2008a):

In Änderungsrichtlinie 2018/851 zur Änderung der EU-Abfallrahmenrichtlinie (EU 2008a) wurden folgende Ziele festgelegt:

- Verpflichtende getrennte Sammlung von Bioabfall ab 2023 sowie von gefährlichen Haushaltsabfällen und Textilien ab 2025,
- Die Quoten für die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling von Siedlungsabfällen werden auf mindestens 55 % bis 2025, 60 % bis 2030 und 65 % bis 2030 erhöht.

#### EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994):

In Änderungsrichtlinie 2018/852 zur Änderung der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994) wird die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung für alle Verpackungen bis 31. Dezember 2024 verpflichtend vorgeschrieben. Weiter wurden zukünftig verbindliche Recyclingziele wie in Tabelle 3 eingeführt.

Tabelle 3: Zukünftige Recyclingquoten für Verpackungsmaterialien gemäß Änderungsrichtlinie 2018/852 zur Änderung der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994).

Abfallart	Recyclingquoten	
	Bis 2025	Bis 2030
Verpackungsabfälle gesamt	65 %	70 %
• Kunststoff	50 %	55 %
• Holz	25 %	30 %
• Eisenmetalle	70 %	80 %
• Aluminium	50 %	60 %
• Glas	70 %	75 %
• Papier und Pappe/Karton	75 %	85 %

Die Abfallmengen der in Tabelle 3 vorgegebenen Recyclingquoten dürfen auf zwei Arten berechnet werden. Die Inputmenge von Recyclinganlagen, nachdem alle Abfallmaterialien, die anschließend nicht mehr weiterverarbeitet werden, entfernt wurden oder am Output von

Abfallsortieranlagen, sofern das Gewicht aller Stoffe, die im Rahmen weiterer Verfahren vor dem Recycling entfernt werden, nicht für das Gewicht der als recycelt gemeldeten Abfälle berücksichtigt wird. (EU 1994)

#### EU-Deponierichtlinie (EU 1999):

Weiter wurde in Änderungsrichtlinie 2018/850 zur Änderung der EU-Deponierichtlinie 1999/31/EG (EU 1999) festgelegt, dass bis 2035 die Menge der deponierten Siedlungsabfälle in der EU auf unter 10 Gew.-% der Gesamtmenge gesenkt werden muss.

#### **Einwegkunststoffrichtlinie 2019/904:**

Die Richtlinie 2019/904 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt (EU 2019) wurde im Zuge des Kreislaufwirtschaftspaketes am 5. Juni 2019 beschlossen. Bei den betroffenen Produkten handelt es sich um die bei Abfallauswertungen an Stränden der EU am häufigsten gefundenen Einwegkunststoffartikel. Gemäß dieser Richtlinie sind Einwegkunststoffartikel ganz oder teilweise aus Kunststoff bestehende Artikel, die nicht konzipiert, entwickelt und in Verkehr gebracht werden, um während ihrer Lebensdauer mehrere Produktkreisläufe zu durchlaufen (EU 2019). Beispiele hierfür sind Besteck, Teller, Lebensmittelverpackungen, Getränkebehälter oder Tragetaschen aus Kunststoff (EU 2019). Diese Richtlinie verpflichtet alle Mitgliedstaaten zu folgenden Maßnahmen:

- Verbrauchsminderung: Jeder Mitgliedstaat muss Maßnahmen ergreifen, um eine messbare Verbrauchsreduktion der in Anhang I A) angeführten Kunststoffartikel bis 2026 gegenüber 2022 zu erreichen.
- Beschränkung des Inverkehrbringens: Alle Mitgliedstaaten verbieten das Inverkehrbringen aller in Anhang I B) angeführten Kunststoffartikel sowie von Artikeln aus oxo-abbaubarem Kunststoff ab dem 3. Juli 2021. (EU 2019)

Auf eine genaue Ausführung der weiteren Maßnahmen wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet, Details können der Einwegkunststoffrichtlinie (EU 2019) entnommen werden. Die weiteren Maßnahmen umfassen stark zusammengefasst folgende Punkte:

- Verschlüsse und Deckel von Einwegartikeln müssen ab Juli 2024 an den Behältern befestigt sein,
- PET-Flaschen müssen ab 2025 zu mindestens 25 Gew.-% und ab 2030 zu mindestens 30 Gew.-% aus recyceltem Kunststoff bestehen,
- Einwegartikel müssen bis 3. Juli 2021 mit bestimmten Verbraucherinformationen gekennzeichnet werden,
- die Anforderungen an die erweiterte Herstellerverantwortung für bestimmte Einwegkunststoffe wird konkretisiert und muss bis spätestens 31. Dezember 2024 umgesetzt werden und

- bis 2025 müssen 77 Gew.-% und bis 2029 müssen 90 Gew.-% aller Einweg-Kunststoffflaschen zum Zweck eines Recyclings getrennt gesammelt werden. (EU 2019)

### 3.2.2 Mengenaufkommen und Übersicht

Da für die Schweiz und Norwegen eine ähnlich gute Datenlage wie für EU-Mitgliedstaaten vorhanden ist, werden diese zwei Länder teilweise in die gesammelte Betrachtung miteingeschlossen. In diesem Fall wird die Ländergruppe EU, Schweiz und Norwegen als „EU+2“ bezeichnet.

Im Jahr 2016 wurden laut Conversio Market & Stategy innerhalb der EU+2 rund 27,1 Mio. t (Conversio 2017) Post-Consumer Kunststoffabfälle gesammelt. Neun Länder in Europa erreichten eine Verwertungsquote von über 95 % (Conversio 2017), was auf das Deponierungsverbot, welches in diesen Ländern gilt, zurückzuführen ist. Mit einer Recyclingquote von 31,1 % wurden erstmals mehr Kunststoffabfälle recycelt als in Deponien eingelagert. Trotzdem wurden immer noch 27 % aller Post-Consumer-Kunststoffabfälle in der EU+2 deponiert. Verpackungen stellen mit rund 16.700 kt (ca. 62 %) die größte Fraktion der Post-Consumer-Kunststoffabfälle dar, wie in Abbildung 10 ersichtlich. (Conversio 2017)

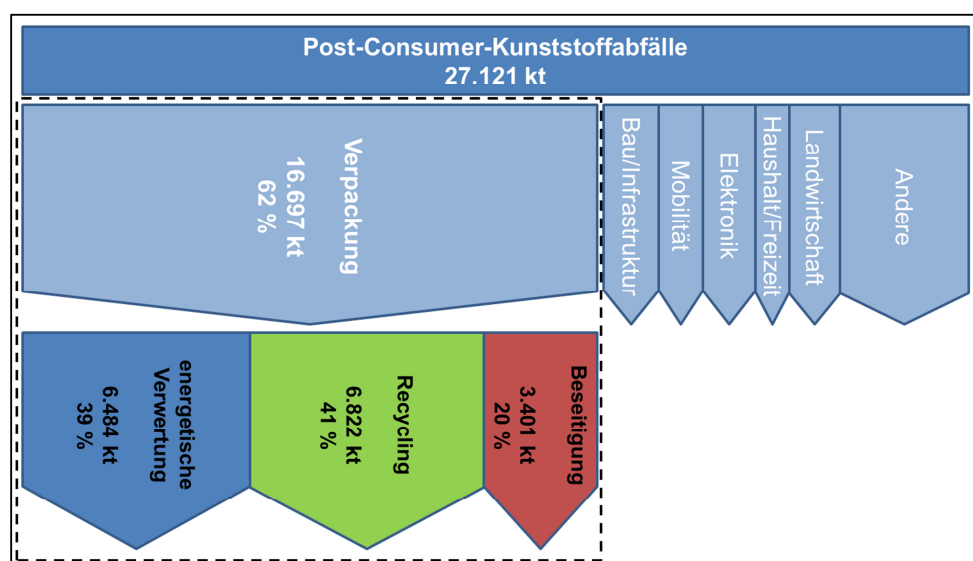


Abbildung 10: Aufteilung der Post-Consumer-Kunststoffabfälle für das Jahr 2016 in der EU+2 in Anlehnung an Conversio (2017).

Innerhalb der EU ist laut Eurostat (2019) in den letzten Jahren ein stetiges Wachstum der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen zu beobachten. Nach 2008 war die Menge leicht rückläufig, was wohl mit dem verringerten Konsum aufgrund der Wirtschaftskrise, der sich als logische Folge auch auf die Verpackungsmenge auswirkte, in Zusammenhang stehen dürfte (Magrama 2015, S. 50). Für die recycelte Menge ist ein kontinuierlicher Anstieg und für die deponierte Menge eine Verringerung zu erkennen, wenngleich die EU-weit deponierte Menge für das Jahr 2016 nach Eurostat (2019) um ca.

12 % über der von Conversio 2017 ermittelten Menge für die EU+2 liegt. Die Entwicklung der Kunststoffabfallmenge seit 2007 ist in Abbildung 11 dargestellt.

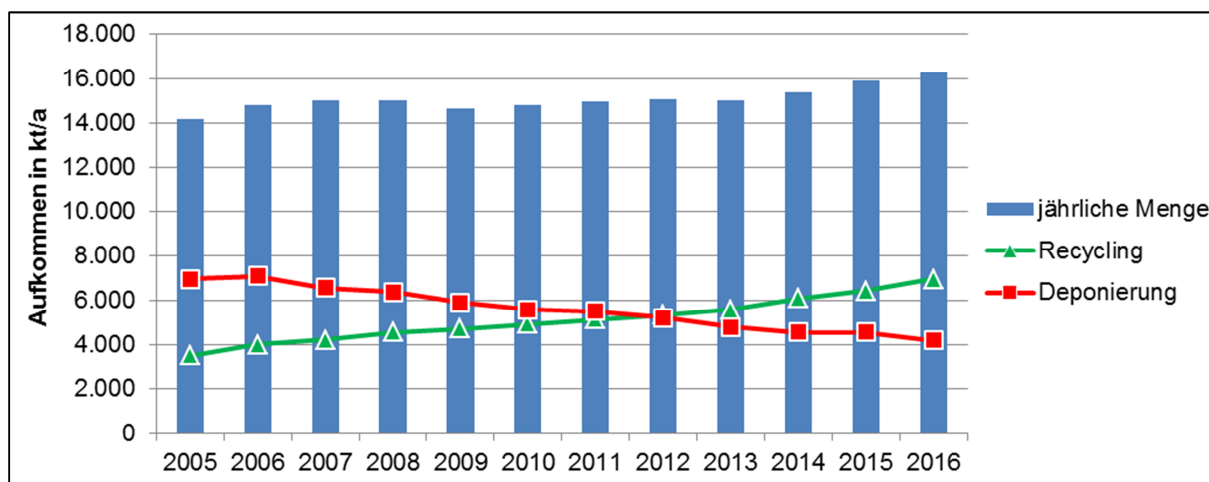


Abbildung 11: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in der EU nach Eurostat 2019.

Im EU+2-Durchschnitt wurden im Jahr 2016 38,8 % der Kunststoffverpackungsabfälle einer energetischen Verwertung und 20,3 % Deponien bzw. einer Verbrennung ohne ERG zugeführt. Darüber hinaus wurden 40,8 % recycelt. Trotzdem wird nach wie vor in vielen Ländern der Großteil der anfallenden Kunststoffverpackungsabfälle deponiert. Die genauen Zahlen und Behandelungsquoten für die gesamte EU+2 können Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in der EU+2 für das Jahr 2016 (Conversio 2017).

Aufkommen Kunststoffverpackungsabfälle [t]	Verwertung [t]			Beseitigung [t]	
	Recycling werkstofflich	Recycling rohstofflich	energetisch	Deponierung	Verbrennung ohne ERG
<b>16.697.000</b>	<b>6.770.000</b>	<b>52.000</b>	<b>6.484.000</b>	<b>3.390.000</b>	<b>11.000</b>
100 %	40,8 %		38,8 %	20,3 %	0,1 %

In Abbildung 12 sind außerdem die jeweiligen Behandelungsquoten der einzelnen Länder der EU+2 für 2016 dargestellt. Wie daraus ersichtlich wird, konnte das aktuelle Recyclingziel von 22,5 % in jedem EU-Mitgliedstaat erreicht werden.

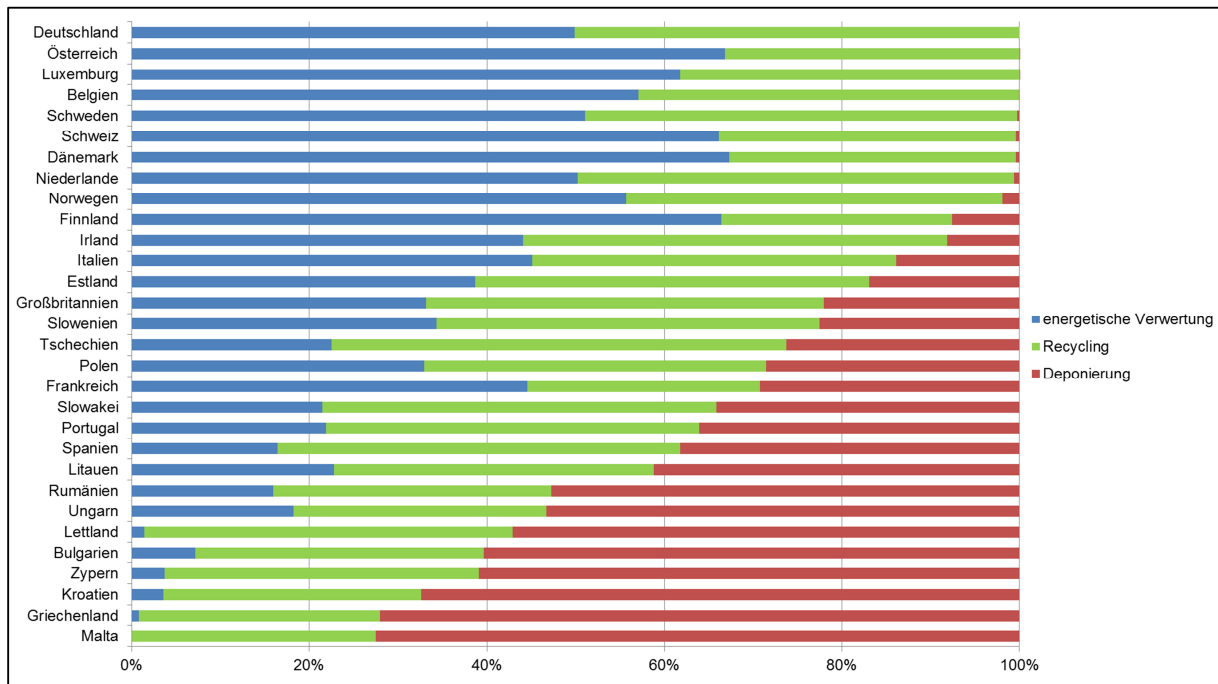


Abbildung 12: Behandlungsquoten für Kunststoffverpackungsabfälle im Jahr 2016 in der EU+2 in Anlehnung an Conversio (2017).

Werden die Anteile am Gesamtaufkommen der Kunststoffverpackungsabfälle aller Länder gegenübergestellt so wird deutlich, dass in den sechs bevölkerungsreichsten Ländern der EU (> 20 Mio. Einwohner) gemeinsam ca. 75 % der Gesamtmenge an Kunststoffverpackungsabfällen (Conversio 2017) anfallen, siehe Abbildung 13. In den Detaildarstellungen in Kapitel 3.3 werden deshalb nur diese Länder sowie Österreich behandelt.

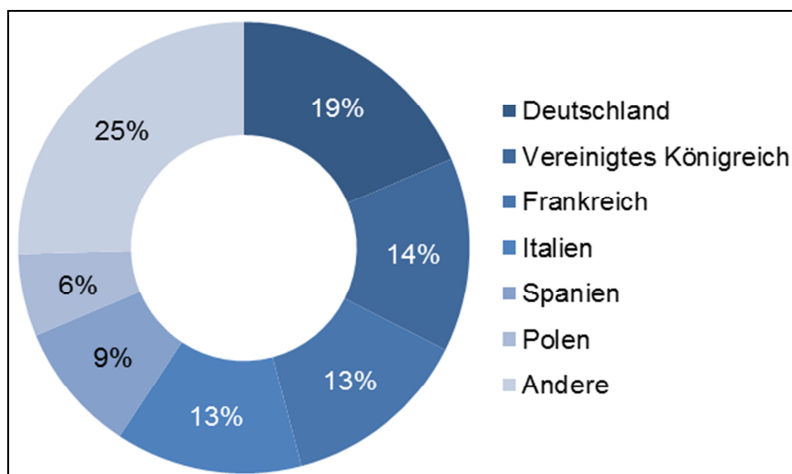


Abbildung 13: Anteile der bevölkerungsreichsten Länder der EU an der Gesamtmenge der Kunststoffverpackungsabfälle im Jahr 2016 in Anlehnung an Conversio (2017).

### 3.2.3 Sammlung

In Anbetracht der Sammelquoten innerhalb der EU lässt sich laut Deloitte Ltd. (DTTL 2017) in der Studie „*Blueprint for plastics packaging waste: Quality sorting & recycling*“ übergreifend sagen, dass noch deutlicher Handlungsbedarf für Verbesserungen besteht. In dieser 2017 durchgeführten Studie im Auftrag von Plastics Recyclers Europe wurden für das Jahr 2014 Daten über die Sammelquoten der fünf größten Erzeuger von Kunststoffverpackungsabfällen in der EU (Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Italien und Spanien) für die wichtigsten Kunststofftypen erhoben und auf EU-Ebene extrapoliert (DTTL 2017). Verpackungen gelten dann als gesammelt, wenn sie einer getrennten Sammlung zugeführt werden, welche eine anschließende stoffliche Verwertung ermöglicht (EU 2019). Die ermittelten Sammelquoten sind in Tabelle 5 ersichtlich. In dieser Tabelle ist bei Entstehungsort und Art der Verpackungen in Klammer die jeweilige Sammelquote angegeben. Demnach wurden 68 % der Kunststoffverpackungen aus Haushalten gesammelt, während in Gewerbe und Industrie lediglich 39 % gesammelt wurden (DTTL 2017). Weiter wurden beispielsweise 76 % der Hohlkörper aus Haushalten sowie 79 % der hohlkörperförmigen PET-Fraktion aus Haushalten gesammelt. (DTTL 2017)

Tabelle 5: Auf EU-Ebene extrapolierte Sammelquoten für die wichtigsten Kunststofftypen und Verpackungsarten nach Entstehungsort im Jahr 2014. (DTTL 2017)

Entstehungsort und Verpackungsabfallart	Sammelquoten			
	PET	HDPE	LDPE	PP
<b>Haushalt (68 %)</b>				
• Hohlkörper (76 %)	79 %	76 %	-	32 %
• Behälter, Becher, Schalen (34 %)	25 %	15 %	-	42 %
• Folien/Säcke (30 %)	-	12 %	37 %	18 %
<b>Gewerbe/Industrie (39 %)</b>				
• Hohlkörper (38 %)	36 %	40 %	-	18 %
• Behälter, Becher, Schalen (44 %)	51 %	13 %	-	65 %
• Folien/Säcke (38 %)	-	-	39 %	32 %



Die Art der Sammlung von Kunststoffverpackungsabfällen variiert innerhalb der EU-Mitgliedstaaten stark und ist kaum im Detail erfassbar. Während Abfälle aus Gewerbe und Industrie meist gut organisiert und in Gebinden vom Abfallerzeuger an den Entsorger übergeben werden, gelangen Abfälle aus Haushalten in kleineren Mengen vom Konsumenten zum Entsorger (Martens und Goldmann 2016). Grundsätzlich kann im Haushaltsbereich nach Hol- oder Bringsystemen und den getrennt oder gemischt gesammelten Fraktionen unterschieden werden.



### Holsystem:

Unter Holsystem kann die Sammlung von Abfällen in Säcken, Tonnen, Containern oder anderen Behältern mit regelmäßiger Abholung haushaltsgebunden bzw. in unmittelbarer Haushaltsnähe verstanden werden. Aufgrund der großen Unterschiede innerhalb der EU-Mitgliedstaaten (MS) wird nur auf das jeweilige primäre Sammelsystem eingegangen, also das System, das für den Großteil der Bevölkerung Anwendung findet. Beim Holsystem werden Papier/Karton (14 MS) und Bioabfall (14 MS) am häufigsten getrennt gesammelt. Glas wird in sieben Mitgliedstaaten primär getrennt gesammelt. Vier Mitgliedstaaten sammeln Kunststoff und lediglich drei Metall separat als Einzelfraktion. Darüber hinaus werden in fünf Mitgliedstaaten einige Fraktionen gemischt gesammelt, die Details sind in Tabelle 6 dargestellt. (EC 2015a)

Tabelle 6: Übersicht getrennte/gemischte Sammlung im Holsystem in der EU in Anlehnung an EC (2015a).


Sammelsystem	Papier	Glas	Kunststoff	Metall	Bioabfall
<b>Getrennte Sammlung</b> 	AT, BE, BG, CY, DE, DK, FI, HU, IT, LU, LV, NL, SI, GB	BG, FL, LU, LV, NL, SI, MT	AT, LV, NL, DK	FL, NL, DK	AT, BE, CZ, DE, FI, EE, IT, HU, LU, NL, SI, SE, IE, GB
<b>Gemischt (Metall und Kunststoff)</b> 			DE, BG, CY, DE, FR, IT, HU, LU, SI		
<b>Gemischt (3 Fraktionen)</b>	RO, MT: Papier, Kunststoff, Metall GB: Kunststoff, Metall, Glas				
<b>Gemischt (alle im selben Behälter)</b>	EL, IE: Papier, Glas, Kunststoff, Metall				

Die Anzahl der Sammelbehälter der jeweiligen Systeme in den verschiedenen Ländern kann Anhang II entnommen werden.

### Bringsystem:

Beim Bringsystem findet die Abfallsammlung nicht in unmittelbarer Haushaltsnähe, sondern meist an öffentlichen Plätzen für mehrere Haushalte gebündelt oder in Form von Altstoffsammelzentren statt. Dort werden Behälter bzw. Container für die verschiedenen Abfallfraktionen bereitgestellt. Die Mehrheit der Mitgliedstaaten (18 MS) sammelt Glas separat im Bringsystem, meist getrennt nach Farben. Papier/Karton wird in zehn Mitgliedstaaten separat gesammelt sowie Kunststoffe in sechs, in fünf davon gemeinsam mit Metall. Details können Tabelle 7 entnommen werden, wobei wieder nur die primäre Sammelart angeführt ist. (EC 2015a)

Tabelle 7: Übersicht getrennte/gemischte Sammlung im Bringsystem in Anlehnung an EC (2015a).

Sammelsystem	Papier	Glas	Kunststoff	Metall	Bioabfall
<b>Bringsystem</b> 	CZ, EE, ES, FR, HR, LT, PT, PL, SE, SK	AT, BE, DK, CY, CZ, DE, EE, ES, FR, HR, IT, HU, LT, PT, PL, RO, SE, SK	SE	AT, EE, SE	ES
			ES, HR, LT, PT, PL (Kunststoff und Metall gemischt)		

### 3.2.4 Verwertung

Wird der Stoffstrom der Kunststoffverpackungen nach Herkunft in Haushalte sowie Gewerbe und Industrie aufgeteilt wird deutlich, dass die Quote für eine energetische Verwertung im Haushaltssektor höher ist, während im Gewerbe- und Industriesektor die Recyclingquote deutlich höher ist. Das ist damit zu erklären, dass Kunststoffabfälle in Gewerbe und Industrie häufig als Einzelfraktion getrennt gesammelt und direkt an Verwertungsbetriebe geliefert werden (EC 2015a, S. 33). Die Verwertungs- und Beseitigungsquoten für die EU+2 sind in Tabelle 8 dargestellt. Dabei wird nach Entstehungsort in Haushalte sowie Gewerbe und Industrie unterteilt. Deponierte Abfälle und solche, die Verbrennungsanlagen ohne ERG zugeführt wurden, sind unter der Position „Beseitigung“ zusammengefasst.

Tabelle 8: Aufkommen und Behandlungsquoten in der EU+2 im Jahr 2016 nach Entstehungsort (Conversio 2017).

	Aufkommen [kt]	Verwertung [kt]			Beseitigung [kt]
		Recycling werkstofflich	Recycling rohstofflich	energetisch	Deponierung/ Verbrennung ohne ERG
<b>Haushalte</b>	<b>10.777</b>	<b>4.017</b>	<b>52</b>	<b>4.705</b>	<b>2.003</b>
	100%	37,8%		43,7%	18,6%
<b>Gewerbe/Industrie</b>	<b>5.919</b>	<b>2.753</b>	<b>0</b>	<b>1.779</b>	<b>1.387</b>
	100%	46,5%		30,1%	23,4%
<b>Gesamt</b>	<b>16.697</b>	<b>6.822</b>		<b>6.484</b>	<b>3.390</b>
	100%	40,9%		38,8%	20,3%

Wie diese Quoten innerhalb der EU errechnet werden bzw. welche Abfallmengen dabei erfasst werden dürfen, ist in den Kapiteln 2.2 bzw. 3.2.1.3 beschrieben. Bei den Recyclingquoten ist zu beachten, dass nicht die gesamte Menge der recycelten Kunststoffabfälle innerhalb der EU recycelt wird. 2016 wurden etwa 3.100 kt an Kunststoffabfällen (> 90 % aus Post-Consumer-Sektor) aus der EU exportiert. Mehr als die Hälfte der Abfälle wurden nach China verbracht, gefolgt von Hong Kong und Indien. Zu den wichtigsten Exportkunststoffen zählen Polyolefine mit 1.800 kt sowie PET mit 1.000 kt (Conversio 2017). Der Anteil an Verpackungen ist nicht bekannt, es ist jedoch davon auszugehen, dass ein großer Teil aus dem Verpackungssektor stammt, nachdem fast der gesamte EU-Kunststoffherstellerbedarf an PET und ein hoher Anteil an PO dem

Verpackungssektor zuzuordnen ist, siehe auch Kapitel 2.1.1. Von Deloitte Ltd. (DTTL 2017) wurden für das Jahr 2014 die Exportdaten der fünf größten europäischen Kunststoffabfallerzeuger auf die gesamte EU extrapoliert. Das Ergebnis ist in Abbildung 14 dargestellt. Die Werte für das Gesamtaufkommen und die Behandlungsarten weichen von den anderen Quellen (Eurostat 2019, Conversio 2017) leicht ab, liegen jedoch in derselben Größenordnung. Es ist ersichtlich, dass 2014 demnach fast die Hälfte aller EU-weit gesammelten und sortierten Kunststoffverpackungsabfälle in das EU-Ausland exportiert wurde.

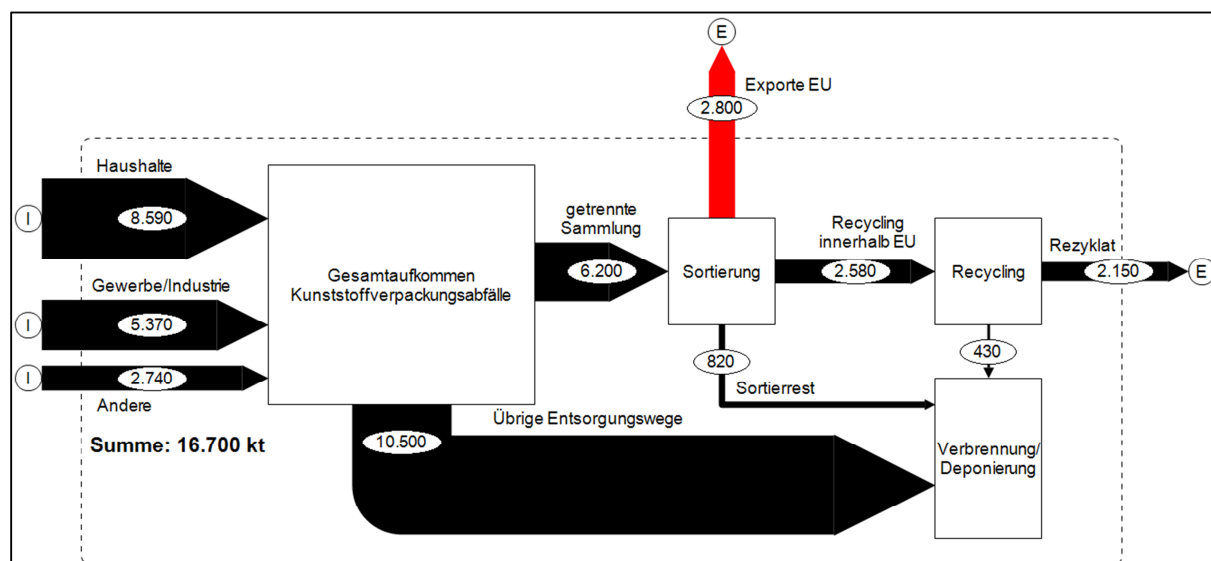


Abbildung 14: Von DTTL 2017 für das Jahr 2014 ermittelte Stoffströme im Kunststoffverpackungsbereich inklusive exportierter Menge in kt (DTTL 2017).

Für Recyclingzwecke exportierte Abfälle können den Recyclingquoten des exportierenden Landes angerechnet werden. Laut der EU-Verordnung 1013/2006 (EU 2006) über die Verbringung von Abfällen muss bei Abfallexporten mit dem Zweck einer Verwertung jedoch gewährleistet sein, dass die diese in Einklang mit den gemeinschaftsrechtlichen Umweltschutzstandards für die Abfallverwertung durchgeführt wird (EU 2006). In der Praxis ist dies häufig nicht der Fall. Oft mangelt es an einer ausreichenden Recyclinginfrastruktur sowie an umfassenden Kontrollsystemen durch die örtlichen Behörden in den Importländern (DTTL 2017). Nach Eurostat 2019 ist bei der exportierten Menge an Kunststoffabfällen (VP und NVP) in den letzten Jahren ein kontinuierlicher Rückgang zu verzeichnen, während die verhältnismäßig geringe Importmenge nahezu konstant blieb (siehe Abbildung 15). Eine der Ursachen dafür könnten die im Rahmen des Kreislaufwirtschaftspaketes beschlossenen Bemühungen von Seiten der EU zur Stärkung des europäischen Recyclingmarktes und der geplanten Reduzierung von Abfallexporten sein (EC 2018a). Der leichte Einbruch der Exporte im Jahr 2013 dürfte mit dem Start des „Green-Fence“-Programms und den damit verbundenen Importregulierungen von China zusammenhängen (Conversio 2017).

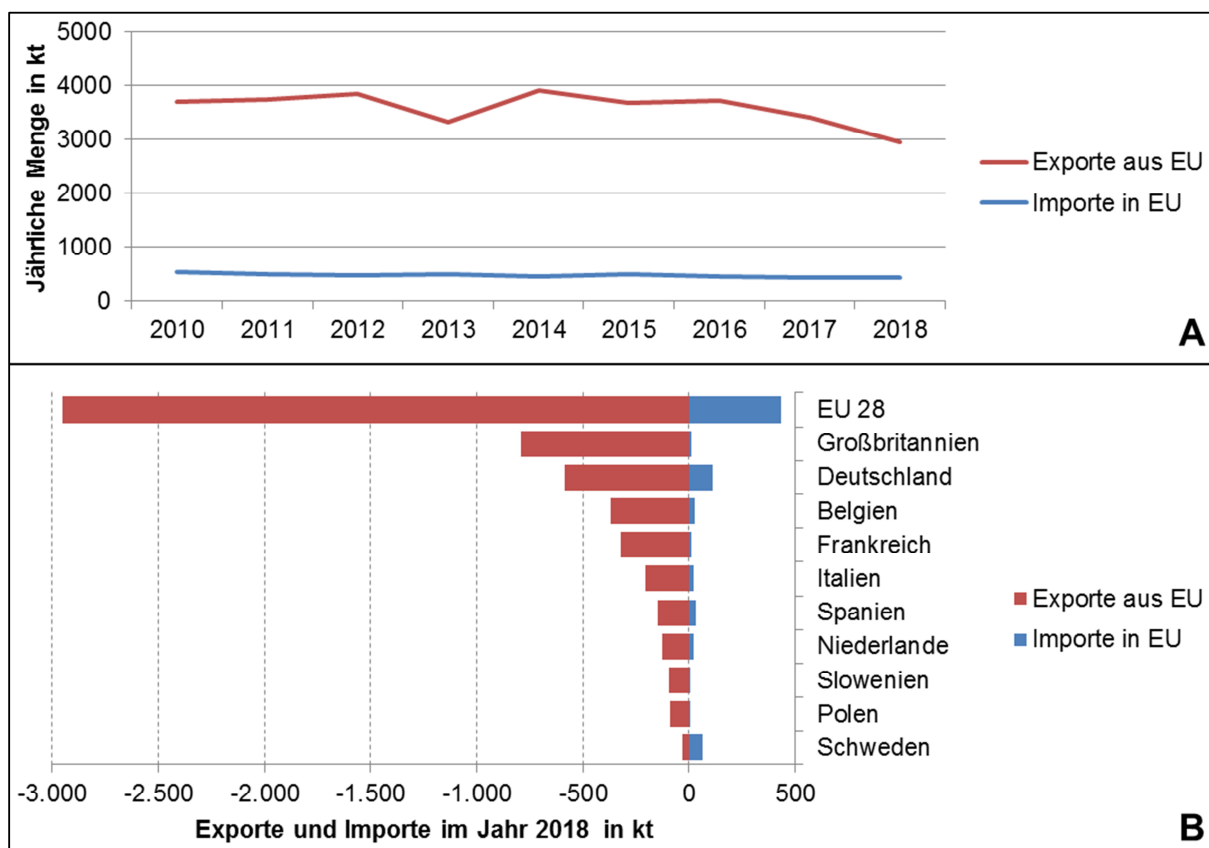


Abbildung 15: Entwicklung der jährlich exportierten/importierten Menge an Kunststoffabfällen der EU (A) sowie Export- und Importmengen einiger EU-Länder im Jahr 2018 (B) (Eurostat 2019).

Nachdem China Ende 2017 ankündigte, ab 2018 die Importregulierungen für Abfälle erneut zu verschärfen, mussten neue Abnehmermärkte gefunden werden, worauf die nach China exportierte Menge stark gesunken ist. Zu den neuen Top-Exportdestinationen gehören laut RECOUP (2018) Malaysia, Indonesien, die Türkei und Vietnam. Die von Eurostat (2019) ermittelten Exportmengen der EU zwischen Jänner 2015 und April 2018 belegen diese Entwicklung, siehe Abbildung 16. Da einige asiatische Länder mit den enorm steigenden Mengen an importierten Abfällen jedoch überfordert sind, wurden zwischenzeitlich weitere Importverbote verhängt. Von Thailand und Taiwan wurde ein totales Importverbot auf Kunststoffabfälle beschlossen, in Malaysia kam es zu temporären Importverboten und Vietnam hat strengere Auflagen sowie vorübergehende Importverbote angekündigt. (RECOUP 2018) Im Zuge dieser Importregulierungen, besonders aber durch jene von China, kamen exportstarke EU-Länder wie Deutschland, Belgien, Frankreich und besonders Großbritannien (siehe auch Kapitel 3.3.3.) in massive Bedrängnis, da Verwertungskapazitäten für zusätzliche Abfälle fehlten.

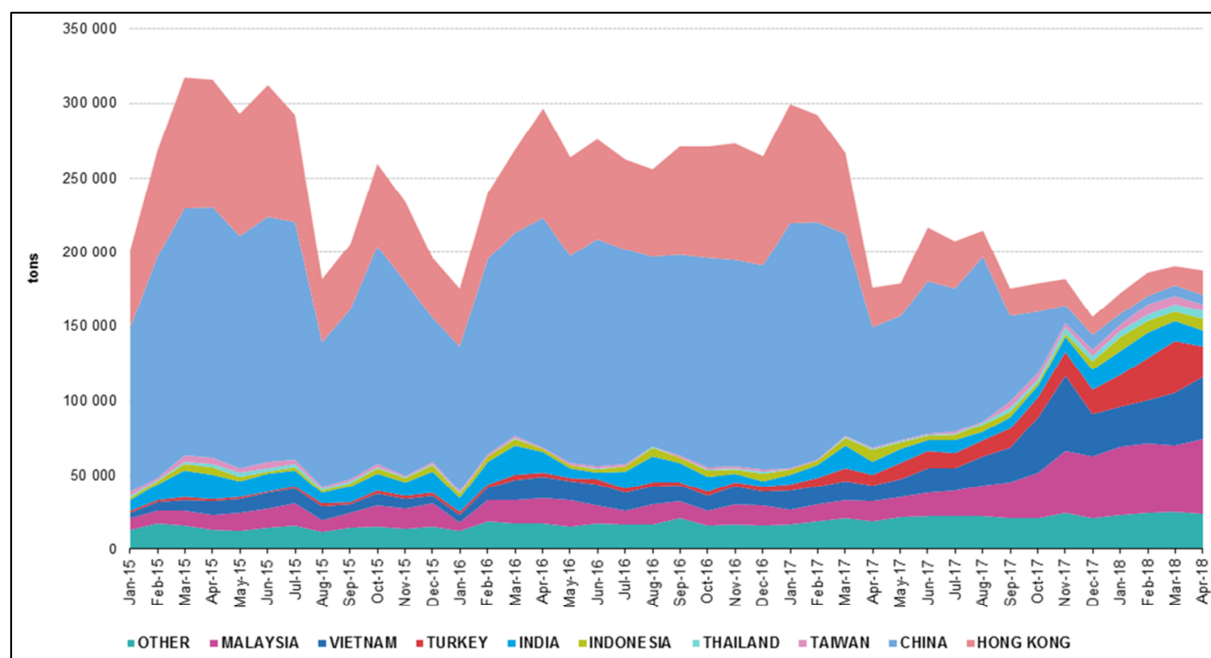


Abbildung 16: Empfängerländer sowie Mengen der EU-Kunststoffabfall-Exporte zwischen Jänner 2015 und April 2018 in Tonnen (Eurostat 2019).

### 3.2.5 Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle

Die Zusammensetzung der Post-Consumer-Kunststoffabfälle nach Kunststofftypen ist innerhalb der EU weitgehend bekannt, jedoch sind darin sämtliche Marktsektoren erfasst. Deshalb lässt sich nicht auf die Zusammensetzung einzelner Sektoren wie z.B. Kunststoffverpackungsabfälle schließen. Über die genaue Zusammensetzung dieses Abfallstroms in Bezug auf Verpackungs- und Kunststofftypen gibt es keine übergreifenden Studien, die die Daten aller Länder erfassen. In der bereits in Kapitel 3.2.4 erwähnten Studie von Deloitte Ltd. (DTTL 2017) wurden für das Jahr 2014 Daten über die Zusammensetzung für die fünf größten Erzeuger von Kunststoffverpackungsabfällen in der EU erhoben und auf die ganze EU extrapoliert (DTTL 2017). Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 dargestellt. Der Anteil einer Verpackungsart am Gesamtaufkommen eines Entstehungsortes (Haushalte oder Gewerbe/Industrie) ist in Klammer angegeben. Ebenso sind die Gehalte relevanter Kunststofftypen der jeweiligen Verpackungsart angegeben. Das zugehörige Flussbild, aus welchem diese Daten stammen, ist in Abbildung 14 gezeigt.

Tabelle 9: Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle in der EU nach Entstehungsort, Verpackungsart und Kunststofftyp im Jahr 2014 (DTTL 2017).

Entstehungsort und Verpackungsabfallart	Anteile Kunststofftypen an Verpackungsart			
	PET	HDPE	LDPE	PP
<b>Haushalte (100 %)</b>				
• Hohlkörper (36 %)	62 %	36 %	-	2 %
• Behälter, Becher, Schalen (24 %)	31 %	12 %	-	56 %
• Folien/Säcke (40 %)	3 %	12 %	69 %	16 %
<b>Gewerbe/Industrie (100 %)</b>				
• Hohlkörper (24 %)	9 %	86 %	-	5 %
• Behälter, Becher, Schalen (18 %)	27 %	32 %	-	41 %
• Folien/Säcke (58 %)	1 %	-	83 %	16 %
<b>Gesamtanteile</b> (Haushalte und Gewerbe/Industrie)	22 %	23 %	35 %	20 %

Darüber hinaus sind keine übergreifenden Daten über die Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle verfügbar. Die Ergebnisse der wenigen Studien für einzelne Länder innerhalb der EU sind in Abbildung 17 gegenübergestellt. Finnland wurde zwar aufgrund der niedrigen Bevölkerungszahl in den Länderanalysen nicht detailliert betrachtet, die Studie von Dahlbo et al. (2017) über die Zusammensetzung der finnischen Kunststoffverpackungsabfälle wird, um den Umfang des Vergleichs zu erhöhen, trotzdem in diese Betrachtung miteingeschossen. Für eine detaillierte Aufschlüsselung der finnischen Kunststoffverpackungsabfälle nach Verpackungsarten wird auf die genannte Studie (Dahlbo et al. 2017) verwiesen.

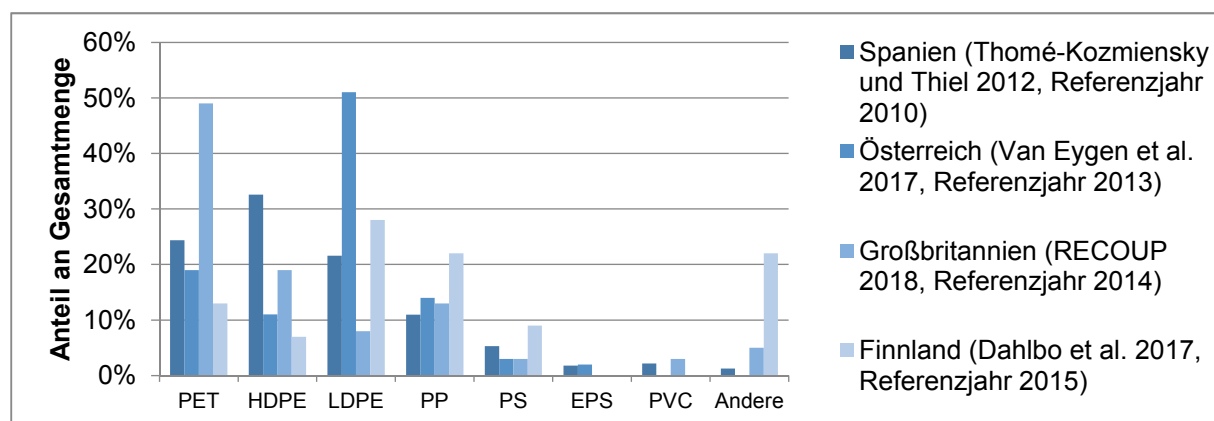


Abbildung 17: Vergleich der Anteile diverser Verpackungskunststoffe in verschiedenen EU-Ländern.

Beim Vergleich wird ersichtlich, dass es deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle in Bezug auf Kunststofftypen zwischen den Ländern gibt. Diese sind teilweise auf Differenzen in der Datenerhebung zwischen den Studien zurückzuführen. Direkten Einfluss hat hierbei z.B. die getrennte bzw. gemeinsame Erfassung von EPS und PS. Die Erfassungsbreite (Haushalte bzw. Gewerbe/Industrie) ist eine

mögliche Ursache für die deutliche Überrepräsentation von PET in Großbritannien, da z.B. Kunststoffflaschen in Haushalten nahezu flächendeckend vom Holsystem erfasst werden, Kunststofffolien hingegen kaum (siehe Kapitel 3.3.3). In Finnland wurde die gesamte Kunststofffraktion in den Siedlungsabfällen erfasst, wodurch ca. 10 % an NVP miteinfließen. Außerdem sind Verbundmaterialien sowie erfasste Nicht-Kunststoffe unter „Andere“ zusammengefasst, was die übrigen Anteile für den Vergleich im Verhältnis mindert. Für Österreich wurden Verbundmaterialien nicht erfasst, jedoch kann dort eindeutig auf einen überdurchschnittlich hohen Bedarf an LDPE im EU-weiten Vergleich geschlossen werden. Es lässt sich grundsätzlich feststellen, dass die Fraktionen PET, HDPE, LDPE sowie PP in allen Studien zu den häufigsten Kunststoffen im Verpackungsbereich zählen. Wird die Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfallströme mit dem Bedarf der kunststoffherstellenden Betriebe in Europa (Bedarf 2017: 20.060 kt) (PlasticsEurope 2019) verglichen, so ergibt sich eine ähnliche Verteilung der mengenmäßigen Schwerpunkte bei den am häufigsten vertretenen Kunststoffen (siehe Abbildung 18).

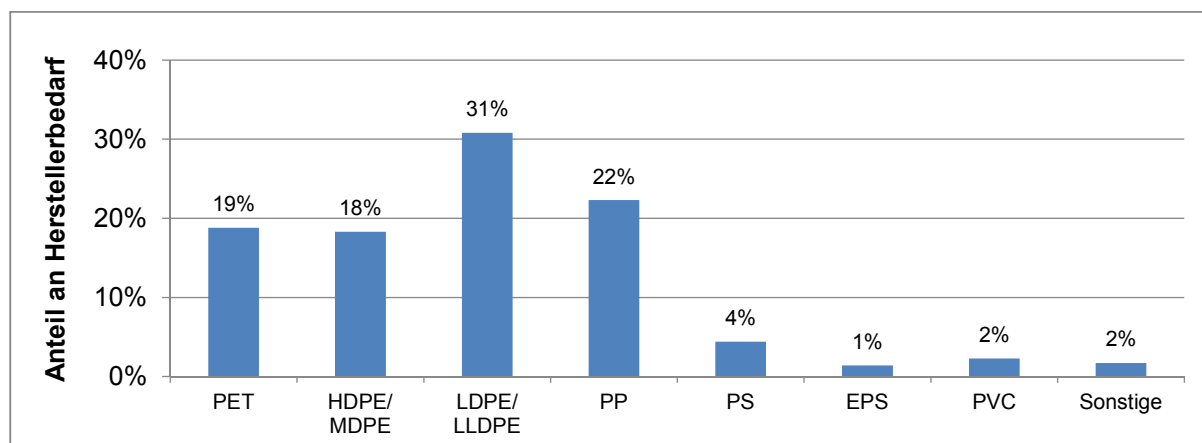


Abbildung 18: Kunststoffanteile des Verpackungssektors am Herstellerbedarf 2018 in der EU+2 (PlasticsEurope 2019).

### 3.3 Detaildarstellung ausgewählter EU-Länder

Im Folgenden Kapitel werden die EU-Länder mit mehr als 20 Millionen Einwohnern sowie Österreich detailliert betrachtet.

#### 3.3.1 Deutschland

##### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

In der deutschen Verpackungsverordnung (BT 2017) wurde die Definition des Verpackungsbegriffs im genauen Wortlaut der Richtlinie 2004/12/EG zur Änderung der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994) übernommen, siehe Kapitel 3.2.1.2. Die Abgrenzung von Verbundmaterialien geschieht nach der so genannten „95/5-Regel“, wonach die Hauptkomponente mindestens 95 Gew.-% einnehmen muss, damit eine Einordnung als Monomaterial erfolgt. Bei unter 95 Gew.-% der Hauptkomponente gilt die Verpackung als Materialverbund und wird der hauptsächlich vorliegenden Materialgruppe mit ihrem vollen Gewicht zugeordnet. (BT 2017) Die bis inklusive 2018 gültigen Mindestverwertungsquoten richteten sich nach den Vorgaben der EU-Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle (siehe Kapitel 3.2.1.2). Danach wurden im deutschen Verpackungsgesetz (gültig seit 01.01.2019) die Mindestquoten für eine Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling wie in Tabelle 10 festgelegt.

Tabelle 10: Mindestquoten für Vorbereitung zur Wiederverwendung oder Recycling (BT 2017).

Abfallart	Ab 2019	Ab 2022
Glas	80 %	90 %
Papier und Pappe/Karton	85 %	90 %
Eisenmetalle	80 %	90 %
Aluminium	80 %	90 %
Getränkekartonverpackungen	75 %	80 %
Sonstige Verbundverpackungen	55 %	70 %
Kunststoffe	Verwertung: > 90 % Recycling: > 65 %	Verwertung: > 90 % Recycling: > 70 %

Im Jahr 2003 wurde in Deutschland eine Pfandpflicht auf Einweggetränkeverpackungen eingeführt. Die Verpackungsverordnung (BT 2017) schreibt vor, dass die Hersteller von Einweggetränkeverpackungen ein Pfand von mindestens 0,25 € je Verpackung erheben müssen. Um die Abwicklung von Pfanderstattungsansprüchen zu ermöglichen, müssen sich die Hersteller an einem bundesweit tätigen, einheitlichen Pfandsystem beteiligen. Das Pfand wird von jedem weiteren Vertreiber in der Lieferkette bis zur Abgabe an den Endverbraucher weiterverrechnet. Die Vertreiber der Verpackungen an den Endverbraucher sind verpflichtet, die Einweggetränkeverpackungen am Verkaufsort zurückzunehmen und dem Endverbraucher das Pfand zu erstatten. (BT 2017) Zudem ist seit dem Jahr 2005 ein Deponierungsverbot für unbehandelte Abfälle mit einem TOC-Wert (Total Organic Carbon) von > 3 % deutschlandweit implementiert (cewep 2017).



Die erweiterte Herstellerverantwortung wird in Deutschland in Form des Dualen Systems umgesetzt. Ähnlich wie in Österreich müssen sich Hersteller und Vertreiber von Verpackungen an einem solchen System beteiligen. Die Dualen Systeme müssen eine flächendeckende Rücknahme und Verwertung aller in Verkehr gebrachten Verpackungen gegen ein Entgelt gewährleisten. Das ursprüngliche „Duale System Deutschland“ (Der Grüne Punkt – DSD GmbH) war lange Zeit das einzige zugelassene Duale System. Mittlerweile gibt es etliche solcher Systeme, wodurch der Marktanteil des DSD stark gesunken ist. (Consultic 2015; BT 2017) Die Marktanteile der zugelassenen Dualen Systeme für das erste Quartal 2019 sind in Tabelle 11 dargestellt. Bei der Abfallfraktion Leichtstoffverpackungen (LVP) wird deutlich, dass die Systeme Interseroh Dienstleistungs GmbH sowie BellandVision GmbH mit Anteilen von 24 % bzw. 18 % als starke Konkurrenz zum DSD zu betrachten sind. Bei Glasabfällen hält die BellandVision GmbH bereits die größten Marktanteile. Die übrigen Systeme halten derzeit lediglich Marktanteile von jeweils  $\leq 10$  %.

Tabelle 11: Gerundete Marktanteile der Dualen Systeme in Deutschland im ersten Quartal 2019 (Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister 2019).

System	Marktanteile		
	PPK	Glas	LVP
BellandVision GmbH	13 %	34 %	18 %
Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH	36 %	31 %	31 %
Interseroh Dienstleistungs GmbH	15 %	16 %	24 %
Landbell AG für Rückhol-Systeme	8 %	3 %	6 %
Noventiz Dual GmbH	5 %	1 %	3 %
Reclay Systems GmbH	10 %	4 %	8 %
RKD Recycling Kontor Dual GmbH & Co. KG	4 %	3 %	6 %
Veolia Umweltservice Dual GmbH	1 %	< 1 %	< 1 %
Zantek GmbH & Co. KG	9 %	7 %	5 %

### Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:

In Deutschland nimmt die Menge an Kunststoffverpackungen auf lange Sicht zu. Laut dem deutschen Umweltbundesamt (UBA-DE 2018) sind im Jahr 2016 3.097,7 kt an Kunststoffverpackungsabfällen angefallen (UBA-DE 2018). Nach den Daten von Conversio 2017 stammen 2.026 kt davon aus Haushalten, während 993 kt Gewerbe und Industrie zuzuordnen sind. Wie in Abbildung 19 ersichtlich, hat sich seit dem Jahr 1995 die jährliche Menge nahezu verdoppelt (Conversio 2017).

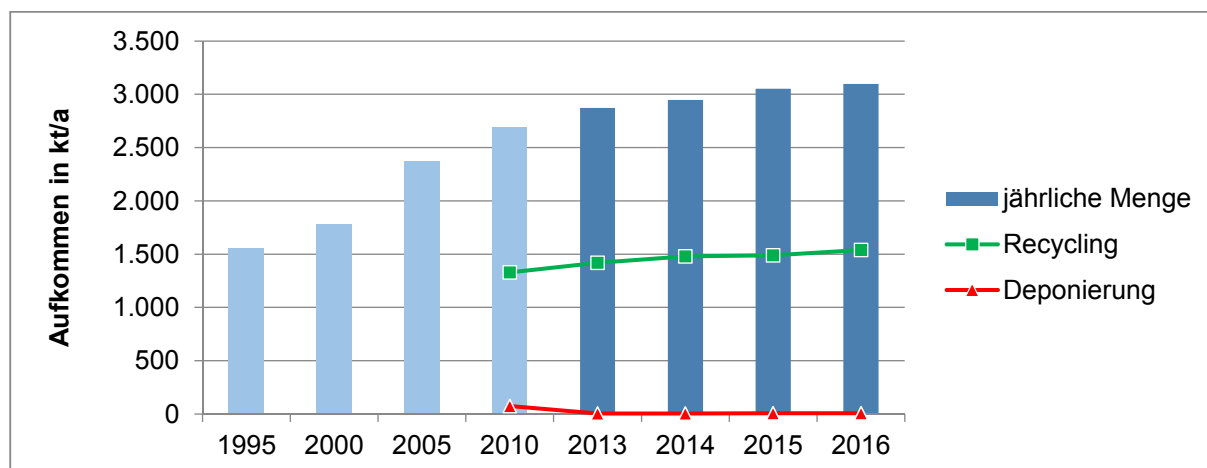


Abbildung 19: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Deutschland (UBA-DE 2018).

Deutschland gehört weltweit zu den Ländern mit der höchsten Verwertungsquote von Kunststoffverpackungen, was zum einen auf das Deponierungsverbot und zum anderen auf das gut funktionierende Pfandsystem für in Verkehr gebrachte Kunststoffflaschen zurückzuführen ist. Die Verwertungsquoten für das Jahr 2016 sind in Tabelle 12 ersichtlich.

Tabelle 12: Verwertungsquoten von Kunststoffverpackungen in Deutschland für das Jahr 2016 (UBA-DE 2018).

Aufkommen Kunststoffverpackungsabfälle [t]	Verwertung [t]			Beseitigung [t]	
	Recycling werkstofflich	Recycling rohstofflich	energetisch	Deponierung	Verbrennung ohne ERG
<b>3.097.700</b>	<b>1.498.300</b>	<b>42.000</b>	<b>1.551.000</b>	<b>6.300</b>	<b>0</b>
100 %	49,7 %		50,1 %	0,2 %	0 %

Bei der Position „Verwertung energetisch“ sind die gesamte energetische Verwertung (1.539,2 kt) sowie Abfallmitverbrennung (11,8 kt) zusammengefasst. Ein Anteil von 830 kt der energetisch verwerteten Kunststoffe stammen aus der separaten Sammlung (z.B. Mischkunststoffe aus LVP), während 709 kt getrennt erfasster Kunststoffverpackungen gemeinsam mit gemischten Siedlungsabfällen in Abfallverbrennungsanlagen (AVA) energetisch verwertet wurden. (UBA-DE 2018)





Die Menge an bepfandeten Kunststoffeinwegflaschen machte im Jahr 2016 409.000 t (UBA-DE 2018) aus. Die deutsche Verpackungsverordnung (BT 2017) schreibt vor, dass die Hersteller von Einweggetränkeverpackungen ein Pfand von mindestens 0,25 € je Verpackung erheben müssen. Um die Abwicklung von Pfanderstattungsansprüchen zu ermöglichen, müssen sich die Hersteller an einem bundesweit tätigen, einheitlichen Pfandsystem beteiligen. Das Pfand wird von jedem weiteren Vertreiber in der Lieferkette bis zur Abgabe an den Endverbraucher weiterverrechnet. Die Vertreiber der Verpackungen an den Endverbraucher sind verpflichtet, die Einweggetränkeverpackungen am Verkaufsort zurückzunehmen und dem Endverbraucher das Pfand zu erstatten. (BT 2017) Das bisherige

Resultat der verpflichteten Teilnahme am Pfandsystem ist eine sehr hohe Rücklaufquote von Kunststoff-Einwegflaschen von über 96 % bei allen Pfandsystemen und damit verbundene sortenreine Abfallströme für ein hochwertiges Recycling (UBA-DE 2018).

### Sammlung:

Die Sammlung in Deutschland erfolgt nicht individuell, sondern wird von den Dualen Systemen gemeinsam organisiert. Sie wird durch Sammelpartner (Entsorgungsbetriebe) im Auftrag der Dualen Systeme durchgeführt. Deutschlandweit gibt es über 400 Erfassungsgebiete mit lokal unterschiedlichen Erfassungssystemen. Die gebräuchlichste Form ist eine getrennte Erfassung bestimmter Wertstoffe wie Altpapier, Altglas und Bioabfall sowie eine Mischstoffsammlung bei LVP im Gelben Sack oder der Gelben Tonne. Zu den LVP gehören Verpackungen aus Wertstoffen wie Weißblech, Aluminium, Kunststoff und Verbundmaterialien. In einigen Regionen können außerdem stoffgleiche NVP aus Kunststoff oder Metall, wie beispielsweise Werkzeuge, Besteck, Gießkannen und Kunststoffspielzeug gemeinsam mit LVP über die sogenannte Wertstofftonne entsorgt werden. Es gibt Pläne, dieses Modell verpflichtend bundesweit einzuführen. (Martin Kranert 2015; EC 2015a) In Deutschland erfolgt die gemeinsame Sammlung von Metallen und sonstigen LVP größtenteils im Holsystem direkt bei den Haushalten oder Gewerbestandteilen (siehe Tabelle 13). Beim weniger etablierten Bringsystem werden die Verpackungsabfälle entweder nach Metallen und LVP getrennt in Depotcontainer, oder in Wertstoffhöfen (ähnlich wie Altstoffsammelzentren in Österreich), wo meist noch stärker nach Packstoffen differenziert wird, entsorgt. (ARA und ÖWAV 2014)

Tabelle 13: Sammelsysteme in Deutschland in Anlehnung an EC (2015a).

Sammelsystem	Papier	Glas	Kunststoff	Metall	Bioabfall
<b>Holsystem (getrennt)</b> 	Primär	Selten	Sehr selten	Sehr selten	Primär
<b>Holsystem (gemischt)</b> 	Sehr selten	Sehr selten	Primär: Kunststoff- und Metallverpackungen bzw. Wertstofftonne		
<b>Bringsystem</b> 	Sekundär	Primär	Sekundär	Sekundär	
<b>Rücknahme Hersteller/Einzelhandel</b> 		Standardpfand für Einweggetränkeverpackungen: 0,25 € Pfand für Mehrweggetränkeverpackungen: 0,08 €-0,15 €			

**Verwertung:**

Die Leichtverpackungsfraction wird in der Regel nach der Erfassung zu einer Umschlaganlage transportiert, wo eine Aufteilung der Mengen auf die einzelnen Dualen Systeme erfolgt. Die Anteile orientieren sich an der Lizenzmenge der jeweiligen Systeme, weshalb auch Sortierung und Verwertung individuell erfolgen. Die anschließende Sortierung findet in speziellen LVP-Sortieranlagen statt. Dort wird das gemischte Material in mehrere Materialfraktionen getrennt. Für Kunststoffe ist eine Trennung in PET, PE, PP, PS und eine Mischkunststofffraktion sowie ggf. (gegebenenfalls) die Abscheidung eines Ersatzbrennstoff(EBS)-Vorproduktes üblich. Je nach Abfallfraktion knüpfen unterschiedliche Aufbereitungs- und Verwertungswege an die Sortierung an. In Deutschland gibt es ca. 90 LVP-Sortieranlagen (Stand 2015) mit einer jährlichen Sortiermenge von über 2 Mio. t (Consultic 2015). In insgesamt 100 Sortieranlagen für Abfälle können Kunststoffe aussortiert werden. Weiter existieren etwa 50 teilweise hochspezialisierte Recyclingunternehmen für Kunststoffabfälle mit einer jährlichen Kapazität von ca. 1.600 kt. (Consultic 2015) Daten zu thermischen Behandlungsanlagen können Tabelle 14 entnommen werden.

Tabelle 14: Typen und Anzahl von Abfallverbrennungsanlagen in Deutschland mit Stand 2015 (Consultic 2015).

Anlagentyp	Anzahl
EBS-Mitverbrennung (Kohlekraftwerke, Kalk- und Zementwerke)	40
EBS-Kraftwerke	35
Abfallverbrennungsanlagen	70

### 3.3.2 Frankreich

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

Da besonders in Frankreich in Anbetracht der EU-Ziele großer Handlungsbedarf besteht (siehe nachfolgende Punkte), wurde im Jahr 2015 das Energiewendegesetz (No. 2015-992) verabschiedet, welches unter Anderem verschiedene Maßnahmen für den Übergang zur kreislauforientierten Wirtschaft vorsieht. Zu den Zielen gehören folgende Punkte:

- Ein Verbot von Einwegplastiksäcken im Einzelhandel an den Kassen seit 01.01.2016 sowie in Obst- und Gemüseabteilungen seit 01.01.2017,
- ein Verbot von Einweg-Küchenutensilien (z.B. Becher, Teller, Geschirr) ab 2020,
- die Reduktion von Abfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen um 10 % bis 2020,
- Reduktion der deponierten Abfallmenge um 50 % bis 2025,
- Recycling von 55 % der nicht-gefährlichen Abfälle bis 2020 und 65 % bis 2025,
- Förderung der Energierückgewinnung aus nicht-recycelbaren Materialien,
- Erhöhung der Akzeptanz gegenüber Rohstoffen aus Abfall,
- Kontinuierliche Erweiterung und Vereinheitlichung der Sammelsysteme bis 2025 und
- die Verkürzung der Wege zwischen Abfallproduzent und Abfallbehandler (Prinzip der Nähe). (MEDDE 2015)

Aktuell wird auch über Maßnahmen wie die Einführung eines Pfandsystems auf Getränkeverpackungen oder einer Sonderabgabe für Verpackungen aus nicht-recyceltem Kunststoff diskutiert, jedoch gibt es hierfür noch keine Einigung in der französischen Regierung (Goldsberry 2018). Eine erweiterte Herstellerverantwortung für Verpackungen wurde im Jahr 1992 erstmals als Maßnahme des in demselben Jahr verabschiedeten Verpackungsgesetzes eingeführt, um die Entsorgung von Haushaltsverpackungen in Frankreich zu verbessern. Betroffen sind alle Firmen, Hersteller und Importeure, die für die Platzierung von Verpackungen am französischen Markt verantwortlich sind. Sie müssen eine entsprechende Abfallbehandlung nach Nutzungsende sicherstellen. Bei der Verwertung von Verpackungen aus Gewerbe und Industrie ist auch eine Selbsterfüllung möglich, für Haushaltsverpackungen besteht hingegen die Pflicht zur Teilnahme an einem Rücknahmesystem. Hierfür wurde das Sammel- und Verwertungssystem CITEO S.A. (früher Eco-Emballages) gegründet. Es fungiert für Unternehmen als Beratungsstelle für recyclinggerechte Verpackungsgestaltung und gewährt Nachlässe bei gesetzten Maßnahmen zur Abfallvermeidung bzw. verhängt Strafen bei Nichtbeachtung der Verpackungsanforderungen nach einem Bonus/Malus-System. So erhält der Hersteller beispielsweise 8 % Nachlass auf die verrechneten Gebühren, wenn sich eine Sortieranleitung für die jeweilige Verpackung auf dieser befindet bzw. 12 %, wenn die Verpackung gut sortierbar ist. Finden sich hingegen z.B. mineralische Trübungsmittel in der Verpackung, so wird eine Strafe im Ausmaß von 100 % der Gebühren verhängt. Weiter leistet Citeo S.A. Aufklärungsarbeit für bessere Recyclingpraktiken und es werden lokale Behörden finanziell unterstützt, die Verpackungsabfälle erfolgreich sammeln, recyceln und

verwerten. Zurzeit besitzt Citeo S.A. die Monopolstellung in der Haushaltsabfalltrennung in Frankreich. Zwar wurde mit LÉKO SAS noch ein weiterer Betreiber zugelassen, jedoch war mit Stand 2017 LÉKO SAS noch nicht am Markt vertreten. (Watkins et al. 2017; EU-Recycling 2018) Darüber hinaus ist der Einzelhandel verpflichtet, so genannte Entpackstationen einzurichten, in denen die Verbraucher die Verpackungen der gekauften Artikel entsorgen können. Diese Maßnahme wird aber nicht angemessen umgesetzt (EC 2015a).

### Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:

Mit 2.187 kt Kunststoffabfällen im Jahr 2016 gehört Frankreich laut Conversio (2017) zu den Ländern mit dem größten Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen in der EU. Die jährlich anfallende Menge schwankt seit 2007 und es ist kein eindeutiger Trend erkennbar (siehe Abbildung 20). Seit 2013 ist jedoch ein leichter Anstieg zu beobachten. Die deponierte Jahresmenge ist leicht rückläufig, für das Jahr 2016 wurden von Conversio 2017 allerdings um ca. 135 kt weniger deponierte Kunststoffverpackungsabfälle ermittelt als von Eurostat 2019. Diese Menge wurde größtenteils der energetischen Verwertung zugerechnet.

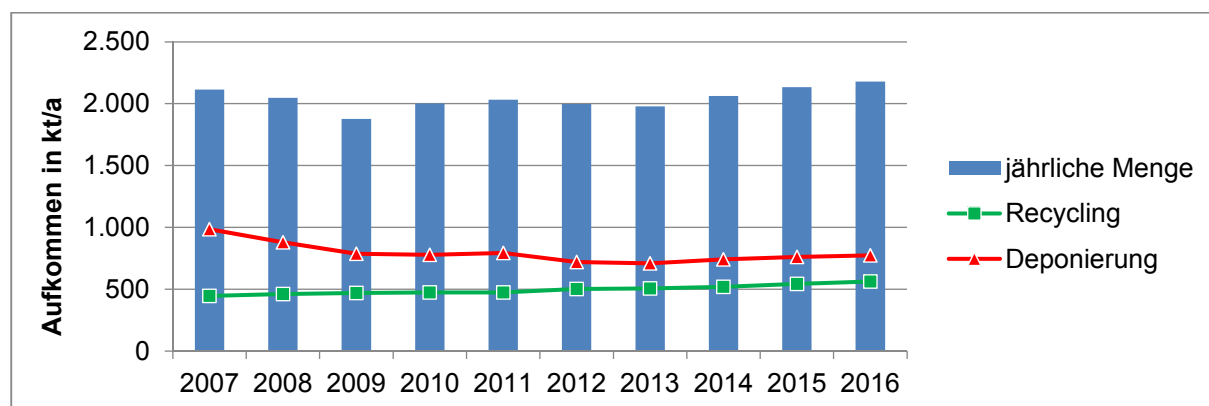


Abbildung 20: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Frankreich (Eurostat 2019).

Obwohl Frankreich zu den größten Abfallproduzenten gehört, liegen die Verwertungs- und Recyclingquoten im unteren europäischen Mittelfeld. Während der letzten Jahre ist zwar ein leichter Aufwärtstrend beim Recycling zu erkennen, die Quoten haben sich aber kaum erhöht. Aus Tabelle 15 wird ersichtlich, dass 2016 lediglich 26,2 % der Kunststoffverpackungsabfälle recycelt wurden. Die Deponierung von Abfällen aus Regionen ohne getrennter Sammlung sowie von unbehandelten Abfällen ist seit 2002 zwar verboten (cewep 2017), dennoch wurden 2016 fast 29 % der Kunststoffverpackungsabfälle deponiert. Darüber hinaus wurden ca. 10 kt ohne energetischer Nutzung verbrannt. (Conversio 2017)





Tabelle 15: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in Frankreich für das Jahr 2016 (Conversio 2017).

Aufkommen Kunststoffverpackungs- abfälle [t]	Verwertung [t]			Beseitigung [t]	
	Recycling werkstofflich	Recycling rohstofflich	energetisch	Deponierung	Verbrennung ohne ERG
<b>2.187.000</b>	<b>572.000</b>	<b>0</b>	<b>975.000</b>	<b>630.000</b>	<b>10.000</b>
100 %	26,2 %		44,6 %	28,8 %	0,4 %

**Sammlung:**

Zwar hatten im Jahr 2018 99,3 % (CITEO S.A. 2018) der Franzosen Zugang zu getrennter Abfallsammlung, jedoch gilt die Art der Abfalltrennung als äußerst mangelhaft. Sie ist einer der Hauptgründe, warum die Qualität der recycelten Kunststoffe sehr schlecht ist und neue Rohstoffe von der Industrie bevorzugt werden. Deshalb wird die Verbesserung der Abfalltrennung in den Haushalten als Schlüssel zur Erreichung von höheren Recyclingquoten gesehen. In manchen Regionen hilft die französische Umweltbehörde Ademe (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) den Gemeinden bei der Einführung von mengenbezogenen Abfallgebühren, da diese das Bewusstsein der Bevölkerung verbessern sollen. In Paris sind mengenbezogene Gebühren allerdings noch nicht geplant, obwohl nur 19 % der Haushaltsabfälle recycelt werden und die Anreize dadurch erhöht werden könnten. Hier ist jedoch die Einführung von Abgabeautomaten für PET-Flaschen in Supermärkten geplant, in der der Verbraucher zwischen ein und zwei Eurocent pro abgegebener Flasche erhält. (EU-Recycling 2018) Ein Überblick über die getrennte Sammlung ist sehr schwierig zu erstellen, da es in ganz Frankreich mehr als 100 verschiedene Abfallwirtschaftspläne gibt (EC 2015a). Grundsätzlich wird die Kombination Metall und Kunststoff (gemischt) und Restabfall überwiegend im Holsystem gesammelt, siehe Tabelle 16. Papier und Glas werden hauptsächlich über das Bringsystem entsorgt. Bioabfälle werden kaum getrennt gesammelt und daher meist mit dem Restabfall entsorgt (EC 2015a). Die Kunststoffsammlung umfasst teilweise nur Kunststoffflaschen (PET und HDPE), soll jedoch ab 2022 flächendeckend alle Kunststoffverpackungen einschließen (Conversio 2017).

Tabelle 16: Sammelsysteme in Frankreich in Anlehnung an EC (2015a).

Sammelsystem	Papier	Glas	Kunststoff	Metall	Bioabfall
<b>Holsystem (getrennt)</b> 	Sekundär	Sekundär			Selten
<b>Holsystem (gemischt)</b> 	Selten (mit Kunststoff und Metall)		Primär		
<b>Bringsystem</b> 	Primär	Primär	Selten		Sehr selten
<b>Rücknahme Hersteller/Einzelhandel</b> 	Teilweise Rückgabe von Verpackungsmaterialien im Einzelhandel möglich				

**Verwertung:**

Nach dem Institut für Europäische Umweltpolitik LBG (IEEP LBG) (Watkins et al. 2017) waren 2017 251 Sortieranlagen für Verpackungsabfälle in Frankreich in Betrieb. Citeo S.A. arbeitet derzeit daran, die Zahl der Anlagen zu reduzieren und diese zu modernisieren. (Watkins et al. 2017) Im Jahr 2014 wurden zudem über 70 Recyclinganlagen für Kunststoffabfälle in ganz Frankreich betrieben (siehe Abbildung 21), sieben davon haben sich auf das Recycling von PET spezialisiert (CNE 2014).

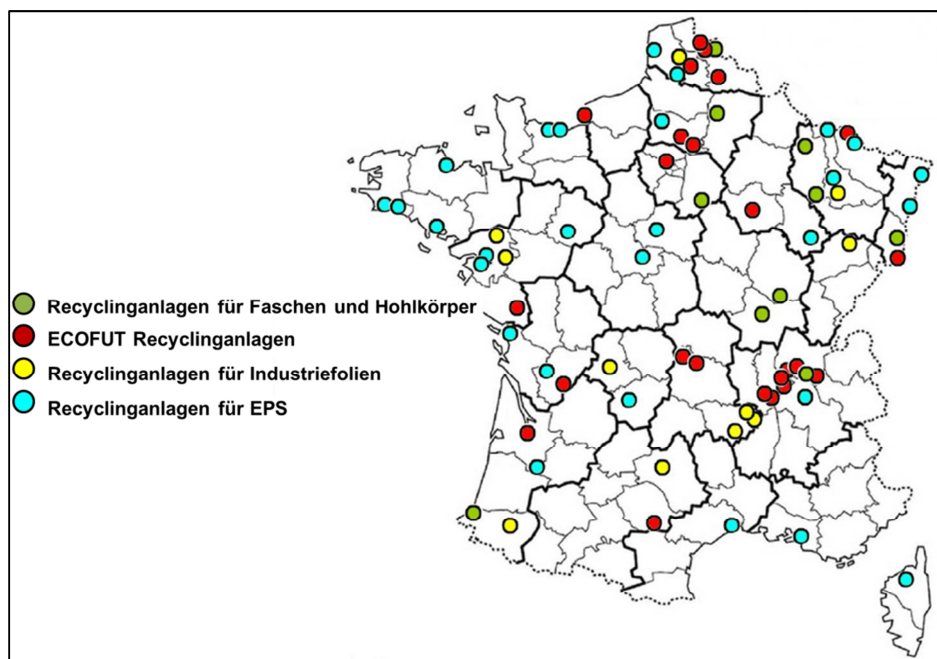


Abbildung 21: Kunststoffrecyclinganlagen in Frankreich mit Stand 2014 (CNE 2014).



### 3.3.3 Großbritannien

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

In Großbritannien (GB) gibt es keine einheitlichen Regelungen für die Umsetzung der abfallbezogenen EU-Richtlinien, diese obliegen der jeweiligen Verwaltung von England, Wales, Schottland und Nordirland. Die gesetzlichen Zielvorgaben weichen unter den Verwaltungsgebieten ab, sind aber in allen durchwegs ehrgeizig und ähnlich, wie in Tabelle 17 ersichtlich. (EEA 2013c)

Tabelle 17: Ziele der Verwaltungsgebiete von Großbritannien (CIWM 2016).

Ziel	Großbritannien	Schottland	Wales	Nordirland
Verpackungen: Recycling	72,5 %	Wie GB	Wie GB	Wie GB
Verpackungen: Verwertung	79 %	Wie GB	Wie GB	Wie GB
Siedlungsabfälle: Recycling	50 % bis 2020	70 % bis 2025	70 % bis 2025	60 % bis 2020
Siedlungsabfälle: Deponierung	-	< 5 % bis 2025	-	-

Zurzeit ist die Einführung einer Steuer auf Kunststoffverpackungen mit einem Anteil von unter 30 % von recycelten Materialien geplant. Diese Steuer soll bis April 2022 eingeführt werden und die Nachfrage nach recycelten Materialien sowie die getrennte Sammlung fördern. Zeitgleich soll die erweiterte Herstellerverantwortung reformiert werden. Des Weiteren wird die mögliche Einführung eines Pfandsystems auf Getränkeverpackungen diskutiert. (HM Treasury 2019) Die erweiterte Herstellerverantwortung wurde durch das sogenannte PRN-System (Packaging Waste Recovery Note) umgesetzt. In diesem System sind die Verpflichteten (jede Stelle, die Verpackungen in Verkehr bringt) jedoch nicht dazu verpflichtet, für die Sammlung und Verwertung ihrer Produkte aufzukommen. Stattdessen ist eine Gebühr für das Recycling der äquivalenten Menge der in Verkehr gesetzten Verpackungen an Recyclingbetriebe zu entrichten. In der Praxis bedeutet das nicht, dass die Verpflichteten den Recyclingprozess zur Gänze finanzieren, sondern lediglich, dass durch die Zuzahlung der Verpflichteten ein finanzieller Anreiz für Recyclingbetriebe geschaffen und dadurch das Recycling vorangetrieben wird. Im Austausch dafür bekommen die Verpflichteten die PRN-Bestätigung für die entsprechende Verpackungsmenge. (ACP 2016) Die zu gewährleistende Recyclingquote der Systeme wird jährlich von der Regierung vorgegeben (Tabelle 18). Das Erreichen dieser Recyclingquoten muss von den Verpflichteten anhand der PRN-Bestätigung nachgewiesen werden.

Tabelle 18: Recyclingziele für Verpflichtete des PRN-Systems für 2019 und 2020 (GOV.UK 2018).

Verpackungsabfallart	2019	2020
Verpackungsabfälle gesamt	92 %	92 %
• Kunststoff	55 %	57 %
• Glas	79 %	80 %
• Aluminium	61 %	64 %
• Stahl	82 %	85 %
• Papier und Karton	73 %	75 %
• Holz	43 %	48 %

Aus Tabelle 18 wird deutlich, dass die Recyclingziele wesentlich höher sind, als die Vorgaben der EU. Das liegt daran, dass nicht alle Hersteller (z.B. unter Schwellenwert für Verpflichtung bzw. Nichterfüllung der Pflicht) an den Systemen teilnehmen. Deshalb müssen die Ziele für die Teilnehmer höher gesetzt werden, um im Gesamten auf die vorgegebenen Recyclingquoten zu kommen. Eine Besonderheit stellt die geteilte Herstellerverantwortung dar, wodurch jeder Teilnehmer der Wertschöpfungskette eine anteilige Verpflichtung erfüllen muss. Wie hoch die jeweiligen Anteile an der Verantwortung sind, ist in Tabelle 19 ersichtlich. (ACP 2016)

Tabelle 19: Anteile an Verantwortung der einzelnen Verantwortlichen (ACP 2016).

Aktivität	Beispiel	Anteil an Verantwortung
Hersteller Rohmaterial	Granulathersteller	6 %
Verarbeitender Betrieb	Verpackungshersteller	9 %
Abpackbetrieb	Lebensmittelhersteller	37 %
Verkäufer	Einzelhändler	48 %

Die meisten Hersteller erfüllen ihre Pflicht durch Beitritt zu einem Sammelsystem. Mit Stand 2019 gibt es insgesamt 27 verschiedene Firmen, die in Großbritannien als Sammelsystem gemeldet sind. Viele davon haben Niederlassungen in England, Wales, Nordirland sowie Schottland gegründet, weshalb die Gesamtzahl der registrierten Sammelsysteme derzeit 50 beträgt. Der große Wettbewerb zwischen den Systemen führt zu verhältnismäßig niedrigen Kosten für die Erfüllung der Herstellerverantwortung im EU-weiten Vergleich. (ACP 2016; The Environment Agency 2019) Die größten Sammelsysteme mit den jeweiligen Marktanteilen im Jahr 2015 sind in Abbildung 22 dargestellt.

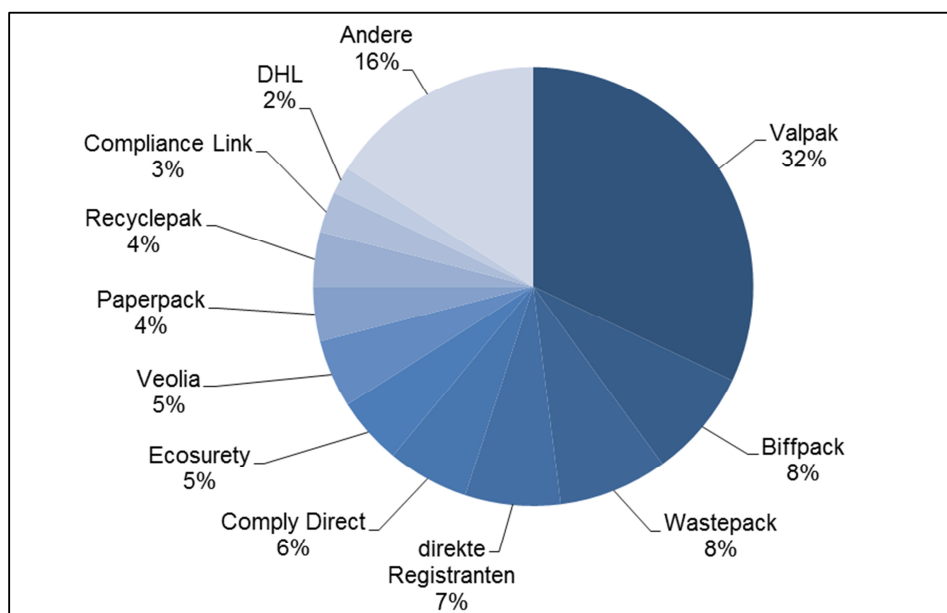


Abbildung 22: Marktanteile der Sammelsysteme in Großbritannien im Jahr 2015 in Anlehnung an Perchard et al. (2016).

#### Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:

In den letzten Jahren ist in Großbritannien eine Stagnation der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen zu beobachten. Im Jahr 2016 war die Menge mit ca. 2.260 kt (Conversio 2017) nahezu identisch mit den jährlichen Mengen der Vorjahre (siehe Abbildung 23). Über die energetisch verwerteten und beseitigten Mengen gibt es kaum Studien mit einer differenzierten Betrachtung dieser Verfahren, weshalb auf eine Darstellung des Verlaufs der deponierten Mengen in Abbildung 23 verzichtet wird. Die Deponierungs- und Verwertungsquoten für 2016 nach Conversio (2017) können der Tabelle 20 entnommen werden.

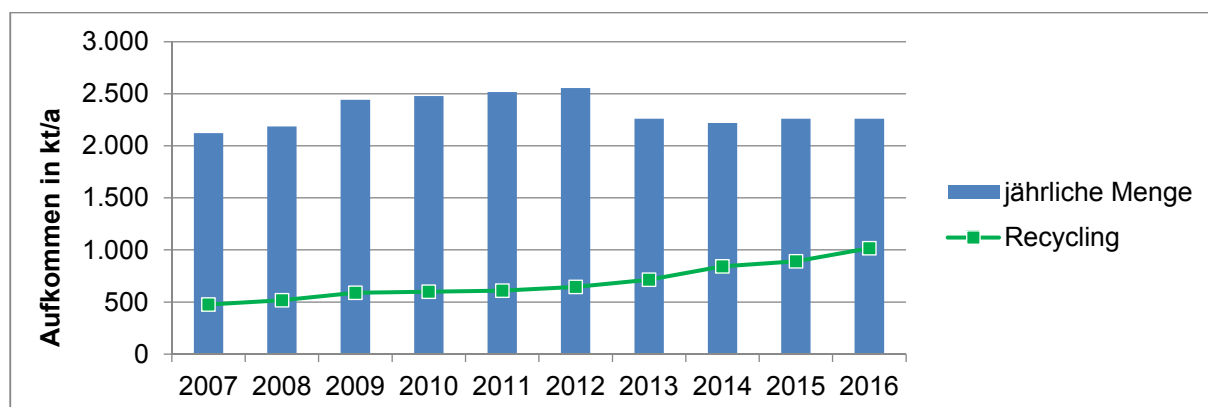


Abbildung 23: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Großbritannien (Eurostat 2019).

Von der Gesamtmenge im Jahr 2016 stammen 1.535 kt aus Haushalten und 726 kt aus Gewerbe und Industrie. Die recycelte Menge bei Kunststoffverpackungen ist in den letzten Jahren gestiegen und liegt mittlerweile mit über 1.000 kt (ca. 45 %) über dem europäischen Mittelwert von 40,9 % (Conversio 2017). Es ist angemerkt, dass im Jahr 2017 lediglich 34 % der insgesamt recycelten Kunststoffverpackungsabfälle in Großbritannien recycelt wurden, die übrige Menge wurde zu diesem Zweck exportiert (RECOUP 2018).





Tabelle 20: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in Großbritannien für das Jahr 2016 (Conversio 2017).

Aufkommen Kunststoffverpackungsabfälle [t]	Verwertung [t]			Beseitigung [t]	
	Recycling werkstofflich	Recycling rohstofflich	energetisch	Deponierung	Verbrennung ohne ERG
<b>2.261.000</b>	<b>1.014.000</b>	<b>0</b>	<b>750.000</b>	<b>497.000</b>	<b>0</b>
100 %	44,8 %		33,2 %	22 %	0 %

### Sammlung:

Die örtlichen Behörden in Großbritannien sind gesetzlich dazu verpflichtet, ein Holsystem für die Haushaltssammlung inklusive getrennter Sammlung zur Verfügung zu stellen. Jedoch nur, sofern diese technisch, ökologisch und wirtschaftlich durchführbar ist und die Rückgewinnung der Wertstoffe erleichtert oder verbessert. Während die getrennte Sammlung von Papier und Karton, Kunststoff, Glas und Metall in den Regelungen bevorzugt wird, ist eine gemischte Sammlung der Fraktionen unter gewissen Umständen ebenso möglich. Das ist beispielsweise der Fall, wenn die gemeinsame Sammlung von Kunststoff und Metall zu keinem Qualitätsverlust der Abfälle für spätere Wiederverwertung führt und sich die einzelnen Fraktionen leicht trennen lassen. Die jeweiligen Sammelsysteme sind in Tabelle 21 dargestellt. Daraus wird deutlich, dass es sich bei der gemischten Sammlung der Fraktionen Papier, Glas, Kunststoff und Metall um die primäre Sammelart im Holsystem handelt. Die Abdeckung des Holsystems beträgt 100 % der Bevölkerung für Metallverpackungen, 99 % für Kunststoffflaschen, 79 % für andere Kunststoffbehälter, 17 % für Kunststofffolien sowie 84 % für Glas, 100 % für Papier und 96 % für Karton (RECOUP 2018; EC 2015a). In der Haushaltssammlung wurden so im Jahr 2017 ca. 527 kt an Kunststoffabfällen für eine stoffliche Verwertung gesammelt (RECOUP 2018). Daneben gibt es auch die Möglichkeit, die Abfälle im Bringsystem an Sammelstellen zu entsorgen. (EC 2015a) Laut RECOUP (2018) ist davon auszugehen, dass derzeit von den konsumierten Kunststoffverpackungsabfällen ca. 47 % getrennt gesammelt werden, was einer Sammelquote von 59 % bei Kunststoffflaschen und 33 % bei sonstigen Behältern entspricht (RECOUP 2018).

Tabelle 21: Sammelsysteme in Großbritannien in Anlehnung an EC (2015a).

Sammelsystem	Papier	Glas	Kunststoff	Metall	Bioabfall
<b>Holsystem (getrennt)</b> 	Sekundär	Sekundär	Sekundär	Sekundär	Primär
<b>Holsystem (gemischt)</b> 	Primär (Papier, Glas, Kunststoff und Metall)				Sekundär
<b>Bringsystem</b> 	Sekundär	Sekundär	Sekundär	Sekundär	-
<b>Rücknahme Hersteller/Einzelhandel</b> 	Kein System für Haushaltsverpackungen vorhanden				

### Verwertung:

Wie bereits in Kapitel 3.2.4 erwähnt, werden große Mengen an Kunststoffverpackungen aus Großbritannien für Verwertungszwecke exportiert. Laut RECOUP (2018) wurden im Jahr 2017 insgesamt 1.044,4 kt an Kunststoffverpackungsabfällen recycelt, allerdings nur 358,5 kt (ca. 34 %) davon in GB. Nachdem China zwischen 2013 und 2018 die Importregulierungen für Abfälle verschärft hat, mussten für britische Kunststoffabfälle neue Abnehmermärkte gefunden werden, für Details siehe Kapitel 3.2.4. Mittlerweile ist laut RECOUP (2018) Polen der größte Abnehmer für britische Kunststoffabfälle. In den letzten Jahren ist der Bedarf inländischer Recyclinganlagen jedoch wieder steigend (RECOUP 2018). Laut der Datenbank von ENF Recycling Ltd. (ENF 2019) sind derzeit 74 Recyclinganlagen für Kunststoffabfälle in Betrieb (ENF 2019). Darüber hinaus sind 23 Abfallverbrennungsanlagen und 57 Anlagen zur sonstigen energetischen Verwertung vorhanden (GOV.UK 2019). Ein Beispiel für den Aufbau einer Sortieranlage für die primär auftretende gemischte Fraktion von Papier, Glas, Kunststoff und Metall ist in Anhang III detailliert dargestellt.

### Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle:

Eine Marktstudie über Kunststoffverpackungen von WRAP und Valpak mit dem Referenzjahr 2013 erfasste exakt dieselbe Menge an Kunststoffverpackungsabfällen wie Conversio (2017) für das Jahr 2016. Die Ursache hierfür ist die Stagnation der jährlichen Menge in Großbritannien in den letzten Jahren (siehe Abbildung 23). Ebenso ist die Aufteilung in Haushalte und Gewerbe/Industrie identisch, weshalb von einer ähnlichen Zusammensetzung der aktuellen Abfallströme ausgegangen werden kann (siehe Tabelle 22) dargestellt.

Tabelle 22: Abfallaufkommen nach Produktart und Entstehungsort im Jahr 2013 (WRAP und Valpak 2014a).

Verpackungsabfallart	Menge [t]
<b>Haushalt</b>	<b>1.534.000</b>
• Hohlkörper	594.000
• Behälter, Becher, Schalen	525.000
• Folien/Säcke	414.000
<b>Gewerbe/Industrie</b>	<b>726.000</b>
• Hohlkörper	68.000
• Andere starre Verpackungen	310.000
• Folien/Säcke	348.000
<b>Summe</b>	<b>2.260.000</b>

Eine Ermittlung der Abfallzusammensetzung wurde in diesem Jahr nicht vorgenommen. Jedoch wurde mithilfe der Zusammensetzung aus früheren Studien und der Daten von 2013 von RECOUP 2018 die aktuelle Zusammensetzung nach Kunststofftypen abgeschätzt (RECOUP 2018). Dabei wurden allerdings nur die Abfallströme aus Haushalten erfasst (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle in Haushalten nach Verpackungsart und Kunststofftypen für 2014 (RECOUP 2018).

Verpackungsart	Menge [kt]							Summe	Anteil
	PET	HDPE	LDPE / LLDPE	PP	PS	PVC	Sonstige		
Folien	44	105	108	81	1	4	71	<b>414</b>	27 %
Flaschen	397	188	1	5	0	2	0	<b>594</b>	39 %
Behälter, Becher, Schalen	311	0	5	116	50	38	7	<b>526</b>	34 %
<b>Summe</b>	<b>752</b>	<b>293</b>	<b>114</b>	<b>202</b>	<b>51</b>	<b>45</b>	<b>78</b>	<b>1534</b>	100 %
Anteil	49 %	19 %	8 %	13 %	3 %	3 %	5 %	100 %	

### 3.3.4 Italien

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

Im Jahr 1997 wurden in Italien als Konsequenz aus der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994) die Verordnung 22/97 und spätere Änderungsverordnung 152/06 (ISPRA 2006) verabschiedet. Darin wurden Recycling- und Verwertungsziele, Verwaltungsvorschriften sowie Verantwortlichkeiten und Pflichten, insbesondere für Unternehmen, definiert. Die seit 31. Dezember 2008 gültigen Verwertungsziele für Verpackungen umfassen:

- Eine Verwertungsquote von mindestens 60 % für alle Verpackungen sowie
- Recyclingquoten von
  - 60 Gew.-% für Papier und Pappe,
  - 60 Gew.-% für Glas,
  - 50 Gew.-% für Metalle
  - 26 Gew.-% für Kunststoff und
  - 35 Gew.-% für Holz. (ISPRA 2006)

Um diese Pflichten zu erfüllen, wurde das nationale Verpackungskonsortium „Consorzio Nazionale Imballaggi“ (CONAI) gegründet. Dessen Aufgabe ist es, die Wiederverwertung von Verpackungen zu koordinieren und das Erreichen der EU-Recyclingziele zu gewährleisten. Unternehmen, die Verpackungsmaterialien produzieren, importieren oder verkaufen, müssen am CONAI-System teilnehmen oder alternativ das Abfallmanagement für die eigenen Produkte landesweit selbst übernehmen. Es gibt derzeit zwei autonome Organisationen, die neben CONAI operieren (CO.N.I.P. für Kisten und Paletten aus Kunststoff und Aliplast SPA für PE-Folien), jedoch gemeinsam unter 10 % der Marktanteile halten (COREPLA 2013). Bei der Gründung von CONAI wurde darauf geachtet, dass die Umsetzung des Systems in ganz Italien einheitlich erfolgt, was innerhalb der EU eine positive Ausnahme darstellt. Deshalb sind die von CONAI veröffentlichten Daten repräsentativ für nahezu ganz Italien (95 % der Bevölkerung). Die Verwaltung der verschiedenen Verpackungsmaterialien (Stahl, Aluminium, Papier, Holz, Kunststoff und Glas) wurde an sechs einzelne Materialkonsortien übertragen. Für Kunststoffe ist diese Stelle das nationale Konsortium für die Sammlung, das Recycling und die Wiederverwertung von Kunststoffverpackungen („Consorzio Nazionale per la Raccolta, il Riciclo e il Recupero degli Imballaggi in Plastica“ – COREPLA). COREPLA verkauft die sortenrein zu Ballen verpressten Kunststoffe in regelmäßig stattfindenden Auktionen an Recyclingunternehmen in ganz Europa. (COREPLA 2013; CONAI 2017)

Die erweiterte Herstellerverantwortung wird in Form eines Umweltbeitrags umgesetzt, den Unternehmen an CONAI entrichten müssen. Dieser ist abhängig vom Material der in Verkehr gebrachten Verpackungen und betrug mit Stand 2017 188 €/t für Kunststoffe. Dieser Beitrag dient der Finanzierung des CONAI-Systems, sowie der Abgeltung der Sammelpartner (CONAI 2017). In Zukunft soll der Tarif von Recyclingfähigkeit, Sortierbarkeit und

Bestimmungsort der Kunststoffverpackungen abhängen und nach den folgenden Kategorien unterschieden werden:

- Sortier- und recycelbare Abfälle aus Industrie (Kategorie A),
- sortier- und recycelbare Abfälle aus Haushalten (Kategorie B) und
- nicht sortier- und recycelbare Abfälle (Kategorie C). (Watkins et al. 2017)

Für das Jahr 2007 war die Implementierung eines Deponierungsverbots für Stoffe mit einem Brennwert > 13 Megajoule pro Kilogramm (MJ/kg) geplant. Jedoch wurde die Umsetzung dieses Verbots sechs Mal aufgeschoben und letztendlich verworfen, weshalb immer noch Kunststoffabfälle deponiert werden. (cewep 2017)

### Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:

In Italien gab es in den letzten 20 Jahren einen geringeren Anstieg der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen als in den meisten anderen Ländern. Wie in Abbildung 24 dargestellt, ist die jährliche Menge zwischen 1998 und 2016 um ca. 20 % gestiegen (CONAI 2017). Die recycelten sowie deponierten Mengen weichen innerhalb der Quellen (CONAI 2017, Eurostat 2019, Conversio 2017) leicht ab. Um die Tendenzen der Verläufe ab dem Jahr 2007 durchgehend darzustellen, wurden Daten von Eurostat (2019) verwendet.

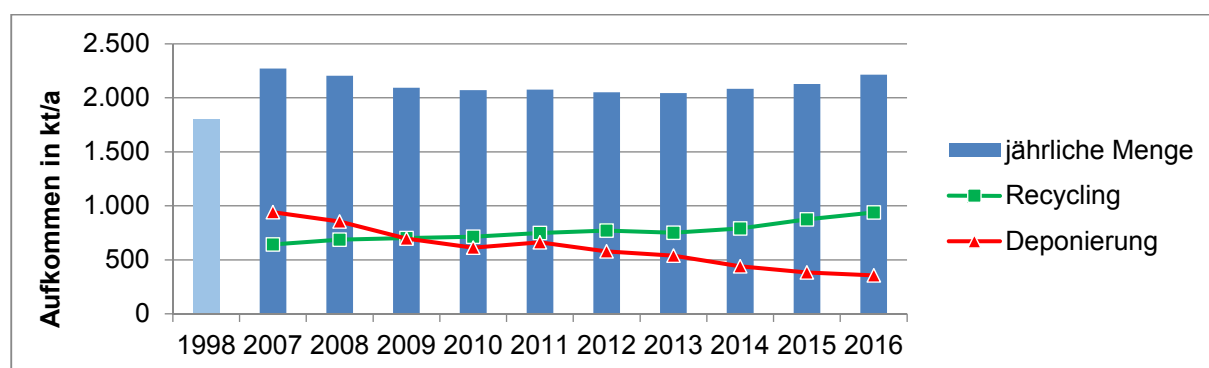


Abbildung 24: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Italien (Eurostat 2019; CONAI 2017).

In Summe sind im Jahr 2016 2.178 kt (Conversio 2017) an Kunststoffverpackungsabfällen angefallen, wovon 1.622 kt aus Haushalten und 556 kt aus Gewerbe und Industrie stammen. Die gültigen EU-Recyclingquoten werden mit 45,1 % deutlich übererfüllt. Die deponierte Menge wurde seit 2012 nahezu halbiert, trotzdem wurden 2016 noch über 300 kt auf diese Weise entsorgt. Die aktuellen Mengen können aus Tabelle 24 entnommen werden (Conversio 2017; cewep 2017).



Tabelle 24: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in Italien für das Jahr 2016 (Conversio 2017).

Aufkommen Kunststoffverpackungs- abfälle [t]	Verwertung [t]			Beseitigung [t]	
	Recycling werkstofflich	Recycling rohstofflich	energetisch	Deponierung	Verbrennung ohne ERG
<b>2.178.000</b>	<b>883.000</b>	<b>11.000</b>	<b>983.000</b>	<b>301.000</b>	<b>0</b>
100 %	41 %		45,1 %	13,9 %	0 %

### Sammlung:





Die Sammlung ist Aufgabe der öffentlichen Verwaltung und wird von den Gemeinden administriert. Über das ANCI-CONAI-Abkommen (ANCI – National Association of Italian Municipalities) erhalten Gemeinden von CONAI Kompensationszahlungen für die gesammelte Menge an getrennten Verpackungsmaterialien (CONAI 2017). Die Tarife (stand 2016) können Tabelle 25 entnommen werden.

Tabelle 25: Tarife für Kompensationszahlungen nach Verpackungsmaterial im Jahr 2016 (CONAI 2017).

Abfallart	Zahlungshöhe [€/t]		Max. Verunreinigungsgrad
	Max.	Min.	[%]
Stahl	112,43	43,72	20
Aluminium	551,6	150,44	15
Papier	99,28	49,64	10
Holz	16,75	8,38	10
Kunststoff	395,14	80,23	20
Glas	45,64	5,02	5

Die Höhe der Kompensationszahlungen ist abhängig vom Verunreinigungsgrad der getrennten Abfälle. Bei Überschreiten des maximalen Verunreinigungsgrades entfällt laut CONAI (2017) die Zahlung oder das Konsortium kann eine Übernahme des Materials verweigern. Dadurch gibt es in den Gemeinden einen Anreiz, die getrennte Sammlung zu praktizieren und zu fördern (CONAI 2017). Das ANCI-CONAI-Abkommen basiert auf freiwilliger Basis, weshalb Gemeinden alternativ auch die Möglichkeit haben, die gesammelten Abfälle direkt an Recyclingunternehmen zu verkaufen (Watkins et al. 2017). Die Fraktionen Kunststoff, Papier, Metall, Glas und nach Möglichkeit Holz müssen gemäß ISPRA (2006) in ganz Italien verpflichtend einer getrennten Sammlung zugeführt werden. Darüber hinaus gibt es keine einheitliche Regelung, die Abfallwirtschaftspläne werden auf regionaler Ebene beschlossen. Der Anteil der separaten Sammlung steigt jedoch kontinuierlich. Im Jahr 2013 wurden 42,3 % (EC 2015a) der Siedlungsabfälle getrennt gesammelt. In ca. 40 % der italienischen Gemeinden herrscht ein Holsystem, in ca. 14 % ein Bringsystem und in ca. 46 % eine Mischung aus Bring- und Holsystem vor, siehe auch Tabelle 26. (EC 2015a)

Tabelle 26: Sammelsysteme in Italien in Anlehnung an EC (2015a).

Sammelsystem	Papier	Glas	Kunststoff	Metall	Bioabfall
<b>Holsystem (getrennt)</b> 	Primär	Sehr selten	Sehr selten	Sehr selten	Primär
<b>Holsystem (gemischt)</b> 		Sekundär: Glas mit Kunststoff und Metall (gemischt)	Primär: Kunststoff und Metall (gemischt)		Sehr selten mit Restabfall
<b>Bringsystem</b> 	Sekundär	Primär	Sekundär: Kunststoff und Metall (gemischt)		Sekundär
<b>Rücknahme Hersteller/Einzelhandel</b> 			Sehr selten: Getränkeflaschen (freiwilliges System von Einzelhändlern)		

### Verwertung:

Bereits im Jahr 2013 wurden 94 % der gesammelten italienischen Kunststoffverpackungsabfälle in automatischen Sortieranlagen behandelt (COREPLA 2013). Laut ENF Recycling Ltd. (ENF 2019) sind in Italien 65 Recyclinganlagen für Kunststoffe mit unterschiedlichsten Schwerpunkten in Betrieb (ENF 2019). Darüber hinaus gibt es zurzeit keine genaueren Informationen über die Verwertung von Kunststoffverpackungsabfällen in Italien.

### 3.3.5 Spanien

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

Das erste spanische Abfallgesetz (7/1985) wurde im Jahr 1985 verabschiedet und zwang die Kommunen erstmals, sich mit dem Abfallproblem auseinanderzusetzen und Maßnahmen zum Schutz der Umwelt zu ergreifen. Das Verpackungsgesetz von 1997 (11/1997) und das zweite Abfallgesetz von 1998 (10/1998) erweiterten die Verantwortung und Verpflichtungen aller am Abfallbewirtschaftungsprozess beteiligten Parteien. Darüber hinaus wurde die getrennte Sammlung nach Materialien (mindestens Papier, Kunststoff, Glas und Metalle) in Ortschaften mit mehr als 5.000 Einwohnern vorgeschrieben und es wurden nationale Verwertungs- und Recyclingquoten festgelegt. (EEA 2013a) Die Recyclingziele des gültigen spanischen Abfallwirtschaftsplans bis 2020 (Magrama 2015) sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Recyclingziele von Spanien bis 2020 (Magrama 2015).

Verpackungsabfallart	Recyclingziele 2020
Verpackungsabfälle gesamt	70 %
• Papier	85 %
• Glas	75 %
• Metalle	70 %
• Kunststoff	40 %
• Holz	60 %

Des Weiteren wurde die Reduktion der jährlich verbrauchten Plastiksäcke auf 90 Säcke pro Einwohner bis 2020 und 40 Säcke pro Einwohner auf 2025 festgelegt (Magrama 2015). Die Vorgaben aus der EU-Abfallrahmenrichtlinie wurden durch die Verabschiedung der spanischen Gesetze 22/2011 (Abfälle und konterminierte Böden) und 11/2012 (Dringende Umweltmaßnahmen) implementiert. Die darauffolgenden Abfallwirtschaftspläne beinhalteten Initiativen vom Ausbau der separaten Sammlung bis hin zur Erweiterung von Recyclinganlagen. (EEA 2013a; EC 2015a) Die gesetzlich verankerte erweiterte Herstellerverantwortung wird flächendeckend von allen Verpackungsunternehmen durch die Teilnahme an kollektiven Systemen erfüllt. Je nach Verpackungsart gibt es verschiedene Systeme. Ecovidrio OSAL verwaltet Verpackungen aus Glas und SIGRE S.L. medizinische sowie pharmazeutische Verpackungen. Für alle anderen Verpackungen wurde 1996 die Organisation Ecoembes S.A. (Ecoembalajes Espana S.A.) gegründet, welche landesweit durch Gewährleistung von getrennter Sammlung und Recycling von Verpackungsabfällen für die Erfüllung der Verpflichtungen aus der erweiterten Herstellerverantwortung sorgt. Die Teilnahme an Sammel- und Verwertungssystemen in Spanien ist nicht verpflichtend, die Pflicht kann auch durch ein eigenes Rücknahmesystem erfüllt werden (Magrama 2015; Ecoembes 2015).

### Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:

In den letzten Jahren war die jährlich anfallende Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Spanien leicht steigend, auf lange Sicht ist sie jedoch rückläufig (siehe Abbildung 25).

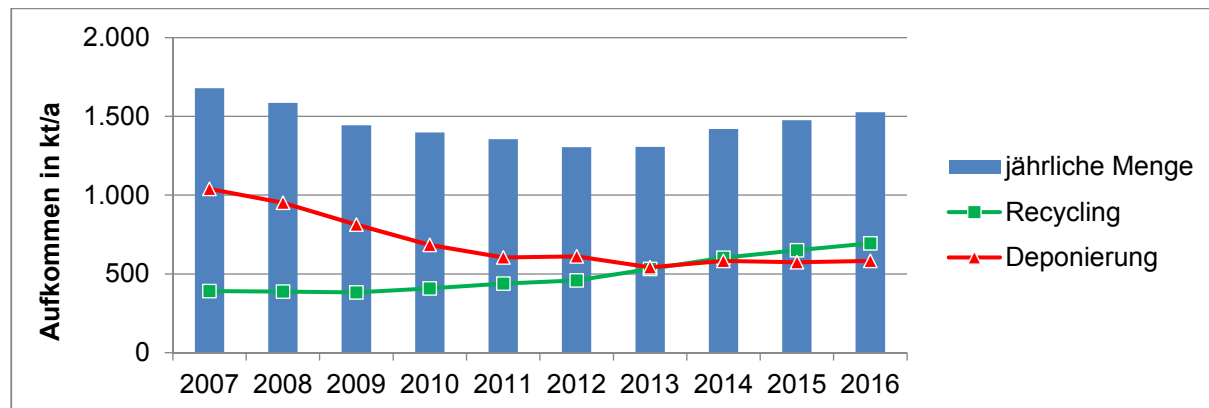


Abbildung 25: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Spanien (Eurostat 2019).

Die Recyclingquote für Kunststoffverpackungsabfälle konnte seit der Jahrtausendwende kontinuierlich gesteigert werden, die Deponierungsquote ist jedoch immer noch vergleichsweise hoch. In den am dichtesten besiedelten Gebieten von Spanien sind zwar Deponiegebühren zu entrichten, dennoch werden ca. 38 % der Kunststoffverpackungsabfälle noch auf diese Weise entsorgt (EEA 2013a). Das Gesamtaufkommen von 1.526 kt Kunststoffverpackungsabfällen im Jahr 2016 setzt sich zu 875 kt aus Haushalten und 651 kt aus Gewerbe und Industrie zusammen, siehe Tabelle 28 (Conversio 2017). Laut Ecoembes (2015) konnten im Jahr 2015 ca. 445 kt an Kunststoffverpackungen aus Haushalten recycelt werden, was einer Recyclingquote für diese Herkunftsart von knapp 64 % entspricht (Ecoembes 2015).





Tabelle 28: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in Spanien (Conversio 2017).

Aufkommen Kunststoffverpackungsabfälle [t]	Verwertung [t]			Beseitigung [t]	
	Recycling werkstofflich	Recycling rohstofflich	energetisch	Deponierung	Verbrennung ohne ERG
<b>1.526.000</b>	<b>693.000</b>	<b>0</b>	<b>250.000</b>	<b>583.000</b>	<b>0</b>
100 %	45,4 %		16,4 %	38,2 %	0 %

## Sammlung:

Die Sammlung in Spanien wird überwiegend im Bringsystem durchgeführt, nur ca. 300.000 Einwohner haben Zugang zu einem Holsystem (hauptsächlich in Katalonien und größeren Städten). Bei Letzterem werden Restabfall, Papier und Karton, Verpackungen aus Kunststoff und Metall, Glas, Bioabfall, sowie sperriger Abfall gesammelt. In Madrid besteht die Sammlung im Holsystem nur aus gemischten Siedlungsabfällen und Leichtverpackungen. (EC 2015a) Beim Bringsystem werden drei Modelle unterschieden. Das am meisten verbreitete System (ca. 60 % des Landes) erlaubt die getrennte Sammlung von Glas, Papier und Karton, Verpackungen aus Kunststoff und Metall, sowie gemischte Siedlungsabfälle. In Katalonien, Gipuzkoa und einigen Gemeinden anderer Regionen werden zudem noch Bioabfälle getrennt gesammelt. In einigen Regionen wie beispielsweise Cordoba, La Coruna und Navarra werden Bioabfälle, gemischte Siedlungsabfälle, Glas sowie Papier und Karton getrennt im Bringsystem gesammelt. (EC 2015a) Eine Übersicht über die Sammelsysteme ist in Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 29: Sammelsysteme in Spanien in Anlehnung an EC (2015a).

Sammelsystem	Papier	Glas	Kunststoff	Metall	Bioabfall
<b>Holsystem (getrennt)</b> 	Sehr selten	Sehr selten	Sehr selten	Sehr selten	Sehr selten
<b>Holsystem (gemischt)</b> 					
<b>Bringsystem</b> 	Primär	Primär	Primär		Primär
<b>Rücknahme Hersteller/Einzelhandel</b> 	Kein System für Haushaltsverpackungen vorhanden				

## Verwertung:

Im Jahr 2015 waren bereits 58 der 95 spanischen Sortieranlagen für Verpackungsabfälle automatisiert, etwa 80 % der gesammelten Verpackungen wurden von diesen Anlagen behandelt. Ecoembes (2016) stellt darüber hinaus genaue Informationen über den technischen Aufbau der spanischen Sortieranlagen zur Verfügung, eine Beispielanlage ist in Anhang III detailliert beschrieben. In Abbildung 26 ist die Gesamtanzahl sowie die der automatisierten Sortieranlagen in den verschiedenen autonomen Gemeinschaften Spaniens dargestellt. Die gewonnenen Wertstoffe werden anschließend in einer der 405 genehmigten Recyclingbetriebe weiterverarbeitet. Im Jahr 2015 wurden auf diese Weise 1.300 kt an Verpackungsmaterialien mit einem Kunststoffanteil von 445 kt recycelt. (Ecoembes 2015)



Abbildung 26: Standorte und Anzahl der Verpackungssortieranlagen in den autonomen Gemeinschaften Spaniens mit Stand 2015 (Ecoembes 2015).

### Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle:

Im Jahr 2010 wurde in Spanien von Thomé-Kozmiensky und Thiel eine Studie mit dem Ziel, die Zusammensetzung der Kunststoffanteile in den verschiedenen Marktsektoren zu bestimmen, durchgeführt. Im Verpackungssektor wurde die in Abbildung 27 dargestellte Zusammensetzung an Kunststofftypen ermittelt.

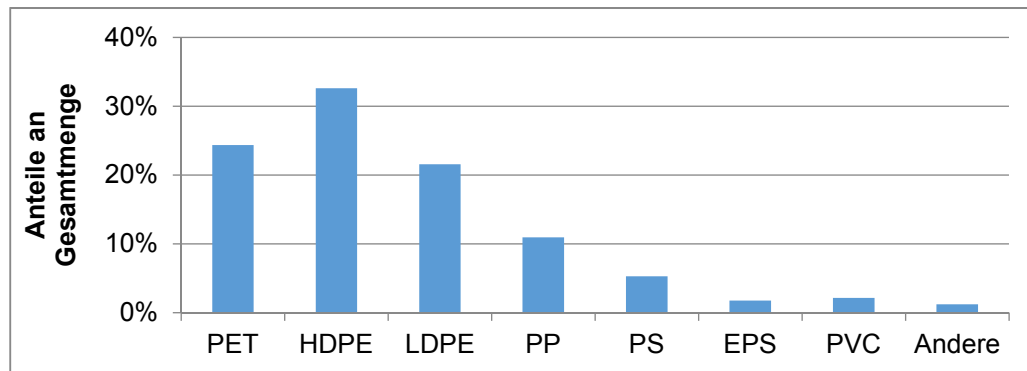


Abbildung 27: Anteile der Kunststofftypen in Kunststoffverpackungen 2010 in Spanien (Thomé-Kozmiensky und Thiel 2012).

Die 2010 erzeugte Menge beläuft sich demnach auf 1.397.689 t (Thomé-Kozmiensky und Thiel 2012) an Kunststoffverpackungen, was sich mit den Daten von Eurostat (2019) deckt. Diese Menge ist nicht unmittelbar als Abfall angefallen, sondern wurde im Verpackungssektor in Spanien in Verkehr gebracht. Aufgrund der kurzen Nutzungsdauer von Verpackungen wurde davon ausgegangen, dass diese zu 100 % im selben Jahr als Abfall entsorgt werden, was jedoch nicht unüblich ist (Thomé-Kozmiensky und Thiel 2012, S. 183ff.).

### 3.3.6 Polen

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

Vor dem EU-Beitritt Polens im Jahr 2004 wurden jahrelang Vorkehrungen zur Erfüllung der strengen EU-Vorgaben getroffen. Obwohl es seitdem deutliche Verbesserungen in Bezug auf Recycling und eine Reduzierung der deponierten Menge gab, hat die polnische Abfallwirtschaft noch mit massiven Problemen zu kämpfen. Die getrennte Sammlung ist zwar bereits seit 1996 vorgeschrieben (Gesetzblatt von 2016, Punkt 250 zur Wahrung von Sauberkeit und Ordnung in den Kommunen), wird jedoch nur unzureichend durchgeführt. Die daraus resultierende minderwertige Qualität der getrennt gesammelten Abfallströme verhindert häufig ein Recycling. Des Weiteren werden Herstellerverpflichtungen für die Reduktion der Verpackungsgröße auf das nötigste Maß kaum umgesetzt und es fehlen Anlagenkapazitäten für die Behandlung von Verpackungsabfällen aus Verbundmaterialien, sowie für das Recycling von Verpackungen aus gefährlichen Produkten. Darüber hinaus wurden im Jahr 2014 2.371 illegale Abfallhalden in Polen gezählt. (MoE 2016) Um die Zustände in der Abfallwirtschaft zu verbessern, will die polnische Regierung künftig auf Aufklärungskampagnen für die Bevölkerung setzen und die Umsetzung der bereits gesetzten abfallwirtschaftlichen Maßnahmen genauer verfolgen. Folgende wesentliche Ziele wurden gesetzt:

- Ausbau und Verbesserung der getrennten Sammlung,
- 50 % der Fraktionen Papier, Metall, Kunststoff und Glas aus Siedlungsabfällen sollen ab 2020 Recyclingprozessen oder einer Wiederverwertung zugeführt werden,
- Erreichen einer Recyclingquote für Siedlungsabfälle von mindestens 60 % ab 2025 und 65 % ab 2030 sowie maximal 30 % Anteil an thermischer Verwertung bis 2020,
- Deponierungsverbot für unbehandelte Siedlungsabfälle und
- Mindestens eine Erfüllung der aktuellen Recyclingvorgaben für Verpackungen wie in Tabelle 30. (MoE 2016)

Tabelle 30: Aktuelle Recyclingvorgaben in Polen (MS 2013).

Verpackungsabfallart	Recyclingvorgabe ab 2020
Verpackungsabfälle gesamt	56 %
• Kunststoff	23,5 %
• Glas	61 %
• Metalle	51 %
• Papier	61 %
• Holz	16 %
• Verbunde	Nach Vorgabe des hauptsächlich vorliegenden Materials



Um höhere Verwertungsquoten zu erreichen muss sich die getrennten Sammlung deutlich verbessern, denn zurzeit kaufen polnische Recyclingbetriebe lieber sortenreine Abfälle aus Deutschland oder Skandinavien, da die Qualität der in Polen gesammelten Abfälle als sehr schlecht gilt, siehe auch Punkt „Sammlung“ (Conversio 2017). Im aktuellen Abfallwirtschaftsplan 2022 (MoE 2016) wird der Handlungsbedarf erkannt und es wurden folgende Ziele für die Sammlung definiert:

- Einführung von landesweit standardisierter Abfalltrennung bis 2022, mit besonderer Dringlichkeit in Regionen mit Trennung in „Trocken-“ und „Nassfraktion“,
- Trennung in mindestens
  - Papier und Karton,
  - Metalle, Kunststoffe und Verbunde,
  - Glas,
  - Asche und
  - Bioabfall.
- Flächendeckender Zugang der Bevölkerung zu getrennter Sammlung und
- Einführung getrennter Bioabfall-Sammlung bis 2021. (MoE 2016)

Des Weiteren wurde ein Deponierungsverbot für Stoffe mit einem TOC-Wert von > 5 % bzw. einem Heizwert von > 6 MJ/kg mit Gültigkeit ab 01.01.2016 verabschiedet, jedoch lässt sich mangels aktueller Daten noch keine Aussage über dessen Umsetzung oder Auswirkungen treffen (MoE 2016). Die erweiterte Herstellerverantwortung wurde in Polen durch verschiedenste Gesetze für alle wichtigen Abfallfraktionen implementiert. Jeder, der betroffene Produkte in Verkehr bringt, ist verpflichtet, die Produkte recyclinggerecht zu gestalten und eine Behandlung durch Finanzierung und Organisation von Sammel- und Verwertungssystemen zu gewährleisten. Die Entpflichtung für von der erweiterten Herstellerverantwortung betroffene Unternehmen wird in Polen von mehr als 15 konkurrierenden Systemen umgesetzt, wobei Rekopol S.A. und Interseroh S.A. zu den größten des Landes gehören. (Conversio 2017; MoE 2016)

**Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:**

In der Vergangenheit war in Polen ein überdurchschnittlich schnelles Wachstum der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen zu beobachten. Im Jahr 2016 war die jährliche Menge laut Eurostat (2019) fast doppelt so groß wie noch im Jahr 2007, siehe Abbildung 28.

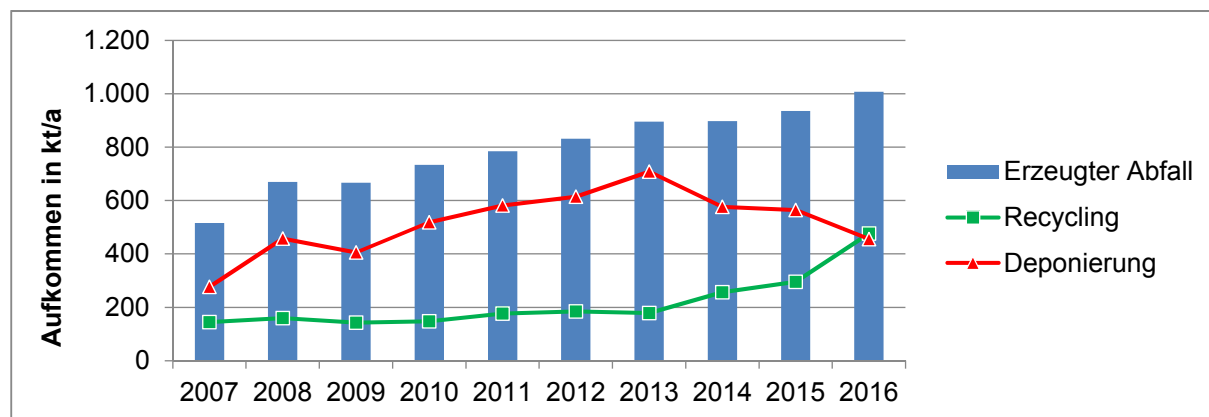


Abbildung 28: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Polen (Eurostat 2019).

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass es für Polen besonders große Abweichungen in den Verwertungs- und Beseitigungsquoten je nach Quelle (Eurostat 2019, Conversio 2017) gibt. Die nach Eurostat (2019) jährlich recycelten bzw. deponierten Mengen in Abbildung 28, besonders nach dem Jahr 2013, sind aufgrund der vergleichsweise starken Änderungen in den Verläufen wenig plausibel. Demnach hat sich die recycelte Menge zwischen 2013 und 2016 um den Faktor 2,5 erhöht, was in Anbetracht der abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen als sehr hoch erscheint. Um die Vergleichbarkeit innerhalb der Arbeit für das Jahr 2016 zu wahren, wurden für die Darstellung in Tabelle 31 die Daten von Conversio (2017) verwendet. Von den angefallenen 960 kt an Kunststoffverpackungsabfällen im Jahr 2016 entstanden 627 kt in Haushalten und 333 kt in Gewerbe und Industrie (Conversio 2017). Knapp 39 % der Kunststoffverpackungen wurden Recyclingprozessen zugeführt, rund 33 % wurden energetisch Verwertet und ca. 29 % deponiert, siehe Tabelle 31 (Conversio 2017).





Tabelle 31: Verwertungsquoten von Kunststoffverpackungen in Spanien für das Jahr 2016 (Conversio 2017).

Aufkommen Kunststoffverpackungsabfälle [t]	Verwertung [t]			Beseitigung [t]	
	Recycling werkstofflich	Recycling rohstofflich	energetisch	Deponierung	Verbrennung ohne ERG
<b>960.000</b>	<b>370.000</b>	<b>0</b>	<b>316.000</b>	<b>274.000</b>	<b>0</b>
100 %	38,5 %		32,9 %	28,6 %	0 %

## Sammlung:

Seit 2012 sind polnische Gemeinden verpflichtet, ein System zur Sammlung von Siedlungsabfällen bei bewohnten Immobilien gegen Entrichtung einer Gebühr zu organisieren. Das System basiert auf der Trennung recycelbarer Materialien wie Kunststoff und Metalle, Glas und Papier in separaten Behältern. In dünn besiedelten Gebieten wird hauptsächlich im Holsystem gesammelt, während in dichter besiedelten Gebieten das Bringsystem mit Sammelpunkten überwiegt (siehe Tabelle 32). 2013 wurden erstmals 100 % (EC 2015a) der Bevölkerung von der Siedlungsabfallsammlung abgedeckt, wobei der getrennt gesammelte Anteil der Siedlungsabfälle im Jahr 2015 14,4 % betrug. (EC 2015a)

Tabelle 32: Sammelsysteme in Polen in Anlehnung an EC (2015a).

Sammelsystem	Papier	Glas	Kunststoff	Metall	Bioabfall
<b>Holsystem (getrennt)</b> 	Sekundär	Sekundär	Selten	Selten	Selten
<b>Holsystem (gemischt)</b> 			Sekundär: Kunststoff und Metall (gemischt)		Selten
<b>Bringsystem</b> 	Primär	Primär	Primär (gemischt)		Sehr selten
<b>Rücknahme Hersteller/Einzelhandel</b> 	Selten: Für Getränkeflaschen (meist Bier)				

In vielen Gebieten wird zwar getrennt gesammelt, jedoch nur in zwei verschiedenen Behältern („trocken“: Papier, Glas, Kunststoff und Metall; „nass“: Restfraktion), was ein aufwändiges und kostenintensives Nachsortieren notwendig macht. Des Weiteren werden teilweise getrennt gesammelte Fraktionen für den Transport zur Behandlung vermischt. (EC 2015a; MoE 2016)

**Verwertung:**

Insgesamt gab es Ende 2014 in Polen 280 Anlagen zur Sortierung von Siedlungsabfällen. Die Anlagenstandorte sowie die behandelten Abfallströme können Tabelle 33 entnommen werden. Ein Teil der getrennt gesammelten Siedlungsabfälle wird (zusätzlich) in einer der 127 MBA behandelt (MoE 2016).

Tabelle 33: Anzahl, Art und Kapazität der Abfallsortieranlagen in den polnischen Woiwodschaften mit Stand 2014 (MoE 2016).

Woiwodschaft	Sortieranlagen für getrennt gesammelte Abfälle		Sortieranlagen für getrennt gesammelte und gemischte Abfälle		Sortieranlagen für gemischte Abfälle	
	Anzahl	Kapazität [t/a]	Anzahl	Kapazität [t/a]	Anzahl	Kapazität [t/a]
Dolnośląskie	7	310.200	0	0	1	22.000
Kujawsko-Pomorskie	3	3.500	12	626.990	2	131.000
Lubelskie	6	85.600	5	97.700	0	0
Lubuskie	2	16.000	3	110.000	0	0
Łódzkie	5	127.375	5	279.875	4	330.000
Małopolskie	8	60.600	4	94.330	0	0
Mazowieckie	13	775.100	16	3.519.400	17	696.800
Opolskie	5	44.482	9	703.550	0	0
Podkarpackie	8	146.860	12	490.500	0	0
Podlaskie <sup>4</sup>	4	14.450	0	0	6	215.490
Pomorskie	8	149.800	0	0	0	0
Śląskie	11	154.495	35	3.113.878	0	0
Świętokrzyskie	9	301.000	0	0	2	11.200
Warmińsko-Mazurskie	1	5.000	2	357.800	1	36.000
Wielkopolskie	24	619.460	6	545.000	10	356.500
Zachodniopomorskie	2	32.345	11	960.500	1	40.000
<b>Polen gesamt</b>	<b>116</b>	<b>2.846.267</b>	<b>120</b>	<b>10.899.523</b>	<b>44</b>	<b>1.838.990</b>

Zur thermischen Verwertung von Siedlungsabfällen waren 2014 sieben AVA sowie zehn Zementwerke in Betrieb. Insgesamt gibt es 120 Unternehmen, die Recyclingaktivitäten durchführen, eine Gliederung nach verarbeiteten Materialgruppen ist jedoch laut dem polnischen Umweltministerium (MoE 2016) nicht vorhanden. (MoE 2016) Laut Conversio (2017) können als Folge der verschärften Importregulierungen von China die getrennt gesammelten polnischen Abfälle minderer Qualität derzeit nicht oder nur schwer weiterverkauft werden. Deshalb gibt es in Polen seitdem einen starken Bedarf, die Recyclingkapazitäten zu erhöhen. Das gilt besonders für Folien und für Inputmaterialien minderer Qualität (Conversio 2017). Darin könnte eine mögliche Ursache für die schnell steigenden Recyclingquoten nach Eurostat 2019 im vorhergehenden Punkt „Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen“ liegen.

### 3.3.7 Österreich

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

Die wesentlichen Definitionen von Verpackungen und Packstoffen sowie zu erreichende Quoten sind in Österreich mittels Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten (Verpackungsverordnung 2014) vorgegeben (BMLFUW 2014). Die Ziele dieser Verordnung weichen nicht wesentlich von denen der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994) ab. Dazu gehören die Vermeidung von Abfällen und – sofern nicht vermeidbar – deren Wiederverwendung sowie möglichst geringe damit verbundene Umweltbelastungen. Sie gilt für sämtliche in Österreich in Verkehr gesetzten Verpackungen und alle Verpackungsabfälle, unabhängig davon, ob sie in der Industrie, im Handel, im Gewerbe, in der Verwaltung, im Dienstleistungsbereich, in Haushalten oder anderswo anfallen und unabhängig von den Materialien, aus denen sie bestehen. (BMLFUW 2014) Die Gliederung der Packstoffe von Verpackungen erfolgt in folgende Materialklassen:

- Papier, Karton, Pappe und Wellpappe,
- Glas,
- Holz,
- Keramik,
- Metalle,
- textile Faserstoffe,
- Kunststoffe,
- Getränkeverbundkartons,
- Sonstige Materialverbunde und
- Sonstige Packstoffe, insbesondere auf biologischer Basis. (BMLFUW 2014)

Ein Materialverbund liegt vor, wenn

- der hauptsächlich verwendete Packstoff unter 80 Gewichtsprozent des Materialverbundes beträgt und diese Kombination nicht unter Getränkeverbundkarton fällt oder
- ein Packstoff aus Kunststoff bzw. aus biologischer Basis besteht und dessen Anteil unter 95 Gewichtsprozent des Materialverbundes beträgt (BMLFUW 2014).

Daraus wird ersichtlich, dass Verbundmaterialien als separate Packstoffe gesehen und somit nicht in dieselbe Position wie Kunststoffverpackungen eingegliedert werden. Für Haushaltsverpackungen sind gemäß der Verpackungsverordnung 2014 (BMLFUW 2014) die Sammel- und Recyclingquoten wie in Tabelle 34 dargestellt, zu erreichen.

Tabelle 34: Sammel- und Recyclingvorgaben für verschiedene Verpackungsmaterialien in Österreich (BMLFUW 2014).

Abfallart	Anteil getrennter Sammlung (nur Haushalte)	Recyclingquote gesamt (Haushalte und Gewerbe)
Papier, Pappe, Karton	80 %	60 %
Glas	80 %	60 %
Metalle	50 %	50 %
Kunststoffe	60 %	22,5 %
Getränkeverbundkarton	50 %	25 %
Sonstige Materialverbunde	40 %	15 %

Im Dezember 2018 wurden im Ministerrat darüber hinaus einige zukünftige Ziele für den Umgang mit Kunststoffverpackungen definiert:

- Ein Verbot von Tragetaschen mit Ausnahme von biologisch abbaubaren Taschen, Mehrwegtaschen, Abfallsäcken, Hundesäckchen und Gefrierbeuteln ab 2020,
- eine Reduktion der Verpackungsmenge um 20 – 25 % gegenüber der Menge aus 2016 bis zum Jahr 2025, was einer jährlichen Menge von ca. 60 kt entspricht sowie
- eine rasche Umsetzung der EU-Einwegkunststoffrichtlinie (EU 2019). (BMNT 2019c)

Im Jahr 2004 wurde darüber hinaus österreichweit ein Deponierungsverbot für Stoffe mit einem TOC-Wert von > 5 % verabschiedet, welches 2009, nach Ablauf der Nachfrist einiger Regionen, in ganz Österreich in Kraft trat (cewep 2017).

Laut Verpackungsverordnung 2014 (BMLFUW 2014) sind Primärverpflichtete (Hersteller, Importeure, Abpacker und Versandhändler) dazu verpflichtet, Ihre Verantwortung in Bezug auf die in Österreich in Verkehr gesetzten Verpackungen wahrzunehmen. Dazu gehört bei Gewerbeverpackungen deren Rücknahme und Verwertung, um so die Entsorgung zu gewährleisten. Durch Teilnahme an einem dafür geeigneten Sammel- und Verwertungssystem oder der Selbsterfüllung kann dieser Pflicht nachgekommen werden (Entpflichtung). Haushaltsverpackungen müssen verpflichtend über ein entsprechendes Sammel- und Verwertungssystem entpflichtet werden. (BMLFUW 2014)

#### **Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:**

Laut Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) sind im Jahr 2016 österreichweit ca. 1,34 Mio. t an Verpackungsabfällen angefallen (BMNT 2019a). Wie in Abbildung 29 ersichtlich, können 297.837 t (ca. 22 %) davon den Kunststoffverpackungen zugeordnet werden. Wie in der Verpackungsverordnung (BMLFUW 2014) vorgegeben, werden Materialverbunde unter bestimmten Gewichtsanteilen des Hauptmaterials nicht dem jeweiligen Material zugeordnet, sondern getrennt erfasst. Laut BMNT betrug diese Menge im Jahr 2016 22.380 t für Getränkeverbundkartons und 20.321 t für sonstige Materialverbunde (BMNT 2019b). Diese sind unter der Position „Sonstige“ in Abbildung 29 zusammengefasst.

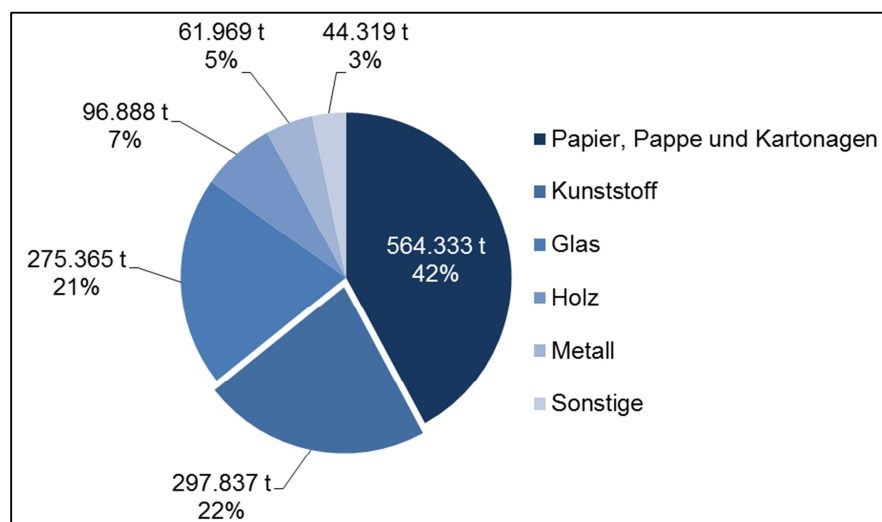


Abbildung 29: Aufkommen der Verpackungsabfälle nach Material im Jahr 2016 in t (BMNT 2018).

Die Kunststoffverpackungsmenge in Österreich ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen, wie in Abbildung 30 ersichtlich. Bei der recycelten Menge gab es ebenfalls einen leichten Anstieg auf ca. 98 kt im Jahr 2016 (Conversio 2017). Wird diese jedoch ins Verhältnis zur jährlichen Gesamtmenge gesetzt, so wird deutlich, dass die Recyclingquote seit fast 15 Jahren stagniert.

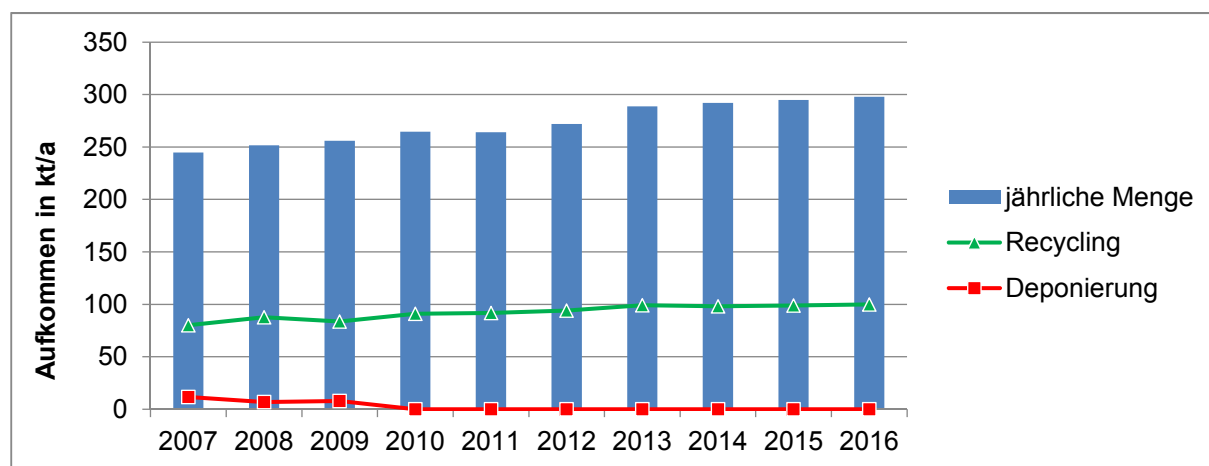


Abbildung 30: Entwicklung der jährlichen Gesamtmenge sowie der recycelten und deponierten Mengen an Kunststoffverpackungsabfällen in Österreich (Eurostat 2019).

In Tabelle 35 sind die aktuellsten Verwertungs- und Beseitigungsquoten für Österreich aus dem Jahr 2016 nach Conversio 2017 dargestellt. Ein Vergleich dieser Daten ergibt nur geringe Abweichungen zu den vom BMNT 2018 veröffentlichten Daten aus Abbildung 29. Von der Gesamtmenge des Jahres 2016 stammen ca. 200 kt aus Haushalten und ca. 95 kt aus Gewerbe und Industrie (Conversio 2017).

Tabelle 35: Verwertungsquoten von Kunststoffverpackungen in Österreich für das Jahr 2016 (Conversio 2017).

Aufkommen Kunststoffverpackungs- abfälle [t]	Verwertung [t]			Beseitigung [t]	
	Recycling werkstofflich	Recycling rohstofflich	energetisch	Deponierung	Verbrennung ohne ERG
<b>295.000</b>	<b>98.000</b>	<b>0</b>	<b>197.000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
100 %	33,2 %		66,8 %	0 %	0 %

### Sammlung:

Für Haushaltsverpackungen gibt es in Österreich eine gemeinsame flächendeckende Sammlung aller Sammel- und Verwertungssysteme, die mit privaten Entsorgungsunternehmen bzw. den operativ tätigen Gemeinden oder Gemeindeverbänden entsprechende Verträge abschließen müssen. Die gesammelten Verpackungsabfälle werden, bemessen an den Marktanteilen, auf die einzelnen Sammel- und Verwertungssysteme aufgeteilt. Die Marktanteile dieser Systeme sind im Elektronischen Datenmanagement (EDM) des BMNT 2019 verfügbar und in Abbildung 31 dargestellt. (BMNT 2017)

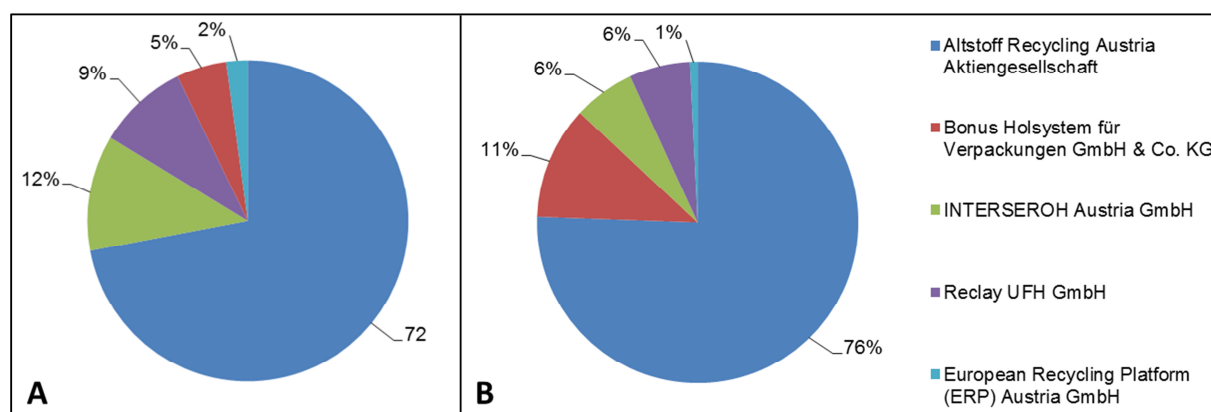


Abbildung 31: Marktanteile der Sammel- und Verwertungssysteme bei Leichtverpackungen aus Haushalten (A) sowie bei Kunststoffen aus Gewerbe (B) nach BMNT 2019.

Die getrennt gesammelten Altstoffe aus der Haushaltssammlung (Papier-, Glas-, Leicht- und Metallverpackungen) sowie Bioabfälle werden im Hol- oder Bringsystem (siehe Kapitel 3.2.3) bzw. über Altstoffsammelzentren erfasst. Die Sammlung erfolgt regional sehr unterschiedlich. In ca. 60 % (ARA 2018) des Bundesgebietes werden sogenannte Leichtverpackungen (LVP, bzw. Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung) im „Gelben Sack“ (Holsystem) oder der „Gelben Tonne“ (Bringsystem) gesammelt. Dazu gehören Verpackungen aus Kunststoffen, Materialverbunden und Getränkeverbundkartons, Holz-, Textil- und Keramikverpackungen sowie Verpackungen auf biologischer Basis. In Wien und Teilen Niederösterreichs, Salzburgs und Kärntens werden gezielt Kunststoffflaschen



gesammelt, teilweise in Kombination mit Getränkeverbundkartons bzw. Metallverpackungen. Andere Leichtverpackungen können in diesen Regionen gemeinsam mit den gemischten Siedlungsabfällen („Restmüll“) entsorgt werden. (BMNT 2017; ARA 2018) Tabelle 36 gibt einen Überblick über verschiedene Regionen in Österreich und die jeweils getrennt bzw. gemeinsam gesammelten Abfallfraktionen für Kunststoff- und Metallverpackungen.





Tabelle 36: Umsetzung der Sammlung von Leicht- und Metallverpackungen in unterschiedlichen Regionen von Österreich.

Region	Verpackungen aus Kunst- und Verbundstoffen (z.B. Joghurtbecher, Kunststoffsäcke, EPS, Blisterverpackungen)	Kunststoffflaschen / Hohlkörper (z.B. PET-Flaschen, Flaschen für Lebensmittel, Flaschen für Reinigungsmittel)	Getränkeverbundverpackungen (z.B. Milchkartons, Fruchtsaftkartons)	Metallverpackungen (z.B. Getränkedosen, Konservendosen, Metallfolien, Metallverschlüsse)
Wien <sup>1</sup>	Restmüll	Gelbe/r Tonne/Sack	Gelbe/r Tonne/Sack	Blaue Tonne
Stadt Salzburg <sup>2</sup>	Restmüll	Gelbe/r Tonne/Sack	Gelbe/r Tonne/Sack	Restmüll
Hallein <sup>3</sup>	Gelbe/r Tonne/Sack	Gelbe/r Tonne/Sack	Gelbe/r Tonne/Sack	Gelbe/r Tonne/Sack
Tirol Mitte <sup>4</sup>	Gelbe/r Tonne/Sack	Gelbe/r Tonne/Sack	Gelbe/r Tonne/Sack	Blaue Tonne
Klagenfurt <sup>5</sup>	Restmüll	Gelbe/r Tonne/Sack	Gelbe/r Tonne/Sack	Gelbe/r Tonne/Sack

<sup>1</sup>(Stadt Wien 2019), <sup>2</sup>(Stadt Salzburg 2019), <sup>3</sup>(RVT 2019), <sup>4</sup>(ATM 2019), <sup>5</sup>(MK 2019)

In einigen Regionen mit vorherrschendem Bringsystem wie z.B. Oberösterreich wird darüber hinaus in sogenannten Altstoffsammelzentren (ASZ) noch genauer nach Materialien (besonders bei Kunststoffen) getrennt. Die in Haushalten anfallenden gemischten Siedlungsabfälle werden größtenteils im Holsystem durch öffentliche Entsorgungsbetriebe oder durch private Unternehmen entsorgt. Letztere werden von Kommunen oder Abfallwirtschaftsverbänden beauftragt. (BMNT 2017) Eine Übersicht über das jeweils primär vorherrschende System ist in Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37: Übersicht primäre Sammelsysteme in Österreich in Anlehnung an EC (2015a).

Sammelsystem	Papier	Glas	Kunststoff	Metall	Bioabfall
<b>Holsystem (getrennt)</b> 	Primär	Sekundär	Primär		Primär
<b>Holsystem (gemischt)</b> 			In seltenen Fällen gemischt (siehe Tabelle 36)		
<b>Bringsystem</b> 	Selten	Primär	Sekundär	Primär	Sehr selten
<b>Rücknahme Hersteller/Einzelhandel</b> 			Pfand von 0,29 € auf Mehrweg- Kunststoffflaschen		

Die im Jahr 2013 erreichten Sammelquoten für unterschiedliche Verpackungsarten aus dem Gesamtaufkommen an Kunststoffverpackungen sind in Tabelle 38 dargestellt.

Tabelle 38: Sammelquoten für Kunststoffverpackungen in Österreich im Jahr 2013 (Van Eygen et al. 2017).

Art der Kunststoffverpackung	Anteil getrennt gesammelt
EPS-Teile $\geq 0,1$ kg	77 %
Folien $< 1,5$ m <sup>2</sup>	75 %
PET-Flaschen	65 %
Folien $\geq 1,5$ m <sup>2</sup>	64 %
Hohlkörper $< 5$ l	45 %
Hohlkörper $\geq 5$ l	43 %

### Verwertung:

Im Jahr 2015 wurden laut BMNT (2017) in insgesamt 181 Sortier- und Aufbereitungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von 4.750 kt rund 3.000 kt an Abfällen vorbehandelt. Die Kapazitäten betragen ca. 183 kt/a für Altkunststoffe, ca. 559 kt/a zur Aufbereitung von EBS sowie ca. 2.478 kt/a zur mechanisch-biologischen Aufbereitung (MBA) von gemischten Siedlungsabfällen, ähnlichen Gewerbeabfällen und Klärschlämmen (BMNT 2017). In Kapitel 4.1.1.2.1 ist als Beispielanlage die LVP-Sortieranlage Graz im Detail beschrieben. Die mengenmäßig bedeutendsten, in Sortieranlagen eingebrachten Abfallarten mit Anteilen sind in Tabelle 39 dargestellt. LVP nehmen mit 7 % nur einen geringen gewichtsmäßigen Anteil der in österreichischen Sortier- und Aufbereitungsanlagen behandelten Gesamtmenge ein.

Tabelle 39: Abfallarten in Sortier- und Aufbereitungsanlagen (BMNT 2017).

Abfallart	Anteil an Gesamtaufbereitung
Siedlungsabfälle und ähnliche Gewerbeabfälle	31 %
Altpapier, Pappe und Karton	16 %
Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung	8 %
Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung	7 %
sperrige Abfälle	5 %
Andere	33 %

Für das Kunststoffrecycling stehen in Österreich laut BMNT (2017) 34 Anlagen mit einer jährlichen Mindestkapazität von 318 kt zur Verfügung. In 17 dieser Anlagen werden Regranulate, Flakes oder Mahlgut hergestellt, während in acht Anlagen auch Kunststoffserzeugnisse oder Halbzeuge produziert werden. Elf Anlagen stellen Mahlgut aus EPS her. Neben elf Anlagen zur thermischen Behandlung von Siedlungsabfällen mit einer Kapazität von 2.600 kt/a waren im Jahr 2015 54 Anlagen zur Abfallmitverbrennung (wie z.B. in der Zementindustrie) in Betrieb. Eine wesentliche Brennstoffart hierfür stellen qualitätsgesicherte EBS aus Abfällen dar, von denen ca. 270,4 kt eingesetzt wurden. (BMNT 2017) Darüber hinaus wurde für Österreich von der TU-Wien für das Referenzjahr 2013 (Van Eygen et al. 2017) eine sehr detaillierte Studie über die Stoffströme im

Kunststoffverpackungsbereich durchgeführt. Daraus ist die genaue Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle nach Kunststofftypen sowie nach Verpackungsart als auch deren Herkunft und Art der Verwertung ersichtlich. Die Menge befindet sich mit 297 – 303 kt in derselben Größenordnung wie die für 2016 von Conversio (2017) erfasste Menge von 295 kt.

Ein genaues Flussbild der Kunststoffabfallströme ist in Abbildung 32 dargestellt. Der dem Verwertungssystem zugeführte Abfallstrom ist in sieben Kategorien unterteilt (F1.01 – F1.07). Dazu gehören PET-Flaschen, kleine (< 5 Liter (l)) und große ( $\geq 5$  l) Hohlkörper, kleine (< 1,5 m<sup>2</sup>) und große ( $\geq 1,5$  m<sup>2</sup>) Folien, große EPS-Teile ( $\geq 0,1$  kg) sowie Andere. Die Anteile dieses Abfallstroms werden entweder getrennt gesammelt oder mit den gemischten Siedlungsabfällen bzw. Sperr- oder Gewerbeabfall entsorgt. Die getrennt gesammelte Fraktion wird weiter in 18 Sortierfraktionen entsprechend Kunststofftyp, Produktart und Farbe getrennt und dem werkstofflichen Recycling zugeführt (F3.02). Ein Teil der PET-Flaschen wird für die Produktion hochqualitativen Rezyklats für Lebensmittelanwendungen verwendet (F3.01). Aus der Mischkunststofffraktion (F3.03) wird zum Teil Rezyklat für die Verwendung in z.B. Holz-Kunststoff-Verbunden (Wood Plastic Composite – WPC) gewonnen oder das Material wird als Reduktionsmittel in der Stahlerzeugung (z.B. voestalpine AG) eingesetzt (F3.04) (PlasticsEurope 2009). Zu großen Teilen wird der Mischkunststoff jedoch in Verbrennungsanlagen zur Energiegewinnung (F3.05) sowie als hochkalorischer EBS in Zementfabriken eingesetzt (F3.07). Gemischte Siedlungsabfälle sowie Sperr- und Gewerbeabfall werden meist einer Rostfeuerung zur Energiegewinnung (F3.0 – F3.09), einer MBA oder einer Splitting-Anlage (F3.10 – F3.11) zugeführt. Letzterer Prozess dient der Austragung von recycelbaren sowie mittel- und hochkalorischen Materialien. Außerdem geht hervor, dass der Großteil der österreichischen Kunststoffverpackungsabfälle, der in Abfallverbrennungsanlagen eingesetzt wird, aus Mischabfallfraktionen (z.B. öffentliche Abfalltonnen) stammt. Einer industriellen energetischen Verwertung von EBS in z.B. Zementwerken werden hingegen fast nur Kunststoffverpackungsabfälle aus der getrennten Sammlung sowie Sortierreste aus Recyclingprozessen zugeführt, da diese einen höheren Energiegehalt aufweisen. (Van Eygen et al. 2017) Für die genauen Abfallmengen aller in Abbildung 32 beschriebenen Pfade (F1.01 – F4.10) wird auf die Quelle Van Eygen 2018 verwiesen.

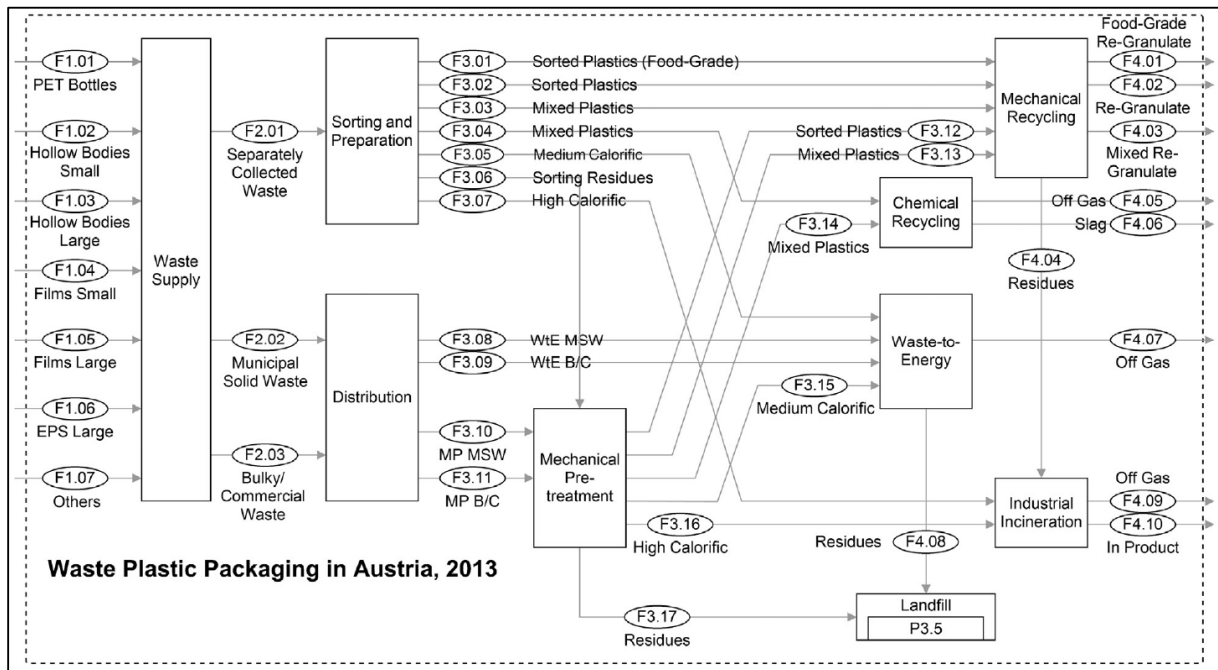


Abbildung 32: Flussbild der österreichischen Kunststoffverpackungsabfälle für das Jahr 2013 (Van Eygen et al. 2017).

Ein Auszug der Verwertungspfade für die wichtigsten Verpackungstypen aus dem Modell von Van Eygen et al. (2017) ist in Abbildung 33 zu finden.

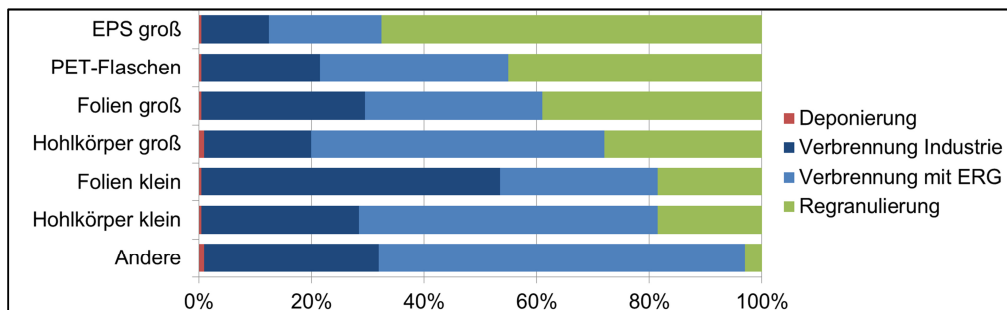


Abbildung 33: Verwertungsverfahren für verschiedene Verpackungsarten im Jahr 2013 in Anlehnung an Van Eygen et al. (2017).

### Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle:

In der unter dem vorhergehenden Punkt „Verwertung“ beschriebenen Studie (Van Eygen et al. 2017) wurden die Kunststoffanteile in Kunststoffverpackungsabfällen wie in Abbildung 34 ermittelt. Für die genauen Anteile aller Verpackungstypen wie in Abbildung 32 beschrieben, wird ebenfalls auf die Quelle Van Eygen 2018 verwiesen.

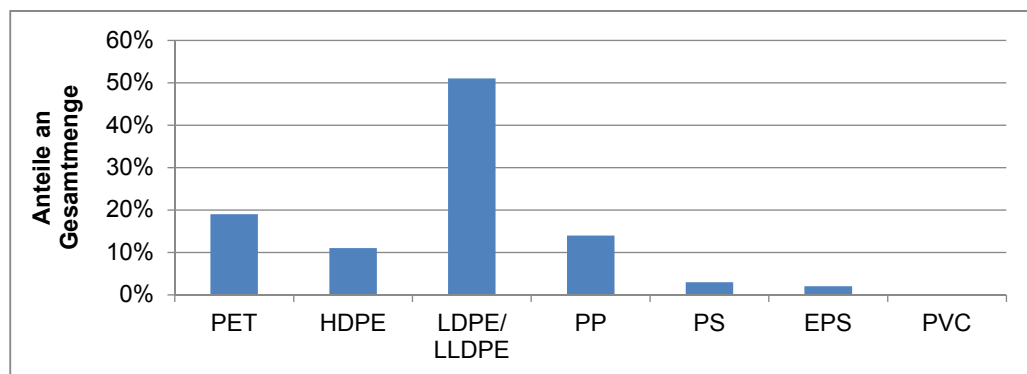


Abbildung 34: Ermittelte Kunststoffanteile in den österreichischen Kunststoffverpackungsabfällen (Van Eygen et al. 2017).

## 3.4 Globale Beispiele

Außerhalb der EU ist zu beachten, dass eine Vereinheitlichung der Begriffe, wie sie innerhalb der EU vorherrscht, nicht gegeben ist. Deshalb sind abweichende Systemgrenzen zu berücksichtigen.

### 3.4.1 Indien

#### **Gesetzliche Rahmenbedingungen:**

Im Jahr 2016 hat das indische Umweltministerium (MoEFCC – Ministry of Environment, Forest and Climate Change) nach 16 Jahren die bestehenden Vorschriften für Siedlungsabfälle überarbeitet. Das Erreichen höherer Verwertungs- und Recyclingquoten sowie die Verminderung der Deponierung wurden als wichtigste Ziele definiert. Des Weiteren wurden folgende Punkte beschlossen:

- Die Einführung einer separaten Sammlung von organischen und nicht-organischen Abfällen. Dadurch können größere Anteile für Energiegewinnung, Verwertung sowie Recycling verwendet werden.
- Die Einführung einer erweiterten Herstellerverantwortung für u.a. Verpackungsmaterial (Kunststoffe, Papier, Metall, Holz, usw.). Diese sind an autorisierte Abfallsammler und -sammelstellen abzugeben. Hersteller und Importeure müssen Gebühren für das Abfallmanagement entrichten sowie Sammel- und Verwertungssysteme einrichten.
- Private Abfallsammler sollen in eine geordnete Abfallwirtschaft integriert werden.
- Ein generelles Verbot für die unregelmäßige Entsorgung von Siedlungsabfällen (Abladen, Verbrennen oder Vergraben).
- Einführung von Abfallgebühren, deren Höhe abhängig von Trennung ist.
- Nicht-wiederverwertbare Abfälle mit einem Heizwert über 1.500 Kilokalorien pro Kilogramm (Kcal/kg) dürfen in Zukunft nicht mehr auf Deponien entsorgt werden, sondern müssen als EBS, Gas oder Brennstoff für AVA verwendet werden (uve 2018b).

Die Implementierung dieser Ziele gestaltet sich in der Praxis aufgrund einer weit verzweigten Bürokratie, nicht klar geregelten Kompetenzen, mangelhafter Infrastruktur sowie finanzieller und technischer Mittel als schwierig (uve 2018b).

#### **Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:**

Für Indien liegen – aufgrund des Entwicklungsstandes im Land – nur bedingt belastbare Angaben zu Abfallaufkommen und -verbleib vor. Zahlen über das tatsächliche Abfallaufkommen sind nicht bekannt. Zwar gibt es Schätzungen zum Gesamtaufkommen, jedoch ist die Differenzierung nach Materialien oder gar Sektoren derzeit unmöglich. In einer Studie des deutschen Umweltbundesamtes über Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft aus dem Jahr 2015 (UBA-DE 2015) wurden viele Quellen und Schätzungen

gegenübergestellt, um plausible Angaben zu erhalten. Es wird von einer jährlichen Gesamtabfallmenge zwischen 166.000 kt und 243.000 kt ausgegangen. Für die Zusammensetzung gibt es ebenfalls nur Schätzungen mit starken Abweichungen. Der Gesamtanteil von Kunststoffen aus allen Sektoren wird zwischen 3,9 % und 9,22 % geschätzt. (UBA-DE 2015) Laut FICCI (2016) beläuft sich der jährliche Bedarf an Kunststoffen in Indien auf 12.800 kt. Kombiniert mit dem anteiligen Kunststoffbedarf von 43 % (teri 2016) für den Verpackungssektor entspricht das einer jährliche Menge von 5.504 kt an Kunststoffverpackungen.

### Sammlung:

Eine flächendeckende Abfallsammlung hat sich bisher in Indien nicht durchgesetzt, weshalb eine getrennte öffentliche Abfallerfassung von Wertstoffen nicht in nennenswertem Umfang stattfindet. Schätzungen ergeben eine durchschnittliche Erfassungsrate der Abfälle von 50 – 90 % (UBA-DE 2015). Die übrigen 10 – 50 % werden unsachgemäß entsorgt bzw. wild abgelagert, siehe Abbildung 35 (UBA-DE 2015). Jedoch hat sich in Indien eine informelle Wertstofferrfassung etabliert. Sogenannte „Abfallkäufer“ gehen von Haus zu Haus und kaufen Zeitungen, Glas, Dosen, Plastiksäcke und Altkleider. Diese Abfälle sind nicht mengenmäßig erfasst, führen jedoch oft zu einem Recycling der gesammelten Materialien, wenn auch nur zu sehr kleinen Anteilen (Zhu 2007). Es besteht jedoch Potenzial, denn laut Schätzungen bestehen die Kunststoffabfälle in Indien zu 80 % aus gut recycelbaren Thermoplasten wie PET, PE, PP, PS und PVC. (UBA-DE 2015)

### Verwertung:

Eine Übersicht über die Entsorgungswege der indischen Abfallströme ist in Abbildung 35 ersichtlich. Die nicht erfassten Abfälle werden Großteils ungeordnet deponiert oder offen verbrannt. Abfallverbrennungsanlagen mit Energierückgewinnung wurden bisher kaum gebaut. In der Vergangenheit kam es mehrmals zu Schließungen oder keiner Fertigstellung aufgrund von Fehlinterpretationen in Bezug auf die tatsächliche Zusammensetzung bzw. Brennwert der Abfälle. (UBA-DE 2015)

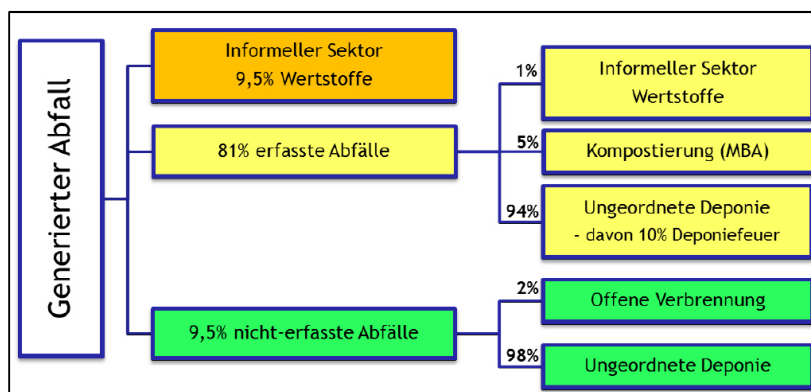


Abbildung 35: Stoffflussdiagramm der indischen Abfallströme, ermittelt anhand von Quellen mit unterschiedlichen Referenzjahren (UBA-DE 2015).

### 3.4.2 China

#### **Gesetzliche Rahmenbedingungen:**

In China ist die umweltrelevante Belastung der Bevölkerung in Folge der industriellen Entwicklung der letzten Jahrzehnte stark gestiegen. Die große und wachsende Bevölkerungszahl, die unterschiedliche Bevölkerungsdichte und die – bedingt durch das Wirtschaftswachstum und den damit wachsenden Wohlstand – steigende Abfallmenge stellen die Behörden vor große Probleme. Die rechtlichen Rahmenbedingungen und damit eine Basis für eine moderne Abfallwirtschaft wurden in den letzten Jahren geschaffen. Erste Erfolge sind in einigen chinesischen Städten sichtbar. (uve 2018a) Im Allgemeinen wird eine Entwicklung in Richtung Kreislaufwirtschaft angestrebt. Das Produktdesign soll recyclinggerecht erfolgen und es soll ein Konzept der erweiterten Herstellerverantwortung eingeführt werden. Des Weiteren wurden 2015 die Sanktionen gegen Umweltsünder verschärft, mögliche Maßnahmen reichen von Betriebsstillegung über Schließung oder Beschlagnahmung von Anlagen durch den Staat. Im Juni 2016 wurde das „Compulsory Waste Classification System“ veröffentlicht (uve 2018a). Dieses Abfallklassifikationssystem verpflichtet bis Ende 2020 die 44 wichtigsten Städte Chinas wie Peking, Tianjing, Shanghai, Chonquing, sowie alle weiteren Millionenstädte und Provinzhauptstädte zur Erreichung einer effektiven Trennung von Siedlungsabfällen. Dadurch sollen eine Trennrate von über 90 % sowie Recycling- und Verwertungsquoten von über 35 % erzielt werden. Darüber hinaus wurde seit 2013 der Import von minderwertigen Abfällen zur Verwertung reduziert (das sogenannte „Green Fence“-Programm). Die eingeführte Menge verschmutzter Abfälle betrug vor dieser Maßnahme fast 50 Mio. t/a. Mit 1. Jänner 2018 trat ein Einfuhrverbot von 24 verschiedenen Abfallarten (das „National Sword“-Programm), darunter einige Kunststoffe, Textilien und Papier, in Kraft. Es dürfen seitdem praktisch nur mehr als „sauber“ geltende Produktionsabfälle nach China exportiert werden. Ab 31. Dezember 2019 ist eine Ausweitung des Einfuhrverbots geplant (RECOUP 2018). Viele westliche Industrienationen, die Abfall in großen Mengen nach China exportierten, sind dadurch in Bedrängnis geraten, da die eigenen Verwertungskapazitäten für diese zusätzlichen Mengen nicht ausreichen. Überschneidende Zuständigkeiten der Behörden, unklare Verantwortungen und die Komplexität der institutionellen Strukturen in China führen nicht selten zu einer sehr langsamen bzw. unzureichenden Umsetzung von neuen Umweltvorschriften. (uve 2018a)

#### **Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:**

Die gesammelte Menge an Siedlungsabfällen betrug im Jahr 2015 191.000 kt in urbanen Gebieten und 66.570 kt in den ländlichen Gebieten (uve 2018a). China ist damit das Land mit dem größten Gesamtaufkommen an Siedlungsabfällen weltweit. Die Abfallmenge hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen und es wird damit gerechnet, dass die Menge der Siedlungsabfälle bis zum Jahr 2025 in den Städten um mehr als das 2,5-Fache steigen wird (uve 2018a). Über die Zusammensetzung der Abfallströme gibt es nach uve (2018a) verschiedene Quellen und Abfallanalysen mit unterschiedlichen Referenzjahren. Deren Mittelwert ergibt eine Zusammensetzung wie in Abbildung 36. (uve 2018a)



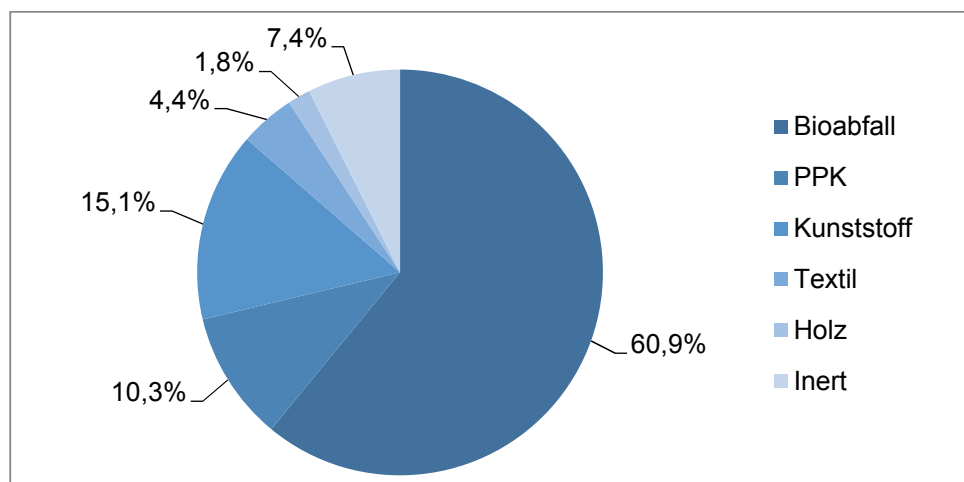


Abbildung 36: Zusammensetzung der Hausabfälle in China (Mittelwert mehrerer Abfallanalysen mit unterschiedlichen Referenzjahren) in Anlehnung an uve (2018a).

Daraus ergibt sich ein Kunststoffanteil von ca. 39.000 kt. Über den Verpackungsanteil der gesamten Kunststoffabfälle sind keine Daten verfügbar. Um diese Menge abzuschätzen, wird anhand der Kunststoffverpackungsanteile der Siedlungsabfallmenge anderer Staaten auf das Aufkommen in China geschlossen. In urbanen Gebieten wird von einer besseren Entsorgungswirtschaft als in ländlichen Gebieten ausgegangen. Daher wird für urbane Gebiete der Kunststoffverpackungsanteil an der Siedlungsabfallmenge der EU (Eurostat 2019) herangezogen, sowie für ländliche Gebiete, aufgrund der als schlechter angenommenen Entsorgungswirtschaft, jener aus Indien (UBA-DE 2015), siehe Tabelle 40. Das Ergebnis ist eine Gesamtmenge an Kunststoffverpackungsabfällen von 14.313 kt.

Tabelle 40: Rückschluss auf Kunststoffverpackungsabfallmenge für China im Jahr 2015 mit Daten des Abfallaufkommens in der EU (Eurostat 2019) sowie in Indien (UBA-DE 2015).

Siedlungsabfallmenge der urbanen Gebiete in China	x Anteil Kunststoffverpackungen an Siedlungsabfällen in der EU	= Kunststoffverpackungsabfallmenge in urbanen Gebieten
191.000 kt	6,56 %	13.415 kt
Siedlungsabfallmenge der ländlichen Gebiete in China	x Anteil Kunststoffverpackungen an Siedlungsabfällen in Indien	= Kunststoffverpackungsabfallmenge in ländlichen Gebieten
66.570 kt	2,69 %	1.792 kt
<b>Gesamtmenge Kunststoffverpackungsabfall</b>		<b>14.313 kt</b>

**Sammlung:**

Die Erfassung von Wertstoffen aus Haushalten erfolgt Großteils über den informellen Sektor, von welchem ca. 8 – 10 % (uve 2018a) der erzeugten Siedlungsabfälle gesammelt werden. Diese Abfallmenge wird jedoch zumeist nicht von offiziellen Statistiken erfasst. Gesammelt werden PPK, Metalle, Kunststoffe, Holz, EPS und auch Elektroschrott. Zwischen 3,3 und 5,6 Millionen Chinesen arbeiten in diesem Sektor. Die Recyclingquote der so gesammelten Abfälle wird auf 17 – 38 % (uve 2018a) geschätzt. Der gemischte Siedlungsabfall bzw. die zum Teil getrennt gesammelten Bioabfälle werden von kommunalen/regionalen staatlichen Unternehmen erfasst. In den Städten sind Sammlung und Transport hervorragend organisiert. Zu den bedeutendsten chinesischen Entsorgern gehören China Everbright International Ltd., die Beijing Enterprice Group, CITIPE, China Recycling Development Co. Ltd (CRDC) und Capital Environmental Holding Beijing. Die Tianbao Gruppe gilt als größter chinesischer Abfallverwerter. Darüber hinaus sind viele international tätige Abfallverwerter in China vertreten (uve 2018a). Zu den wichtigsten gehören:

- Veolia Environment S.A.,
- Suez Environment S.A.,
- Waste Management Inc.,
- Republic Services Inc. und
- Stericycle Inc. (uve 2018a)

**Verwertung:**

In urbanen Gebieten wurden 2016 etwa 98 % der Siedlungsabfälle behandelt, in den ländlichen Gebieten ca. 71,6 %. Jedoch sind diese Zahlen nicht mit einer Verwertung zu verwechseln, denn auch eine Deponierung zählt in China als Behandlung, da sie einen Fortschritt gegenüber der Ablagerung auf ungeordneten Deponien darstellt. Der Großteil der Hausabfälle (ca. 63 %) wird ohne Vorbehandlung deponiert. Annähernd der gesamte Rest wird Abfallverbrennungsanlagen zugeführt. Zwar wurden in den letzten Jahren vermehrt Anlagen zur Abfallverbrennung errichtet, jedoch verändern sich die relativen Entsorgungswege durch die schnell steigende Abfallmenge kaum. Durch den hohen Organikanteil weisen die Abfälle einen hohen Wassergehalt und damit geringe Heizwerte auf. Eine stoffliche Verwertung findet nur im kleinen einstelligen Prozentbereich statt. Seit 2017 wird die Abfallwirtschaft jedoch umgestaltet, die Recyclingquoten der wichtigsten Abfallströme sollen bis 2020 knapp 55 % erreichen. Der Umsatz der Rohstoffrecycling-Industrie soll zugleich auf umgerechnet fast 435 Milliarden (Mrd.) US-Dollar steigen, was einem Wachstum von 67 % gegenüber dem Jahr 2015 darstellen würde. (uve 2018a)

### 3.4.3 USA

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

In den USA gibt es keine umfassende Bundesgesetzgebung zur Regulierung der Verpackungsindustrie. Die Bundesregierung nimmt lediglich Einfluss auf die Regulierungen von Verpackungen für Lebensmittel, Arzneimittel und Kosmetika um den Konsumentenschutz zu gewährleisten. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Regulierungsprogrammen von Staaten oder Regionen zur Reduktion von Verbrauch und Entsorgung von bestimmten Verpackungsmaterialien oder zur Erreichung von Mindestanforderungen an Recyclingprozesse. (Qorpak Inc. 2019) Aufgrund der Vielzahl an Bundesstaaten wird nicht näher auf die individuelle Gesetzgebung eingegangen.

#### Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:

Die US-Umweltbehörde (United States Environmental Protection Agency – USEPA) sammelt bereits seit über 30 Jahren detaillierte Daten über das Aufkommen von Siedlungsabfällen. Die Veränderungen im Kunststoffverpackungsbereich in den letzten Jahrzehnten in Bezug auf die Gesamtmenge sowie einzelne wichtige Verpackungstypen sind in Abbildung 37 dargestellt.

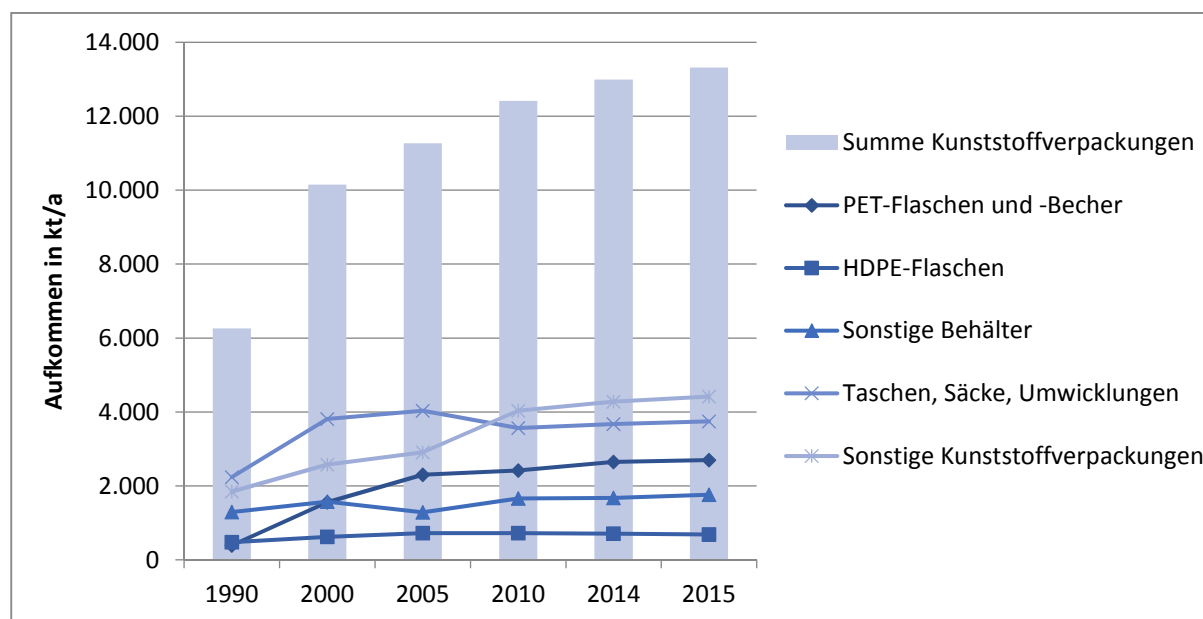


Abbildung 37: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen inklusive einiger Verpackungstypen in den USA in Anlehnung an USEPA (2018a).

Die aktuellsten Daten für die USA sind aus dem Jahr 2015. Dafür erfolgt die Aufschlüsselung sehr detailliert und es sind auch Daten über das Aufkommen der verschiedenen Kunststofftypen verfügbar, wie in Tabelle 41 dargestellt. Die US-Umweltbehörde (USEPA 2018a) geht davon aus, dass die Behälter und Verpackungen in demselben Jahr des Kaufs verbraucht werden, was auch in der EU gängige Praxis ist (siehe Kapitel 2.2).

**Sammlung:**

Der überwiegende Teil der Sammlung in den USA erfolgt über Holsystem, Bringsystem, Rückkaufprogramme (für z.B. Metallabfälle) oder Pfandsysteme. Im Jahr 2011 waren etwa 70 % der Bevölkerung an ein Holsystem angebunden. Dort erfolgt die getrennte Sammlung meist nur für Grünabfälle („yard trimmings“) und trockene Wertstoffe („recyclables“). Vereinzelt wird nach Material getrennt, jedoch entsorgen ca. 65 % der an das Holsystem angebundenen Haushalte alle trockenen Wertstoffe im selben Behälter. Die mengenmäßig größte Abfallart stellt die Mischabfallfraktion („mixed waste“) dar. Das Bringsystem wird meist über „Drop-off Centers“ umgesetzt, die sich in Lebensmittelgeschäften, Werkstätten, gemeinnützigen Organisationen, öffentlichen Stellen oder Apartmentkomplexen befinden. Die getrennten Fraktionen variieren dort sehr stark, jedoch ist von einer deutlich differenzierteren Sammlung als im Holsystem auszugehen. In dünn besiedelten Gebieten ist das Bringsystem oft die einzige Art der Abfallsammlung. (USEPA 2011)

Der größte Entsorgungsbetrieb in den USA ist die Waste Management Inc. mit ca. 42.300 Mitarbeitern. Waste Management sammelt Abfälle von über 20 Mio. private und geschäftliche Kunden und betreibt zahlreiche Deponien sowie Recyclinganlagen (WM 2018). Weitere wichtige Entsorgungsbetriebe mit Stand 2014 sind:

- Republic Services Inc.,
- Clean Harbors Inc.,
- Stericycle Inc. und
- Progressive Waste Solutions Ltd. (Energy Digital 2014)

**Verwertung:**

Für die USA gibt es kaum aktuelle Daten über den Bestand der Abfallbehandlungsanlagen, die aktuellste Studie der US-Umweltbehörde wurde für das Jahr 2011 erstellt. In diesem Jahr waren 633 Abfallaufbereitungsanlagen für getrennt gesammelte Abfallfraktionen mit einer Gesamtkapazität von 89.311 Tonnen pro Tag (USEPA 2011) in Betrieb. Viele dieser Anlagen haben einen sehr niedrigen technologischen Standard, weshalb die Sortierprozesse überwiegend händisch durchgeführt werden. In modernen Anlagen kommen Sortieraggregate nach Stand der Technik (Wirbelstromscheider, optische Sortieranlagen usw.) zum Einsatz. Gemischt gesammelter Abfall wird überwiegend direkt Deponien zugeführt, teilweise verbrannt und zu geringen Anteilen Sortieranlagen oder Mischabfallkompostierungsanlagen zugeführt. Sortieranlagen für gemischte Abfälle sind in deutlich geringerer Zahl als solche für getrennt gesammelte Abfälle vorhanden, im Jahr 2011 waren 43 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 42.365 Tonnen pro Tag in Betrieb (USEPA 2011). Sie kommen am häufigsten im Westen der USA zum Einsatz. Abfallverbrennung findet erst seit den 1980er Jahren vermehrt mit Energierückgewinnung statt, vorher diente eine Verbrennung rein der Reduktion des Volumens. Im Jahr 2011 wurden 86 Verbrennungsanlagen gezählt, die Gesamtkapazität betrug 87.238 Tonnen pro Tag. (USEPA

2011; UBA-DE 2015) Derzeitige Quoten für Recycling, Verbrennung mit ERG sowie Deponierung für verschiedene Verpackungsarten sind in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Aufkommen und Behandlungsquoten von Kunststoffverpackungen nach Produktkategorie und Kunststofftyp im Jahr 2015 (USEPA 2018a).

Produktkategorie	Menge [kt]	Recycling		Verbrennung mit ERG		Deponierung	
		[kt]	Anteil [%]	[kt]	Anteil [%]	[kt]	Anteil [%]
<b>Kunststoffflaschen und -becher:</b>							
PET	2.703	807	29,9	372	13,8	1.524	56,4
<b>Weiß transluzente Flaschen aus Monomaterial:</b>							
HDPE	689	209	30,3	91	13,2	390	56,6
<b>Andere Kunststoffbehälter</b>							
HDPE	1.397	308	22,1				
PVC	18						
LDPE/LLDPE	36						
PP	227	18	8,0				
PS	82						
<b>Summe Andere Kunststoffbehälter</b>	<b>1.760</b>	<b>327</b>	<b>18,6</b>	<b>281</b>	<b>16,0</b>	<b>1.152</b>	<b>65,5</b>
<b>Taschen, Säcke und Umwickelungen:</b>							
HDPE	662	36	5,5				
PVC	54						
LDPE/LLDPE	2.368	445	18,8				
PP	535						
PS	127						
<b>Summe Taschen, Säcke und Umwickelungen</b>	<b>3.747</b>	<b>481</b>	<b>12,8</b>	<b>644</b>	<b>17,2</b>	<b>2.622</b>	<b>70,0</b>
<b>Sonstige Kunststoffverpackungen:</b>							
PET	853	45	5,3				
HDPE	680	9	1,3				
PVC	308						
LDPE/LLDPE	1.016						
PLA	9						
PP	898	45	5,1				
PS	299	27	9,1				
Andere Kunststoffbehälter	354						
<b>Summe sonstige Kunststoffverpackungen</b>	<b>4.418</b>	<b>127</b>	<b>2,9</b>	<b>844</b>	<b>19,1</b>	<b>3.447</b>	<b>78,0</b>
<b>Summe Kunststoffverpackungen</b>	<b>13.317</b>	<b>1.950</b>	<b>14,6</b>	<b>2.232</b>	<b>16,8</b>	<b>9.135</b>	<b>68,6</b>

Im Verpackungsbereich wurde 2015 mit ca. 53 % (USEPA 2018b) die höchste Recyclingquote aller Abfallkategorien erreicht. Aus Tabelle 41 wird ersichtlich, dass das Recycling von Kunststoffverpackungen mit einem Anteil von unter 15 % im Vergleich dazu sowie zum EU-Durchschnitt (über 40 %) jedoch noch sehr schwach ausgeprägt ist. Von der Gesamtmenge an Kunststoffabfällen in den USA (34.500 kt) werden lediglich 9 % recycelt (USEPA 2018b). In zehn US-Bundesstaaten war mit Stand 2014 ein Pfandsystem (zwischen 5 ¢ und 15 ¢) auf gewisse Verpackungen eingeführt, welches zu wesentlich höheren Recyclingquoten für die dadurch betroffenen Getränkebehälter führt. Diese liegen zwischen 66 % und 96 % je nach Sammelsystem. Knapp 30 % der Bevölkerung lebt in Bundesstaaten mit einem solchen System. (CRI 2008)

### Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle:

Dem Kunststoffverpackungsbegriff nach USEPA 2018a werden sämtliche Verpackungen wie Flaschen, Kunststoffbehälter, Milchkartons, Beutel, Säcke sowie Umhüllungen zugeordnet (USEPA 2018a). Aus Tabelle 41 kann das mengenmäßige Aufkommen verschiedener Verpackungsarten und -materialien entnommen werden. Die einzelnen Kunststoffanteile sind zusammengefasst in Abbildung 38 dargestellt.

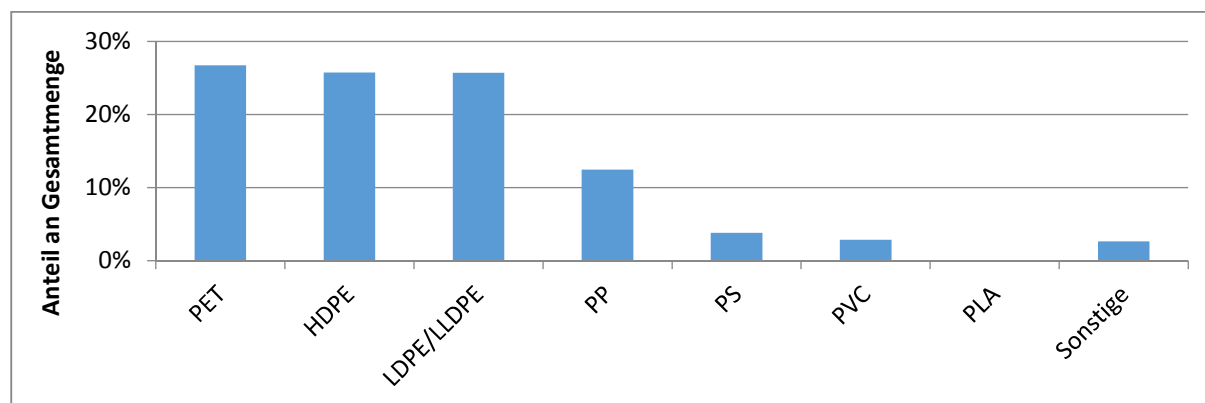


Abbildung 38: Anteile der Kunststofftypen in Kunststoffverpackungen in den USA im Jahr 2015 (USEPA 2018a).

### 3.4.4 Brasilien

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

Im Jahr 2010 wurde das „Nationale Brasilianische Gesetz zu Feststoffabfällen“ verabschiedet (Gesetz Nr. 12.305/2010). Damit sollten u.a. Recyclingquoten erhöht sowie ein integriertes Abfallwirtschaftssystem und eine Verpflichtung zur erweiterten Herstellerverantwortung geschaffen werden. Um diese Ziele zu erreichen, sollten Abfallwirtschaftspläne erstellt und die getrennte Abfallerfassung gefördert werden. Weiter wurde bundesweit vorgeschrieben, dass Abfälle nur noch in geordneten Deponien entsorgt werden dürfen. Fünf Jahre nach Erlass dieses Gesetzes (2015) sind laut wissenschaftlichen Untersuchungen die Ziele jedoch zum Großteil verfehlt worden, es gab kaum Fortschritte in der Abfallwirtschaft. Im ärmeren Nordosten werden Abfälle nach wie vor auf ungeordneten Deponien entsorgt, in der vergleichsmäßig wohlhabenden und progressiven Region Sao Paulo wurden 2015 immerhin ca. 77 % des Abfalls gesetzmäßig entsorgt. (uve 2018c)

#### Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:

Im Jahr 2015 fielen in Brasilien 79.900 kt Siedlungsabfälle an (WM&R 2017). Das entspricht 391 kg pro Einwohner und einer Steigerung der Gesamtmenge von 30.000 kt gegenüber dem Jahr 2008. Damit liegt Brasilien im Rahmen des Abfallaufkommens anderer südamerikanischer Staaten, siehe Abbildung 39 (uve 2018c).

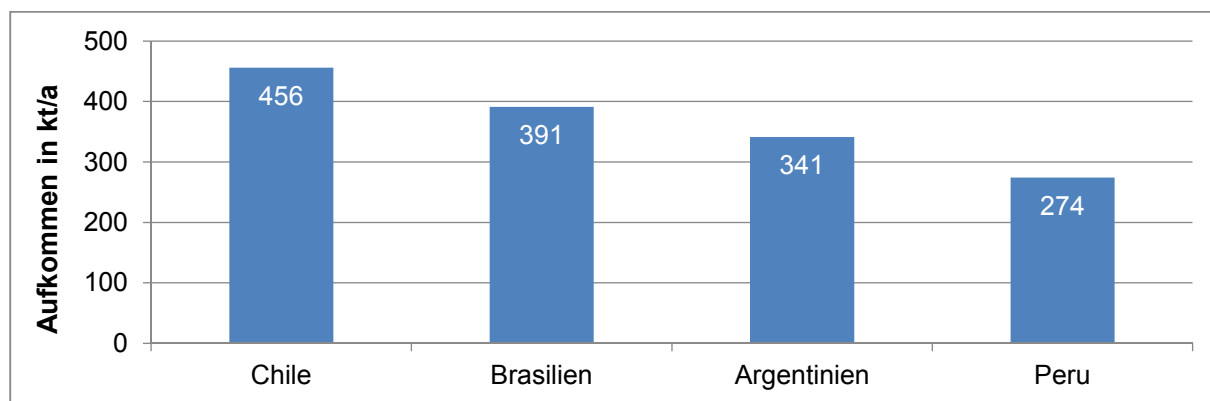


Abbildung 39: Jährliche Menge an Siedlungsabfällen für 2014 in Südamerika (uve 2018c).

Im Mittel aus verschiedenen Studien beträgt der Kunststoffanteil der Siedlungsabfälle in Brasilien 13,5 % (WM&R 2017), was einer Menge von ca. 10.800 kt entspricht. Laut DATAMARK LTDA (2019) betrug die in Verkehr gebrachte Menge an Kunststoffverpackungen im Jahr 2016 ca. 2.290 kt (DATAMARK LTDA 2019). Die Deponierung der Siedlungsabfälle stellt in Brasilien die einzige Entsorgungsart dar, die in großen Mengen Anwendung findet. Dabei muss zwischen geordneter und ungeordneter Deponierung unterschieden werden. Ein Anteil von ca. 58 % der Siedlungsabfällen wird geordnet deponiert, während über 40 % auf ungeordneten Deponien oder Abfallhalden entsorgt werden. Verbrennungsanlagen werden lediglich für die Verbrennung von gefährlichen Abfällen verwendet, der Anteil der Siedlungsabfälle, der einer energetischen Verwertung zugeführt wird, liegt bei unter 0,1 %. Als Ursache gelten der niedrige Energiegehalt der Abfälle in Brasilien sowie der monopolistische Charakter des Energiemarktes, der einen großen Widerstand gegen eine Durchsetzung dieser Verwertungsart für Abfälle darstellt. In den letzten Jahren gab es immer wieder Pläne zur Errichtung neuer Anlagen, jedoch wurden fast alle wegen mangelnder Wirtschaftlichkeit wieder verworfen. Ein geordnetes Recycling in nennenswertem Umfang ist nicht vorhanden. Nach Schätzungen werden im Kunststoffbereich jährlich knapp über 1.000 kt recycelt (274 kt PET sowie 953 kt andere Kunststoffe), was jedoch in Anbetracht des Zustandes der Abfallwirtschaft als äußerst optimistisch zu betrachten ist. (uve 2018c) Laut dem brasilianischen Umweltministerium betrug die Recyclingquote für feste Abfälle im Jahr 2008 ca. 13 %, was Großteiles auf die Arbeit der so genannten „Müllsammler“ zurückzuführen ist, siehe hierfür Punkt „Verwertung“ (Campos 2013).

### Sammlung:

Mit 99,6 % (Stand 2005) haben fast alle Städte und Kommunen Brasiliens ein öffentliches Abfallentsorgungssystem. In knapp der Hälfte der Gemeinden sind jedoch weniger als 80 % der Haushalte daran angeschlossen, besonders in ländlichen Gegenden findet keine Abfallsammlung statt. Nur 63,3 % der Kommunen verfügen über eine Infrastruktur zur Wertstofferrfassung, selbst in urbanen Regionen ist eine solche oft nicht vorhanden. Nach einer Untersuchung bieten ca. 18 % der brasilianischen Städte eine getrennte Erfassung recycelbarer Abfälle, teilweise mit wöchentlicher Abholung an. Das offizielle System für

Wertstofffassung sieht eine getrennte Sammlung für PPK, Kunststoff, Glas, Metall, Holz und organische Abfälle vor. Meist beschränkt sich dieses System jedoch auf gemischte Siedlungsabfälle und eine Wertstofftonne (Nass-Trocken-System). In öffentlichen und kommerziellen Einrichtungen werden in der Regel farbcodierte Abfalleimer benutzt. Bei der Entsorgung werden die verschiedenen Wertstoffgruppen jedoch häufig wieder vermischt, was für die Verwertung problematisch ist und eine Separation erfordert. Eine wichtige Funktion in Bezug auf Wertstoffsammlung nehmen so genannte Catadores (übersetzt Müllsammler, Müllsucher) ein. Im Jahr 2012 gab es nach Schätzungen ca. 600.000 Catadores in Brasilien. Sie sammeln u.a. leere Flaschen, Pappe oder Metalle aus dem Abfall auf Straßen oder Deponien und verkaufen diese. Die Catadores werden nach und nach durch ihre professionelle Arbeit in das Recyclingsystem integriert. (uve 2018c) In der Praxis erfolgt die getrennte Abfallsammlung in den Kommunen mittels drei verschiedener Methoden:

- Getrennte Sammlung durch freiwillige Abgabestellen,
- Kooperationen mit den Genossenschaften der Catadores und
- Abholservice für getrennt gesammelte Abfälle. (uve 2018c)

Häufig kommt es zu Kombinationen aus diesen Methoden. Die getrennte Erfassung einzelner Wertstoffe wird jedoch immer geläufiger. In Firmen, Wohnblöcken, Supermärkten, Einkaufszentren und weiteren großen Anfallstellen werden Abfälle klassifiziert und bei der Entsorgung getrennt verrechnet. (uve 2018c)

### **Verwertung:**

Die Abfallaufbereitungstechnik in Brasilien reicht von Freiluftarealen, in denen die Sortierung am Boden stattfindet bis zu Anlagen mit teilweise automatischen Sortierkomponenten und Tagesdurchsätzen von bis zu 230 t. Zum Einsatz kommen Anlagenkomponenten wie Sacköffner, Trommel- oder Schwingsiebe, Bandförderanlagen, elektromagnetische Sortierer, Ballenpressen sowie Windsichter. Im Jahr 2008 waren 445 Abfallaufbereitungsanlagen in Brasilien mit einem Gesamttagesdurchsatz von 2.592 t in Betrieb. (Campos 2013)



### 3.4.5 Ägypten

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen:

Bisher existiert kein Abfallwirtschaftsgesetz in Ägypten. Die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) arbeitet daher zurzeit gemeinsam mit verschiedenen anderen Stellen ein nationales Abfallwirtschaftsprogramm für Ägypten aus, um bessere Verhältnisse zu schaffen (GIZ 2019; UBA-DE 2015). Als Gesetze mit Bezug zur Abfallwirtschaft können die vor der Jahrtausendwende verabschiedeten Gesetze zur „Allgemeinen öffentlichen Sauberkeit“ (1967) sowie zum „Schutz der Umwelt“ (1994) mit deren jeweiligen Änderungen verstanden werden. (UBA-DE 2015)

#### Aufkommen von Kunststoffverpackungsabfällen:

Das Abfallaufkommen für das Jahr 2010 belief sich auf ca. 21.000 kt in Ägypten. Ca. 75 % der Siedlungsabfälle kommen aus urbanen Gebieten, knapp die Hälfte der Gesamtmenge wurde alleine in Kairo erzeugt. Zu der Zusammensetzung gibt es nur wenige Daten, bei denen es sich zum einen um Schätzungen handelt und diese zum anderen stark voneinander abweichen. Der Kunststoffanteil der ägyptischen Siedlungsabfälle beträgt demnach zwischen 4 % und 13 % (UBA-DE 2015). Das deutsche Umweltbundesamt hat in der Studie über Klimaschutzpotenziale in der Abfallwirtschaft (UBA-DE 2015) einen Kunststoffanteil von 5 % errechnet. Wird, aufgrund des ähnlichen Entwicklungsstandes der Abfallwirtschaft, von einem Kunststoffverpackungsanteil in den Siedlungsabfällen wie in Indien von 2,69 % ausgegangen, so belief sich die Menge der Kunststoffverpackungsabfälle im Jahr 2010 auf ca. 565 kt. (UBA-DE 2015)

#### Sammlung:

Eine getrennte Abfallsammlung findet bisher nicht in relevantem Ausmaß statt, obwohl die Trennung in „nasse“ und „trockene“ Abfälle seit 2000 in der „National Strategy for the integrated Municipal Solid Waste Management“ verankert ist. Die Abfallsammlung in Ägypten wird von einem informellen sowie einem formellen Sektor ausgeführt. In den großen Städten sind nationale und internationale private Unternehmen mit der Abfallentsorgung beauftragt. In Kairo sind neben ägyptischen auch italienische und spanische Firmen tätig. In den übrigen urbanen Regionen wird die Abfallerfassung von der öffentlichen Hand erledigt, in ländlichen Gebieten übernehmen diese Aufgaben oft Nichtregierungsorganisationen. (UBA-DE 2015) Beim informellen Sektor der Abfallsammlung sind drei verschiedene Modelle gängig:

- Mischabfallsammlung: Das ist im Großraum Kairo ein traditionelles System, so genannte „Zabbaleen“ holen den gemischten Siedlungsabfall an den Haustüren ab. Sie können von der lokalen Behörde gegen ein Entgelt die Lizenz für ein bestimmtes Gebiet erstehen. In diesen Gebieten dürfen sie Abfall einsammeln und von den Bewohnern eine Gebühr erheben. Der Abfall wird von den Zabbaleen sortiert und zum Teil bis zu einem Sekundärrohstoff aufbereitet. Die Aufbereitung reicht von

einfacher Zerlegung, Waschen sowie Shreddern bis hin zu Granulieren und Extrudieren. (UBA-DE 2015)

- Wertstoffsammlung gegen Bezahlung/Tausch: Eine Struktur der Wertstoffsammlung existiert Landesweit. Dabei kaufen Straßenhändler recycelbare Wertstoffe (v.a. Metallschrott und Kunststoff) von den Einwohnern oder tauschen sie gegen Haushaltsgegenstände. (UBA-DE 2015)
- Selektive Wertstofferrfassung aus gemischten Abfällen: Aus Abfalltonnen, Abfallsammelstellen und Deponien werden hierbei Wertstoffe aussortiert. Dieses „waste picking“ wird meist nur in städtischen Gebieten ausgeführt, da in ländlichen Gebieten der Wertstoffanteil sehr gering ist. Die so erfassten Wertstoffe werden höchstwahrscheinlich einem Recycling zugeführt, da sonst kein wirtschaftlicher Anreiz bestünde. (UBA-DE 2015)

Die nicht erfasste Menge der Siedlungsabfälle (46 %) wird ungeordnet deponiert oder verbrannt. Eine Übersicht über die Entsorgungswege der ägyptischen Abfallströme ist in Abbildung 40 dargestellt.

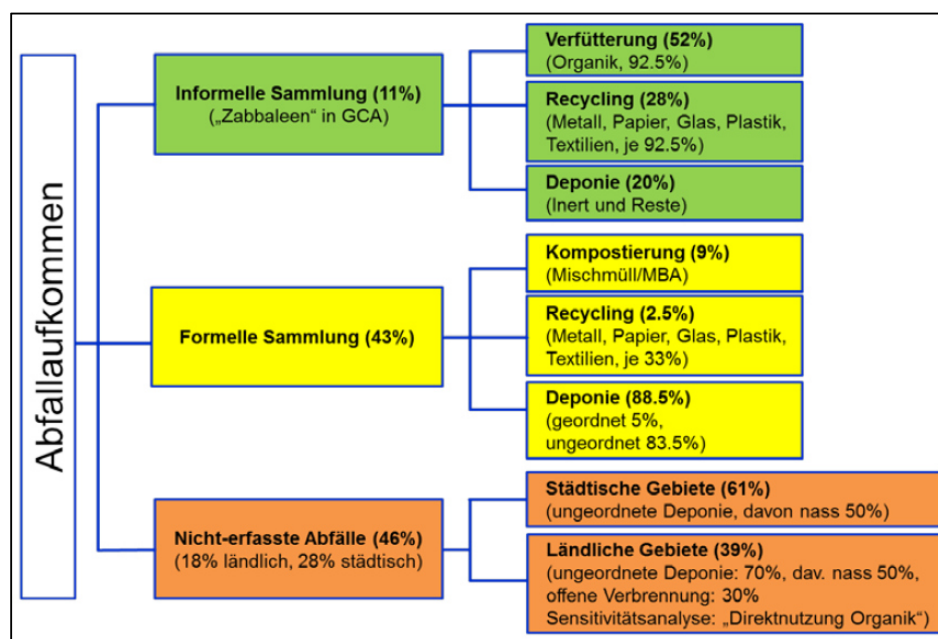


Abbildung 40: Stoffflussdiagramm der ägyptischen Abfallströme, ermittelt anhand von Quellen mit unterschiedlichen Referenzjahren (UBA-DE 2015).

### Verwertung:

In vielen Städten werden bevorzugt PE, PP, PET und PS recycelt, weshalb diese Kunststoffe in Abfällen kaum eine formelle Erfassung erreichen. Die spezialisiertesten Recyclingzentren befinden sich in Kairo, Dakahlia und El Minya. Das größte Zentrum für Kunststoffhandel und -recycling befindet sich in Moquattam. Zu den Prozessschritten gehört das Sortieren nach Farbe und Art des Kunststoffs, waschen und trocknen sowie granulieren. Die verwendeten Aggregate sind meist Brecher, Granulieraggregate und Agglomeratoren. (UBA-DE 2015)

### 3.5 Zukünftige Entwicklungen

#### Entwicklung des Abfallaufkommens:

Bei der Betrachtung zukünftiger Abfallströme wird nicht explizit auf Kunststoffverpackungsabfälle eingegangen, da es bei globalen Untersuchungen meist keine differenzierte Betrachtung für die einzelnen Abfallströme gibt. Jedoch kann bei einem Anstieg der gesamten Siedlungsabfallmenge von einem vergleichbaren prozentualen Wachstum bei Kunststoffverpackungen ausgegangen werden. Das Verhältnis von Kunststoffabfallaufkommen zu Siedlungsabfallaufkommen pro Einwohner in den vorhergehend betrachteten Ländern ist in Abbildung 41 dargestellt.

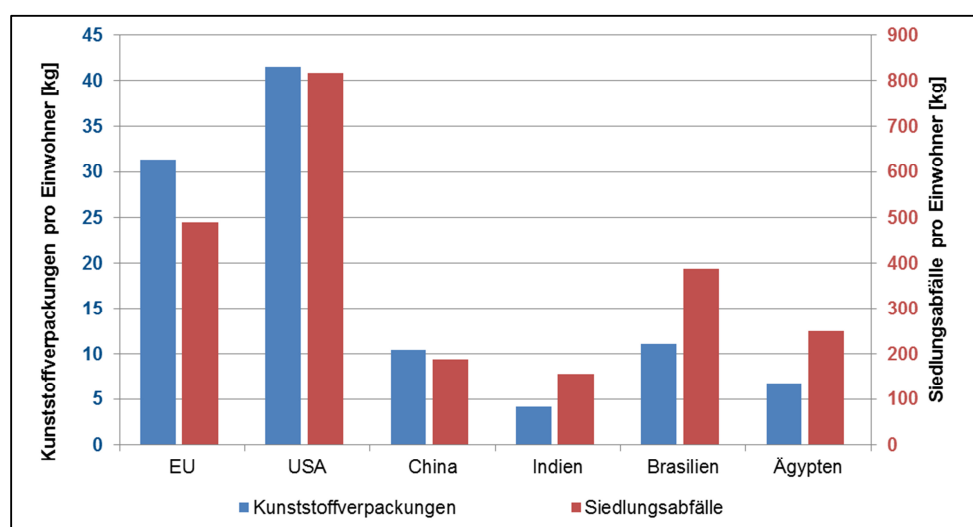


Abbildung 41: Jährliches Pro-Kopf-Aufkommen von Kunststoffverpackungen und Siedlungsabfällen in den betrachteten Ländern.

Global betrachtet spielen laut Weltbank (Kaza et al. 2018) besonders die Wachstumsraten von BIP und Population eine entscheidende Rolle für die Abschätzung des zukünftigen Abfallaufkommens. Mit dem Wirtschaftswachstum eines Landes, welches sich im BIP pro Einwohner widerspiegelt, steigt somit auch die Abfallmenge pro Einwohner. Ebenso steigt die Menge des Abfallaufkommens mit der Einwohnerzahl. Für einkommensstarke Länder wird das geringste Wachstum der Abfallmenge bis 2030 prognostiziert, da das Wachstum von BIP und Einwohnerzahl verhältnismäßig geringer ist und in höheren Entwicklungsstadien der Wirtschaft der Rohstoffbedarf in geringerem Ausmaß mit dem Wachstum des BIP zusammenhängt. In einkommensschwachen Ländern hingegen wird vom stärksten Wirtschafts- als auch Bevölkerungswachstum ausgegangen, weshalb dort die Abfallmengen deutlich steigen werden. Das Abfallaufkommen für das Jahr 2016 sowie die Prognosen für 2030 und 2050 nach Einkommensstufen ist in Abbildung 42 dargestellt. (Kaza et al. 2018)

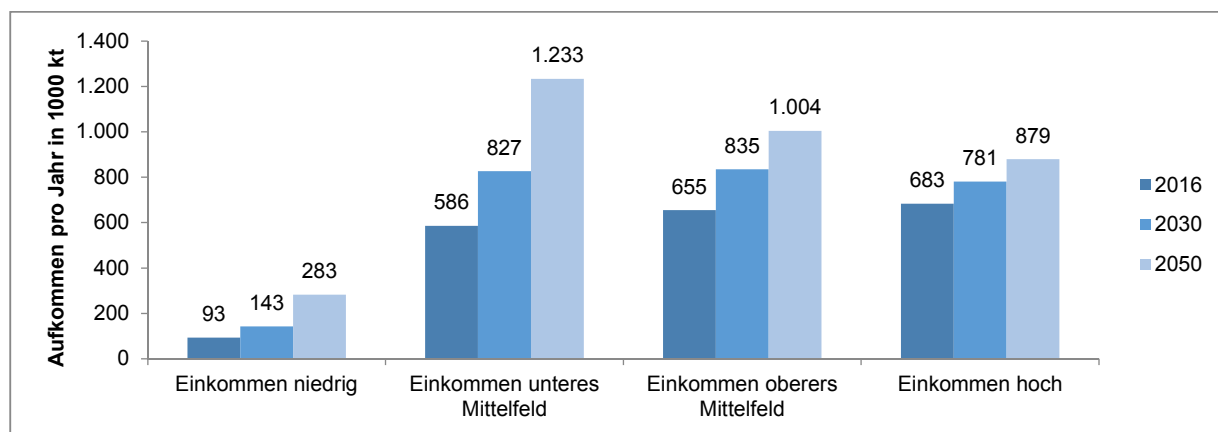


Abbildung 42: Gesamte sowie prognostizierte Siedlungsabfallmenge pro Jahr nach Einkommen (Kaza et al. 2018).

Wie in Abbildung 42 ersichtlich, wird sich nach Prognosen der Weltbank (Kaza et al. 2018) die gesamte Siedlungsabfallmenge in Ländern mit niedrigen Einkommen bis 2050 um mehr als das Dreifache erhöhen. Der Anstieg des Pro-Kopf-Aufkommens ist dabei mit 40 % wesentlich geringer, weshalb das Bevölkerungswachstum offenbar die Hauptursache für den starken Anstieg ist. In den einkommensstärksten Ländern dürfte sich die gesamte Abfallmenge bis 2050 um ca. 30 % und das Pro-Kopf-Aufkommen um ca. 20 % erhöhen. Auf Regionen übertragen ist zukünftig in Afrika, Südasien sowie im Mittleren Osten mit dem stärksten Anstieg der Abfallmenge zu rechnen, siehe Abbildung 43. (Kaza et al. 2018)

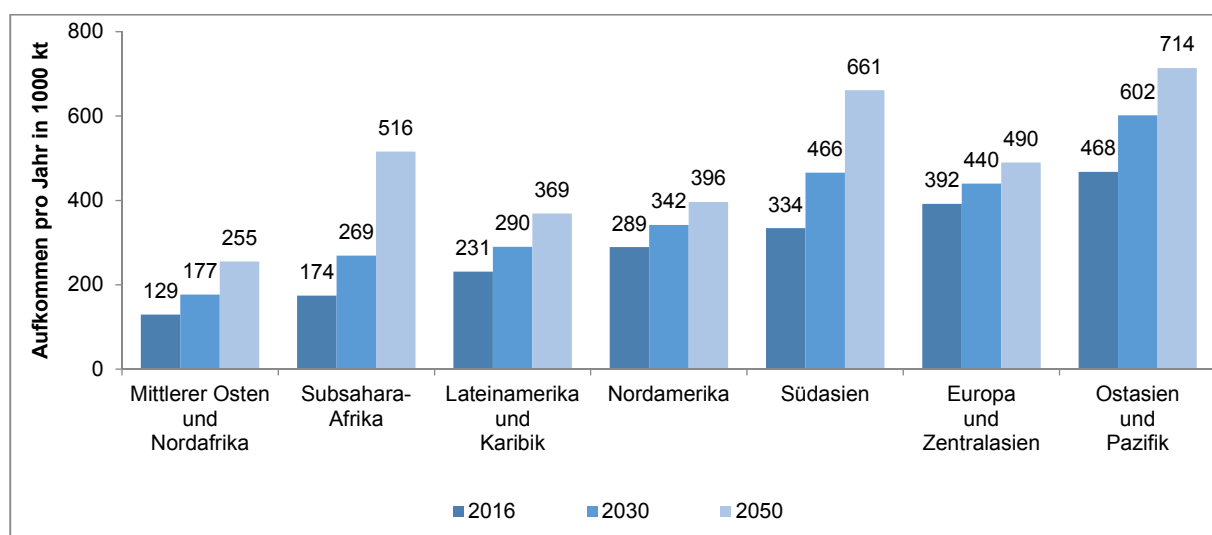


Abbildung 43: Gesamte sowie prognostizierte Siedlungsabfallmenge pro Jahr nach Region (Kaza et al. 2018).

### Erreichen zukünftiger EU-Recyclingziele:

Wie in Kapitel 3.2.1 erörtert, wurden für die Jahre 2025 bzw. 2030 strenge Recyclingquoten für Verpackungsmaterialien von der EU im Zuge des Kreislaufwirtschaftspaketes vorgegeben. In Anbetracht der 2016 erreichten Quoten besteht im Großteil der EU-Länder Handlungsbedarf. Das aktuelle Recyclingziel von 22,5 % (EU 1994) für Kunststoffverpackungen wird EU-weit erreicht, siehe Abbildung 44. Viele Länder wie z.B. Finnland oder Frankreich sind mit unter 27 % jedoch von den zukünftigen Zielen weit entfernt. Lediglich in Deutschland und Tschechien wurden die Recyclingziele von 50 % für Kunststoffverpackungen bis 2025 bereits erreicht.

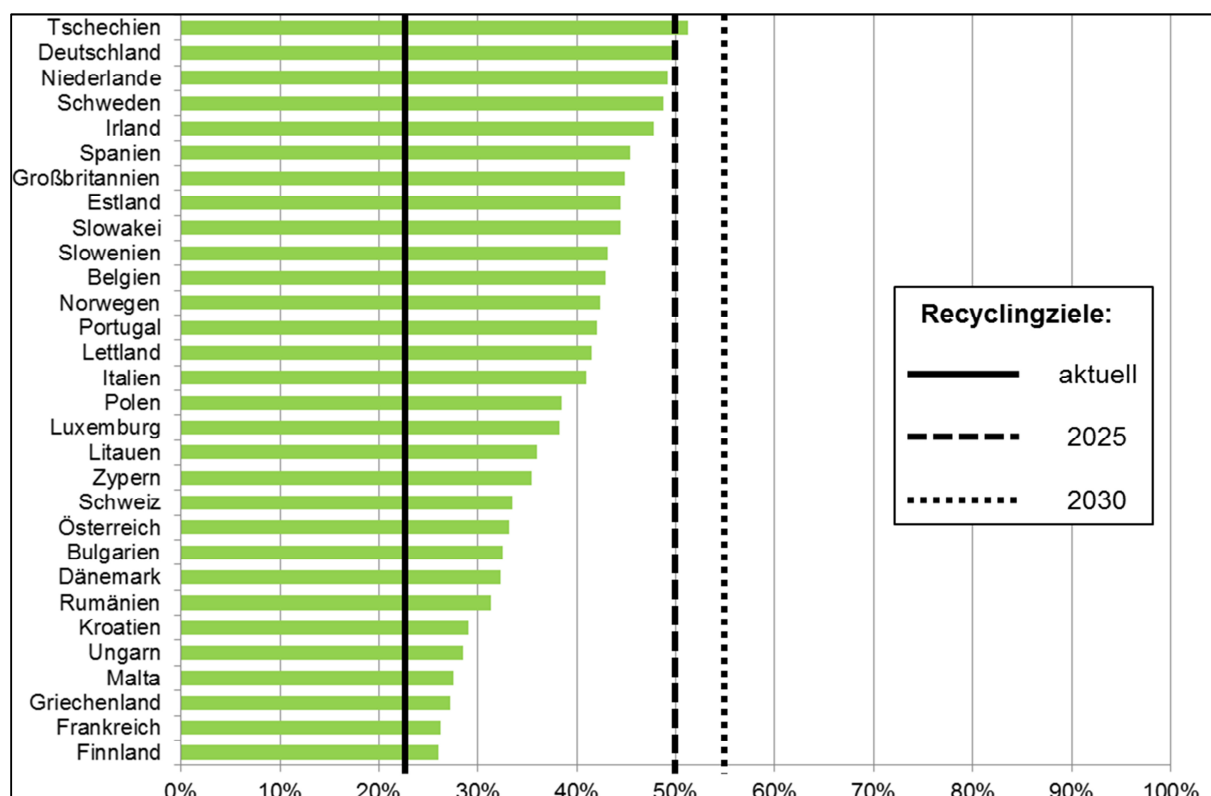


Abbildung 44: Aktuelle Recyclingquoten und -ziele der EU+2 in Anlehnung an Conversio (2017).

Im Jahr 2016 wurden laut Eurostat (2019) EU-weit 6.964 kt (Exporte zu Recyclingzwecken inbegriffen) der insgesamt 16.301 kt recycelt, was einer Recyclingquote von ca. 43 % entspricht. Um 55 % zu erreichen, hätten weitere 2.000 kt recycelt werden müssen. Da die Abfallmenge innerhalb der EU jedoch kontinuierlich steigt, wird bis 2025 noch eine wesentlich größere Menge recycelt werden müssen, um 55 % zu erreichen. Von Deloitte (DTTL 2017) wurde ein solches Szenario modelliert, ein Flussbild dieses Modells ist in Abbildung 45 dargestellt. Dabei wurden lediglich Recyclingprozesse innerhalb der EU zur Quote gezählt, Exporte mit dem Zweck eines Recyclings wurden nicht berücksichtigt. In diesem Szenario wird mit einem jährlichen Wachstum von 2,4 % bis 2025 gerechnet, die Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in der EU würde demnach 21.680 kt betragen. Um

ein Recycling in diesem Ausmaß durchführen zu können, müsste die Sammelquote aller Kunststoffverpackungen EU-weit 74 % betragen (DTTL 2017). Darüber hinaus müssten Recyclingkapazitäten für insgesamt 12.540 kt geschaffen werden.

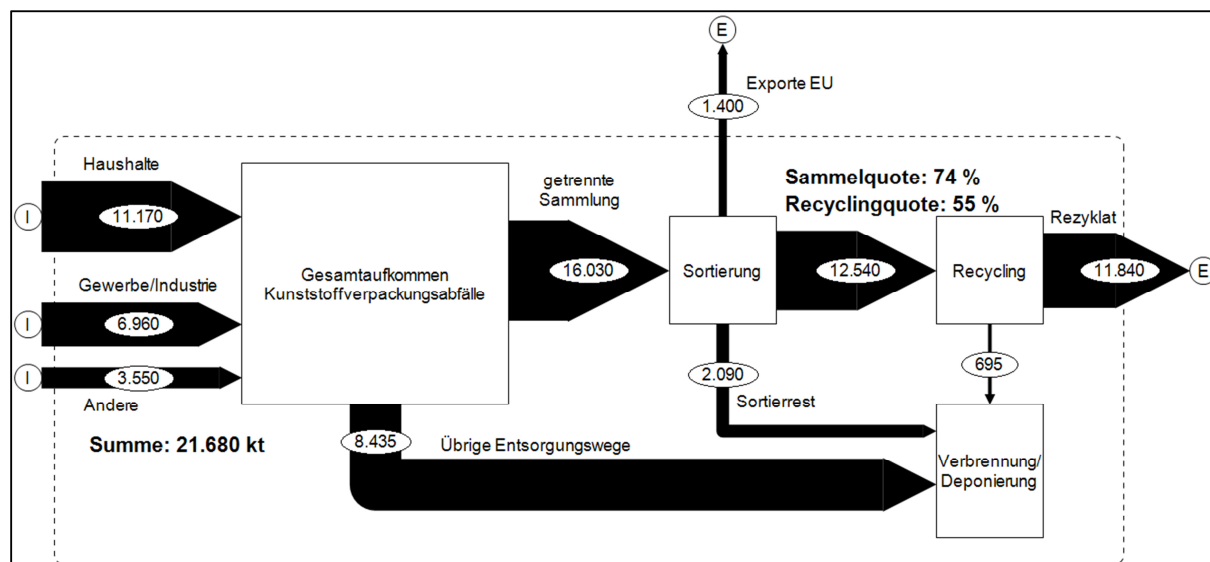


Abbildung 45: Szenario für 2025 zum Erreichen einer Recyclingquote von 55 % in der EU in Anlehnung an DTTL (2017).

In Anbetracht der aktuellen Situation und der Entwicklung der Recyclingquoten in den letzten Jahren ist davon auszugehen, dass viele Länder die Recyclingziele für 2025 bzw. 2030 nicht erreichen werden. Für diesen Fall wurde den Mitgliedstaaten in Richtlinie 2018/852 zur Änderung der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994) eine Fristverlängerung von fünf Jahren eingeräumt, sofern gewährleistet wird, dass u.a. die Abweichung von den Recyclingzielen unter 15 % beträgt und die Quote mindestens 30 % erreicht. Als Handlungsempfehlung zum Erreichen der zukünftigen Recyclingziele werden folgende Punkte genannt:

- Das Festlegen von Designstandards, die ein Recycling erleichtern (Öko-Design) sowie finanzielle Anreize dafür,
- eine Erweiterung der getrennten Sammlung sowie von Pfandsystemen,
- eine Überwachung und Reduktion von Abfallexporten in Nicht-EU-Länder,
- die Entwicklung neuer sowie verstärkte Implementierung und Verbesserung bestehender Technologien in Bezug auf Sortierung und Recycling und
- die Einführung von einheitlichen Kennzeichnungen für die Recyclingfähigkeit und den Rezyklatanteil von Produkten. (DTTL 2017)

## 4 Verwertungsverfahren

Gemäß der EU-Abfallrahmenrichtlinie bezeichnet der Ausdruck "Verwertung" jedes Verfahren, „als dessen *Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktionen erfüllen*“ (EU 2008a). Darunter fallen energetische sowie stoffliche Verwertungsverfahren. Ist dies jedoch nicht der Fall, so wird ein Verfahren als „Beseitigung“ bezeichnet. Eine Übersicht über die gängigsten Verwertungs- und Beseitigungsverfahren für Kunststoffabfälle ist in Abbildung 46 dargestellt.

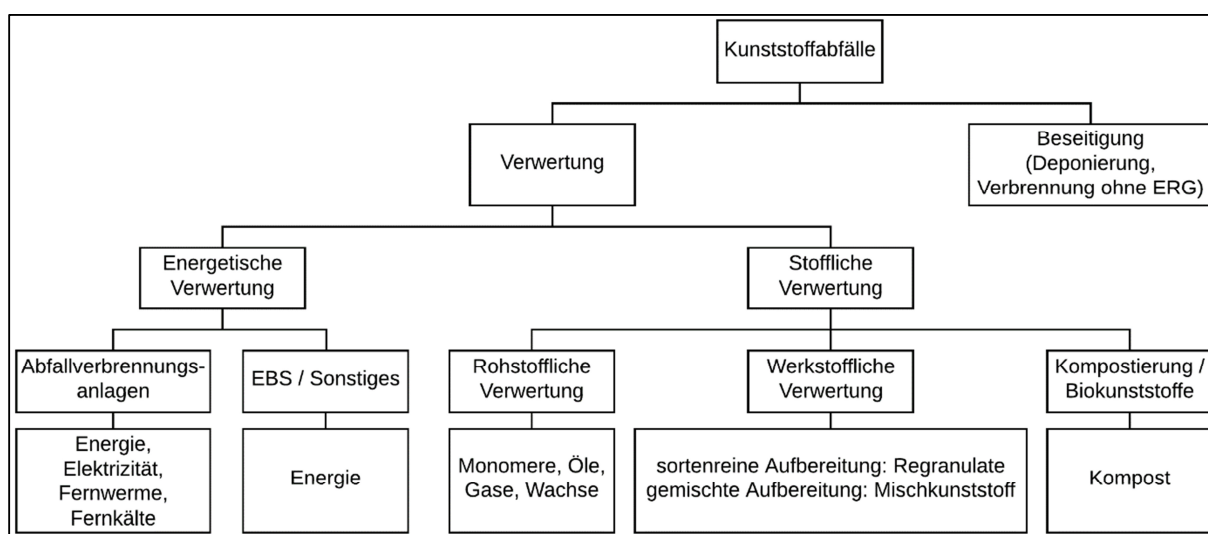


Abbildung 46: Übersicht Verwertungs- und Beseitigungsarten von Kunststoffabfällen in Anlehnung an UBA-AT (2017).

Die Kompostierung von Biokunststoffen ist derzeit nur für großtechnische Kompostierungsanlagen vorgesehen, in privaten Haushalten ist eine Solche nur schwer möglich, da die erforderlichen Rottebedingungen nicht erreicht werden (UBA-AT 2017). Als die bedeutendsten Arten der Verwertung können daher folgende Verfahren unterschieden werden:

- Werkstoffliches Recycling: Das Umschmelzen von Altkunststoffen und Verarbeitung zu Granulat bzw. Formteilen.
- Rohstoffliches Recycling: Das Spalten von Altkunststoffen in chemische oder petrochemische Produkte.
- Energetische Verwertung: Eine Verbrennung von Altkunststoffen zur Energiegewinnung. (Lechner et al. 2003)

Je nach Kunststoffart und der vorliegenden Qualität eignen sich unterschiedliche Verwertungswege, die gängigsten Pfade sind in Abbildung 47 dargestellt.

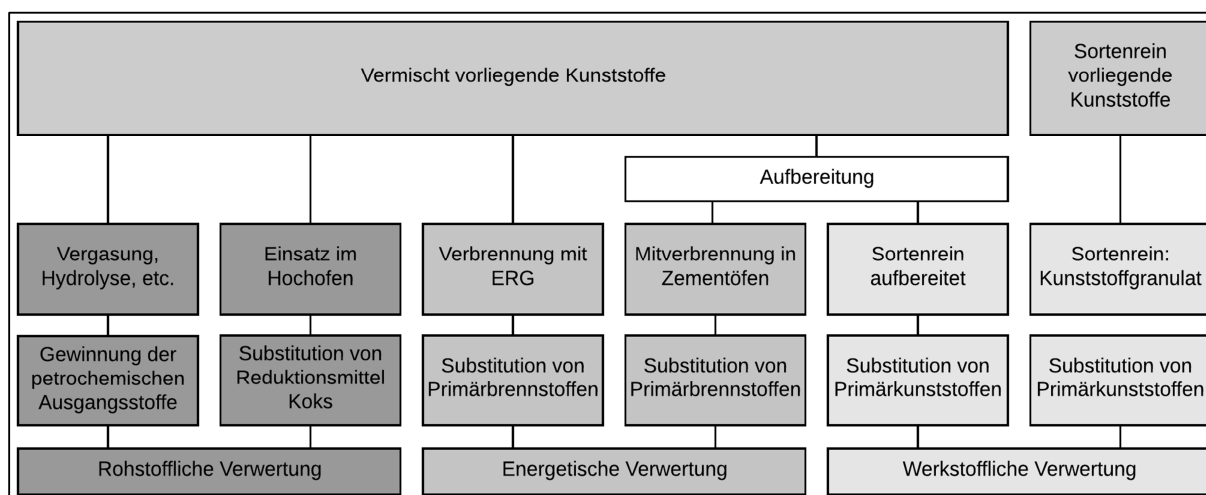


Abbildung 47: Verwertungswege für Kunststoffabfälle in Anlehnung an Martin Kranert (2015), S. 267.

Im nachfolgenden Kapitel wird auf werkstoffliche, rohstoffliche sowie energetische Verwertung genauer eingegangen. Die Verwertungspfade für ein werkstoffliches Recycling werden dabei im Detail beschrieben, während über rohstoffliche und energetische Verwertung ein kompakter Überblick gegeben wird.

#### 4.1 Werkstoffliche Verwertung

Das Ziel des werkstofflichen Recyclings ist die Wiederaufbereitung von Kunststoffabfällen zu verarbeitungsfähigen Granulaten (Regranulaten), die in der Regel zu kunststofftypischen Produkten weiterverarbeitet werden. Kunststoffe werden durch die Variation von z.B. Polymertyp, Verstärkungsmaterialien und Additiven auf den jeweiligen Anwendungsfall „maßgeschneidert“. Die volle Leistungsfähigkeit können sie nur sortenrein oder als Blend mit definierter Zusammensetzung und gegebenenfalls durch die Zugabe ausgewählter Additive erreichen. Daher ist es für ein werkstoffliches Recycling unerlässlich, dass die Abfallströme sortenrein, sauber und in großen Mengen anfallen. Nur so halten sich die unvermeidlichen Eigenschaftsverluste, der energetische Aufwand sowie die Aufbereitungskosten bei Recyclingprozessen in Grenzen. Darüber hinaus lassen sich leichter Absatzmärkte für die Rezyklate finden. Der größte Anteil der Altkunststoffe fällt jedoch in Form komplexer Produkte an, die umfangreiche Sortier-, Reinigungs- und Aufbereitungsschritte notwendig machen. Verbleibende Verunreinigungen, Vermischung verschiedener Kunststofftypen sowie Schädigungen der polymeren Grundstruktur in der Nutzungsphase (z.B. Alterung) und bei Aufbereitungsprozessen (z.B. thermischer Abbau durch mehrfaches Umformen) verhindern meist einen hochwertigen Wiedereinsatz solcher Materialien. Deshalb ist es derzeit üblich, Neuware eine geringe Menge von Rezyklaten beizumischen. Meist ist es nur so möglich, dass spätere Produkte ihrem gewünschten Eigenschaftsprofil entsprechen. (Lechner et al. 2003) Sortenreine, unverschmutzte Kunststoffabfälle (z.B. Produktionsabfälle) können in vielen Fällen nach einer Zerkleinerung direkt wieder in den Produktionsprozess eingeschleust werden. Die Aufbereitung vermischter und/oder verschmutzter Kunststoffabfälle (wie z.B. Post-Consumer-Kunststoffverpackungsabfälle) ist hingegen mit



erheblichem Aufwand verbunden. Entscheidend für die Qualität des Endprodukts sind im Wesentlichen die Verfahrensschritte Sortierung, Wäsche und Aufbereitung über die Schmelze. Davon werden Sauberkeit, Sortenreinheit und anwendungstechnische Eigenschaften des Rezyklats bestimmt. (Lechner et al. 2003) In den folgenden Punkten wird auf diese als auch weitere wesentliche Aufbereitungsschritte in der Prozesskette des werkstofflichen Recyclings von Post-Consumer-Kunststoffverpackungsabfällen eingegangen. Darüber hinaus wird die Wirtschaftlichkeit von Recyclingprozessen untersucht und auf recyclinggerechte Produktgestaltung eingegangen. Außerdem werden wichtige Hersteller von Aggregaten für Sortier- und Recyclinganwendungen betrachtet.

#### 4.1.1 Aufbereitungsprozesse von Kunststoffverpackungsabfällen

Je nach Entsorgungsart werden die Kunststoffverpackungen auf unterschiedliche Verwertungspfade gelenkt. In Abbildung 48 sind die wichtigsten Verwertungspfade innerhalb der einzelnen Anreicherungsstufen dargestellt.

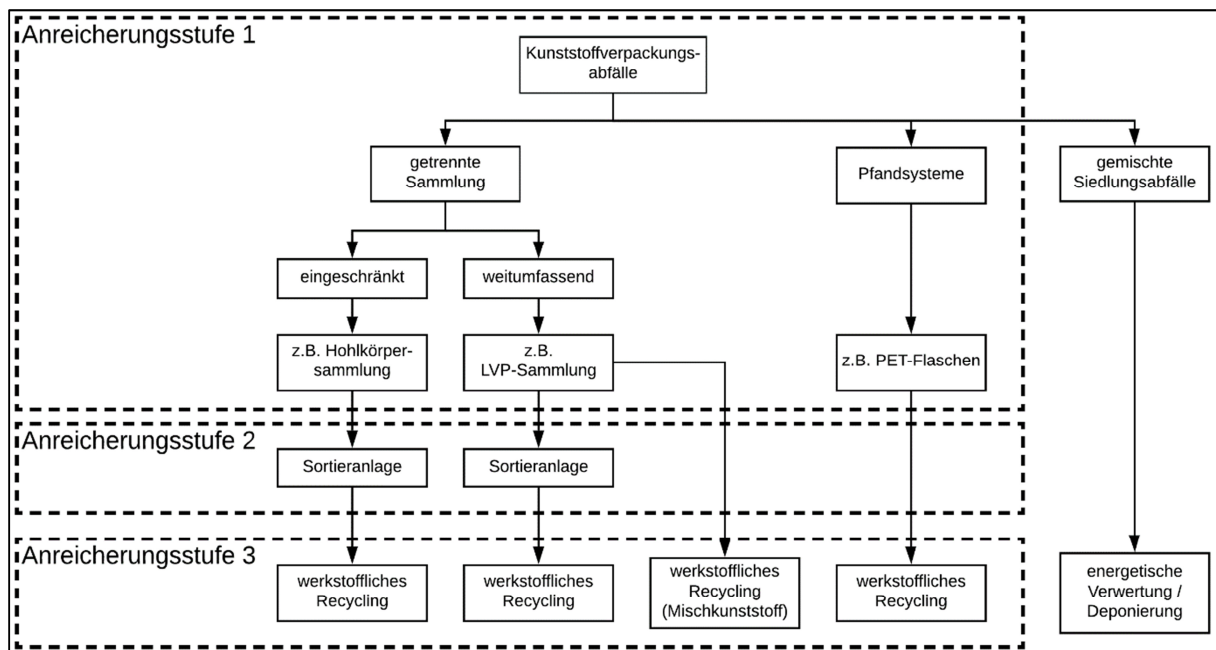


Abbildung 48: Beispielhafte Verwertungswege für Kunststoffverpackungsabfälle sowie die Einteilung in Anreicherungsstufen in Anlehnung an Ragaert et al. (2017).

Die erste Anreicherungsstufe findet durch getrennte Bereitstellung der Ausgangsmaterialien durch den Abfallerzeuger (z.B. getrennte Sammlung) statt. In der zweiten Anreicherungsstufe werden in Sortieranlagen Materialkonzentrate mit definierten Qualitäten, wie z.B. 95 % Reinheit bei PET-Flaschen, erzeugt. Diese Konzentrate werden meist in Ballenform verpresst und anschließend Anlagen der 3. Anreicherungsstufe, so genannten Aufbereitungs- oder Recyclinganlagen, als Rohstoff für die weitere Verarbeitung bereitgestellt. Dort entsteht nach einer Zerkleinerung, Sortierung und intensiver Reinigung ein neuer Rohstoff in Form von z.B. Mahlgut oder Granulat. (Martin Kranert 2015, S. 190).

In bestimmten Fällen kann die Prozesskette jedoch anders verlaufen. Vorsortierte PET-Ballen aus Pfandsystemen erfordern Sortierschritte mit wesentlich geringerem Aufwand als es für z.B. LVP in entsprechenden Sortieranlagen der Fall ist. Ebenfalls können aus gemischten Kunststoffabfällen wie z.B. aus der LVP-Sammlung ohne einer zwischengelagerten Sortieranlage Mischkunststoffe hergestellt werden (Ragaert et al. 2017). Die Recherchen im Zuge dieser Arbeit zeigten jedoch, dass vom Großteil der recycelten Kunststoffverpackungen alle Anreicherungsstufen durchlaufen werden, weshalb auf deren wesentliche Prozessschritte nachfolgend genauer eingegangen wird. Um einen Praxisbezug herzustellen, werden für die Anreicherungsstufen 2 und 3 konkrete Anlagen im Detail beschrieben.

#### **4.1.1.1 Sammlung und Vorsortierung**

Die Sammlung von Abfällen stellt die erste Anreicherungsstufe in der Verwertungskette dar. Je sortenreiner die Sammlung von Abfällen stattfindet, desto geringer sind die Anforderungen an den anschließenden technischen Aufbereitungsprozess. Es sind jedoch höhere Logistikaufwendungen damit verbunden. Die Intensität und Effizienz der Ausführung von Getrennsammelsystemen wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Zum einen ist eine Sensibilisierung der Konsumenten erforderlich, damit die Trennaufgabe bewusst wahrgenommen wird. Zur Unterstützung können z.B. Pfandsysteme herangezogen werden. Zum anderen hängen die Möglichkeiten einer Getrennsammlung von den urbanen Gegebenheiten an den Anfallstellen ab. In Städten mit extrem hoher Bevölkerungsdichte ist eine stark ausgeprägte Getrennsammlung aus Mangel an Platz für mehrere Abfalltonnen vor der Haustür nicht realisierbar, während sie in sehr dünn besiedelten Gebieten oft wegen zu hoher Logistikkosten nicht stattfindet. In jedem Fall wirkt sich die Art der Sammlung auf nachfolgende Verwertungsprozesse aus. Während gewisse Stoffströme (z.B. Papier und Bioabfälle) für eine hochwertige Verwertung unbedingt getrennt gesammelt werden müssen, schaffen neue Aufbereitungsverfahren Möglichkeiten, gemischte Siedlungsabfälle und Verpackungsmaterialien auch bei gemeinsamer Sammlung effizient nach Stoffgruppen zu trennen. (Martens und Goldmann 2016) Die Praxis zeigt jedoch, dass Kunststoffverpackungsabfälle, die nicht über eine getrennte Sammlung entsorgt wurden, meist keiner werkstofflichen Verwertung zugeführt werden (siehe z.B. Van Eygen 2018). In Bezug auf Sammlung von Kunststoffverpackungsabfällen sind verschiedenste Modelle im Einsatz. Diese reichen von reiner Kunststoffhohlkörper-Sammlung über unterschiedliche gemischte Fraktionen bis hin zur gemeinsamen Entsorgung aller Abfallfraktionen in einem Behälter. Genauere Erläuterungen zu den verschiedenen Sammelsystemen und praktischen Umsetzungen sind in den Länderanalysen in Kapitel 3 zu finden.

### 4.1.1.2 Vorbehandlung und Sortierung

In der zweiten Anreicherungsstufe gilt, dass durch sortenrein gesammelte Abfallströme Aufwand und Kosten einer Sortierung deutlich reduziert werden können (Martens und Goldman 2016). Die gesammelten Abfälle werden in diesem Prozessschritt in der Regel Sortieranlagen zugeführt, um die einzelnen Zielfractionen (z.B. PET-Flaschen, HDPE-Hohlkörper, Folien) möglichst sortenrein zu gewinnen. Entsprechend der Inputfraction unterscheiden sich Sortieranlagen in den verwendeten Aggregaten und ihrem Aufbau. Eine Übersicht der möglichen Trennverfahren in Sortieranlagen sind in Abbildung 49 dargestellt.

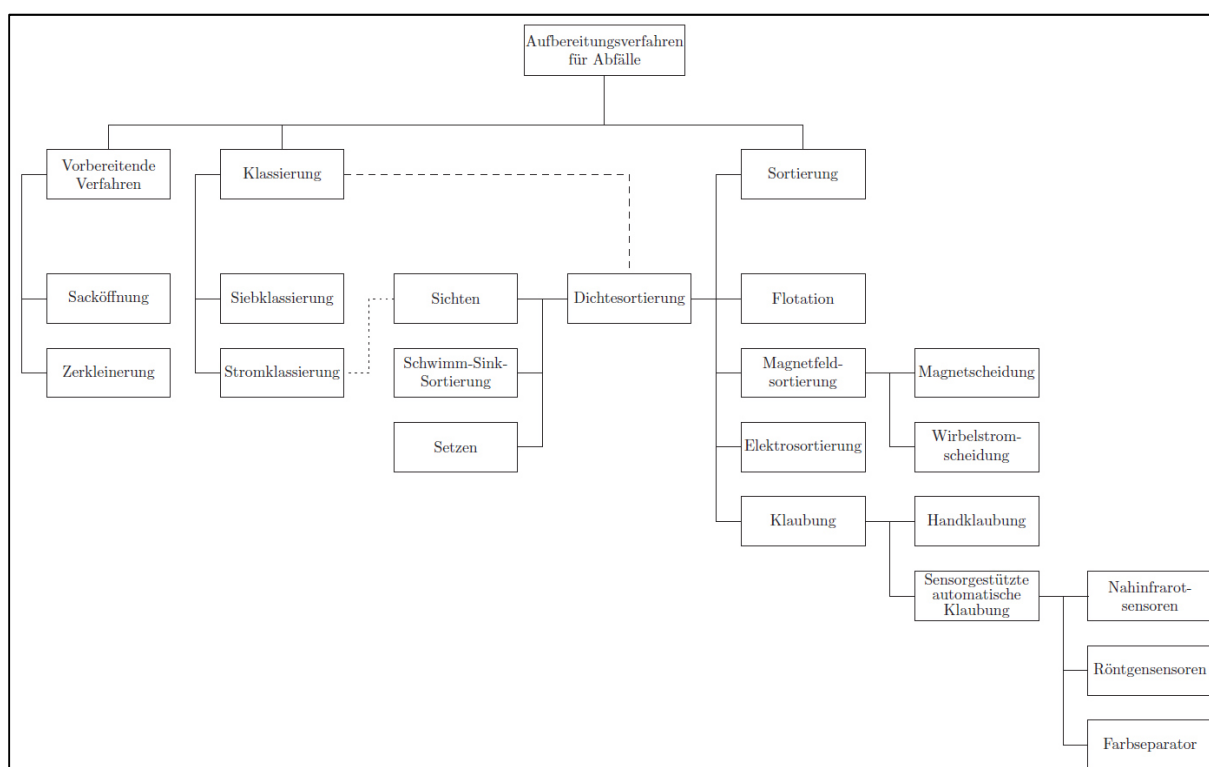


Abbildung 49: Übersicht über Abfalltrennverfahren (Gerth et al. 2014).

In den letzten Jahren hat sich insbesondere der Bereich der LVP-Sortieranlagen verändert. Der Trend geht weg von vielen kleineren Sortieranlagen in Richtung von Großanlagen. Durch die kontinuierlich steigende Anzahl von Sortieranlagen mit Kunststoffartentrennung können Sortierkosten gesenkt und Verwertungserlöse gesteigert werden. (Consultic 2015) Inzwischen arbeiten moderne Sortieranlagen überwiegend vollautomatisch, wobei händische Sortierschritte (z.B. zur Qualitätskontrolle der sortierten Fraktionen) weitgehend noch nicht vollständig ersetzt werden konnten (Gerth et al. 2014). In den folgenden Punkten werden die wichtigsten Prozessschritte, die in den meisten modernen Sortieranlagen vorhanden sind, erörtert. Anschließend werden einige Beispielanlagen anhand von Materialflussbildern beschrieben.

**Gebinde-/Sacköffnung:**

Ein großer Anteil der Kunststoffverpackungen wird, besonders im Holsystem, in Abfallsäcken gesammelt. Darüber hinaus besteht das gesammelte Material zu einem bestimmten Anteil aus geschlossenen Beuteln. Um den nachfolgenden Sortierprozess zu ermöglichen, müssen in diesem ersten Prozessschritt die geschlossenen Gebinde geöffnet und die einzelnen Inhaltsstoffe freigelegt werden. Im Sortierhandbuch des DSD (DSD 2004) wird dabei nach den Beanspruchungsarten Schneiden, Reißen sowie Schlagen unterschieden. In diesem Prozessschritt soll jedoch lediglich ein Aufschluss der Gebinde, nicht der Komponenten erfolgen, weshalb in der Praxis für Kunststoffverpackungsabfälle eher selten schneidende Verfahren (nach Institut cyclos-HTP (2019) z.B. Einwellenzerkleinerer oder Rotorscheren) eingesetzt werden. Einige Bauarten und Aggregathersteller für Sackaufreißer können Tabelle 42 entnommen werden.

Tabelle 42: Verschiedene Bauarten von Sackaufreißern inklusive Durchsatzleistung in Tonnen pro Stunde (t/h).

Hersteller	Bauart/Funktionsweise	Durchsatzleistung
Matthiessen Lagertechnik GmbH	Rotor mit einfahrenden Aufreißkämmen	Bis 20 t/h bei LVP
Sutco Recyclingtechnik GmbH	Schneckenförderer mit eingreifenden Aufreißbolzen	Bis 25 t/h je nach Abfallart
Eggersmann GmbH	Arbeitswalze aus mit Aufreißzacken versehenen Ringen, von denen sich jeder zweite Ring abwechselnd um 180° weiterdreht	Bis 16 t/h bei LVP
Bulk Handling Systems	Schnelllaufender Hauptrotor und langsam laufender Gegenrotor mit Aufreißkämmen	Keine Angabe
BHS Sonthofen GmbH	Zweiwellenzerkleinerer (Vorzerreißer)	Keine Angabe
Gassner RecTec GmbH	Beweglicher Messerhalter und Abweisrechen	Keine Angabe

**Folienabscheidung:**

Im Abfallstrom vorhandene große Folien (z.B. Agrar- und Malerfolien) sowie die im vorherigen Prozessschritt des Sackaufreißens geöffneten Abfallsäcke können im weiteren Sortierprozess zu Verstopfungen von Siebelagen oder Übergabestellen sowie anderen Anlagenproblemen führen (Matthiessen Lagertechnik GmbH 2019). Deshalb ist es von Vorteil, wenn diese vorher aus dem Materialstrom abgeschieden werden. Eine Übersicht über verschiedene Hersteller und Funktionsweisen von Aggregaten zur Folien- und Übergrößentrennung ist in Tabelle 43 dargestellt.

Tabelle 43: Verschiedene Funktionsweisen von Folienabscheidern inklusive Hersteller und Durchsatzleistung.

Hersteller	Funktionsweise	Durchsatzleistung
Matthiessen Lagertechnik GmbH	Rotor mit einfahrenden Mitnehmerdornen erfasst Folien, Kombination mit nachfolgender Windsichtung möglich	Bis 14 t/h
Schulz und Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH	Folien bleiben auf rotierenden, perforierten Unterdrucktrommeln haften und werden abgeschieden	Bis 20 t/h
AMUT Group S.p.A.	Folien werden durch Luftstrom auf eine rotierende, mit Stacheln versehene Trommel geleitet und abgeschieden	keine Angabe

### Sieben:

Hier erfolgt die Trennung der freigelegten Inhaltsstoffe anhand charakteristischer geometrischer Abmessungen unter Verwendung von Sieben. Die entstehenden Kornfraktionen können aufgeteilt werden in:

- Siebüberlauf: Grobgut, dessen Abmessungen größer als die Sieböffnungen sind und
- Siebdurchgang: Feingut, dessen Stückgrößen kleiner als die Sieböffnungen sind. (DSD 2004)

Es gibt verschiedenste Bauformen für Siebmaschinen. Beispiele hierfür sind Trommelsiebe, Schwingsiebe, Scheibensiebe (siehe Abbildung 50) sowie Spannwellensiebe. Teilweise kann auch eine zwei- oder mehrstufige Siebung erfolgen, indem z.B. bei Trommelsieben der erste Abschnitt der Trommel mit kleineren Sieböffnungen als der zweite Abschnitt versehen ist oder bei Schwingsieben mehrere Decke übereinander angebracht sind. (DSD 2004) Darüber hinaus gibt es Kombinationen aus Sieben, wie beispielsweise von Kreisschwingsieben mit darunterliegenden Spannwellensieben (z.B. von Spaleck GmbH & Co. KG).

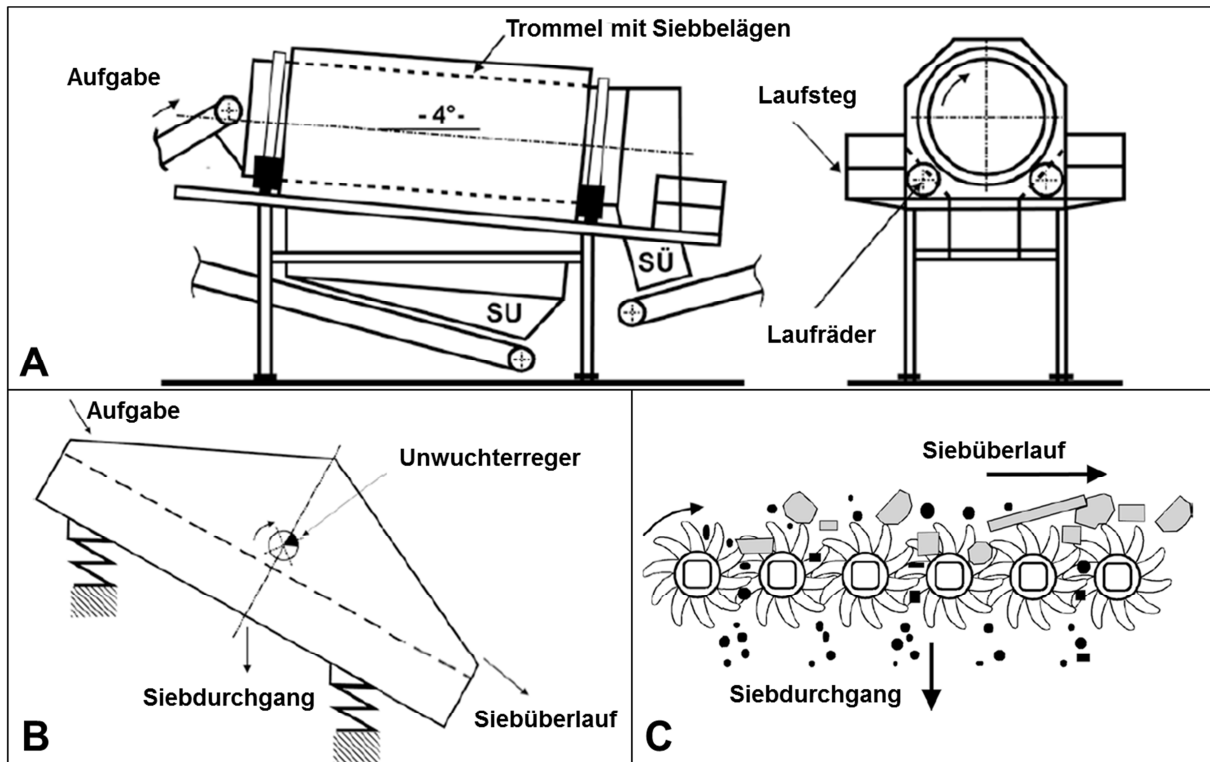


Abbildung 50: Aufbau und Funktionsweise eines Trommelsiebes (A), eines Schwingsiebes ausgeführt als Kreisschwingsieb (B) sowie eines Scheibensiebes ausgeführt als Sternsieb (C) nach Martin Kranert 2015.

**Windsichten:**

Nach DSD 2004 kann das Windsichten dem Prozess „Stromklassierung“ zugeordnet werden, bei dem die Auftrennung nach der stationären Sinkgeschwindigkeit des Materials in einem Luftstrom erfolgt. Die stationäre Sinkgeschwindigkeit eines Teilchens hängt ab von seiner Dichte, seiner Größe und seiner äußeren Form. Durch das Sichten kann eine voluminöse Leichtfraktion und eine Schwerfraktion mit hauptsächlich kompakten Stücken gebildet werden. Zu den Sortierprodukten gehören Folien, Papier oder auch Anteile der Mischkunststofffraktion. Idealisiert können drei Anwendungsfälle, wie in Tabelle 44 dargestellt, angenommen werden. (DSD 2004).

Tabelle 44: Häufigste Anwendungsfälle für Sichter (DSD 2004).

Materialeigenschaften	Trennung nach:	Von Luftstrom mitgerissen
Gleiche Dichte und Kornform	Korngröße	kleinere Stücke
Gleiche Kornform und -größe, unterschiedliche Dichte	Dichte	Material geringerer Dichte
Gleiche Korngröße und -dichte	Kornform	Teile mit größerem Luftwiderstand (flächig, faserig)

In der Praxis gibt es jedoch fast immer eine Überlagerung dieser drei Fälle, was zu Fehlausträgen führen kann. Je nach Eintragsrichtung des Materials in den Luftstrom kann in Gegenstrom- und Querstromwindsichter unterschieden werden. (DSD 2004; Martens und

Goldmann 2016, S. 49) Darüber hinaus gibt es je nach Aufgabematerial und Hersteller verschiedene Bauweisen von Windsichtern, von denen einige in Abbildung 51 dargestellt sind. Typische Anwendungsfelder sind außerdem in Tabelle 45 beschrieben.

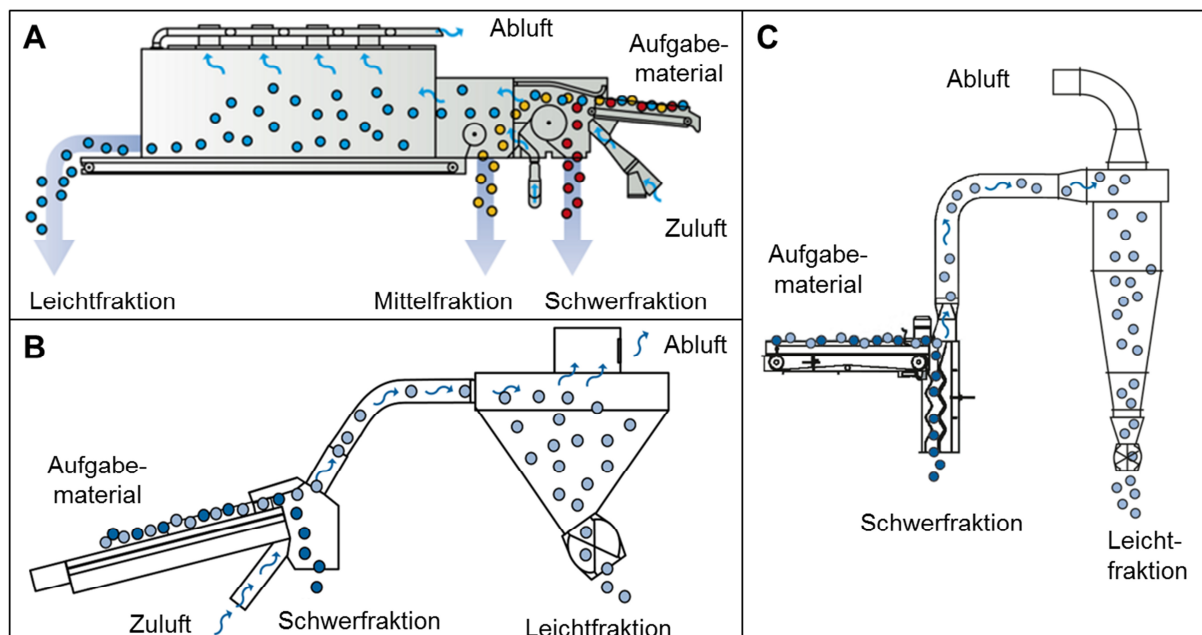


Abbildung 51: Funktionsweise der Ausführungen (A) Doppeltrommel-, (B) Diagonal- und (C) Zick-Zack-Windsichter von Nihot Recycling Technology B.V. 2019.

Tabelle 45: Unterschiedliche Windsichterbauweisen von verschiedenen Herstellern inklusive Anwendungsgebiet.

Hersteller	Bauweise	Anwendung
B+B Anlagenbau GmbH	Zick-Zack-Sichter	Abtrennung von Folien/Papier aus dem Abfallstrom sowie Abtrennung von Feinstkörnern und Staub von z.B. Kunststoffflakes
Nihot Recycling Technology B.V.	Doppel-Trommelabscheider	Trennung von z.B. Siedlungsabfällen in drei Fraktionen (Leicht-, Mittel-, und Schwerfraktion)
Schulz & Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH	Blas-Saug-Sichter	Trennung des Abfallstromes in eine Leicht- und Schwerfraktion

### Sortierung nach Form:

Im Paddelsichter – meist Ballistik Separator genannt – können flächige, flexible Materialien (z.B. Folien und Papier) von körperförmigen und steifen Materialien (z.B. Flaschen, Becher und andere Hohlkörper) getrennt werden. Paddelsichter bestehen aus mehreren, nebeneinander angeordneten, in Längsrichtung geneigten Blechen (Paddel). Durch eine Kurbelwelle angetrieben führen diese Bleche eine kreisförmige Bewegung aus (siehe Abbildung 52). Aufliegende Teile rutschen durch diese Bewegung langsam nach oben, während körperförmiges und steifes Material permanent hochgeworfen wird und sich deshalb, entsprechend der Neigung der Paddel, nach unten bewegt. Durch Öffnungen in den Blechen kann eine gleichzeitige Absiebung von Feianteilen erfolgen. (DSD 2004).

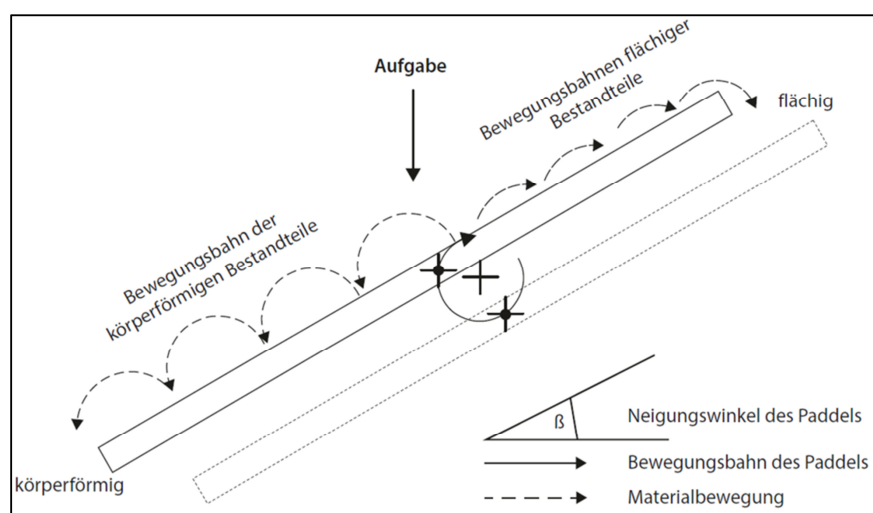


Abbildung 52: Funktionsweise eines Paddelsichters nach Martin Kranert 2015, S. 238.

### Magnetscheidung:

Dieser Prozessschritt dient zum einen der Aussortierung von magnetisierbaren Materialien wie Weißblech, Eisen und Stahl aus dem Stoffstrom und zum anderen der Gewährleistung eines sicheren Betriebes von nachgeschalteten Wirbelstromscheidern oder Zerkleinerungsmaschinen. Magnetscheider können in Form von Magnettrommeln, Magnetbandrollen oder Überbandmagnetscheidern ausgeführt sein (siehe Abbildung 53). In Sortieranlagen werden wegen der relativ großen Schütthöhen fast ausschließlich letztere verwendet. Die Anordnung kann quer oder längs zum Materialförderband erfolgen. Magnetscheider sind heute in fast allen Sortieranlagen für Kunststoffverpackungsabfälle installiert. (DSD 2004)



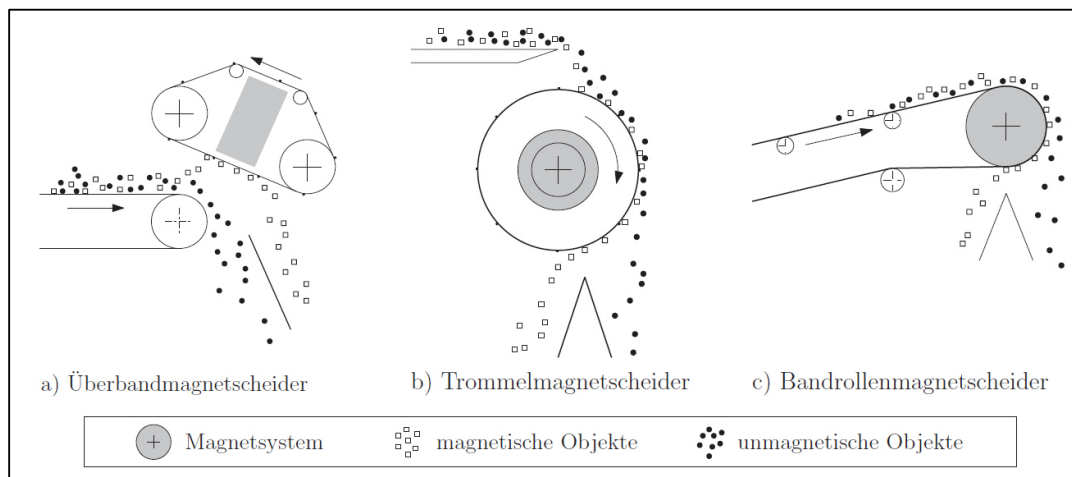


Abbildung 53: Schematische Darstellung der verschiedenen Magnetscheiderbauformen (Gerth et al. 2014).

**Wirbelstromscheidung:**

Wirbelstromscheider wurden zur selektiven Abtrennung von Nichteisen(NE)-Metallen wie Kupfer, Blei und Aluminium entwickelt, weshalb sie häufig NE-Metallscheider genannt werden. Die Funktion basiert darauf, dass in magnetischen Wechselfeldern nur in elektrisch gut leitfähigen Körpern eine Spannung induziert wird, wodurch es zu einem Stromfluss auf in sich geschlossenen Pfaden kommt. Diese Ströme werden Wirbelströme genannt. Die Wirbelströme sind von einem eigenen Magnetfeld umgeben, welches dem Erregerfeld entgegengerichtet ist. Die daraus resultierende Kraft führt zu einer Auslenkung von NE-Metallen. (Martin Kranert 2015, S. 231) Das Wechselfeld wird durch ein in der Kopftrommel des Förderbandes rotierendes Polrad erzeugt. Der schematische Aufbau eines Wirbelstromscheiders ist in Abbildung 54 dargestellt. (Gerth et al. 2014)

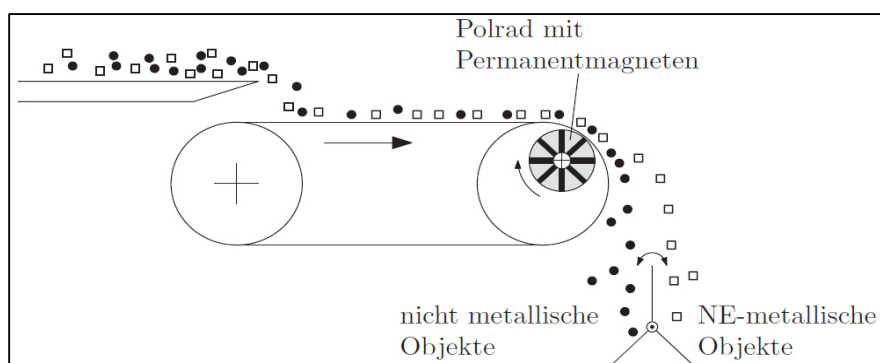


Abbildung 54: Schematische Darstellung eines Wirbelstromscheiders (Gerth et al. 2014).

### Sensorgestützte/Händische Sortierschritte:

Bei diesem Sortierverfahren – häufig als „Klauben“ bezeichnet – wird jedes einzelne Stück des Stoffstromes auf ausgewählte Sortierkriterien hin geprüft und gegebenenfalls entnommen. Klauben wird vor allem bei denjenigen Fraktionen angewendet, die nicht eindeutig durch Materialeigenschaften wie Magnetisierbarkeit, Stückgröße, elektrische Leitfähigkeit oder Dichte zu identifizieren sind. Beim Klauben kann zwischen Positiv- und Negativsortierung unterschieden werden. Bei der Positivsortierung wird das gewünschte Produkt gezielt aus dem Stoffstrom entnommen, während bei der Negativsortierung alle Störstoffe aus dem Stoffstrom entfernt werden und nur das gewünschte Produkt im Stoffstrom verweilt. Weiter kann zwischen Handklauben und automatischen Klauben unterschieden werden. Das Handklauben wird in Sortieranlagen nach Stand der Technik nur noch zur Produktkontrolle der durch die verschiedenen Trennaggregate angereicherten Stoffströme herangezogen, weshalb darauf nicht näher eingegangen wird. (DSD 2004)

### Sensorgestützte Sortierer:

Sensorgestützte Sortierer bestehen nach Martin Kranert 2015 meist aus einem Fördermittel zur Vereinzelung und Zuführung des Materialstroms, einem Sensorsystem zur Erkennung spezifischer Materialeigenschaften der einzelnen Bestandteile, einer Auswertelektronik sowie einer Ausschleusevorrichtung für die detektierten Austragsstoffe. Sie werden in die Bauarten „Bandsortierer“ und „Rinnensortierer“ eingeteilt, siehe Abbildung 55. Bandsortierer sind nach Abbildung 55A mit einem Gurtförderer (1) ausgestattet, über den das zu sortierende Gut als gleichmäßige Monoschicht in den Detektionsbereich geführt wird. Die Detektion kann von unten als induktive Messung, von unten nach oben als Transmissionsmessung oder von oben als Reflexionsmessung (3) in Kombination mit einer Ausleuchtung des Detektionsfeldes (2) erfolgen. Am Ende des Gurtförderers ist eine Düsenleiste (4) montiert, die für die auszutragenden Partikel die Flugbahn über einen Trennscheitel (6) verlängert.

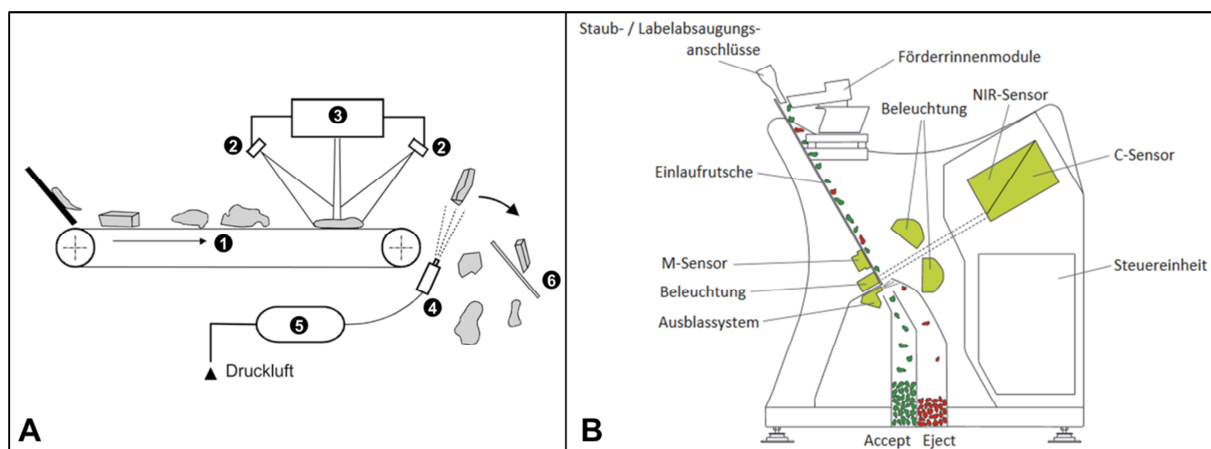


Abbildung 55: Aufbau eines Bandsortierers (A) nach Martin Kranert 2015 und eines Rinnensortierers (B) der Sesotec GmbH.

Rinnensortierer arbeiten nach demselben Prinzip, das Material rutscht dabei jedoch auf einer schräggestellten Rinne in den Sortierer und wird im freien Fall ausgeblasen. Moderne Aggregate besitzen heute häufig Kombinationen verschiedener Detektionsverfahren, die mehrere Materialeigenschaften simultan erkennen und auswerten können. Die gängigsten Detektionsverfahren für Kunststoffe sind in Tabelle 46 dargestellt.

Tabelle 46: Detektionsverfahren für sensorgestützte Sortierer (Martens und Goldmann 2016; Martin Kranert 2015).

Detektionsverfahren	Anwendungsbeispiele
Nahinfrarotspektroskopie (NIR)	Unterscheidung von GVK, PPK, Mischkunststoffen sowie einzelnen Kunststoffsorten (z.B. PE, PP, PS, PET, PVC)
Optoelektronische Sensoren	Detektion von Lage, Größe, Form, Farbe, Helligkeit sowie Oberflächeneigenschaften von Körpern
Röntgenfluoreszenz-Sensoren	Erkennung Cl-haltiger Kunststoffe wie PVC (z.B. Abtrennung von PVC aus PET)

Zur Metallausschleusung können darüber hinaus zusätzlich Induktionssensoren verwendet werden (Martens und Goldmann 2016). Bei einigen automatischen Sortiermaschinen gibt es die Möglichkeit, die durchgeführten Stoffströme in zwei Kanäle zu teilen, in denen Materialien nach unterschiedlichen Kriterien ausgeschieden werden. Das ermöglicht die Durchführung von mehreren Sortierschritten in einer Maschine bei aufeinanderfolgendem Durchlauf des Materialstroms durch beide Kanäle. Die NIR-Detektion von schwarzen und dunkelbraunen Materialien ist derzeit praktisch nicht möglich, da das NIR-Licht von solchen Materialien weitgehend absorbiert wird, sodass keine reflektierte Strahlung den Sensor erreicht. Dieses Phänomen führt zu einer leichten Minderung der Ausbringquoten, zur Behebung dieses Problems finden zurzeit aber weiterführende Entwicklungen statt. (Martin Kranert 2015; Ecoembes 2016)

#### Sortierroboter:

Obwohl Sortierroboter ebenfalls ein automatisches Klauben durchführen, ist die Arbeitsweise mit herkömmlichen Aggregaten kaum zu vergleichen. Laut IUT (2019) findet der Materialaustag durch Sortierroboter hauptsächlich durch folgende drei Aktor- bzw. Armvarianten statt:

- Mechanische Greifer (Zangensysteme),
- Sauggreifer (Saugnapfe) und
- Saugschläuche. (IUT 2019)

Die Anzahl der Zugriffe beträgt bei derzeitigen Systemen zwischen 2.000 und 4.000 Zugriffen pro Stunde und Aktor/Arm. Die Technologie befindet sich trotz einiger Praxisanwendungen noch immer in Entwicklung. Derzeit ist aufgrund der Gesamteffektivität von ca. 72 % (85 % Erkennungsrate, 85 % Ausbringungsrate) nur eine Positivsortierung sinnvoll, da bei einer Negativsortierung erneut nachfolgende Qualitätssicherungs-

maßnahmen nötig wären. Daher ist der Einsatz von Sortierrobotern in der Qualitätssicherung von durch NIR-Systeme vorsortierten Abfallströmen am sinnvollsten. Die Investitionskosten eines Sortierroboters betragen laut (IUT 2019) zwischen 250.000 € und 750.000 €. (IUT 2019) Ein Beispiel für den Einsatz von Sortierrobotern ist die Sortieranlage für Gewerbeabfällen und Leichtverpackungen des österreichischen Entsorgungsbetriebes Oswald Hackl e.U. für die positive Abtrennung von grünen PET-Flaschen aus der gemischten PET-Fraktion sowie die positive Abtrennung von GVK aus der 3D-Fraktion. (Oswald Hackl e.U. 2019)

#### 4.1.1.2.1 Beispielanlagen

Wie aus den Länderanalysen in Kapitel 3 ersichtlich, variieren die getrennt gesammelten Abfallfraktionen je nach Region. Deshalb gibt es auch in den dafür bestimmten Sortieranlagen, je nach Art und Zusammensetzung der Inputströme, entsprechende Unterschiede. Im Folgenden wird die LVP-Sortieranlage in der Puchstraße in Graz, Österreich im Detail beschrieben. Des Weiteren sind Materialflussbilder und eine Kurzbeschreibung von Sortieranlagen für spanische LVP, für die belgische PMD-Sammlung (plastic flessen en flacons, metalen verpakkingen en drankkartons) sowie für gemischte Abfälle bzw. trockene Wertstoffe in Großbritannien in Anhang III zu finden.

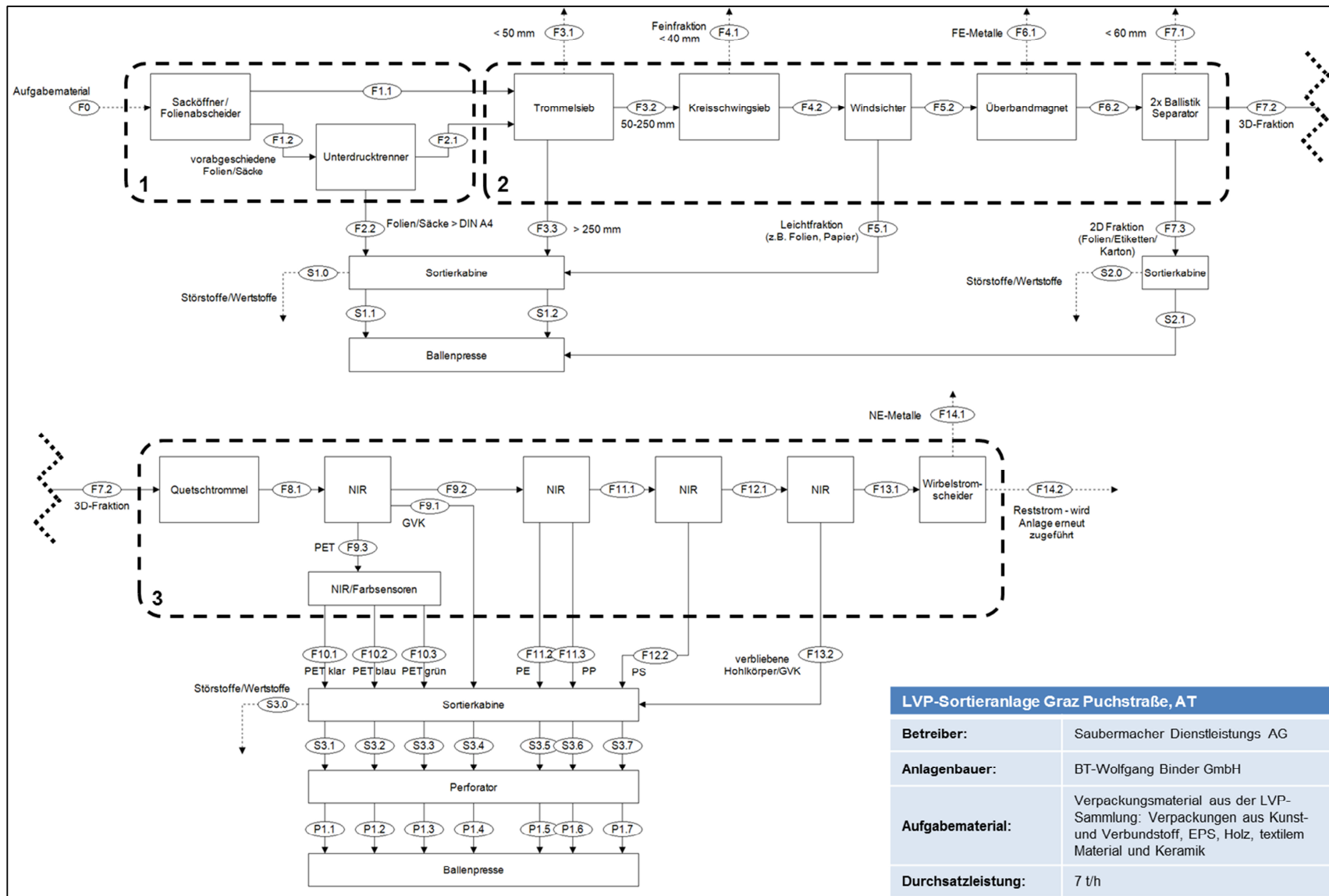
#### LVP-Sortieranlage Graz Puchstraße, Österreich

Die LVP-Sortieranlage Graz Puchstraße wurde 2007 von der BT-Wolfgang Binder GmbH im Auftrag des Betreibers Saubermacher Dienstleistungs AG errichtet. Aufgabe der Anlage ist es, Verpackungskunststoffe aus der LVP-Sammlung in sechs Endfraktionen (PET-klar, PET-blau, PET-grün, PP, PE, PS) mit einer Sortenreinheit von 95 % bzw. 98 % und einer Durchsatzleistung von 7 t/h zu sortieren. (SDAG 2019a; REDWAVE 2019a) Ein Flussbild der Anlage mit den jeweiligen Sortierfraktionen der einzelnen Prozessschritte ist in Abbildung 56 dargestellt. Der Materialtransport zwischen den Aggregaten erfolgt in der Regel durch Gurtförderer. In der Eingangsstufe (1) werden geschlossene Gebinde (Säcke, Beutel) geöffnet und der Stoffstrom wird in zwei separate Teilströme aufgeteilt. Die geöffneten Säcke und Beutel werden gemeinsam mit Kunststofffolien vorabgeschieden und einem Unterdrucktrenner zugeführt, welcher Folien und Säcke > DIN A4 abtrennt. Das restliche Material wird anschließend wieder zusammengeführt und in die erste Trennstufe (2) gefördert. Dort durchläuft es ein Trommelsieb, welches die Korngröße < 50 Millimeter (mm) (z.B. lose Flaschendeckel) sowie > 250 mm (z.B. sperrige Materialien, Waschmittelflaschen) abtrennt. Die Fraktion zwischen 50 mm und 250 mm wird anschließend in einem Kreisschwingsieb feingesiebt und passiert den Windsichter zur Leichtfraktionsabscheidung sowie einen Überbandmagneten zur Abtrennung eisenhaltiger Metalle wie z.B. Konservendosen. Anschließend wird das Material von zwei parallel laufenden Ballistik Separatoren in eine flache zweidimensionale (2D) und eine körperförmige dreidimensionale (3D) Fraktion sowie eine Siebfraktion aufgeteilt. Die 3D-Fraktion wird von einer improvisierten „Quetschtrommel“ zusammengedrückt, um die Sortierbarkeit in der nachfolgenden zweiten Trennstufe (3) zu verbessern. Die Kernelemente dieser Trennstufe

bilden fünf sensorgestützte Sortierer. Der erste Sortierer (NIR) trennt GVB sowie PET aus dem Stoffstrom. Die PET-Fraktion wird anschließend durch einen mit Farbsensoren ausgestatteten Sortierer in die Fraktionen PET-klar, PET-blau sowie PET-grün aufgeteilt. Der übrige Stoffstrom wird in den dritten NIR-Sortierer gefördert, wo PE sowie PP ausgeschieden werden. Die zwei weiteren NIR-Sortierer trennen PS sowie verbliebene Kunststoffhohlkörper aus dem Materialstrom. Im letzten Prozessschritt werden NE-Metalle von einem Wirbelstromscheider aus dem Reststrom entfernt, bevor dieser der Anlage erneut zugeführt wird. (SDAG 2019a; REDWAVE 2019a) Um die geforderte Sortenreinheit zu erreichen, werden die aussortierten Stoffströme händisch nachsortiert. Ebenso werden abgeschiedene Fraktionen wie z.B. Folien oder die 2D-Fraktion des Ballistik Separators händisch auf vorhandene Störstoffe bzw. Wertstoffe kontrolliert. Die sortierten Hohlkörper werden im Abwurfschacht der Sortierkabinen von Perforatoren gelocht, um die nachfolgende Kompaktierung zu Ballen zu erleichtern. Abschließend werden die Wertstoffballen zur weiteren Behandlung abgeliefert. (SDAG 2019a) Die jeweiligen Aggregathersteller in dieser Anlage sind in Tabelle 47 angeführt.

Tabelle 47: Aggregathersteller der LVP-Sortieranlage Graz Puchstraße (SDAG 2019a).

Hersteller	Aggregate
Matthiessen Lagertechnik GmbH	Folienabscheider
Schulz & Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH	Unterdrucktrenner
FHF Anlagentechnik GmbH	Trommelsieb
iFE Aufbereitungstechnik GmbH	Kreisschwingsieb, Überbandmagnet, Wirbelstromscheider
IMT Innovative Maschinen Technik GmbH	Ballistik Separatoren
REDWAVE (BT-Wolfgang Binder GmbH)	Sensorgestützte Sortierer
RIKA GmbH & Co. KG	Ballenpressen
Ein metallverarbeitender Betrieb im Auftrag der Saubermacher Dienstleistungs AG	Windsichter, Quetschtrommel



LVP-Sortieranlage Graz Puchstraße, AT	
<b>Betreiber:</b>	Saubermacher Dienstleistungs AG
<b>Anlagenbauer:</b>	BT-Wolfgang Binder GmbH
<b>Aufgabematerial:</b>	Verpackungsmaterial aus der LVP-Sammlung: Verpackungen aus Kunst- und Verbundstoff, EPS, Holz, textilem Material und Keramik
<b>Durchsatzleistung:</b>	7 t/h

Abbildung 56: Materialflussbild der LVP-Sortieranlage Puchstraße in Anlehnung an REDWAVE (2019a) und SDAG (2019a).

### 4.1.1.3 Recyclinganlagen für Kunststoffverpackungsabfälle

In dieser letzten Aufbereitungsstufe werden die sortierten und zu Ballen gepressten Kunststoffverpackungsabfälle zu neuen Rohstoffen in Form von Kunststoffflakes bzw. Regranulaten umgewandelt. Nach durchlaufen einer solchen Anlage ist gemäß EU-Abfallrahmenrichtlinie (EU 2008a) das Abfallende erreicht. Wie auch schon bei den Sortieranlagen, variiert der Aufbau dieser Anlagen entsprechend der jeweiligen Inputströme. Die wesentlichen Prozessschritte sind jedoch in den meisten Recyclingverfahren nötig, auf diese wird in den nachfolgenden Punkten eingegangen. Anschließend werden einige Beispielanlagen näher betrachtet, um einen Einblick in die genaueren Verfahrensabläufe zu geben.

#### Manuelle und mechanische Vorsortierung, Gebindeauflösung:

Meist findet diese Vorsortierung bereits in Kunststoffsortieranlagen statt und das Material wird in gepressten Ballen mit hoher Sortenreinheit an die Recyclinganlagen geliefert. Dort kommen nach Bedarf erneut Aggregate wie Trennsiebe, Folien- und Metallabscheider oder ballistische Separatoren zur Störstoffabtrennung zum Einsatz. Findet ein Sieben statt, so werden besonders beim Recycling von PET-Flaschen zerstörungsfrei arbeitende Ballenauflöser zur Stückvereinzelung der gepressten Ballen verwendet. Ansonsten würden z.B. abgetrennte Flaschenhälse mit anderen Störstoffen ausgetragen werden und für das Recycling verloren gehen (Martens und Goldmann 2016; Herbold Meckesheim GmbH 2015). Ballenauflöser finden überwiegend beim Recycling von hohlkörperförmigen Kunststoffabfällen Anwendung, beim Recycling von Folien wird auf diesen Prozessschritt verzichtet. In Tabelle 48 sind einige Bauarten von Ballenauflösern, die im Zuge der Recherche ermittelt wurden, dargestellt.

Tabelle 48: Bauarten von Ballenauflösern verschiedener Hersteller.

Hersteller	Bauart/Funktionsweise
Matthiessen Lagertechnik GmbH	Einzelrotor mit Aufreißkämmen, teilweise mit Gegenkämmen und Niederhaltern für die Ballen
AMUT Group S.p.A.	
Eggersmann GmbH	
Wagner Maschinenbau GmbH	
ACA Industry ApS	Vereinzelung durch Schneckenförderer
Sorema S.r.l.	Mehrere Rotoren mit Paddeln bzw. Trennscheiben
Bulk Handling Systems	
SIKOPLAST Maschinenbau Heinrich Koch GmbH	
	Spezielles Trommelsieb mit Paddeln

#### Aufschlusszerkleinerung:

Dieser Prozessschritt dient der Zerkleinerung der Abfälle auf Stückgrößen, die für nachfolgende mechanische Sortierverfahren erforderlich sind sowie dem Auftrennen von mechanischen Verbindungen zwischen verschiedenen Werkstoffen bzw. stofflicher Verbunde. In Bezug auf Zerkleinerungseigenschaften weisen thermoplastische Kunststoffe ein elastisch-plastisches Verformungsverhalten sowie eine geringe Festigkeit (weiches

Material) auf. Zur Grob- und Mittelzerkleinerung auf Endfeinheiten um 10 mm werden daher vorwiegend Rotorscheren, Einwellenzerkleinerer und Schneidmühlen (siehe Abbildung 57) eingesetzt. (Martin Kranert 2015; Martens und Goldmann 2016) Um ein enges Stückgrößenspektrum zu garantieren und Stäube sowie Feinkorn auszutragen, wird häufig ergänzend eine Klassierung in Form einer Siebung oder Stromklassierung (z.B. Windsichter) durchgeführt (Martens und Goldmann 2016). Soll in der Zerkleinerungsstufe zugleich eine Vorwäsche durchgeführt werden, so kommen häufig Nass-Schneidmühlen zum Einsatz (siehe Beispielanlage in Kapitel 4.1.1.3.1) (Lechner et al. 2003).

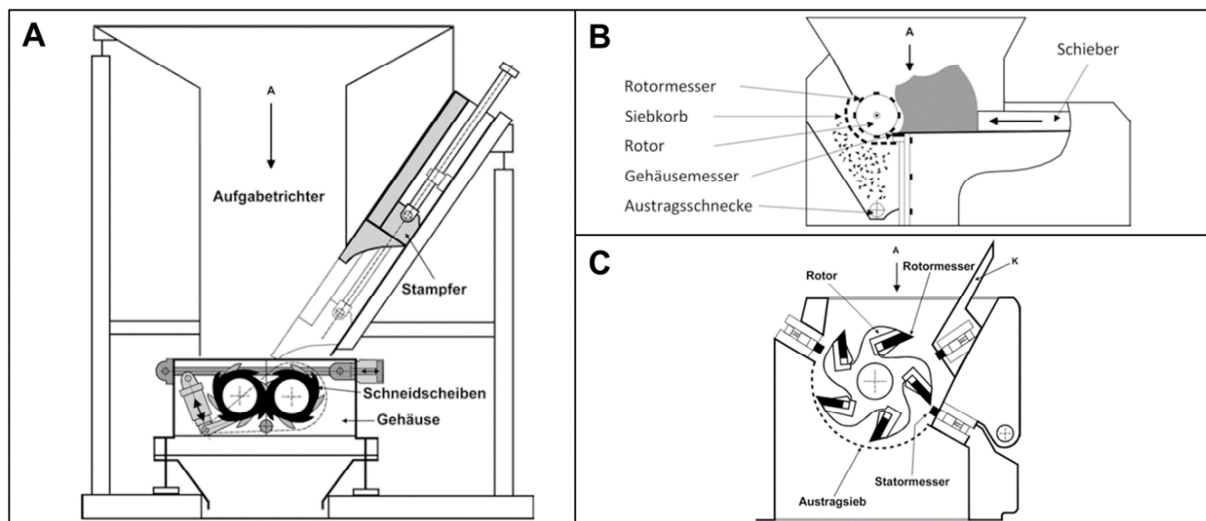


Abbildung 57: Aufbau einer Rotorschere (A), eines Einwellenzerkleinerers (B) sowie einer Schneidmühle (C) (Martin Kranert 2015).

### Wasch- und Trennprozesse:

Die Waschprozesse der zerkleinerten Kunststoffe dienen der Entfernung fester und flüssiger Verunreinigungen, die auf den Gebrauch zurückzuführen sind (Öle, Fette, Lebensmittel, Kosmetika, Farben, Kraftstoffe, Schmutzpartikel) und Verwenden überwiegend mit Waschmitteln versetztes Wasser. Eine Vorwäsche erfolgt häufig bereits in der Schneidmühle. Die Hauptwäsche wird meist in nachgeschalteten Friktionswäschern durchgeführt (Lechner et al. 2003). Bei Materialien mit erneutem Lebensmittelkontakt wie z.B. beim PET-Recycling kann durch einen Waschprozess mit Natronlauge zusätzlich ein geringer Materialabtrag von der PET-Oberfläche und somit eine besondere Reinheit des Materials erreicht werden. (Martens und Goldmann 2016)



### Sortierverfahren:

Nach Durchlaufen der vorhergehenden Prozessschritte liegt ein kleinstückiges Material mit relativ engem Stückgrößenspektrum vor. Die nachfolgenden Sortierverfahren dienen der Abtrennung von fremden Werkstoffen sowie der Sortierung der Kunststoffe nach verträglichen Werkstoffgruppen bzw. sortenreinen Fraktionen. Die Sortiermethoden arbeiten mit optischen oder physikalischen Wirkprinzipien (Martens und Goldmann 2016).

#### Dichtesortierung:

Die Dichtesortierung spielt eine wichtige Rolle im Recycling von Thermoplasten, da einerseits Dichteunterschiede zu Verunreinigungen wie Metallen, Gläsern oder Steinen vorliegen und andererseits die unterschiedlichen Kunststoffe häufig ausreichende Dichtedifferenzen aufweisen. Es kann grundsätzlich zwischen statischen Schwimm-Sink-Verfahren und einer Trennung im Zentrifugalfeld unterschieden werden (Martin Kranert 2015). Bei der statischen Schwimm-Sink-Trennung wird eine praktisch ruhende Trennflüssigkeit (Wasser, Salzlösung, Wasser-Alkohol-Gemisch) verwendet, deren Dichte zwischen den Dichten der zu trennenden Stoffen liegen muss. Durch die Wirkung der Schwerkraft trennt die Flüssigkeit das Aufgabematerial in ein Sinkgut und ein Schwimmgut. Durch die Anwendung von Zentrifugalkräften kann die Trennwirkung verbessert werden. Aufgrund der Beschleunigungskräfte sind Verweil- und Absetzzeiten bei diesen Verfahren deutlich geringer. In der Praxis werden meist Sortierzentrifugen oder Hydrozyklone eingesetzt (Martin Kranert 2015). In Abbildung 58 ist eine solche Sortierzentrifuge dargestellt. Das Material wird hierbei meist auf Größen von < 15 mm zerkleinert, um eine pumpfähige Suspension zu erhalten. Zur Dichtentrennung wirken Beschleunigungswerte bis zum 1100-fachen der Erdbeschleunigung auf die Partikel ein. (Martens und Goldmann 2016)

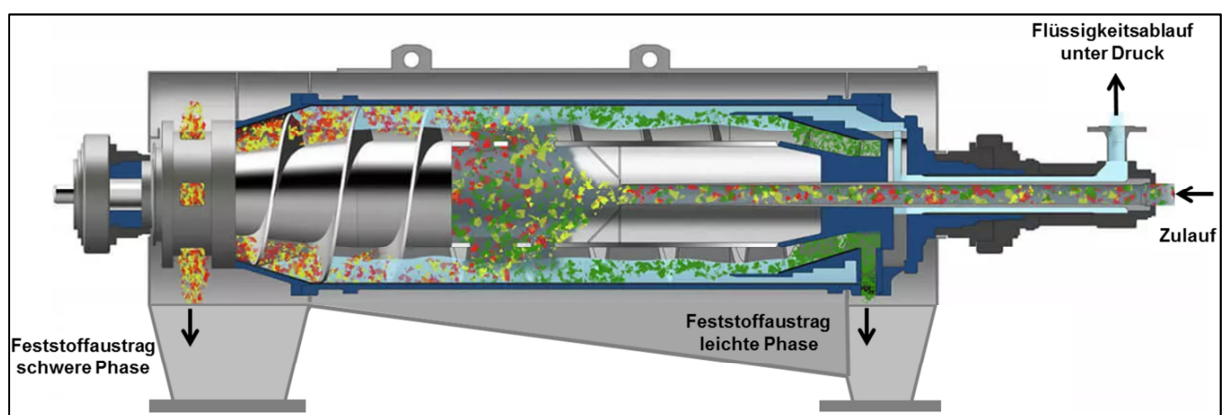


Abbildung 58: Schematischer Aufbau einer Sortierzentrifuge Sorticanter® der Firma Flottweg SE (2019).

Die Dichtesortierung wird hauptsächlich für die Abtrennung von PVC oder PET von PE und PP eingesetzt (Martens und Goldmann 2016). Die Dichtebereiche einiger Kunststoffe sind in Tabelle 49 dargestellt.

Tabelle 49: Dichtebereiche einiger Kunststoffe nach Martens und Goldmann 2016.

Kunststofftyp	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]
Polyethylen (HDPE, LDPE)	0,92 – 0,95
Polypropylen (PP)	0,84 – 0,9
Polyethylenterephthalat (PET)	1,35 – 1,4
Polyvinylchlorid (PVC)	1,3 – 1,4
Polystyrol (PS)	1,0 – 1,2

#### Elektrostatistische Sortierung:

Dieses Verfahren findet bei der Trennung von Kunststoffen bei hinreichend unterschiedlichen triboelektrischen Aufladungseigenschaften statt. Die Kunststoffpartikel werden durch Reibung aneinander mit elektrischen Oberflächenladungen (triboelektrische Aufladung) versehen und anschließend in einem elektrischen Feld innerhalb von Mischtrommeln oder Wirbelschichten getrennt. Das wichtigste Einsatzgebiet ist die Trennung von PET/PVC bei z.B. PET-Getränkeflaschen. Weiter ist die Trennung von HDPE/PP sowie PS/ABS und PVC/PE möglich. Für schwarze Kunststoffe ist die elektrostatistische Sortierung besonders geeignet, da hier die sensorgestützte Sortierung teilweise noch unzureichende Ergebnisse liefert. (Martens und Goldmann 2016)

#### Sensorgestützte Sortierung:

Die hier angewendeten Aggregate unterscheiden sich im Funktionsprinzip nicht von jenen, die zur sensorgestützten Sortierung in Sortieranlagen, wie in Kapitel 4.1.1.2 eingesetzt werden. Während die Sortierung am unzerkleinerten Gut meist durch Bandsortierer stattfindet, werden hingegen für zerkleinertes oder feinkörniges Gut (Flakes oder Granulat) meist Rinnensortierer eingesetzt (siehe Beispielanlagen in Kapitel 4.1.1.3.1 bzw. Anhang IV).

#### **Weiterverarbeitung zu Regranulaten:**

Bei den Produkten von Recyclingverfahren handelt es sich häufig um körnige Schüttgüter wie Mahlgut oder Flakes. Um daraus hochwertige Regranulate bzw. Produkte herzustellen, bedarf es unbedingt einer Homogenisierung, Verdichtung sowie Beimengung von Additiven (z.B. Stabilisatoren, Farbstoffe). Dieser Prozessschritt erfolgt durch das Mischen, Plastifizieren und Aufschmelzen in Mischapparaten wie z.B. Extrudern. Im Extruder wird das Aufgabematerial durch eine Förderschnecke eingezogen, verdichtet und plastifiziert. Die entstehende Reibungswärme sowie eine Zusatzheizung bewirken ein Aufschmelzen des Materials. Um ein schütffähiges Granulat zu erzeugen, wird die Schmelze durch eine Lochplatte gepresst, hinter der ein rotierendes Messer in einem Wasserstrom kurze Stränge (das Regranulat) abschneidet. Alternativ können durch Anbau eines Formwerkzeuges auch unterschiedlich geformte Produktstränge (Profile, Rohre, Platten) hergestellt werden. Ein zusätzlicher Vorteil ist die Möglichkeit einer Abtrennung von Störstoffen wie Alufolienreste, Metallteilchen, Sand, Fasern und Papier durch Druckfiltration. (Martens und Goldmann 2016)

Der schematische Aufbau eines Extruders ist in Abbildung 59 dargestellt.

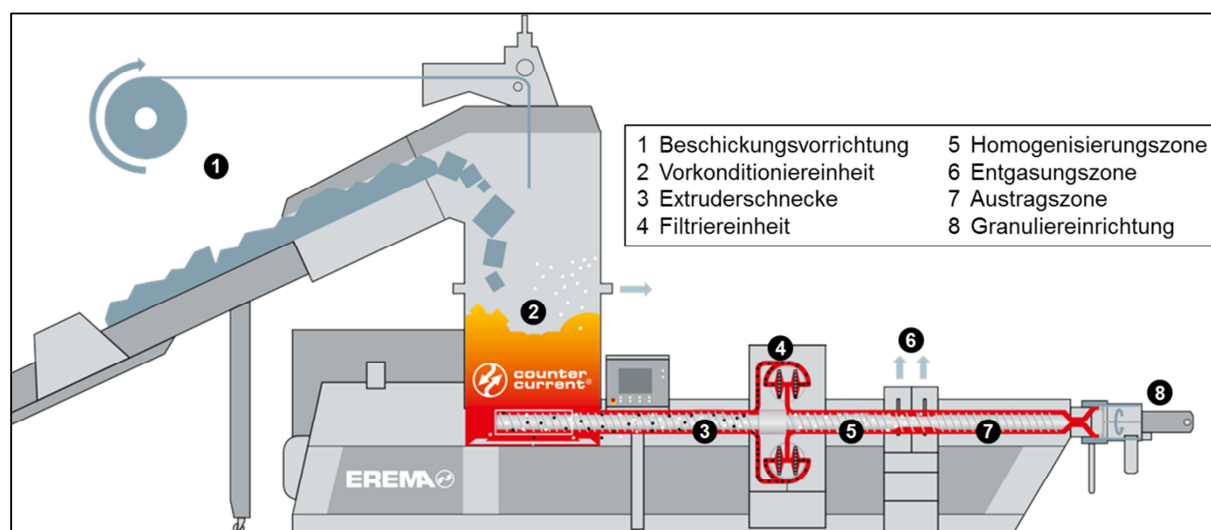


Abbildung 59: Extruder INTAREMA® TVEplus® der EREMA GmbH (2019a).

#### Zusatzprozesse für Lebensmittelkontaktanwendungen:

Produkte, die aus recyceltem Kunststoff hergestellt sind und mit Lebensmitteln in Berührung kommen, dürfen innerhalb der EU nur über Verfahren erzeugt werden, die von der European Food Safety Authority (EFSA) bewertet und von der Europäischen Kommission zugelassen wurden (EFSA 2019). Einige Beispiele für Recyclingprozesse mit positiver Beurteilung von Seiten der EFSA mit den jeweiligen Verfahrensanbietern sind:

- PET-Recycling mit dem SSP-Prozess (Starlinger GmbH, Polymetrix AG),
- PET-Recycling mit dem VACUREMA-Prozess (EREMA GmbH),
- PET-Recycling mit dem URRC-Prozess (United Resource Recovery Corporation),
- HDPE-Recycling für Anwendungen mit Lebensmittelkontakt (Morssinkhof Plastics),
- PP-Recycling für Anwendungen mit Lebensmittelkontakt (Morssinkhof Plastics, Petra Polimeri S.R.L.). (EFSA 2019)

Darüber hinaus gibt es Verfahren, die von der EFSA bislang keine Freigabe erhalten haben, jedoch von Organisationen außerhalb der EU zugelassen wurden. Ein Beispiel dafür ist der Prozess deCON der Starlinger GmbH für die Herstellung von Milchflaschen aus recyceltem HDPE, welcher von der Food and Drug Administration (FDA) in den USA zugelassen wurde (Starlinger GmbH 2019). Die Verwendung von Rezyklaten für Kunststoffverpackungen mit Lebensmittelkontakt ist für eine Zulassung der EFSA mit der Einhaltung von strengen Auflagen verbunden. Die EU-Verordnung 282/2008 über „Materialien und Gegenstände aus recyceltem Kunststoff, die dafür bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen“ (EU 2008b) schreibt vor, dass lediglich Recyclingmaterialien, die aus Lebensmittelanwendungen stammen, wieder in solchen verarbeitet werden dürfen. In den EFSA-Gutachten zur Zulassung von PET-Recyclingverfahren dürfen die Inputmaterialien mit

maximal 5 Gew.-% PET aus nicht-Lebensmittelanwendungen hergestellt worden sein (EFSA 2013). Beim Verfahren zum PP-Recycling von Petra Polimeri kam die EFSA zum Schluss, dass nur bei der Beimengung von maximal 30 Gew.-% PP-Rezyklats und nur für die Verwendung als Obst- oder Gemüseschalen bei bzw. unter Raumtemperatur eine sichere Verwendung gewährleistet werden kann. Der restliche Anteil muss neues PP sein. Darüber hinaus muss es sich bei den dem Recyclingprozess zugeführten Materialien mit einer Reinheit von über 99,9 % um PP aus Lebensmittelanwendungen handeln (EFSA 2014). Die Einhaltung dieser Kriterien führt in der Praxis jedoch oft zu Schwierigkeiten. Im Sortierprozess von Kunststoffverpackungsabfällen kann kaum zwischen Kunststoffen aus Anwendungen mit und ohne Lebensmittelkontakt unterschieden werden, was sich als Hemmnis für ein späteres Recycling erweist. Das führt besonders im Fall von Polypropylen dazu, dass PP-Rezyklate fast ausschließlich in Produkten ohne Lebensmittelkontakt wiederverwendet werden. Die Ausbeute von recyceltem HDPE und PET für Lebensmittelanwendungen wird dadurch ebenso gemindert. Eine Methode zur Klassifizierung von Verpackungen wäre die Verwendung von beispielsweise UV-aktiver Spezialtinte auf den Etiketten bzw. Verpackungen für Lebensmittelkontaktanwendungen, die Sortiermaschinen eine Unterscheidung ermöglicht. Diese Methode wurde 2014 von WRAP (The Waste and Resources Action Programme) in Großbritannien untersucht und als Technologie mit hohem Potenzial eingestuft. (RFN 2018; WRAP 2014b)

#### 4.1.1.3.1 Beispielanlagen

Um einen Überblick über gängige Verfahrensabläufe aus der Praxis zu geben, werden in diesem Punkt einige Anlagen für werkstoffliches Recycling beschrieben. In solchen Anlagen steckt teilweise beachtliches Know-how und viele Firmen haben individuelle und optimierte Verfahren für ihre jeweiligen Anwendungsfälle entwickelt. Deshalb werden, besonders im Folien- und Polyolefinbereich, kaum Informationen über die genauen Prozessabläufe an Dritte weitergegeben. In diesem Fall wurden daher allgemeine Verfahren beschrieben. Im Folgenden wird der Recyclingprozess von PET-Flaschen für Lebensmittelanwendungen im Detail erklärt. Es befinden sich außerdem Materialflussbilder und eine Kurzbeschreibung von Recyclinganlagen für PO sowie eine Recyclinganlage für gemischte Abfallfraktionen in Anhang IV.

#### **PET Recycling Team Wöllersdorf, Österreich**

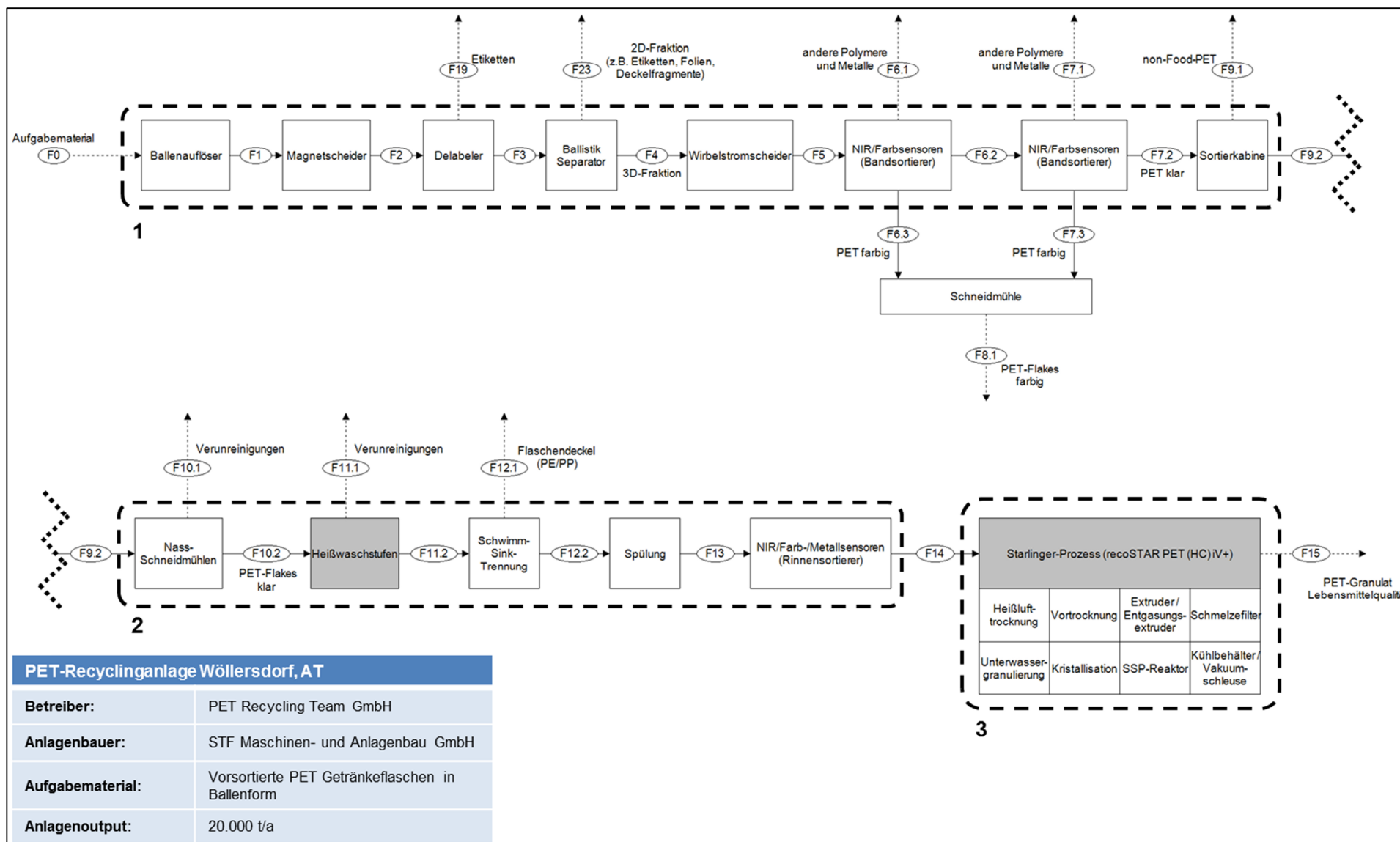
Recyceltes PET wird häufig zur Herstellung von Kleidung und Textilien genutzt, findet jedoch zunehmend Verwendung in der Herstellung neuer PET-Flaschen in sogenannten Bottle-to-Bottle-Verfahren („closed-loop“-Recycling) (Consultic 2015). Diese Art des Recyclings ist besonders aufwändig, da für Anwendungen mit Lebensmittelkontakt die entsprechenden gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden müssen. Die Firma PET Recycling Team GmbH (PRT) in Wöllersdorf (Österreich) stellt jährlich 20.000 t Regranulat aus PET-Flaschen her. Beim Aufgabematerial handelt es sich um vorsortierte PET-Ballen aus europäischen Quellen. Zu den Verunreinigungen gehören andere Polymere, PET in nicht-Flaschenform sowie Fe- und NE-Metalle. Die Materialausbeute an Regranulat/Flakes beträgt ca. 70 % des

Inputs. (PRT 2019a) Ein detailliertes Flussbild für die nachfolgende Prozessbeschreibung ist in Abbildung 60 dargestellt.

Zunächst werden der ersten Trennstufe (1) die Ballen aufgelöst, um die einzelnen Flaschen freizulegen. In weiterer Folge kommen einige der in Kapitel 4.1.1.2 beschriebene Sortieraggregate zum Einsatz. Im Delabeler werden die Etiketten von den Flaschen gelöst und abgeschieden. Delabeler können z.B. als Trommeln mit schnelllaufenden Messern ausgeführt sein, welche die Etiketten von den Flaschen entfernen, dabei jedoch die Flaschen nicht beschädigen. Zwei NIR/Farbsortierer trennen bunte PET-Flaschen sowie nicht-PET vom Stoffstrom und das Material durchläuft eine Magnet- und Wirbelstromscheidung. Am Ende dieser Trennstufe wird der Materialstrom (PET-klar) händisch nachsortiert, um PET in nicht-Flaschenform bzw. aus lebensmittelfremden Anwendungen zu entfernen und somit den EFSA-Anforderungen gerecht zu werden. (PRT 2019a) Im Anschluss wird das Material in die Wasch- und Zerkleinerungsstufe (2) geführt. Dort werden die Flaschen von einer Nass-Schneidmühle auf Korngrößen von < 12 mm („Flakes“) zerkleinert und zugleich vorgereinigt. In den zwei darauf folgenden Heißwäsche-Zyklen unter Verwendung von Natronlauge werden letzte oberflächliche Verunreinigungen entfernt. Der genaue Ablauf dieses Prozesses wird vom Betreiber nicht angegeben, weshalb er in aggregierter Form in grau dargestellt ist. Zur Abscheidung von Deckelmaterialien wie PP oder PE wird eine Dichtentrennung (Schwimm-Sink-Trennung) durchgeführt. Abschließend werden in einem sensorgestützten Rinnensortierer (NIR, Farb- und Metallerkennung) letzte Fremdkörper entfernt. (PRT 2019a) Um aus den gereinigten Flakes ein für Lebensmittelanwendungen geeignetes Regranulat herzustellen, werden sie dem Extrusionsprozess (3) zugeführt, wo sie in einem SSP-Reaktor („Solid State Polycondensation“) unter der Einwirkung von hohen Temperaturen sowie Unterdruck bei mehrstündiger Verweilzeit dekontaminiert werden. Eine genaue Beschreibung dieses Prozesses findet sich u.a. in der wissenschaftlichen Stellungnahme der EFSA zur Starlinger iV+-Technologie (EFSA 2013). Das Endprodukt ist lebensmitteltaugliches PET in Granulatform. Eine Übersicht über die Hersteller der wichtigsten Aggregate in dieser Anlage ist in Tabelle 50 dargestellt. (PRT 2019a)

Tabelle 50: Aggregathersteller der PET-Recyclinganlage Wöllersdorf (PRT 2019a).

Hersteller	Aggregate
STF Maschinen- und Anlagenbau GmbH	Ballenöffner, Delabeler, Schneidmühlen (Bauart ähnlich ZERMA Co., Ltd.), Heißwaschstufen, Dichtentrennung, Spülung
Stadler Anlagenbau GmbH	Ballistik Separator
Sesotec GmbH	Sensorgestützte Band- und Rinnensortierer
Starlinger & Co GmbH	Extruder



PET-Recyclinganlage Wöllersdorf, AT	
Betreiber:	PET Recycling Team GmbH
Anlagenbauer:	STF Maschinen- und Anlagenbau GmbH
Aufgabematerial:	Vorsortierte PET Getränkeflaschen in Ballenform
Anlagenoutput:	20.000 t/a

Abbildung 60: PET-Recyclinganlage Wöllersdorf in Anlehnung an PRT (2019a).

### 4.1.2 Hersteller für Aggregate in Sortier- und Recyclinganlagen

In diesem Punkt wird eine Übersicht über Firmen, welche Aggregate oder Anlagen für die in Kapitel 4.1.1 beschriebenen Sortier- und Recyclingprozesse herstellen, gegeben. Während der Recherchen von Literatur bezüglich Aufbereitungsprozessen sowie den dargestellten Beispielanlagen wurden laufend darin vorkommende Hersteller/Anbieter dokumentiert. Weiter wurden die vertretenen Firmen auf wichtigen Fachmessen analysiert. Das Ergebnis ist eine Liste von über 50 Unternehmen, die in der Herstellung von Komponenten für Sortier- und Recyclinganlagen tätig sind, inklusive deren Produktportfolio. Diese Liste ist in Tabelle 56 in Anhang V zu finden. Um bedeutende Hersteller der jeweiligen Maschinen zu ermitteln, wurden, sofern vorhanden, Umsatz und Mitarbeiterzahl bzw. die Zahl der weltweit abgesetzten Aggregate verglichen. In Tabelle 51 sind einige der führenden Unternehmen für Sortier- und Recyclingtechnologien mit einer kurzen Beschreibung angeführt. Dabei fällt auf, dass kaum Firmen aus dem asiatischen Raum vertreten sind. Laut ifeu (2017) ist diese Beobachtung im Feld des Sondermaschinenbaus jedoch nicht unüblich. Derzeit kann besonders im Bereich von aufwändigen Recyclingprozessen (z.B. PET für Lebensmittelkontakt) keine Konkurrenz zwischen derzeitigen Marktführern (Erema und Starlinger bei PET) und Technologieanbietern aus Asien festgestellt werden (ifeu 2017).

Tabelle 51: Auflistung wichtiger Anlagenhersteller im Sortier- und Recyclingbereich von Kunststoffverpackungen.

Hersteller	Jährlicher Umsatz	Anzahl Mitarbeiter	Beschreibung (laut Firmenangaben)	Quelle
CP Manufacturing Inc.	-	250	Gehört mit über 450 hergestellten Sortieranlagen zu den Marktführern bei Sortieranlagen	(CP 2019)
Erema Group GmbH	155 Mio. €	500	Gehört mit > 6000 verkauften Systemen zu den Marktführern von Recyclingmaschinen	(EREMA GmbH 2019b)
Flottweg SE	203 Mio. €	> 1000	Zählt zu den führenden Anbietern von u.a. Sortierzentrifugen	(Flottweg SE 2019)
Herbold Meckesheim GmbH	25 Mio. €	150	Spezialist für Kunststoff-recyclinganlagen mit Schwerpunkt auf Zerkleinerung	(Herbold Meckesheim GmbH 2019)
Nihot Recycling Technology B.V.		40	Gehört zu den Marktführern bei Sichtertechnologien; Tochterunternehmen von Bulk Handling Systems	(Nihot Recycling Technology B.V. 2019)
Sorema S.r.l.	-	-	Hält mit > 400 verkauften Anlagen die weltweit größten Marktanteile bei Recyclinganlagen für PET und HDPE	(Sorema S.r.l. 2019)
Spaleck GmbH & Co. KG	75 Mio. €	410	Große Produktpalette an verschiedensten Schwingsieben	(Spaleck GmbH & Co. KG 2019)
Stadler Anlagenbau GmbH	66 Mio. €	> 300	Weltmarktführer bei Ballistik Separatoren (> 900 verkaufte Systeme)	(Stadler 2019)
Sutco Recyclingtechnik GmbH	-	-	Gehört mit 480 hergestellten Sortieranlagen zu den Marktführern	(Sutco 2019a)
Tomra Systems ASA	8,6 Mrd. €	4.025	Technologieführer bei sensorgestützten Sortierern	(Tomra 2017)
Vecoplan AG	100 Mio. €	440	Gehört zu den Marktführern in Sortier- und Recyclingtechnik	(Vecoplan AG 2019)
ZERMA Machinery & Recycling Technology Co., Ltd.	-	300	Einer der führenden Hersteller von Zerkleinerern und Schneidmühlen (> 5.000 Maschinen pro Jahr)	(ZERMA 2019)

### 4.1.3 Wirtschaftliche Aspekte des werkstofflichen Recyclings

Über die Entsorgungskosten von Kunststoffverpackungen lässt sich nur schwer eine Aussage treffen, da diese von sehr vielen Faktoren abhängt. Aufgrund der Komplexität dieses Themas wird an dieser Stelle auf die Benchmarking-Studie für die österreichische Abfallwirtschaft aus dem Jahr 2015 (TU Wien 2015) im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft verwiesen. Darin wurden die Kosten für Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung aller wesentlichen Abfallkategorien ermittelt. Im Folgenden werden nur einige wirtschaftlichen Aspekte von Recyclinganlagen zur werkstofflichen Verwertung behandelt.

Bei den Rohstoffpreisen für Primärkunststoffe (Neuware) und Sekundärkunststoffe (z.B. Regranulate) ist zu beachten, dass diese teilweise starken Schwankungen unterliegen können. Laut dem deutschen Umweltbundesamt (UBA-DE 2016) gilt die Preisvolatilität des Sekundärrohstoffmarktes für Kunststoffe als eines der zentralen Hemmnisse für ein



werkstoffliches Recycling. Damit verbundene Unsicherheiten über die zu erzielenden Gewinnmargen führen dazu, dass notwendige Investitionen in hochwertige Infrastrukturen zur Sammlung, Vorbehandlung und Verwertung von Kunststoffabfällen häufig unterbleiben (UBA-DE 2016). Diese Ansicht wurde auch in einem im Zuge dieser Arbeit geführten Experteninterview (SDAG 2019b) bestätigt. Demnach können sich Rohstoffpreise zwischen Ankauf des Inputmaterials und Verkauf der Sekundärkunststoffe in einem Rahmen verändern, der die Wirtschaftlichkeit des gesamten Aufbereitungsprozesses gefährdet. An dieser Stelle wird trotzdem versucht, anhand von Rohstoffpreisen mögliche Gewinnmargen für werkstoffliche Recyclingprozesse zu ermitteln. Grundsätzlich ist zu beobachten, dass die Preise für Sekundärkunststoffe deutlich unter jenen von Primärkunststoffen liegen (SDAG 2019b). Um einen Überblick über die Preisspannen zu geben, sind in Tabelle 52 einige Preise für Primär- und Sekundärrohstoffe dargestellt.

Tabelle 52: Preisspannen für verschiedene Primär- und Sekundärmaterialien von Februar 2018 bis März 2019 nach Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung (bvse 2019).

Rohstoffart	Preisspanne von Februar 2018 bis März 2019 [€/t]
<b>Primärmaterial</b>	
LDPE Folienqualität	1.120 – 1.350
HDPE Blasformqualität standard	1.230 – 1.380
PS Schlagfest	1.370 – 1.680
<b>Sekundärmaterial</b>	
LDPE Granulat schwarz	690 – 830
HDPE Granulat schwarz	800 – 900
PS Granulat schwarz	900 – 1.020

Demzufolge sollte für Produkthersteller der Einsatz von Sekundärmaterialien, sofern die Qualität mit der von Primärrohstoffen vergleichbar ist, von wirtschaftlichem Interesse sein. Für Recyclingunternehmen, die aus vorsortierter Ballenware Regranulat bzw. Flakes für eine weitere Verarbeitung herstellen, hängt die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Faktoren, jedenfalls aber von der Preisspanne zwischen Input- und Outputmaterial, ab. Um mögliche Gewinnspannen von Recyclingprozessen zu ermitteln, wird auf die Preise der Rohstoffbörse „plasticker“ (NMP 2019) zurückgegriffen. Dabei ist zu beachten, dass in der Position „Granulat“ neben Sekundärrohstoffen auch Primärrohstoffe inbegriffen sind. Diese sind jedoch nur zu verhältnismäßig geringen Mengen vertreten (zum Verfassungszeitraum im Juli 2019 < 10 %), weshalb sie sich auf den Granulatpreis nur geringfügig auswirken. Weiter ist zu beachten, dass diese Preise den Mittelwert der Angebotspreise darstellen und nicht repräsentativ für die tatsächlichen Marktpreise sind. Es lässt sich jedoch daraus schließen, welche Preisspannen sich zwischen In- und Outputmaterialien eines solchen Recyclingunternehmens befinden. Die Durchschnittspreise für Granulat, Mahlgut (Flakes) sowie Ballenware der letzten 11 Monate sind exemplarisch für LDPE und PP in Abbildung 61 und Abbildung 62 dargestellt.

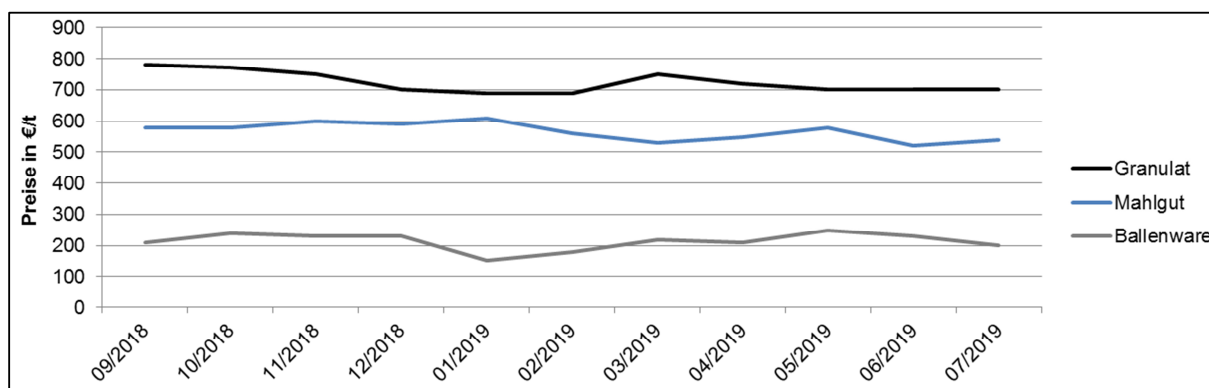


Abbildung 61: Durchschnittspreise für Ballenware, Mahlgut und Granulat aus LDPE in den letzten 11 Monaten (NMP 2019).

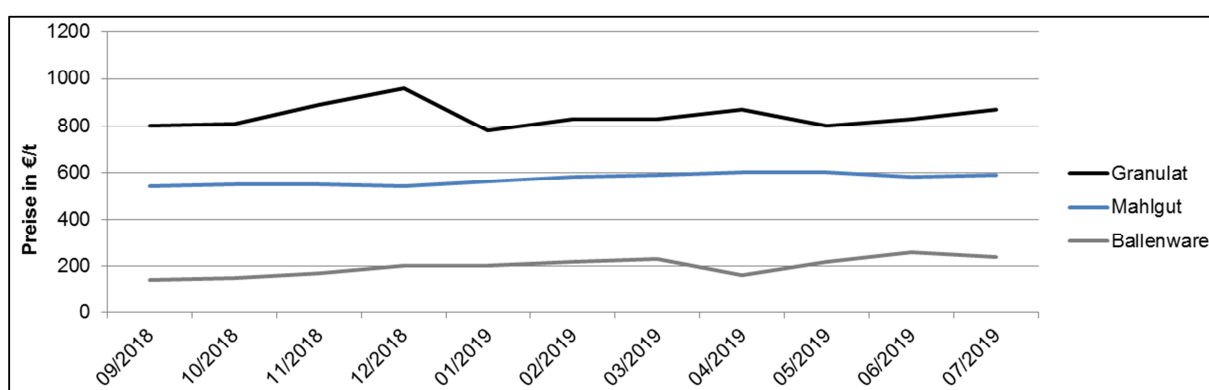


Abbildung 62: Durchschnittspreise für Ballenware, Mahlgut und Granulat aus PP in den letzten 11 Monaten (NMP 2019).

Wird der Durchschnittspreis der Ballenware vom Durchschnittspreis der Sekundärrohstoffe abgezogen, so bleibt ein maximaler Gewinn von durchschnittlich 509 €/t Granulat und 354 €/t Mahlgut bei LDPE sowie 644 €/t Granulat und 372 €/t Mahlgut bei PP. Dabei sind betriebliche Kosten bzw. Prozesskosten sowie Aufbereitungsverluste nicht berücksichtigt. Laut dem deutschen Umweltbundesamt ist bei Kunststoffverpackungen mit Aufbereitungsverlusten von 15 – 30 Gew.-% (UBA-DE 2018) zu rechnen. Der Behandlungsaufwand hängt von der Sortenreinheit, dem Verschmutzungsgrad und der Alterung des Materials ab (Martens und Goldmann 2016). Jeder Behandlungsschritt ist mit Energie- und/oder Wasserverbrauch sowie finanziellem Aufwand verbunden, was sich in den Betriebskosten widerspiegelt (Lechner et al. 2003). Selbst sortenrein sortierte Abfallströme sind in der Regel verunreinigt (z.B. Lebensmittelanhaftungen, Aufkleber). Diese können durch Wasch- und Sortiervorgänge mehr oder weniger gut entfernt werden. Die Toleranz gegenüber Störstoffen ergibt sich in der Praxis meist aus der Art des recycelten Kunststoffes sowie dem geplanten Produkt. So ist die Störstofftoleranz bei der Herstellung von z.B. Parkbänken aus Mischkunststoff wesentlich höher als bei der Herstellung von Abfallbeuteln. Daher fließt auch das spätere Anwendungsfeld der Rezyklate in den Behandlungsaufwand ein. (Consultic 2015) Aufgrund dieser Vielzahl an Einflüssen lässt sich über die Prozesskosten für ein werkstoffliches Recycling keine generelle Aussage treffen, weshalb

von der maximalen Gewinnspanne nicht auf tatsächliche Gewinne geschlossen werden kann.

Als praktisches Beispiel für die maximale Gewinnspanne von Recyclingprozessen wird die Aufbereitung von PET-Ballen zu Flakes bzw. Granulat anhand der in Kapitel 4.1.1.3 beschriebenen PET-Recyclinganlage der Firma PRT GmbH in Wöllersdorf, Österreich betrachtet. Die Anlagedaten sowie die für die stark vereinfachte Rechnung verwendeten Größen können Tabelle 53 entnommen werden. Wird erneut der Preis pro Tonne Ballenware von den Preisen für Granulat bzw. Flakes abgezogen, so ergibt der maximale Gewinn pro Tonne lebensmittelkontaktauglichen Granulats 714 € und pro Tonne Flakes 364 €. Die Höhe der Prozesskosten ist auch in diesem Beispiel nicht bekannt. Hier ist jedoch zu beachten, dass der Aufbereitungsaufwand von für Lebensmittelkontakt geeignetem Regranulat wesentlich höher sein dürfte, als für Standardgranulat (siehe Kapitel 4.1.1.3). Beim aufwändigen Dekontaminationsprozess im SSP-Reaktor und den zusätzlichen Reinigungsprozessen ist von verhältnismäßig hohen Prozesskosten auszugehen.

Tabelle 53: Daten zur PET-Recyclinganlage Wöllersdorf sowie getroffene Annahmen mit zugehörigen Quellen.

Position	Wert	Quelle
Jährliche Inputmenge	28.570 t	Schätzung anhand von Outputmenge und Ausbeute
Ausbeute	ca. 70 %	PRT 2019a
Jährliche Outputmenge	20.000 t	PRT 2019a
Preis für PET klar Ballenware (aus Pfandsystem, 95-100 % Reinheit)	480 €/t	EUWID 2019
Preis für PET-Flakes	1.050 €/t	PRT 2019a
Preis für PET-Granulat (für Lebensmittelkontakt geeignet)	1.400 €/t	PRT 2019a

Ein weiterer Aspekt, der in Zukunft einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des werkstofflichen Recyclings haben könnte, ist die CO<sub>2</sub>-Ersparnis bei der Verwendung von Sekundärmaterialien. Derzeit stehen verschiedene Modelle zur Einführung von Abgaben auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zur Diskussion, eine Möglichkeit wäre die Erhebung von Abgaben bei Produktion bzw. Import von Kunststoffprodukten entsprechend der bei der Produktion freigesetzten Menge an CO<sub>2</sub> (BAFU 2018). Die Produktion von beispielsweise einem Kilogramm PET als Primärrohstoff entspricht einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 2,15 kg (PRT 2019b). Bei der Verwendung von recyceltem PET kann diese Menge um knapp 79 % auf 0,45 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Kilogramm PET (PRT 2019b) gesenkt werden, was im Falle der Einführung einer CO<sub>2</sub>-Abgabe zu einem wesentlichen Kostenvorteil bei der Nutzung von Sekundärrohstoffen gegenüber Primärrohstoffen führen könnte. Ebenfalls wurden von der EU im Rahmen des Kreislaufwirtschaftspaketes Maßnahmen zur Schaffung steuerlicher Anreize bei der Vermarktung von Produkten, die aus Rezyklaten hergestellt wurden, vorgeschlagen, welche zukünftig ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben könnte (EU 2008a).

#### 4.1.4 Recyclinggerechte Gestaltung von Kunststoffverpackungen

Wichtige Faktoren für Recyclingprozesse wie Sauberkeit und Sortenreinheit von Abfallströmen können erst beeinflusst werden, wenn Produkte ihre Nutzungsdauer durchlaufen haben. Jedoch gibt es bereits vor der Nutzungsphase die Möglichkeit, durch ein entsprechendes Produktdesign das spätere Recycling zu begünstigen. Derzeit liegen die Hauptgründe für allgemein niedrige Recyclingquoten nach wie vor in der Herstellung und im Design der Produkte. Zu diesem Zweck haben sich weltweit bereits zahlreiche Organisationen zum Voranbringen des Dialoges zwischen Herstellern und Recyclingbetrieben gebildet, um Lösungsansätze für diese Probleme zu erarbeiten. Daraus geht hervor, dass die Komplexität im Bereich der Polymertypen, Farben, Etiketten und anderen Komponenten das Recycling behindert und dass die Vereinfachung und Standardisierung dieser Materialien ein wirksames Mittel zur Verbesserung der Recyclingprozesse darstellt. Problematisch sind beispielsweise verwendete Additive, wodurch manche Kunststoffe nach dem Recycling in ihren Anwendungsbereichen eingeschränkt sind. Die Anwendung von gefärbten Kunststoffen verschlechtert die Recyclingfähigkeit ebenfalls erheblich, da Hersteller genaue Vorgaben an die farbliche Zusammensetzung der daraus hergestellten Rezyklate haben (RFN 2018). Da Produkte jedoch im Hinblick auf ihre Nutzung und nicht für ein Recycling geschaffen werden, ist der Aspekt des recyclinggerechten Designs häufig noch untergeordnet. (RFN 2018; Martens und Goldmann 2016) Laut DSD (2019) gilt die Einhaltung der folgenden Gestaltungsrichtlinien als jedenfalls positiv für ein Recycling von Kunststoffverpackungen:

- Helle Farbgebung der Verpackungsmaterialien bzw. die Verwendung von gefärbten Folien als Überzug über ungefärbte Verpackungen
- die Verwendung von Monomaterialien statt Materialmischungen,
- das Anwenden von für die jeweilige Verpackung optimierte Etiketten- und Verschlusslösung und
- einfache Trennbarkeit von Komponenten im Recyclingprozess. (DSD 2019; RFN 2018)

Die Thematik des recyclinggerechten Designs wurde auch von der EU im Kreislaufwirtschaftspaket aufgegriffen, in welchem Produktgestaltung und Produktion zu den wesentlichen Themen gehören (siehe Kapitel 3.2.1). So führt beispielsweise die Einführung von mit der Verpackung verbundenen Deckeln zu einer wahrscheinlicheren Verwertung, da lose Deckel im Sortierprozess meist in den Sortierrest und damit zu keiner stofflichen Verwertung gelangen. Die EU-Kommission (EC 2015b) schlägt darüber hinaus vor, den finanziellen Beitrag im Rahmen der erweiterten Herstellerverantwortung künftig auch nach Kosten am Ende der Nutzungsdauer der Produkte zu bemessen. So sollen wirtschaftliche Anreize für recyclinggerechte Produkte geschaffen werden (EC 2015b).

Um die Recyclingfähigkeit von Produkten quantitativ bemessen zu können, wurde vom Institut cyclos-HTP ein spezielles Prüfverfahren entwickelt. Dabei fließen die recycelbaren Anteile, vorhandene Erfassungs- und Verwertungsstrukturen für den jeweiligen

Verpackungstyp, die zielgerichtete Sortierbarkeit (Identifizierbarkeit im NIR, Austragsverhalten, elektrische Leitfähigkeit und Ferromagnetismus) sowie weitere Aspekte in die Bewertung einer Verpackung in Bezug auf ihre Recyclingfähigkeit ein. Im Zuge dessen wurden typische Störstoffe für das Recycling in den Wertungspfaden verschiedener Kunststoffverpackungstypen ermittelt, einige Beispiele sind in Abbildung 63 dargestellt. Die Einteilung der Störstoffe erfolgt in drei Kategorien:

- Kategorie 1: Abtrennbar mit etablierten Verfahren
- Kategorie 2: Nicht abtrennbar, verschlechtert Rezyklatqualität jedoch nicht
- Kategorie 3: Nicht abtrennbar, verschlechtert Rezyklatqualität. (Institut cyclos-HTP 2019)

Werden die als Störstoff definierten Materialien gemieden, so kann die Recyclingfähigkeit einer Verpackung verbessert werden. Das Ergebnis dieses Berechnungsverfahrens ist die Recyclingfähigkeit der jeweils untersuchten Verpackung in Prozent.

Pfad	KAT 1	KAT 2	KAT 3
Kst-Folien/ LDPE	Papieretiketten; Wasserlösliche Klebstoffappli- kation; nicht polyolefinischer Kunststoffanteil	PP-Folien*, EVOH- Sperrschichten	nicht wasserlösliche Klebstoffapplikation in Kombination mit nassfesten Etiketten, PA-Bar- riereschichten, PVDC-Barriereschichten, Nicht- Polymer-(außer SiOx und AlOx)/Nicht-EVOH- Barriereschichten
PE	Papieretiketten; wasserlösliche Klebstoffapplika- tion; Kunststoffe > 1 g/cm <sup>3</sup>	EVOH-Sperrschichten; PP* (z. B. Kappen, Etiketten, etc.); sonstige thermoplastische Po- lymere der Dichte < 1 g/cm <sup>3</sup> in geringer Konzent- ration (z. B. EVA, TPE PO-ba- siert)	Silikonkomponenten; Komponenten geschäu- mter nicht thermoplastischer Elastomere; nicht wasserlösliche Klebstoffapplikation in Kombi- nation mit nassfesten Etiketten, PA-Barrieren; PE- X-Komponenten, PVDC-Barrieren; Nicht-PO- Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm <sup>3</sup>
PP	Papieretiketten; ALU-Deckelfolie; wasserlösliche Klebstoffapplika- tion; Kunststoffe > 1 g/cm <sup>3</sup>	PE-Verschlüsse*, EVOH- Sperrschichten; LDPE* (z.B. Etiketten); sonstige thermo- plastische Polymere der Dichte < 1 g/cm <sup>3</sup> in geringer Konzent- ration (z. B. EVA, TPE PO-ba- siert)	Silikonkomponenten; Komponenten geschäu- mter nicht thermoplastischer Elastomere; nicht wasserlösliche Klebstoffapplikation in Kombi- nation mit nassfesten Etiketten; PA-Barriere- schichten; PVDC-Barriereschichten; Nicht-PO- Kunststoffe der Dichte < 1 g/cm <sup>3</sup>
PS	Papieretiketten; wasserlösliche Klebstoffapplika- tion; Kunststoffe < 1 g/cm <sup>3</sup> und > 1,08 g/cm <sup>3</sup> ; ALU-Deckelfolie		Fremdkunststoffe oder Multilayer der Dichte- klasse 1,0 – 1,08 g/cm <sup>3</sup> ; nicht wasserlösliche Klebstoffe in Kombination mit nassfesten Etiket- ten
PET-Getränkflas- chen (transparent klar- /light-blue)	Plasma coating (clear); wasserlöslicher oder alkalisch löslicher Klebstoffapplikation; Papieretiketten; PE, PP-Etiket- ten und Sleeves	AA-Blocker; UV-Stabilisatoren, TPE-PO-basiert	PET-G; POM-Komponenten; EVOH / PA-Monolayer-Barriereschichten; sonstige blended barriers; PVC, PS, PET-G/ S- Etiketten/Sleeves; PA-Additivierung (PET-A-Co- polymer); nicht lösliche Klebstoffapplikation (in Wasser oder alkalisch bei 80°C); nicht magneti- sche Metalle; Elastomerkomponenten der Dichte > 1 g/cm <sup>3</sup> ; Direktdruck außer MHD und Chargennummer, Silikonkomponenten
PET-Flaschen, sonstige	Plasma coating (clear); wasserlöslicher oder alkalisch löslicher Klebstoffapplikation; Papieretiketten; PE, PP-Etiket- ten und Sleeves	AA-Blocker; UV-Stabilisatoren (PA-Additivierung PET-A-Co- polymer, TPE-PO-basiert) EVOH / PA-Monolayer-Bar- riereschichten	PET-G; POM-Komponenten; PVC, PS, PET-G/ S-Etiketten/Sleeves; nicht lösliche Klebstoffapplikation (in Wasser oder al- kalisch bei 80°C); nicht magnetische Metalle; Elastomerkomponenten der Dichte > 1 g/cm <sup>3</sup> , Silikonkomponenten

Abbildung 63: Typische Störstoffe in den Wertungspfaden verschiedener Kunststoffverpackungstypen (Institut cyclos-HTP 2019).

## 4.2 Rohstoffliche Verwertung

Verfahren zum rohstofflichen Recycling von Kunststoffabfällen zielen darauf ab, die Polymerketten durch die Einwirkung von Wärme, Druck und/oder selektiv wirkender Chemikalien in niedermolekulare Stoffe zu spalten. Die so erzeugten Monomere und petrochemischen Grundstoffe dienen der Herstellung neuer Kunststoffe, hochwertiger Brennstoffe oder anderer chemischer Produkte ohne Anwendungseinschränkungen. (Lechner et al. 2003; UBA-DE 2016) Es können sowohl sortenreine Standardkunststoffe wie PE, PP, PS oder PVC als auch vermischte Abfälle aus beispielsweise Textilien, Kunststoffen, Gummi, Holz und Grünschnitt verwertet werden. Mehrere Verfahren wurden besonders für vermischte, verschmutzte, kleinteilige Verpackungen aus Hausabfällen entwickelt und dienen mittlerweile zur stofflichen Verwertung unterschiedlichster organischer Abfälle. Eine Übersicht über die rohstofflichen Verwertungsmöglichkeiten ist in Abbildung 64 dargestellt. (Lechner et al. 2003, S. 504)

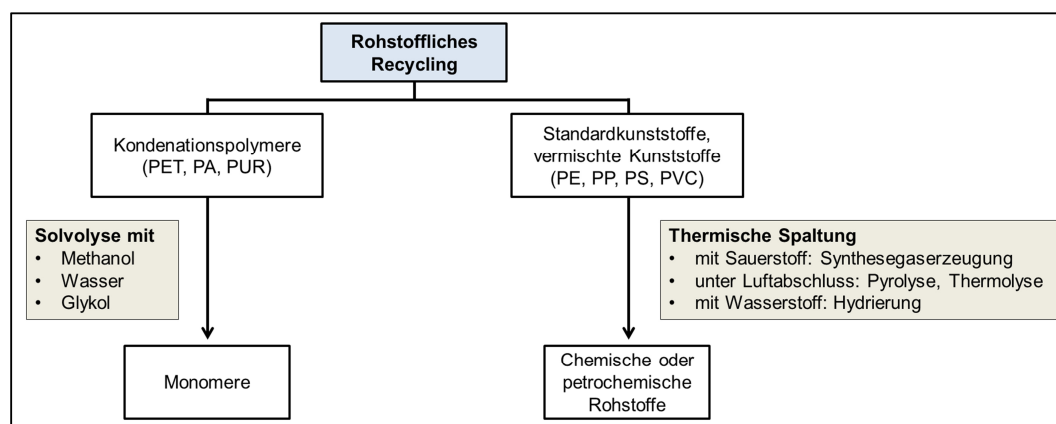


Abbildung 64: Rohstoffliche Verwertungsmöglichkeiten für Kunststoffabfälle in Anlehnung an Lechner et al. (2003).

Einen Sonderfall der Synthesegaserzeugung stellt der Einsatz von Kunststoffabfällen im Hochofenprozess dar. Die Kunststoffe ersetzen dabei einen Teil des Schweröls, das neben Koks zur Reduktion des Eisenoxids im Hochofen dient. Für die Thermolyse, Hydrolyse und den Hochofenprozess müssen anorganische Materialien aus dem Abfallstrom abgetrennt werden. Pyrolyseverfahren und Synthesegaserzeugung sind hingegen unempfindlich gegenüber Verunreinigungen durch Materialien wie z.B. Glas, Steine sowie Metall und setzen diese zu Asche bzw. Schlacke um. Rohstoffliches Recycling durch thermische Spaltverfahren eröffnet somit die Möglichkeit, große Mengen vermischter Kunststoffabfälle wie beispielsweise verschmutzte Verpackungen aus Haushalten, die z.B. aufgrund von starken Verunreinigungen keiner werkstofflichen Verwertung zugeführt werden, sinnvoll zu verwerten. Da die Sortierung und Reinigung der Abfallfraktionen weniger aufwändig ist, als bei werkstofflichen Verfahren, ist eine über die Gesamtkette betrachtete kostengünstigere Verwertung realisierbar. (Lechner et al. 2003) Im Vergleich zur werkstofflichen Verwertung spielt die rohstoffliche Verwertung derzeit jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Wie in

Kapitel 3.2.4 erwähnt, wurden 2016 in der EU+2 lediglich 52 kt der Kunststoffverpackungsabfälle rohstofflich verwertet. Laut Conversio (2017) nehmen Hochofenprozesse derzeit die größten Mengenanteile des rohstofflichen Recyclings ein.

### 4.3 Energetische Verwertung

Die saubere Verbrennung von Kunststoffabfällen mit Energierückgewinnung ist als Ergänzung zum werkstofflichen und rohstofflichen Recycling unverzichtbar. Es wird immer Kunststofffraktionen geben, die werk- und rohstofflich nicht sinnvoll zu verwerten sind. Beispiele hierfür sind Kunststoffe, die mit umwelt- oder arbeitshygienisch bedenklichen Anhaftungen verunreinigt sind oder als schwer trennbarer Materialverbund vorliegen. Bei vermischten und verschmutzten Altkunststoffen, bei denen eine werkstoffliche Verwertung zu kostenaufwändig ist und keinen entsprechenden ökologischen Nutzen bringt, stellt die energetische Verwertung eine sinnvolle Alternative dar. Da die enthaltene Energiemenge der meisten Kunststoffe in etwa der von reinem Erdöl entspricht, leistet die energetische Verwertung einen wichtigen Beitrag zur Schonung von fossilen Brennstoffen. Die Heizwerte einiger Kunststoffsorten und vergleichbarer Primärbrennstoffe können Tabelle 54 entnommen werden. (Lechner et al. 2003)

Tabelle 54: Heizwerte für verschiedene Kunststoffe und Primärbrennstoffe in MJ/kg (Martin Kranert 2015, S. 268).

Heizwert [MJ/kg]	Kunststoffe (ohne Zusatzstoffe)	Primärbrennstoffe (Beispiele)
> 36	PP, PE, PS	Heizöl, Benzin
> 25 – 36	PET	Steinkohle
> 14 – 25	PVC, PUR	Holz, Braunkohlebriketts

Geeignete Anlagen zur energetischen Verwertung von Kunststoffen sind moderne Abfallverbrennungsanlagen, industrielle Feuerungsanlagen wie z.B. Zementdrehrohröfen und Heizkraftwerke oder eigens errichtete Kunststoffmonoverbrennungsanlagen. Es werden unterschiedliche Anforderungen an die Inputmaterialien gestellt, was im Vorfeld bestimmte Aufbereitungsschritte für die Abfallströme erfordert. Der Aufwand dabei ist jedoch wesentlich geringer als für ein werkstoffliches Recycling und hängt von den gewünschten Eigenschaften des späteren Brennstoffs ab. (Lechner et al. 2003) Abfälle zur energetischen Verwertung können aus folgenden Bereichen stammen:

- „aus Produktion und Verarbeitung,
- getrennt erfasste Abfälle aus privaten Haushalten und anderen Bereichen und
- aus Anlagen, in denen vermischt erfasste Abfälle aus Haushalten und anderen Bereichen aufbereitet werden.“ (Martin Kranert 2015, S. 254).

Innerhalb der EU muss die Energieeffizienz bei moderneren Verbrennungsanlagen über 0,65 liegen (R1-Kriterium), um als Verwertungsverfahren klassifiziert zu werden (EU 2008a).

## 5 Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die relevanten Themen und Erkenntnisse dieser Arbeit diskutiert. Dabei wird auf sämtliche Kernthemen Bezug genommen.

### **Aufkommen und Behandlungsquoten im Betrachtungsraum:**

Bei den Detailanalysen der einzelnen Länder wurde klar, dass es erhebliche Unterschiede in der Verfügbarkeit von Daten in Bezug auf Kunststoffverpackungsabfälle gibt. Grundsätzlich ist die Datenlage umso besser, je umfassender die gesetzlichen Vorgaben im jeweiligen Land sind. Um beispielsweise den Fortschritt zu erreichender Recyclingziele kontrollieren zu können, ist die Kenntnis der verschiedenen behandelten Abfallmengen unerlässlich. Ebenso verlangen Systeme erweiterter Herstellerverantwortung eine genaue Datenerfassung, um die Verwertungsquoten für von den Herstellern entpflichtete Verpackungen überprüfen zu können. Es ist zu beobachten, dass bei der Umsetzung von monopolistisch organisierten Systemen erweiterter Herstellerverantwortung, wie z.B. in Italien durch CONAI bzw. in Spanien durch Ecoembes S.A., die Datenerfassung besonders schlüssig erfolgt. Hier gab es zwischen den verschiedenen Quellen die geringsten Abweichungen in Bezug auf Aufkommen und Behandlungsquoten ( $< 0,1\%$  in Italien bzw.  $< 4\%$  in Spanien), was auf die in sich einheitliche Erfassung innerhalb dieser Systeme zurückzuführen ist. Sind hingegen viele konkurrierende Systeme in einem Land tätig, wie es beispielsweise in Großbritannien der Fall ist, so kann es zu erheblichen Abweichungen von bis zu  $20\%$  in den Angaben über verwertete Mengen kommen. Eurostat ist grundsätzlich als zuverlässige Datenquelle zu betrachten, da die offiziellen Meldungen zur Abfallstatistik an dieses Amt erfolgen. Das gilt jedoch nicht uneingeschränkt in Bezug auf Verwertungsquoten. Die Definition des Verwertungsbegriffs bei energetischer Verwertung ist in der EU von der Anlageneffizienz (R1-Kriterium, siehe Kapitel 4.3) abhängig. Wird Abfall einer Verbrennungsanlage mit einer unter R1 liegenden Effizienz zugeführt, so werden diese Abfälle nicht als verwertet angesehen. Andere Quellen hingegen betrachten eine ineffizientere Verbrennung als Verwertungsmethode. In einigen Fällen kam es zu Abweichungen in den Quoten von energetischer Verwertung bzw. Beseitigung von bis zu  $40\%$  und es ist davon auszugehen, dass diese mit dem R1-Kriterium zusammenhängen.

Die EU-Recyclingziele für 2025 bzw. 2030 werden für viele Staaten in Anbetracht der Entwicklungen in den letzten Jahren nicht erreicht werden. Hier gilt es, sämtliche Technologien auszuschöpfen. Eine Möglichkeit wäre ein rohstoffliches Recycling, da bei dieser Verwertungsart die Qualität der Abfallströme keinen bedeutenden Einfluss hat. Jedoch stellt sich die Frage, ob sich dieses Verfahren kurz- bis mittelfristig in größerem Maßstab etablieren wird, da die rohstofflich recycelte Menge im Jahr 2016 in der EU lediglich  $52\text{ kt}$  betrug (siehe Kapitel 3.2.2). In jedem Fall müssen zukünftig Recyclingkapazitäten geschaffen werden, sei es für eine werkstoffliche oder rohstoffliche Verwertung. Ebenso muss die Produktgestaltung recyclinggerecht erfolgen, um die Eignung der Abfälle für Aufbereitungsprozesse zu verbessern. Erste Schritte wurden dahingehend bereits von der EU durch die Vorgabe von Gestaltungsrichtlinien, wie z.B. fest verbundener Deckel auf



Einwegartikeln, gesetzt. Ebenso ist es wichtig, Abfallexporte der EU einzuschränken, damit zukünftig hochqualitative Rohstoffe für ein Recycling in der EU zur Verfügung stehen. Seit 2016 ist bereits ein Rückgang in den Exporten von Kunststoffabfällen zu Verzeichnen.

In Zukunft ist mit einem kontinuierlichen Anstieg der Abfallmengen und damit der Kunststoffverpackungsabfälle zu rechnen. Besonders für Länder mit niedrigen bis mittleren Einkommen wird das stärkste Wachstum der Abfallmenge prognostiziert. Zwar gibt es im Kunststoffverpackungsbereich gegenläufige Trends, jedoch zeigte sich, dass diese wesentlich geringere Auswirkungen auf das Aufkommen haben, als begünstigende Trends.

### **Aufbereitungsprozesse von Kunststoffverpackungsabfällen:**

In den Untersuchungen wurde deutlich, dass die Sammlung die Grundlage für den Aufbereitungsprozess von Abfällen darstellt und ausschlaggebend für die spätere Qualität sekundärer Rohstoffe ist. Zur Verbesserung von Recyclingquoten ist es daher unerlässlich, die getrennte Sammlung zu erweitern und konsequent durchzuführen. Die meisten der betrachteten Länder in der EU haben bereits ein effizientes System zur getrennten Sammlung oder es sich als Ziel gesetzt, dieses und somit die Sammelquoten und Qualität der Abfälle zu verbessern. Es ist außerdem zu beobachten, dass Länder mit gut ausgebautem Holsystem (z.B. AT, DE) vergleichsweise höhere Sammelquoten erreichen, als Länder mit Bringsystem als primäres Sammelsystem. Wie in der Detailbetrachtung von Deutschland (Kapitel 3.3.1) ersichtlich wurde, stellen Pfandsysteme ein effektives Mittel dar, um die Sammelquoten für eine Verpackungsart zu erhöhen. Für PET-Flaschen werden so flächendeckend Rücklaufquoten von über 96 % erreicht. In Anbetracht der durch die EU-Einwegkunststoffrichtlinie vorgegebenen Sammelquote für Einwegkunststoffflaschen von 77 % bis 2025 und 90 % bis 2029 ist es daher wahrscheinlich, dass weitere Länder Pfandsysteme einführen. Außerhalb der EU und besonders in Schwellenländern ist jedoch oft noch keine ausreichende Sammelstruktur vorhanden, um ein Recycling in nennenswertem Umfang durchführen zu können. In diesen Ländern wird die vorhandene Abfallsammlung häufig vom informellen Sektor durchgeführt. Doch auch dort gibt es Anstrengungen, dies in Zukunft zu verbessern. Es ist also davon auszugehen, dass aufgrund der voranschreitenden (getrennten) Sammlung deutlich größere Mengen an Wertstoffen für Aufbereitungsprozesse und somit dem Recyclingmarkt zur Verfügung stehen werden.

In den untersuchten Sortieranlagen nach Stand der Technik werden weitgehend dieselben Aggregate und Prozessabläufe eingehalten. Sacköffner, Trommelsiebe, Windsichter, Magnet- und Wirbelstromscheider sowie sensorgestützte Sortierer kommen in allen betrachteten Anlagen zum Einsatz. Ebenso kann bisher übergreifend noch nicht auf händische Sortierschritte (z.B. zur Qualitätssicherung) verzichtet werden. Unterschiede in den Prozessabläufen und den verwendeten Aggregaten sind in erster Linie auf die verschiedenen Abfallzusammensetzungen oder Anforderungen an die Reinheit der gewonnenen Wertstoffe zurückzuführen. Meist findet jedoch mindestens eine Trennung in die Fraktionen PET und HDPE sowie eine Folienfraktion (überwiegend LDPE) statt. Eine stark differenziertere Trennung nach Kunststoffarten wie z.B. bei der LVP-Sortierung kann aufgrund der hohen Menge an Fremdstoffen in Sortieranlagen für gemischte Abfälle (siehe

Anhang III) nicht stattfinden. Ein möglicher Zukunftstrend mit Einfluss auf Sortieranlagen ist die gemeinsame Sammlung von Verpackungen und Stoffgleichen NVP, wie sie z.B. in einigen Regionen Deutschlands und anderer Länder bereits in Form einer „Wertstofftonne“ umgesetzt wurde. Welche Auswirkungen eine solche Änderung auf bestehende Sortierprozesse hat, hängt vom Umfang der Sammlung und der Bauart bestehender Anlagen ab. Laut Christiani (2014) ist bei einer geringfügigen Erweiterung der LVP-Sammlung um NVP mit LVP-ähnlichen Eigenschaften (z.B. Abfallbeutel, Frischhalteboxen) mit keinen Konsequenzen für Sortierprozesse zu rechnen. Bei der Erweiterung um NVP mit signifikanten Unterschieden (z.B. Wäschekörbe, Regentonnen, Abdeckplanen) kann hingegen die Nachrüstung von Komponenten zur Überkornzerkleinerung oder die Anpassung bestehender Systeme an höhere Stückgewichte notwendig werden. Weiter ist mit einem zunehmenden Automatisierungsgrad zu rechnen, denn in vielen Regionen (z.B. große Teile der USA) werden derzeit nur wenige Prozessschritte in Sortieranlagen automatisiert durchgeführt, der Großteil erfolgt händisch. Ebenso werden zukünftig wohl vermehrt Sortierroboter eingesetzt. Derzeit gilt diese Technologie jedoch als noch nicht ausgereift und ist erst in wenigen Praxisanwendungen zu finden.

Die betrachteten Anlagen zur stofflichen Verwertung von Kunststoffabfällen aus dem Verpackungssektor sind ebenfalls im grundsätzlichen Aufbau identisch. Je nach Inputfraktion sind verschiedene vorgelagerte Sortierschritte nötig, die Hauptprozesse wie Zerkleinerung, Wäsche, Dichtentrennung sowie Extrusion finden jedoch in allen untersuchten Anlagen statt. Das spätere Anwendungsgebiet der Rezyklate ist ausschlaggebend für den Aufwand der Recyclingprozesse. So sind Recyclinganlagen für Rezyklate, die für Lebensmittelkontakt geeignet sind, aufgrund zusätzlicher Dekontaminationsprozesse wesentlich komplexer aufgebaut als jene zur Herstellung von Rezyklaten für wenig anspruchsvolle Anwendungen. Die Berechnung der theoretischen Gewinnspanne in Kapitel 4.1.3 hat gezeigt, dass werkstoffliches Recycling durchaus Potenzial für einen wirtschaftlichen Betrieb bietet, wengleich der Markt für Rezyklate beachtliche Unsicherheiten und Risiken in sich birgt. Eine Möglichkeit zum Abbau dieser Hemmnisse stellen steuerliche Begünstigungen bei Verwendung von Rezyklaten in der Herstellung neuer Produkte dar, wie sie bereits vielfach zur Diskussion stehen (siehe z.B. EU-Abfallrahmenrichtlinie (EU 2008a)). Geplante Mindestmengen an Rezyklat in Neuware (wie z.B. 25 % bei PET-Einwegflaschen ab 2025 gemäß EU-Einwegkunststoffrichtlinie (EU 2019)) könnten ebenfalls eine gewisse Stabilität in den Markt bringen, da so bestimmte Mengen an Rezyklat garantiert benötigt werden. Trotz wirtschaftlicher Anreize ist davon auszugehen, dass die Vorgabe von zu erreichenden Recyclingquoten weiterhin unerlässlich bleibt. In Kombination mit der Einführung von Regimen erweiterter Herstellerverantwortung haben sich diese als effektives Mittel zur Steigerung von Recyclingbemühungen gezeigt.

### **Recyclingfähigkeit von Kunststoffverpackungen:**

In Bezug auf Recyclingfähigkeit sind thermoplastische Kunststoffe aufgrund der problemlosen Wiedererwärmung in den schmelzfähigen Zustand besonders gut geeignet. Die wichtigsten Verpackungskunststoffe (PET, HDPE, LDPE und PP) gehören zu dieser

Gruppe. Darüber hinaus lässt sich jedoch sagen, dass nicht einzelne Kunststoffe besonders gut für ein Recycling geeignet sind, sondern bestimmte Gestaltungsformen von Verpackungen. Werden die Gestaltungsrichtlinien aus Kapitel 4.1.4 beachtet, so wird ein späteres Recycling der jeweiligen Verpackung begünstigt. Darüber hinaus sollten bei der Entwicklung von Produkten Materialien gewählt werden, für die bereits etablierte Verwertungswege existieren. So gibt es beispielsweise für PET oder HDPE in modernen Sortieranlagen meist eigene Materialpfade, während z.B. PLA aufgrund der geringen Marktmenge noch über keinen eigenen Verwertungspfad verfügt und so in der Regel keiner stofflichen Verwertung zugeführt werden kann. Ebenfalls ist es wichtig, dass die Kunststoffverpackungen sortenrein, sauber und in großen Mengen verfügbar sind. Ansonsten lässt sich der Recyclingprozess nicht wirtschaftlich durchführen und das Rezyklat nur schwer vermarkten.

### **Wichtigste Hersteller für Aufbereitungsaggregate:**

Die Ermittlung wichtiger Hersteller für Aggregate im Sortier- und Recyclingbereich von Kunststoffen hat ergeben, dass der Großteil der gut positionierten Marktteilnehmer aus dem europäischen Raum kommt. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Recyclingquoten in Europa zu den höchsten weltweit gehören und Firmen mit Sitz in Europa durch die Nähe zu dem daraus resultierenden großen Markt Vorteile gegenüber amerikanischen oder asiatischen Mitbewerbern haben. Weiter handelt es sich bei vielen aufwändigen Recyclingprozessen (besonders für Kunststoffe mit Lebensmittelanwendungen) um Sondermaschinen, bei welchen asiatische Hersteller derzeit noch eine untergeordnete Rolle spielen. Bei der Gegenüberstellung der Umsetzung konkreter Aggregate durch verschiedene Hersteller in Kapitel 4.1.1 wurde deutlich, dass sich diese häufig nur in Details unterscheiden, die generelle Arbeitsweise meist jedoch dieselbe ist. Besonders bei Sortieraggregaten ist von Seiten der Hersteller sowie Anlagenbetreibern eine starke Transparenz der Prozesse gegeben. Bei Recyclinganlagen werden jedoch Prozessabläufe und Informationen von Anlagenbetreibern nur in begrenztem Maße weitergegeben, was auf die teils für bestimmte Anwendungsfälle hoch spezialisierten Prozesse sowie das entsprechende Know-how zurückzuführen ist.

## 6 Zusammenfassung

Aufgrund der kontinuierlich steigenden Menge an Kunststoffverpackungsabfällen und der dadurch entstehenden Umweltprobleme werden die Entsorgungswirtschaften auf der ganzen Welt laufend mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Ziel dieser Masterarbeit war es, einheitliche Daten über Kunststoffverpackungsabfälle in ausgewählten Ländern auf internationaler Ebene zu erheben, um eine Informationsbasis über individuell vorherrschende Rahmenbedingungen in verschiedenen Ländern zu erstellen. Es wurde auf die wichtigsten Verpackungskunststoffe sowie deren Aufkommen eingegangen und die historische Entwicklung in Bezug auf Verwendung und Aufkommen dargestellt. Es wurde deutlich, dass innerhalb der EU die Kunststoffe PET, HDPE, LDPE sowie PP im Verpackungsbereich am häufigsten eingesetzt werden.

Anschließend wurden die abfallwirtschaftlichen Länderanalysen durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Quellen wie z.B. Publikationen öffentlicher Ämter oder von privaten Stellen beauftragte Studien mit unterschiedlichen Referenzjahren herangezogen und es wurde versucht, die ermittelten Daten zu plausibilisieren. Teilweise kam es zwischen den Quellen zu Abweichungen, welche in den meisten Fällen aufgrund von unterschiedlichen Systemgrenzen oder Begriffsdefinitionen auftraten. Gesetzliche Maßnahmen wie Recyclingquoten oder Regelungen in Bezug auf eine erweiterte Herstellerverantwortung wurden in den meisten EU-Ländern bereits umgesetzt, unterscheiden sich jedoch in ihrer Höhe bzw. Umsetzung. Bei der Betrachtung der Sammelsysteme wurde deutlich, dass in den betrachteten Ländern verschiedenste Modelle mit unterschiedlichen getrennt bzw. gemischt gesammelten Abfallfraktionen vertreten sind. Die Verwertungsstrukturen reichen von praktisch nicht vorhanden (z.B. Ägypten) bis hin zu stark ausgeprägt, wie z.B. in Tschechien, mit Recyclingquoten von über 50 %.

Ergänzend wurden technologische und wirtschaftliche Aspekte behandelt. Dazu gehörte eine Analyse der gesamten Prozesskette zur Herstellung von Rezyklaten aus Kunststoffverpackungsabfällen, beginnend bei der Sammlung und endend beim Output von Recyclinganlagen. Die wesentlichen Verwertungsverfahren (werkstoffliche, rohstoffliche und energetische Verwertung) wurden dabei betrachtet und werkstoffliche Verwertungsprozesse im Detail beschrieben. Es stellte sich heraus, dass von Seiten der Hersteller die genauen Prozessabläufe von Sortieranlagen wesentlich transparenter angegeben werden, als solche von Anlagen für werkstoffliches Recycling. Für das Recycling von PET-Flaschen sowie Kunststofffolien und -hohlkörper konnten genaue Materialflussbilder der Prozessabläufe etablierter Hersteller bzw. Anlagenbetreiber erstellt werden, während die übrigen Recyclingprozesse mangels Verfügbarkeit von Daten in Anlehnung an Fachliteratur beschrieben wurden. Um die Wirtschaftlichkeit überprüfen zu können, wurden mögliche Gewinnspannen beim Recycling verschiedener Kunststoffarten berechnet. Da die tatsächlichen Gewinne von den Prozesskosten und diese wiederum von Abfallart und Grad der Verunreinigung abhängen, wurden diese nicht in die Betrachtung miteinbezogen. Die Ergebnisse dienen daher lediglich als Richtwert. Des Weiteren wurde ermittelt, welche Kunststoff- und Verpackungsarten besonders gut für Recyclingzwecke geeignet sind.

Werden Verpackungen aus Materialien gefertigt, für welche bereits etablierte Verwertungspfade vorhanden sind und Gestaltungsrichtlinien wie z.B. die Verwendung heller Kunststoffe sowie von Monomaterialien eingehalten, so eignen sich diese Verpackungen in der Regel gut für werkstoffliche Recyclingprozesse. Um wichtige Aggregathersteller der beschriebenen Sortier- und Recyclinganlagen zu ermitteln, wurden alle im Zuge der Recherchen vorkommenden Hersteller inklusive deren Produktportfolio dokumentiert und in Anhang V dargestellt. Einige führende Hersteller wurden darüber hinaus in Kapitel 4.1.2 genauer beschrieben. Übergreifend lässt sich sagen, dass die meisten Hersteller von Sortier- und Recyclinganlagen nach Stand der Technik mit großen Marktanteilen und im Besonderen für anspruchsvolle Anwendungen aus dem europäischen Raum stammen.

Es ist davon auszugehen, dass sich in den nächsten Jahren die Datenlage in vielen Ländern mit einem niedrigen Entwicklungsstand in der Abfallwirtschaft verbessern wird. In China treten beispielsweise mit Ende des Jahres 2020 Maßnahmen zur Abfallklassifikation in Kraft und für Ägypten wird derzeit in Zusammenarbeit mit der GIZ ein moderner Abfallwirtschaftsplan erstellt. Innerhalb der EU haben einige Länder mit verhältnismäßig niedrigen Recyclingquoten wie z.B. Frankreich angekündigt, die Sammelsysteme landesweit zu vereinheitlichen. Die Recherchen im Zuge dieser Arbeit haben gezeigt, dass sich die Qualität der Daten zu den jeweiligen Abfallströmen in Bezug auf Aufkommen und Verwertungsquoten bei fortschreitendem Entwicklungsstand der Entsorgungswirtschaft in der Regel erhöht.

## 7 Verzeichnisse

### 7.1 Literatur

- ATM - Abfallwirtschaft Tirol Mitte GmbH, 2019. Abfalltrennung im Haushalt, Schwaz. URL: [https://www.atm-online.at/uploads/2018\\_Abfalltrennung\\_deutsch\\_A4.pdf](https://www.atm-online.at/uploads/2018_Abfalltrennung_deutsch_A4.pdf). Zugegriffen: 09. August 2019
- ABTS, 2016. KUNSTSTOFF-WISSEN, 3.A. CARL HANSER Verlag GMBH, München
- ACP - Advisory Committee on Packaging, 2016. PRN System Guide, London. URL: <https://npwd.environment-agency.gov.uk/Public/GenericContent.aspx?CategoryId=595F40C2-76C4-49E3-8FC8-396CCDB77A9E>. Zugegriffen: 17. April 2019
- ARA - Altstoff Recycling Austria AG, 2018. Transparenzbericht 2018, Wien. URL: <https://www.ara.at/service/presse/publikationen/>. Zugegriffen: 02. April 2019
- ARA - Altstoff Recycling Austria AG; ÖWAV - Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 2014. Vergleichende Analyse der Entsorgung von Verpackungsabfällen aus haushaltsnahen Anfallstellen auf Basis der Verpackungsverordnungen in Deutschland und Österreich, Wien
- AMUT S.p.A., 2019. Recycling Lines for HDPE Bottles - LDPE Films, Novara. URL: [https://www.amutgroup.com/downloads/pages/HDPE\\_ita-eng.pdf](https://www.amutgroup.com/downloads/pages/HDPE_ita-eng.pdf). Zugegriffen: 16. August 2019
- BMLFUW - Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014. Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten (Verpackungsverordnung 2014) vom 22. Juli 2014, Wien
- Bogucka R; Brunner PH - Institute for Water Quality, Resource and Waste Management, 2007. Plastic flows and their management in Austria and Poland: Challenges and opportunities, Vienna
- Bonnet M, 2016. Kunststofftechnik. Grundlagen, Verarbeitung, Werkstoffauswahl und Fallbeispiele. Springer Vieweg, Wiesbaden
- BAFU - Bundesamt für Umwelt - Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2018. Ausdehnung der CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossile Kunststoffe, Ittigen. URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/recht/totalrevision-co2-gesetz/berichte-parlament.html>. Zugegriffen: 06. August 2019
- BMNT - Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus - Abteilung V/6, 2019d. Abfall Trenn-ABC, Wien

- BMNT - Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019c. Aktuelle und zukünftige Vorhaben des BMNT, Vortrag von DI Christian Holzer. Präsentiert auf der ÖWAV-Tagung in Eisenstadt, Mai 2019 -
- BMNT - Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus - Abteilung V/3, 2019a. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2019, Wien
- BMNT - Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019b. Email-Verkehr mit DI Wolfgang Holzer, Abteilung V/6 - Abfallvermeidung, -verwertung und -beurteilung
- BMNT - Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus - Sektion V, 2017. Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017, Wien. URL: <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html>. Zugegriffen: 10. März 2019
- BMNT - Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus - Abteilung V/3, 2018. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2018., Wien. URL: <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan.html>. Zugegriffen: 06. Februar 2019
- BMNT - Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019. Elektronisches Datenmanagement EDM - Marktanteile Veröffentlichung. URL: <https://secure.umweltbundesamt.at/eVerpackung/veroeffentlichung.xhtml>. Zugegriffen: März 2019
- BT - Deutscher Bundestag 2017. Gesetz zur Fortentwicklung der haushaltsnahen Getrennterfassung von wertstoffhaltigen Abfällen vom 5. Juli 2017, Bonn
- bvse - Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V., 2019. Sekundärrohstoff Marktbericht. März 2019, Bonn. URL: [https://www.bvse.de/images/pdf/Marktberichte/2019/2019-03\\_Sekund%C3%A4rrohstoff\\_Marktbericht\\_M%C3%A4rz.pdf](https://www.bvse.de/images/pdf/Marktberichte/2019/2019-03_Sekund%C3%A4rrohstoff_Marktbericht_M%C3%A4rz.pdf). Zugegriffen: 07. August 2019
- Campos HKT, 2013. Recycling in Brazil: Challenges and prospects, Brasília. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913002243>. Zugegriffen: 17. Juli 2019
- Christiani J, 2014. Stoffgleiche Nichtverpackungen in der Wertstofftonne - Konsequenzen für die Quotenberechnung, Einsammellogistik und Sortiertechnik. NABU Dialogforum Kreislaufwirtschaft, Berlin
- CITEO S.A., 2018. La France de l'économie circulaire - Le guide. Rapport Annuel 2018, Paris. URL: [https://bo.citeo.com/sites/default/files/2019-07/CITEO\\_RA2018\\_web.pdf](https://bo.citeo.com/sites/default/files/2019-07/CITEO_RA2018_web.pdf). Zugegriffen: 10. August 2019

- cewep - Confederation of European Waste-to-Energy Plants, 2017. Landfill Taxes and Bans, Etterbeek. URL: <http://www.cewep.eu/landfill-taxes-and-bans/>. Zugegriffen: 11. April 2019
- CNE - Conseil National de L'Emballage, 2014. Packaging & Circular Economy. A case study of the circular economy model, Paris. URL: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/packaging-and-circular-economy-final-report-en-september-2014.pdf>. Zugegriffen: 05. Mai 2019
- CONAI - Consorzio Nazionale Imballaggi, 2013. CONAI - Progrelt recupero Imballaggi Biodegradabili, Mailand. URL: [http://www.ecodallecitta.it/docs/news/EDC\\_dnws2978.pdf](http://www.ecodallecitta.it/docs/news/EDC_dnws2978.pdf). Zugegriffen: 24. Juli 2019
- CONAI - Consorzio Nazionale Imballaggi, 2017. Packaging recovery in Italy: THE CONAI SYSTEM, Rom. URL: [http://www.conai.org/wp-content/uploads/2014/09/The-CONAI-System\\_-2017.pdf](http://www.conai.org/wp-content/uploads/2014/09/The-CONAI-System_-2017.pdf). Zugegriffen: 09. April 2019
- COREPLA - Consorzio Nazionale per la Raccolta, il Riciclo e il Recupero degli Imballaggi in Plastica, 2013. Managing Post-Consumer Plastics Packaging: The Corepla Experience, Mailand. URL: <http://www.eprclub.eu/upload/public/27%20June/Luca%20Stramare%20-%20The%20COREPLA%20experience%20-%20Italy.pdf>. Zugegriffen: 09. April 2019
- Consultic - Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH, 2015. Analyse/Beschreibung der derzeitigen Situation der stofflichen und energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland, Alzenau. URL: <https://www.itad.de/information/studien/ITADConsulticKunststoffstudieApril2015.pdf>. Zugegriffen: 28. Mai 2019
- Conversio - Conversio Market & Strategy GmbH, 2017. Post-consumer Plastic Waste Management in European Countries 2016, Mainz
- CIWM - The Chartered Institution of Wastes Management, 2016. Packaging Waste Recovery - A European comparison, Northampton. URL: <https://www.ciwm-journal.co.uk/downloads/Packaging-Waste-Recovery-A-European-comparison.pdf>. Zugegriffen: 16. April 2019
- CP - CP Manufacturing Inc., 2019. CP Manufacturing. A Division of the CP Group. URL: <http://www.cpmfg.com/>. Zugegriffen: 22. August 2019
- CRI - Container Recycling Institute, 2008. Wasting and Recycling Trends: Conclusions from CRI's 2008 Beverage Market Data Analysis, Culver City. URL: <http://www.container-recycling.org/assets/pdfs/reports/2008-BMDA-conclusions.pdf>. Zugegriffen: 02. Mai 2019



- Dahlbo H, Poliakova V, Mylläri V, Sahimaa O, Anderson R, 2017. Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. URL:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17307791?via%3Dihub>.  
Zugegriffen: 25. April 2019
- DATAMARK LTDA, 2019. Packaging Market - 2016, São Paulo. URL:  
<https://www.datamark.com.br/en/general-data/>. Zugegriffen: 17. Juli 2019
- Doobe M, 2018. Kunststoffe erfolgreich kleben. Grundlagen, Klebstofftechnologien, Best-Practice-Beispiele. Springer Vieweg, Wiesbaden
- DSD - Duales System Holding GmbH & Co. KG, 2004. Sortierhandbuch, Köln. URL:  
[https://cleaner-production.de/fileadmin/assets/pdfs/\\_15\\_DSD-Sortierhandbuch\\_01.pdf](https://cleaner-production.de/fileadmin/assets/pdfs/_15_DSD-Sortierhandbuch_01.pdf).  
Zugegriffen: 22. Juli 2019
- DSD - Duales System Holding GmbH & Co. KG, 2019. Verpackungsdesign - Recyclbarkeit ist planbar! URL: <https://www.gruener-punkt.de/de/leistungen/design4recycling.html>
- DTTL - Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2017. Blueprint for plastics packaging waste: Quality sorting & recycling, New York City. URL:  
[https://www.plasticsrecyclers.eu/sites/default/files/2018-05/PRE\\_blueprint%20packaging%20waste\\_Final%20report%202017.pdf](https://www.plasticsrecyclers.eu/sites/default/files/2018-05/PRE_blueprint%20packaging%20waste_Final%20report%202017.pdf). Zugegriffen: 06. Juni 2019
- Ecoembes - Ecoembalajes Espana S.A., 2015. Integrated annual Report 2015, Madrid. URL:  
[https://www.ecoembes.com/sites/default/files/integrated\\_annual\\_report\\_2015.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/integrated_annual_report_2015.pdf).  
Zugegriffen: 03. Juni 2019
- Ecoembes - Ecoembalajes Espana S.A., 2016. Light Weight Packaging Sorting Plants, Madrid. URL: [https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos\\_estudios\\_idi/light-weight-packaging-sorting-plants.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/light-weight-packaging-sorting-plants.pdf). Zugegriffen: 31. Juli 2019
- EC - European Commission - DG ENV, 2015a. Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU, Brussels. URL:  
<http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/>. Zugegriffen: 02. April 2019
- EC - European Commission, 2015b. COM (2015) 614. Den Kreislauf schließen - Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft, Brüssel
- EC - European Commission, 2018a. COM (2018) 28. Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft, Brüssel. URL:  
<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/DE/COM-2018-28-F1-DE-MAIN-PART-1.PDF>. Zugegriffen: 08. Juni 2019

- EEA - European Environment Agency, 2013a. Municipal Waste Management in Spain, Kopenhagen. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste/spain-municipal-waste-management/view>. Zugegriffen: 12. April 2019
- EEA - European Environment Agency, 2013c. Municipal Waste Management in the United Kingdom, Kopenhagen. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste/united-kingdom-municipal-waste-management/view>. Zugegriffen: 16. April 2019
- EFSA - European Food Safety Authority, 2013. Scientific Opinion on the safety evaluation of the following processes based on Starlinger IV+ ® technology used to recycle post-consumer PET into food contact materials “BTB”, “PRT”, “Valplastic”, “Fellinger B” and “BariQ”, Parma. URL: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2012.2979>. Zugegriffen: 26. Juni 2019
- EFSA - European Food Safety Authority, 2014. Scientific Opinion on the safety assessment of the process “Petra Polimeri” used to recycle polypropylene trays and insert trays for use as food contact material, Parma. URL: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2014.3780>. Zugegriffen: 26. Juni 2019
- EFSA - European Food Safety Authority, 2019, Parma. URL: <https://www.efsa.europa.eu/de/publications>. Zugegriffen: 26. Juni 2019
- Energy Digital, 2014. TOP 10: U.S. Waste Management Companies. URL: <https://www.energydigital.com/top-10/top-10-us-waste-management-companies>. Zugegriffen: 17. Juli 2019
- ENF - ENF Recycling Ltd., 2019. World`s Largest Directory of Recycling Companies (ENF). URL: <https://www.enfreycling.com/>. Zugegriffen: 10. August 2019
- EREMA GmbH, 2019a. INTAREMA® TVEplus®. Filtrierung, Homogenisierung und Entgasung auf höchstem Niveau. URL: [www.erema.com/de/intarema\\_tveplus/](http://www.erema.com/de/intarema_tveplus/). Zugegriffen: 14. August 2019
- EREMA GmbH, 2019b. EREMA Plastic Recycling Systems. Vom Pionier zum Weltmarktführer. URL: [www.erema.com](http://www.erema.com). Zugegriffen: 22. August 2019
- EU - Europäische Union 1994. Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, geändert durch Richtlinie (EU) 2018/852 vom 30. Mai 2018, Brüssel
- EU - Europäische Union 1997. Entscheidung der Kommission vom 28. Januar 1997 zur Festlegung eines Kennzeichnungssystems für Verpackungsmaterialien gemäß der

Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Verpackungen und Verpackungsabfälle, Brüssel

EU - Europäische Union 1999. Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien, Brüssel

EU - Europäische Union 2006. Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14.06.2006 über die Verbringung von Abfällen, Brüssel

EU - Europäische Union 2008a. Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, Brüssel

EU - Europäische Union 2008b. Verordnung (EG) Nr. 282/2008 der Kommission vom 27. März 2008 über Materialien und Gegenstände aus recyceltem Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen, und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2023/2006, Brüssel

EU - Europäische Union 2014. Beschluss der Kommission 2014/955/EU vom 18. Dezember 2014 zur Änderung der Entscheidung 2000/532/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, Brüssel

EU - Europäische Union 2019. Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt, Brüssel

FCIO - Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs, 2019. Technische und ökologische Vorteile von Kunststoffen. URL:  
<https://kunststoffe.fcio.at/wissenswertes/technische-und-oekologische-vorteile-von-kunststoffen/>

Flottweg SE, 2019. Sorticanter®: der Recycling Dekanter von Flottweg. URL:  
<https://www.flottweg.com/de/impressum/>. Zugegriffen: 16. August 2019

GOV.UK - Department for Environment, Food & Rural Affairs, 2019. UK Statistics on Waste, London. URL:  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/784263/UK\\_Statistics\\_on\\_Waste\\_statistical\\_notice\\_March\\_2019\\_rev\\_FINAL.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/784263/UK_Statistics_on_Waste_statistical_notice_March_2019_rev_FINAL.pdf). Zugegriffen: 27. Juni 2019

GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2019. Projekt: Nationales Abfallwirtschaftsprogramm Ägypten, Bonn. URL:  
<https://www.giz.de/de/weltweit/22230.html>. Zugegriffen: 17. Juli 2019

- EU-Recycling, 2018. Neue Impulse für Frankreichs Recyclingwirtschaft. Das Fachmagazin für den europäischen Recyclingmarkt. Peter Buerstedde, Alling/Biburg. URL: <https://eu-recycling.com/Archive/19024/print/>. Zugegriffen: 02. April 2019
- Europäische Union, 2013. Handbuch zur Abfallstatistik. Handbuch zur Datenerhebung über Abfallaufkommen und -behandlung. Publications Office, Brüssel
- EUWID - Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH, 2019. Recycling und Entsorgung, Ausgabe 14.2019, Gernsbach
- EUBP - European Bioplastics, 2018b. Bioplastics: facts and figures, Berlin. URL: [https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP\\_Facts\\_and\\_figures.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf). Zugegriffen: 24. Juli 2019
- EUBP - European Bioplastics, 2018a. Fact Sheet: What are bioplastics? Material types, terminology and labels - an introduction, Berlin. URL: [https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EuBP\\_FS\\_What\\_are\\_bioplastics.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EuBP_FS_What_are_bioplastics.pdf). Zugegriffen: 24. Juli 2019
- EUBP - European Bioplastics, 2019. EUBP - The association representing the interests of the thriving bioplastics industry in Europe, Berlin. URL: <https://www.european-bioplastics.org/news/publications/#FactSheets>. Zugegriffen: 11. Juni 2019
- FICCI - Federation of Indian Chambers of Commerce and Industry, 2016. Plastic Packaging - The Sustainable Choice, New Delhi. URL: <http://ficci.in/spdocument/20690/plastic-packaging-report.pdf>. Zugegriffen: 02. Mai 2016
- Gerth J, Souren R, Bankhofer U, Geigenmüller A, 2014. Produktionswirtschaftliche Beschreibungs- und Optimierungsmodelle für die Wertstoffsartierung. Univ.-Bibliothek; Univ.-Verl. Ilmenau, Ilmenau
- Goldsberry C, 2018. France will introduce plastic packaging tax in 2019. URL: <https://www.plasticstoday.com/packaging/france-will-introduce-plastic-packaging-tax-2019/1049716459277>. Zugegriffen: 10. August 2019
- GOV.UK, 2018. Packaging waste: producer responsibilities, London. URL: <https://www.gov.uk/guidance/packaging-producer-responsibilities>. Zugegriffen: 17. April 2019
- Eurostat - Statistisches Amt der Europäischen Union, 2019. Datenbank abgerufen zwischen Mai und Juli 2019, Brüssel. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database>. Zugegriffen: Juli 2019
- H+K - Hunold + Knoop Kunststofftechnik GmbH, 2019. Wissenswertes zu Kunststoffen - wie viel Energie wird für die Herstellung verbraucht? URL: <http://webarchiv.hunold->

knoop.de/de/wissen/wissenswertes\_energieverbrauch.php. Zugegriffen: 06. September 2019

Herbold Meckesheim GmbH, 2019. Herbold Meckesheim - Recycling-Spezialist für die Kunststoff-Industrie. URL: <https://www.herbold.com/herbold-meckesheim-gmbh-firmenprofil/>. Zugegriffen: 22. August 2019

HM Treasury - Her Majesty's Treasury, 2019. Plastic packaging tax: consultation, London. URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/779345/181213\\_Plastic\\_packaging\\_tax\\_condoc\\_template\\_final\\_1.0.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/779345/181213_Plastic_packaging_tax_condoc_template_final_1.0.pdf). Zugegriffen: 17. April 2019

Herbold Meckesheim GmbH, 2015. HERBOLD Ballenauflöser BA 63-130-2. Infoblatt 43, Meckesheim. URL: [https://www.herbold.com/wp-content/uploads/pdf/information/43\\_information-de.pdf](https://www.herbold.com/wp-content/uploads/pdf/information/43_information-de.pdf). Zugegriffen: 23. Juli 2019

IUT - Ingenieurgesellschaft Innovative Umwelttechnik GmbH, 2019. Einsatz von Industrierobotern in der Abfallsortierung, Vortrag von Ing. Jürgen Deditz. Präsentiert auf der OWAV-Tagung in Eisenstadt, Mai 2019, Eisenstadt

Institut cyclos-HTP, 2019. Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit. Anforderungs- und Bewertungskatalog des Institutes cyclos-HTP zur EU-weiten Zertifizierung, Aachen. URL: [http://cyclos-htp.de/fileadmin/user\\_upload/2019\\_Katalog/Anforderungs-\\_und\\_Bewertungskatalog\\_Version\\_3.7\\_rev2.pdf](http://cyclos-htp.de/fileadmin/user_upload/2019_Katalog/Anforderungs-_und_Bewertungskatalog_Version_3.7_rev2.pdf). Zugegriffen: 29. April 2019

IfBB - Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe, 2017. Biowerkstoffe im Fokus: Recycling/Nachhaltige Verwertung, Hannover. URL: [https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/webinarreihe/20170216\\_IfBB-Webinar\\_Recycling\\_Biowerkstoffe.pdf](https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/webinarreihe/20170216_IfBB-Webinar_Recycling_Biowerkstoffe.pdf). Zugegriffen: 12. Juni 2019

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, 2017. Verwendung und Recycling von PET in Deutschland, Heidelberg. URL: [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/veranstaltungen/171025-nabu-01b\\_studie\\_verwendung-und-recycling-pet-deutschland.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/veranstaltungen/171025-nabu-01b_studie_verwendung-und-recycling-pet-deutschland.pdf). Zugegriffen: 22. August 2019

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale 2006. DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n 152, Roma

Kaza S, Yao L, Bhada-Tata P, Van Woerden F, 2018. What a Waste 2. 0. A Global Snapshot of Solid Waste Management To 2050. World Bank Publications, Washington, D. C

Kreinl G; Binner E, 2019. Wie Bio ist Kunststoff? Pro und Kontra von Biokunststoffen. Präsentiert auf der ÖWAV-Tagung in Eisenstadt, Mai 2019, Eisenstadt

- Lahl U, Zeschmar-Lahl B, Stubenvoll J, 1997. Restmüllmitverbrennung in Anlagen zur Zementerzeugung. Umweltbundesamt, Wien
- Lechner MD, Gehrke K, Nordmeier EH, 2003. Makromolekulare Chemie. Ein Lehrbuch für Chemiker, Physiker, Materialwissenschaftler und Verfahrenstechniker. Birkhäuser Basel, Basel, s.l.
- Martens H, Goldmann D, 2016. Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Martin Kranert, 2015. Einführung in die Kreislaufwirtschaft. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Magrama - Ministerio de Agricultura, Alimentacion y Medio Ambiente, 2015. PLAN ESTATAL MARCO DE GESTIÓN DE RESIDUOS (PEMAR), Madrid. URL: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaraprobado6noviembrecondae\\_tcm30-170428.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaraprobado6noviembrecondae_tcm30-170428.pdf). Zugegriffen: 12. April 2019
- Matthiessen Lagertechnik GmbH, 2019. Übergrößentrenner. URL: <http://www.bagsplitter.com/uebergroessentrenner/>. Zugegriffen: 29. Juli 2019
- MEDEWO GmbH, 2019. Materialkunde Kunststoff - das sollten Sie wissen. URL: <https://www.rausch-packaging.com/at/materialkunde-kunststoff-lebensmittelverpackungen>. Zugegriffen: 05. September 2019
- MK - Magistrat der Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee - Abteilung Entsorgung, 2019. Klagenfurt trennt, Klagenfurt. URL: [https://www.klagenfurt.at/\\_Resources/Persistent/5ff05d83ce1546770828856cf3b91c85eda7305f/ES%20-%20Klagenfurt%20trennt.pdf](https://www.klagenfurt.at/_Resources/Persistent/5ff05d83ce1546770828856cf3b91c85eda7305f/ES%20-%20Klagenfurt%20trennt.pdf). Zugegriffen: 09. August 2019
- MEDDE - Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy, 2015. Energy Transition for Green Growth Act - User guide for the act and its attendant actions, Paris. URL: [https://agence-energie.com/sites/agence-energie.com/files/pdf/energy\\_transition\\_green\\_growth.pdf](https://agence-energie.com/sites/agence-energie.com/files/pdf/energy_transition_green_growth.pdf). Zugegriffen: 02. April 2019
- MoE - Ministry of the Environment, 2016. National Waste Management Plan 2022, Warsaw. URL: [https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user\\_upload/bip/strategie\\_plany\\_programy/DGO/Kpgo\\_2022\\_EN.doc](https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/bip/strategie_plany_programy/DGO/Kpgo_2022_EN.doc). Zugegriffen: 13. April 2019
- MS - Ministerstwo środowiska 2013. USTAWA z dnia 13 czerwca 2013 r. o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi, Warszawa
- NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V., 2015. Einsparpotenziale beim Kunststoffeinsatz durch Industrie, Handel und Haushalte in Deutschland. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal. URL:

[https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/150414\\_nabu\\_plastikvermeidungsstudie.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/150414_nabu_plastikvermeidungsstudie.pdf). Zugegriffen: 04. März 2019

Nihot Recycling Technology B.V., 2019. Windshifters. URL:  
<https://www.nihot.co.uk/products/windshifters/>. Zugegriffen: 29. Juli 2019

NMP - New Media Publisher GmbH, 2019. plasticker - the home of plastics. URL:  
<https://plasticker.de>. Zugegriffen: 06. August 2019

PRT - PET Recycling Team GmbH, 2019b. Hervorragende CO2-Bilanz für RPET vom PET Recycling Team. URL: <http://petrecyclingteam.com/de/hervorragende-co2-bilanz>.  
Zugegriffen: 06. August 2019

Qorpak Inc., 2019. US Packaging Regulations. URL:  
<http://www.qorpak.com/pages/packaging-regulations-united-states>. Zugegriffen: 12. August 2019

Sorema S.r.l., 2019. Sorema - Plastics Recycling Systems. URL: [http://sorema.it/en\\_US/](http://sorema.it/en_US/).  
Zugegriffen: 22. August 2019

Spaleck GmbH & Co. KG, 2019. Spaleck. Forward Thinking since 1869. URL:  
[www.spaleck.de](http://www.spaleck.de). Zugegriffen: 22. August 2019

Stadler - Stadler Anlagenbau GmbH, 2019. Stadler. Technik von ihrer Besten Seite. URL:  
[www.w-stadler.de](http://www.w-stadler.de). Zugegriffen: 22. August 2019

Starlinger GmbH, 2019. deCON. Decontamination dryer for production of food grade flakes or skeleton waste directly in front of a production extruder. URL:  
<https://www.viscotec.at/our-rpet-product-line/decon-decontamination-dryer-for-foodgrade-flakes/>. Zugegriffen: 14. August 2019

Sutco - Sutco Recyclingtechnik GmbH, 2019a. Sutco Recyclingtechnik. Recycling für effektive Verwertung. URL: [www.sutco.de](http://www.sutco.de)

UBA-DE - Deutsches Umweltbundesamt, 2015. Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft. Darstellung der Potenziale zur Verringerung der Treibhausgasemission aus dem Abfallsektor in den OECD Staaten und ausgewählten Schwellenländern; Nutzung der Erkenntnisse im Abfaltechniktransfer, Dessau-Roßlau. URL:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_46\\_2015\\_klimaschutzpotenziale\\_der\\_abfallwirtschaft\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_46_2015_klimaschutzpotenziale_der_abfallwirtschaft_0.pdf). Zugegriffen: 02. Mai 2019

UBA-DE - Deutsches Umweltbundesamt, 2016. Entwicklung von Instrumenten und Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen - mit Schwerpunkt Sekundärkunststoffe, Dessau-Roßlau. URL:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_65\\_2016\\_steigerung\\_einsatz\\_sekundaerrohstoffe.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_65_2016_steigerung_einsatz_sekundaerrohstoffe.pdf). Zugegriffen: 06. August 2019

- UBA-DE - Deutsches Umweltbundesamt, 2018. Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2016. GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH, Mainz. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>. Zugegriffen: 02. April 2019
- UBA-AT - Österreichisches Umweltbundesamt, 2017. Kunststoffabfälle in Österreich - Aufkommen und Behandlung. Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017, Wien. URL: [http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/presse/lastnews/news2018/news\\_180514/](http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/presse/lastnews/news2018/news_180514/). Zugegriffen: 02. April 2019
- Oswald Hackl e.U., 2019. Anwendung von Sortierrobotern in der Praxis am Beispiel der Sortieranlage der Fa. Hackl. Präsentiert auf der ÖWAV-Tagung in Eisenstadt, Mai 2019, Eisenstadt
- Perchard D, Bevington G, Conran P, 2016. A Discussion Of The UK PRN/ERN System For Packaging Waste And Possible Alternatives, Hertfordshire
- PRT - PET Recycling Team GmbH, 2019a. Telefonat sowie Email-Verkehr mit Christian Hude-Burian, Head of Supply Chain & Sales, Mai 2019
- PlasticsEurope, 2009. Plastics convert iron ore to steel. Feedstock recycling in blast furnaces, Brussels. URL: [https://www.plasticseurope.org/application/files/7315/1703/6618/2009SeptPlastics\\_convert\\_iron\\_ore\\_to\\_steel.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/7315/1703/6618/2009SeptPlastics_convert_iron_ore_to_steel.pdf). Zugegriffen: 11. September 2019
- PlasticsEurope, 2018. Plastics - the Facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data, Brussels. URL: [https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics\\_the\\_facts\\_2018\\_AF\\_web.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf). Zugegriffen: 12. Juni 2019
- PlasticsEurope, 2019. Email-Verkehr mit Claus-Jürgen Simon: Leiter Geschäftsbereich Markt und Wirtschaft, PlasticsEurope AISBL
- Ragaert K, Delva K, Van Geem K - Faculty of Engineering & Architecture, 2017. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste, Zwijnaarde. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17305354>. Zugegriffen: 01. August 2019
- RECOUP - RECYcling of Used Plastics Limited, 2018. UK Household Plastics Collection Survey, Peterborough. URL: <http://www.recoup.org/p/324/uk-household-plastics-collection-survey-2018>. Zugegriffen: 17. April 2019
- REDWAVE, 2019b. Fallstudie: Grundon Waste Management Ltd. - England. Abfallsortieranlage für gemischte Abfälle, Eggersdorf bei Graz. URL:



[https://www.redwave.com/fileadmin/REDWAVE\\_EU/Download/Case\\_studies\\_DE/Grundon-UK\\_Mischabfall-Sortierung.pdf](https://www.redwave.com/fileadmin/REDWAVE_EU/Download/Case_studies_DE/Grundon-UK_Mischabfall-Sortierung.pdf). Zugegriffen: 25. August 2019

REDWAVE, 2019a. Fallstudie: Saubermacher Dienstleistungs AG - Österreich. Kunststoffsortieranlage im Leichtverpackungsbereich, Eggersdorf bei Graz. URL: [http://www.redwave.com/fileadmin/REDWAVE\\_EU/Download/Case\\_studies\\_DE/Saubermacher-Oesterreich\\_Kunststoffsortierung.pdf](http://www.redwave.com/fileadmin/REDWAVE_EU/Download/Case_studies_DE/Saubermacher-Oesterreich_Kunststoffsortierung.pdf). Zugegriffen: 31. Juli 2019

RVT - Regionalverband Tennengau, 2019. Abfalltrennung im Tennengau, Hallein. URL: [http://www.tennengau.at/Abfallberatung/Abfall\\_richtig\\_trennen](http://www.tennengau.at/Abfallberatung/Abfall_richtig_trennen). Zugegriffen: 09. August 2019

RFN - Resource Futures and Nextek, 2018. Resourcing the Future Conference 2018. Eliminating avoidable plastic waste by 2042: a use-based approach to decision and policy making, Bristol. URL: <https://ciwm-journal.co.uk/wordpress/wp-content/uploads/2018/06/Eliminating-avoidable-plastic-waste-by-2042-a-use-based-approach-to-decision-and-policy-making.pdf>. Zugegriffen: 23. Mai 2019

SDAG - Saubermacher Dienstleistungs AG, 2019a. Email-Verkehr sowie persönliches Gespräch mit Reinhard Fasching, Betriebsleiter LVP-Sortieranlage Graz Puchstraße, Mai/Juni 2019, Graz

SDAG - Saubermacher Dienstleistungs AG, 2019b. Persönliches Gespräch mit Alfred Ledersteger, Stoffflussmanager für Kunststoffe SDAG, August 2019, Graz

Schröder B, 2014. Kunststoffe für Ingenieure. Ein Überblick. Springer Vieweg, Wiesbaden

Sesotec GmbH, 2019. FLAKE PURIFIER+. Multi-Sensorsortiersysteme für die Kunststoffrecycling-Industrie, Schönberg. URL: [https://www.sesotec.com/sites/593fc2aac25e5b0640a20ff8/content\\_entry59e75c78ffe9ecdb05f0bdf9/5a97c4c4ffe9ec732a731485/files/flake-purifier-plus-pr-de.pdf?1562679476](https://www.sesotec.com/sites/593fc2aac25e5b0640a20ff8/content_entry59e75c78ffe9ecdb05f0bdf9/5a97c4c4ffe9ec732a731485/files/flake-purifier-plus-pr-de.pdf?1562679476). Zugegriffen: 16. August 2019

Stadt Salzburg - Abfall Service, 2019. Wie trenne ich meine Abfälle richtig?, Salzburg. URL: [https://www.stadt-salzburg.at/pdf/muell\\_\\_wie\\_trenne\\_ich\\_meine\\_abfaelle\\_richtig\\_\\_merk.pdf](https://www.stadt-salzburg.at/pdf/muell__wie_trenne_ich_meine_abfaelle_richtig__merk.pdf). Zugegriffen: 09. August 2019

Stadt Wien - MA 48, 2019. Gemeinsam für weniger Mist, Wien. URL: <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/service/publikationen/pdf/flugblatt-getrenntesammlung-de.pdf>. Zugegriffen: 09. August 2019

Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister, 2019. Vorläufig zuzuordnende Marktanteile der Systeme für das erste Quartal 2019, Osnabrück. URL: [https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/files/Marktanteile/Marktanteile\\_Vorlaeufig](https://www.verpackungsregister.org/fileadmin/files/Marktanteile/Marktanteile_Vorlaeufig)

\_zuzuordnende\_Marktanteile\_der\_Systeme\_fuer\_das\_erste\_Quartal\_2019.pdf.

Zugegriffen: 11. Juli 2019

Sutco - Sutco Recyclingtechnik GmbH, 2019b. Sutco® Sortier- und Aufbereitungsanlagen. Aufbereitungsanlagen für trockene Wertstoffe (MRF), Bergisch Gladbach. URL: [https://www.sutco.de/fileadmin/media/sutco/pdf/anlagentechnik/sortier\\_und\\_aufbereitungsanlagen/de/sortier\\_und\\_aufbereitungsanlagen\\_aufbereitung\\_trockene\\_wertstoffe\\_de\\_dl.pdf](https://www.sutco.de/fileadmin/media/sutco/pdf/anlagentechnik/sortier_und_aufbereitungsanlagen/de/sortier_und_aufbereitungsanlagen_aufbereitung_trockene_wertstoffe_de_dl.pdf). Zugegriffen: 25. August 2019

TU Wien - Technische Universität Wien - Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, 2015. Benchmarking für die österreichische Abfallwirtschaft, Wien

teri - The Energy and Resources Institute, 2016. Plastic Waste Management in India: Challenges and Opportunities, New Delhi. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325780999\\_TERI\\_Analysis\\_on\\_Challenges\\_and\\_opportunities\\_-\\_Plastic\\_Waste\\_Management\\_in\\_India](https://www.researchgate.net/publication/325780999_TERI_Analysis_on_Challenges_and_opportunities_-_Plastic_Waste_Management_in_India). Zugegriffen: 02. Mai 2019

The Environment Agency, 2019. 2019 Packaging Compliance Scheme Public Register, Rotherham. URL: <https://npwd.environment-agency.gov.uk/PublicRegisterSchemes.aspx?ReturnUrl=%2fPackagingPublicRegisterLinks.aspx%3fReturnUrl%3d%252fdefault.aspx>. Zugegriffen: 11. Juli 2019

Thomé-Kozmiensky KJ, Thiel S, 2012. Waste management. TK-Verl. Thomé-Kozmiensky, Neuruppin

Tomra - Tomra Systems ASA, 2017. Annual Report 2017. Solutions for Change, Asker

USEPA - United States Environmental Protection Agency, 2018b. Advancing Sustainable Materials Management: 2015 Fact Sheet, Washington DC. URL: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/2015\\_smm\\_msw\\_factsheet\\_07242018\\_fnl\\_508\\_002.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/2015_smm_msw_factsheet_07242018_fnl_508_002.pdf). Zugegriffen: 01. Mai 2019

USEPA - United States Environmental Protection Agency, 2018a. Advancing Sustainable Materials Management: 2015 Tables and Figures, Washington DC. URL: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/smm\\_2015\\_tables\\_and\\_figures\\_07252018\\_fnl\\_508\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/smm_2015_tables_and_figures_07252018_fnl_508_0.pdf). Zugegriffen: 01. Mai 2019

USEPA - United States Environmental Protection Agency, 2011. Municipal Solid Waste in The United States: 2011 Facts and Figures, Washington DC. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100GMT6.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2011+Thru+2015&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data>

%5C11thru15%5CTxt%5C00000007%5CP100GMT6.txt&User=ANONYMOUS&Passwo  
rd=anonymous&SortMethod=h%7C-  
&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i4  
25&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDes  
c=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL.  
Zugegriffen: 02. Mai 2019

uve - uve Gmbh für Managementberatung, 2018c. Länderprofil zur Kreislauf- und  
Wasserwirtschaft in Brasilien, Berlin. URL: [https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/02\\_projekte/laenderprofile/Laenderprofile\\_17\\_18/Laenderprofil\\_Brasilien\\_2017-18.pdf](https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/02_projekte/laenderprofile/Laenderprofile_17_18/Laenderprofil_Brasilien_2017-18.pdf). Zugegriffen: 06. Mai 2019

uve - uve Gmbh für Managementberatung, 2018a. Länderprofil zur Kreislauf- und  
Wasserwirtschaft in China, Berlin. URL: [https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/02\\_projekte/laenderprofile/Laenderprofile\\_17\\_18/Laenderprofil\\_China\\_2017-18.pdf](https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/02_projekte/laenderprofile/Laenderprofile_17_18/Laenderprofil_China_2017-18.pdf). Zugegriffen: 03. Mai 2019

uve - uve Gmbh für Managementberatung, 2018b. Länderprofil zur Kreislauf- und  
Wasserwirtschaft in Indien, Berlin. URL: [https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/02\\_projekte/laenderprofile/Laenderprofile\\_17\\_18/Laenderprofil\\_Indien\\_2017-18.pdf](https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/02_projekte/laenderprofile/Laenderprofile_17_18/Laenderprofil_Indien_2017-18.pdf). Zugegriffen: 02. Mai 2019

Van Eygen E, 2018. Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen in Österreich: Analyse des Ist-  
Zustandes und Ermittlung von Optimierungspotenzialen aus ökologischer Sicht, Wien

Van Eygen E, Laner D, Fellner J, 2017. Circular economy of plastic packaging: Current  
practice and perspectives in Austria, Wien. URL:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17308802>. Zugegriffen: 25.  
Juli 2019

UN - Vereinte Nationen, 2015. Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am  
25. September 2015. Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige  
Entwicklung, New York City. URL: <https://www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>. Zugegriffen: 08. August 2019

Vecoplan AG, 2019. Company Details. URL: <https://vecoplan.com/company/>. Zugegriffen:  
22. August 2019

WM&R - Waste Management & Research, 2017. Municipal solid waste in Brazil: A review,  
Thousand Oaks. URL:  
<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0734242X17735375>. Zugegriffen: 06. Mai  
2019

WM - Waste Management Inc., 2018. 2018 Sustainability Report, Houston. URL:  
<https://sustainability.wm.com/downloads/report.php>. Zugegriffen: 17. Juli 2019

- Watkins E, Gionfra S, Schweitzer J-P, Pantzar M, Janssens C, ten Brink P, 2017. EPR in the EU Plastics Strategy and the Circular Economy: A focus on plastic packaging, Brussels. URL: <https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/95369718-a733-473b-aa6b-153c1341f581/EPR%20and%20plastics%20report%20IEEP%209%20Nov%202017%20final.pdf?v=63677462324>. Zugegriffen: 11. Juli 2019
- WRAP, 2014b. Optimising the use of machine readable inks for food packaging sorting, Banbury. URL: [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Optimising\\_the\\_use\\_of\\_machine\\_readable\\_inks\\_for\\_food\\_packaging\\_sorting.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Optimising_the_use_of_machine_readable_inks_for_food_packaging_sorting.pdf). Zugegriffen: 23. Mai 2019
- WRAP; Valpak, 2014a. Plastic Packaging Market Study (Plastic Flow) 2014, Banbury. URL: <http://www.wrap.org.uk/content/plastic-packaging-market-study-plastic-flow-2014-0>. Zugegriffen: 26. April 2019
- ZERMA - ZERMA Machinery & Recycling Technology Co., Ltd., 2019. ZERMA. The Home of Size Reduction. URL: [https://zerma.com/english/company/company.html#id\\_company](https://zerma.com/english/company/company.html#id_company). Zugegriffen: 22. August 2019
- Zhu D, 2007. Improving municipal solid waste management in India. A sourcebook for policymakers and practitioners. World Bank, Washington, D.C

## 7.2 Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
abh.	Abhängig
ABS	Acrylnitrilbutadienstyrol
Ademe	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ANCI	National Association of Italian Municipalities
ASA	Acrylnitril-Styrol-Acrylat
ASZ	Altstoffsammelzentren
AT	Österreich
AVA	Abfallverbrennungsanlage
BE	Belgien
BG	Bulgarien
BIP	Bruttoinlandsprodukt
bvse	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung
BMNT	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
cm <sup>3</sup>	Kubikzentimeter
CONAI	Consorzio Nazionale Imballaggi
CO.N.I.P.	Consorzio Nazionale Imballaggi in Plastica
COREPLA	Consorzio Nazionale per la Raccolta, il Riciclo e il Recupero degli Imballaggi in Plastica
CRDC	China Recycling Development Co. Ltd

CY	Zypern
CZ	Tschechien
DE	Deutschland
DK	Dänemark
DSD	Duales System Deutschland
EE	Estland
etc.	et cetera
EBS	Ersatzbrennstoffe
Ecoembes	Ecoembalajes Espana, S.A.
EDM	Elektronisches Datenmanagement
EFSA	European Food Safety Authority
EL	Griechenland
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
EPP	expandiertes Polypropylen
EPS	expandiertes Polystyrol
ES	Spanien
EU	Europäische Union
Eurostat	Das statistische Amt der Europäischen Union
EU+2	EU, die Schweiz und Norwegen
ERG	Energierückgewinnung
EVA	Ethylenvinylacetat
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
Fe	Eisen
FI	Finnland
FR	Frankreich
g	Gramm
GB	Großbritannien
ggf.	gegebenenfalls
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GVK	Getränkeverbundkarton
h	Stunde
HDPE	high-density polyethylene
HR	Kroatien
HU	Ungarn
IEEP	Institut für Europäische Umweltpolitik
IT	Italien
IE	Irland
Kcal/kg	Kilokalorien pro Kilogramm
kg	Kilogramm
kt	Kilotonnen
KS	Kunststoff
l	Liter

LCP	Flüssigkristalline Polymere
LDPE	low-density polyethylene
LLDPE	linear low-density polyethylene
LU	Luxemburg
LV	Lettland
LVP	Leichtverpackungen
LT	Litauen
MBA	Mechanisch-Biologische Aufbereitungsanlage
MDPE	medium-density polyethylene
Mio.	Millionen
MKS	Mischkunststoffe
mm	Millimeter
MoEFCC	Ministry of Environment, Forest and Climate Change
Mrd.	Milliarden
MS	Mitgliedstaaten
MT	Malta
MJ/kg	Megajoule pro Kilogramm
NE	Nichteisen
NIR	Nahinfrarotspektroskopie
NL	Niederlande
NVP	Nichtverpackungen
OPP	Oriented Polypropylene
PA	Polyamid
PBAT	Polybutyrat-Adipat-Terephthalat
PBS	Polybutylensuccinat
PBT	Polybutylenterephthalat
PC	Polycarbonate
PCL	Polycaprolacton
PE	Polyethylen
PEI	Polyetherimide
PEEK	Polyetheretherketon
PES	Polyethersulfon
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PI	Polyimide
PLA	Polylactide
PL	Polen
PO	Polyolefine
PMD	plastic flessen en flacons, metalen verpakkingen en drankkartons
PMMA	Polymethylmethacrylat
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen

PPE	Polyphenylenether
PPK	Papier, Pappe und Karton
PPS	Polyphenylensulfid
PRN	Packaging Waste Recovery Note
PRT	PET Recycling Team
PSU	Polysulfon
PT	Portugal
PTT	Polytrimethylenterephthalat
PTFE	Polytetrafluorethylen
PU/PUR	Polyurethane
PVC	Polyvinylchlorid
PVDF	Polyvinidendifluorid
RO	Rumänien
rPET	PET Regranulat
SAN	Styrol-Acrylnitril
SE	Schweden
SEBS	Styrol-Ethylen-Butylen-Styrol
SI	Slowenien
SK	Slowakei
SSP	Solid State Polycondensation
SU	Siebunterlauf
SÜ	Siebüberlauf
TOC	Total Organic Carbon
TPE	Thermoplastische Elastomere
TPU	Thermoplastisches Polyurethan
t	Tonnen
u.a.	unter anderem
USEPA	United States Environmental Protection Agency
v.a.	vor allem
VP	Verpackungen
WPC	Wood Plastic Composite
WRAP	The Waste and Resources Action Programme
XPS	extrudiertes Polystyrol
z.B.	zum Beispiel
z.Z.	zur Zeit
2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
€	Euro
¢	Cent (US-Dollar)

### 7.3 Tabellen

Tabelle 1: Verpackungskunststoffe mit zugehörigen Abkürzungen und Recyclingcodes (EU 1997) .....	9
Tabelle 2: Berechnung der Kunststoffverpackungsabfälle für 2016 in Deutschland in Anlehnung an UBA-DE (2018).....	17
Tabelle 3: Zukünftige Recyclingquoten für Verpackungsmaterialien gemäß Änderungsrichtlinie 2018/852 zur Änderung der EU-Verpackungsrichtlinie (EU 1994). .	28
Tabelle 4: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in der EU+2 für das Jahr 2016 (Conversio 2017) .....	31
Tabelle 5: Auf EU-Ebene extrapolierte Sammelquoten für die wichtigsten Kunststofftypen und Verpackungsarten nach Entstehungsort im Jahr 2014 (DTTL 2017).....	33
Tabelle 6: Übersicht getrennte/gemischte Sammlung im Holsystem in der EU in Anlehnung an EC (2015a). .....	34
Tabelle 7: Übersicht getrennte/gemischte Sammlung im Bringsystem in Anlehnung an EC (2015a). .....	35
Tabelle 8: Aufkommen und Behandlungsquoten in der EU+2 im Jahr 2016 nach Entstehungsort (Conversio 2017). .....	35
Tabelle 9: Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle in der EU nach Entstehungsort, Verpackungsart und Kunststofftyp im Jahr 2014 (DTTL 2017).....	39
Tabelle 10: Mindestquoten für Vorbereitung zur Wiederverwendung oder Recycling (BT 2017). .....	41
Tabelle 11: Gerundete Marktanteile der Dualen Systeme in Deutschland im ersten Quartal 2019 (Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister 2019).....	42
Tabelle 12: Verwertungsquoten von Kunststoffverpackungen in Deutschland für das Jahr 2016 (UBA-DE 2018).....	43
Tabelle 13: Sammelsysteme in Deutschland in Anlehnung an EC (2015a).....	44
Tabelle 14: Typen und Anzahl von Abfallverbrennungsanlagen in Deutschland mit Stand 2015 (Consultic 2015).....	45
Tabelle 15: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in Frankreich für das Jahr 2016 (Conversio 2017). .....	48
Tabelle 16: Sammelsysteme in Frankreich in Anlehnung an EC (2015a).....	49
Tabelle 17: Ziele der Verwaltungsgebiete von Großbritannien (CIWM 2016).....	50
Tabelle 18: Recyclingziele für Verpflichtete des PRN-Systems für 2019 und 2020 (GOV.UK 2018). .....	51
Tabelle 19: Anteile an Verantwortung der einzelnen Verantwortlichen (ACP 2016).....	51



Tabelle 20: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in Großbritannien für das Jahr 2016 (Conversio 2017). .....	53
Tabelle 21: Sammelsysteme in Großbritannien in Anlehnung an EC (2015a).....	54
Tabelle 22: Abfallaufkommen nach Produktart und Entstehungsort im Jahr 2013 (WRAP und Valpak 2014a).....	55
Tabelle 23: Zusammensetzung der Kunststoffverpackungsabfälle in Haushalten nach Verpackungsart und Kunststofftypen für 2014 (RECOUP 2018).....	55
Tabelle 24: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in Italien für das Jahr 2016 (Conversio 2017). .....	58
Tabelle 25: Tarife für Kompensationszahlungen nach Verpackungsmaterial im Jahr 2016 (CONAI 2017). .....	58
Tabelle 26: Sammelsysteme in Italien in Anlehnung an EC (2015a).....	59
Tabelle 27: Recyclingziele von Spanien bis 2020 (Magrama 2015). .....	60
Tabelle 28: Verwertungsquoten Kunststoffverpackungen in Spanien (Conversio 2017). .....	61
Tabelle 29: Sammelsysteme in Spanien in Anlehnung an EC (2015a). .....	62
Tabelle 30: Aktuelle Recyclingvorgaben in Polen (MS 2013).....	65
Tabelle 31: Verwertungsquoten von Kunststoffverpackungen in Spanien für das Jahr 2016 (Conversio 2017). .....	67
Tabelle 32: Sammelsysteme in Polen in Anlehnung an EC (2015a). .....	68
Tabelle 33: Anzahl, Art und Kapazität der Abfallsortieranlagen in den polnischen Woiwodschaften mit Stand 2014 (MoE 2016). .....	69
Tabelle 34: Sammel- und Recyclingvorgaben für verschiedene Verpackungsmaterialien in Österreich (BMLFUW 2014).....	71
Tabelle 35: Verwertungsquoten von Kunststoffverpackungen in Österreich für das Jahr 2016 (Conversio 2017). .....	73
Tabelle 36: Umsetzung der Sammlung von Leicht- und Metallverpackungen in unterschiedlichen Regionen von Österreich.....	74
Tabelle 37: Übersicht primäre Sammelsysteme in Österreich in Anlehnung an EC (2015a). ..	74
Tabelle 38: Sammelquoten für Kunststoffverpackungen in Österreich im Jahr 2013 (Van Eygen et al. 2017).....	75
Tabelle 39: Abfallarten in Sortier- und Aufbereitungsanlagen (BMNT 2017). .....	75
Tabelle 40: Rückschluss auf Kunststoffverpackungsabfallmenge für China im Jahr 2015 mit Daten des Abfallaufkommens in der EU (Eurostat 2019) sowie in Indien (UBA-DE 2015). .....	82

Tabelle 41: Aufkommen und Behandlungsquoten von Kunststoffverpackungen nach Produktkategorie und Kunststofftyp im Jahr 2015 (USEPA 2018a).....	86
Tabelle 42: Verschiedene Bauarten von Sackaufreißern inklusive Durchsatzleistung in Tonnen pro Stunde (t/h).....	101
Tabelle 43: Verschiedene Funktionsweisen von Folienabscheidern inklusive Hersteller und Durchsatzleistung. ....	102
Tabelle 44: Häufigste Anwendungsfälle für Siebter (DSD 2004). ....	103
Tabelle 45: Unterschiedliche Windsiebterbauweisen von verschiedenen Herstellern inklusive Anwendungsgebiet. ....	104
Tabelle 46: Detektionsverfahren für sensorgestützte Sortierer (Martens und Goldmann 2016; Martin Kranert 2015). ....	108
Tabelle 47: Aggregathersteller der LVP-Sortieranlage Graz Puchstraße (SDAG 2019a). ...	110
Tabelle 48: Bauarten von Ballenauflösern verschiedener Hersteller. ....	112
Tabelle 49: Dichtebereiche einiger Kunststoffe nach Martens und Goldmann 2016. ....	115
Tabelle 50: Aggregathersteller der PET-Recyclinganlage Wöllersdorf (PRT 2019a).....	118
Tabelle 51: Auflistung wichtiger Anlagenhersteller im Sortier- und Recyclingbereich von Kunststoffverpackungen. ....	121
Tabelle 52: Preisspannen für verschiedene Primär- und Sekundärmaterialien von Februar 2018 bis März 2019 nach Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung (bvse 2019). ....	122
Tabelle 53: Daten zur PET-Recyclinganlage Wöllersdorf sowie getroffene Annahmen mit zugehörigen Quellen.....	124
Tabelle 54: Heizwerte für verschiedene Kunststoffe und Primärbrennstoffe in MJ/kg (Martin Kranert 2015, S. 268).....	128
Tabelle 55: Die Anzahl an Sammelbehältern im Holsystem der Haushaltssammlung der EU-Länder nach EC 2015a. ....	II
Tabelle 56: Liste wichtiger Aggregathersteller für Sortier- und Recyclinganlagen. ....	XII

## 7.4 Abbildungen

Abbildung 1: Kunststoffbedarf nach Sektoren der EU, Norwegen und der Schweiz im Jahr 2018 nach PlasticsEurope 2019. ....	6
Abbildung 2: Pyramide der verschiedenen Thermoplaste mit Beispielen für amorphe, elastische und teilkristalline Standardkunststoffe, technische Kunststoffe und Hochleistungskunststoffe in Anlehnung an Doobe (2018).....	7

Abbildung 3: Kunststoffanteile am Herstellerbedarf 2017 in der EU, Norwegen und der Schweiz nach unterschiedlichen Kunststofftypen und Sektoren in Anlehnung an PlasticsEurope (2019).....	8
Abbildung 4: Einteilung von Biokunststoffen und konventionellen Kunststoffen in Anlehnung an EUBP (2018a).....	12
Abbildung 5: Anteile verschiedener Regionen (A) und Sektoren (B) an der gesamten Produktionskapazität von Biokunststoffen in Anlehnung an EUBP (2019). ....	13
Abbildung 6: Definition der Abfallarten (EU 2013).....	16
Abbildung 7: Überblick über die in dieser Arbeit untersuchten Länder. ....	20
Abbildung 8: Gegenüberstellung verschiedener Studien über Aufkommen und Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich.....	22
Abbildung 9: Eigene Darstellung der fünfstufigen Abfallhierarchie (EU 2008a). ....	24
Abbildung 10: Aufteilung der Post-Consumer-Kunststoffabfälle für das Jahr 2016 in der EU+2 in Anlehnung an Conversio (2017).....	30
Abbildung 11: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in der EU nach Eurostat 2019.....	31
Abbildung 12: Behandlungsquoten für Kunststoffverpackungsabfälle im Jahr 2016 in der EU+2 in Anlehnung an Conversio (2017).....	32
Abbildung 13: Anteile der bevölkerungsreichsten Länder der EU an der Gesamtmenge der Kunststoffverpackungsabfälle im Jahr 2016 in Anlehnung an Conversio (2017). ....	32
Abbildung 14: Von DTTL 2017 für das Jahr 2014 ermittelte Stoffströme im Kunststoffverpackungsbereich inklusive exportierter Menge in kt (DTTL 2017). ....	36
Abbildung 15: Entwicklung der jährlich exportierten/importierten Menge an Kunststoffabfällen der EU (A) sowie Export- und Importmengen einiger EU-Länder im Jahr 2018 (B) (Eurostat 2019). ....	37
Abbildung 16: Empfängerländer sowie Mengen der EU-Kunststoffabfall-Exporte zwischen Jänner 2015 und April 2018 in Tonnen (Eurostat 2019).....	38
Abbildung 17: Vergleich der Anteile diverser Verpackungskunststoffe in verschiedenen EU-Ländern.....	39
Abbildung 18: Kunststoffanteile des Verpackungsektors am Herstellerbedarf 2018 in der EU+2 (PlasticsEurope 2019).....	40
Abbildung 19: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Deutschland (UBA-DE 2018). ....	43
Abbildung 20: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Frankreich (Eurostat 2019). ....	47
Abbildung 21: Kunststoffrecyclinganlagen in Frankreich mit Stand 2014 (CNE 2014). ....	49

Abbildung 22: Marktanteile der Sammelsysteme in Großbritannien im Jahr 2015 in Anlehnung an Perchard et al. (2016). .....	52
Abbildung 23: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Großbritannien (Eurostat 2019). .....	52
Abbildung 24: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Italien (Eurostat 2019; CONAI 2017). .....	57
Abbildung 25: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Spanien (Eurostat 2019). .....	61
Abbildung 26: Standorte und Anzahl der Verpackungssortieranlagen in den autonomen Gemeinschaften Spaniens mit Stand 2015 (Ecoembes 2015). .....	63
Abbildung 27: Anteile der Kunststofftypen in Kunststoffverpackungen 2010 in Spanien (Thomé-Kozmiensky und Thiel 2012). .....	64
Abbildung 28: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen in Polen (Eurostat 2019). .....	67
Abbildung 29: Aufkommen der Verpackungsabfälle nach Material im Jahr 2016 in t (BMNT 2018). .....	72
Abbildung 30: Entwicklung der jährlichen Gesamtmenge sowie der recycelten und deponierten Mengen an Kunststoffverpackungsabfällen in Österreich (Eurostat 2019). 72	
Abbildung 31: Marktanteile der Sammel- und Verwertungssysteme bei Leichtverpackungen aus Haushalten (A) sowie bei Kunststoffen aus Gewerbe (B) nach BMNT 2019. ....	73
Abbildung 32: Flussbild der österreichischen Kunststoffverpackungsabfälle für das Jahr 2013 (Van Eygen et al. 2017). .....	77
Abbildung 33: Verwertungsverfahren für verschiedene Verpackungsarten im Jahr 2013 in Anlehnung an Van Eygen et al. (2017). .....	77
Abbildung 34: Ermittelte Kunststoffanteile in den österreichischen Kunststoffverpackungsabfällen (Van Eygen et al. 2017). .....	78
Abbildung 35: Stoffflussdiagramm der indischen Abfallströme, ermittelt anhand von Quellen mit unterschiedlichen Referenzjahren (UBA-DE 2015). .....	80
Abbildung 36: Zusammensetzung der Hausabfälle in China (Mittelwert mehrerer Abfallanalysen mit unterschiedlichen Referenzjahren) in Anlehnung an uve (2018a). ...	82
Abbildung 37: Entwicklung der jährlichen Menge an Kunststoffverpackungsabfällen inklusive einiger Verpackungstypen in den USA in Anlehnung an USEPA (2018a). .....	84
Abbildung 38: Anteile der Kunststofftypen in Kunststoffverpackungen in den USA im Jahr 2015 (USEPA 2018a). .....	87
Abbildung 39: Jährliche Menge an Siedlungsabfällen für 2014 in Südamerika (uve 2018c)..	88

Abbildung 40: Stoffflussdiagramm der ägyptischen Abfallströme, ermittelt anhand von Quellen mit unterschiedlichen Referenzjahren (UBA-DE 2015).....	91
Abbildung 41: Jährliches Pro-Kopf-Aufkommen von Kunststoffverpackungen und Siedlungsabfällen in den betrachteten Ländern. ....	92
Abbildung 42: Gesamte sowie prognostizierte Siedlungsabfallmenge pro Jahr nach Einkommen (Kaza et al. 2018).....	93
Abbildung 43: Gesamte sowie prognostizierte Siedlungsabfallmenge pro Jahr nach Region (Kaza et al. 2018).....	93
Abbildung 44: Aktuelle Recyclingquoten und -ziele der EU+2 in Anlehnung an Conversio (2017). ....	94
Abbildung 45: Szenario für 2025 zum Erreichen einer Recyclingquote von 55 % in der EU in Anlehnung an DTTL (2017).....	95
Abbildung 46: Übersicht Verwertungs- und Beseitigungsarten von Kunststoffabfällen in Anlehnung an UBA-AT (2017). ....	96
Abbildung 47: Verwertungswege für Kunststoffabfälle in Anlehnung an Martin Kranert (2015), S. 267. ....	97
Abbildung 48: Beispielhafte Verwertungswege für Kunststoffverpackungsabfälle sowie die Einteilung in Anreicherungsstufen in Anlehnung an Ragaert et al. (2017). ....	98
Abbildung 49: Übersicht über Abfalltrennverfahren (Gerth et al. 2014). ....	100
Abbildung 50: Aufbau und Funktionsweise eines Trommelsiebes (A), eines Schwingsiebes ausgeführt als Kreisschwingsieb (B) sowie eines Scheibensiebes ausgeführt als Sternsieb (C) nach Martin Kranert 2015.....	103
Abbildung 51: Funktionsweise der Ausführungen (A) Doppeltrommel-, (B) Diagonal- und (C) Zick-Zack-Windsichter von Nihot Recycling Technology B.V. 2019. ....	104
Abbildung 52: Funktionsweise eines Paddelsichters nach Martin Kranert 2015, S. 238.....	105
Abbildung 53: Schematische Darstellung der verschiedenen Magnetscheiderbauformen (Gerth et al. 2014).....	106
Abbildung 54: Schematische Darstellung eines Wirbelstromscheiders (Gerth et al. 2014). ....	106
Abbildung 55: Aufbau eines Bandsortierers (A) nach Martin Kranert 2015 und eines Rinnensortierers (B) der Sesotec GmbH.....	107
Abbildung 56: Materialflussbild der LVP-Sortieranlage Puchstraße in Anlehnung an REDWAVE (2019a) und SDAG (2019a). ....	111
Abbildung 57: Aufbau einer Rotorschere (A), eines Einwellenzerkleinerers (B) sowie einer Schneidmühle (C) (Martin Kranert 2015). ....	113
Abbildung 58: Schematischer Aufbau einer Sortierzentrifuge Sorticanter® der Firma Flottweg SE (2019).....	114

Abbildung 59: Extruder INTAREMA® TVEplus® der EREMA GmbH (2019a). .....	116
Abbildung 60: PET-Recyclinganlage Wöllersdorf in Anlehnung an PRT (2019a).....	119
Abbildung 61: Durchschnittspreise für Ballenware, Mahlgut und Granulat aus LDPE in den letzten 11 Monaten (NMP 2019). .....	123
Abbildung 62: Durchschnittspreise für Ballenware, Mahlgut und Granulat aus PP in den letzten 11 Monaten (NMP 2019). .....	123
Abbildung 63: Typische Störstoffe in den Verwertungspfaden verschiedener Kunststoffverpackungstypen (Institut cyclos-HTP 2019). .....	126
Abbildung 64: Rohstoffliche Verwertungsmöglichkeiten für Kunststoffabfälle in Anlehnung an Lechner et al. (2003).....	127
Abbildung 65: Materialflussbild spanischer LVP-Sortieranlagen in Anlehnung an Ecoembes (2016). .....	IV
Abbildung 66: Materialflussbild einer Sortieranlage für Abfälle aus der belgischen PMD-Sammlung in Anlehnung an Ragaert et al. (2017). .....	V
Abbildung 67: Materialflussbilder von Mischabfall-Sortieranlagen in Großbritannien in Anlehnung an Sutco (2019b) (1) bzw. REDWAVE (2019b) (2). .....	VII
Abbildung 68: Allgemeines Verfahrensschema des werkstofflichen Recyclings von PO (Lechner et al. 2003).....	IX
Abbildung 69: Materialflussbild des Recyclingprozesses für verschiedene Inputmaterialien in Anlehnung an AMUT S.p.A. 2019).....	X
Abbildung 70: Materialflussbild des Recyclingprozesses für gemischte Kunststoffverpackungen in Anlehnung an Ragaert et al. (2017). .....	XI

## Anhang I

### **A) Einwegkunststoffartikel im Sinne des Artikels 4 der Einwegkunststoffrichtlinie (EU 2019), deren Verbrauch gemindert werden muss:**

1. Getränkebecher, einschließlich ihrer Verschlüsse und Deckel
2. Lebensmittelverpackungen, d. h. Behältnisse wie Boxen (mit oder ohne Deckel) für Lebensmittel, die:
  - a. dazu bestimmt sind, unmittelbar vor Ort verzehrt oder als Take-away-Gericht mitgenommen zu werden;
  - b. in der Regel aus der Verpackung heraus verzehrt werden; und
  - c. ohne weitere Zubereitung wie Kochen, Sieden oder Erhitzen verzehrt werden können,  
einschließlich Lebensmittelverpackungen für Fast Food oder andere Speisen zum unmittelbaren Verzehr, ausgenommen Getränkebehälter, Teller sowie Tüten und Folienverpackungen (Wrappers) mit Lebensmittelinhalt. (EU 2019)

### **B) Einwegkunststoffartikel im Sinne des Artikels 5 der Einwegkunststoffrichtlinie (EU 2019), deren Inverkehrbringen beschränkt werden muss:**

1. Wattestäbchen (bis auf bestimmte Ausnahmen)
2. Besteck (Gabeln, Messer, Löffel, Essstäbchen);
3. Teller;
4. Trinkhalme (bis auf bestimmte Ausnahmen)
5. Rührstäbchen;
6. Luftballonstäbe, die zur Stabilisierung an den Ballons (ausgenommen Ballons für industrielle oder sonstige gewerbliche Verwendungszwecke und Anwendungen, die nicht an Verbraucher abgegeben werden) befestigt werden, einschließlich der Halterungsmechanismen;
7. Lebensmittelverpackungen aus expandiertem Polystyrol, d. h. Behältnisse wie Boxen (mit oder ohne Deckel) für Lebensmittel, die:
  - a. dazu bestimmt sind, unmittelbar vor Ort verzehrt oder als Take-away-Gericht mitgenommen zu werden,
  - b. in der Regel aus der Verpackung heraus verzehrt werden, und
  - c. ohne weitere Zubereitung wie Kochen, Sieden oder Erhitzen verzehrt werden können,  
einschließlich Verpackungen für Fast Food oder andere Speisen zum unmittelbaren Verzehr, ausgenommen Getränkebehälter, Teller sowie Tüten und Folienverpackungen (Wrappers) mit Lebensmittelinhalt;
8. Getränkebehälter aus expandiertem Polystyrol einschließlich ihrer Verschlüsse und Deckel;
9. Getränkebecher aus expandiertem Polystyrol einschließlich ihrer Verschlüsse und Deckel. (EU 2019)

## Anhang II

Tabelle 55: Die Anzahl an Sammelbehältern im Holsystem der Haushaltssammlung der EU-Länder nach EC 2015a.

Anzahl Behälter	Gesammelte Fraktionen	Mitgliedstaaten
6	Papier/Karton Metall Kunststoff Glas Bioabfall Restmüll	NL <sup>1</sup>
5	Papier/Karton Metall und Plastik Glas Bioabfall Restmüll	LU, SI
4	Papier/Karton Metall und Kunststoff Glas Restmüll	BG, LT <sup>2</sup>
	Wie BG, LT aber Bioabfall statt Glas	DE, BE, IT
	Papier/Karton Kunststoff Glas Restmüll	LV
	Wie LV aber Bioabfall statt Glas	AT
	Wie LV aber Metall statt Glas	DK <sup>3</sup>
	Papier/Karton Metall Glas Restmüll	FI
3	Papier/Karton Metall und Kunststoff Restmüll	CY, HU
	Papier/Karton Bioabfall Restmüll	EE <sup>5</sup>
	Papier/Karton, Metall, Kunststoff, Glas Bioabfall Restmüll	IE
	Papier/Karton, Metall, Kunststoff, Glas Bioabfall Restmüll	MT
2	Metall, Kunststoff Restmüll	FR
	Papier/Karton, Metall, Kunststoff Restmüll	RO
	Papier/Karton, Metall, Kunststoff, Glas Restmüll	EL
	Bioabfall Restmüll	SE, CZ
1	Restmüll	SK, ES, HR, PT, PL <sup>6</sup>

<sup>1</sup> in größeren Städten, in ländlichen Gebieten sind es weniger Sammelbehälter

<sup>2</sup> das Vier-Behälter-System findet nur bei Einzelhaushalten Anwendung

<sup>3</sup> In Wohnanlagen ist das Holsystem für Glas primär, das Bringsystem sekundär; Bei Einzelhaushalten umgekehrt

<sup>4</sup> In Großbritannien sind verschiedene Systeme im Einsatz. Bioabfall wird in ca. 50 % der Haushalte gesammelt.

Was wiederverwertbare Materialien anbelangt, so sind auch getrennte Behälter für Glas üblich sowie die gemischte Sammlung aller vier wiederverwertbaren Fraktionen (einschließlich Papier).

<sup>5</sup> In ländlichen Gebieten wird nur Restmüll gesammelt, in Städten auch andere Fraktionen.

<sup>6</sup> In polnischen Städten wird nur Restmüll im Holsystem gesammelt, in ländlichen Gebieten auch andere Fraktionen.



## Anhang III

### LVP-Sortieranlagen von Ecoembes S.A., Spanien:

Das spanische LVP-Sammelmaterial unterscheidet sich leicht vom österreichischen primären LVP-System, es werden Verpackungen aus Kunststoff gemeinsam mit Metallverpackungen und GVK gesammelt. Laut dem Sammel- und Verwertungssystem Ecoembes S.A. gibt es in den spanischen LVP-Sortieranlagen entsprechend ihrer Durchsatzleistung Unterschiede in sowohl Ausstattung als auch Automatisierungsgrad (Ecoembes 2016). Bei Anlagen mit geringem Durchsatz ( $\leq 2$  t/h) sind lediglich Trommelsiebe sowie Fe- und NE-Abscheider vorhanden, alle anderen Sortierprozesse werden händisch durchgeführt. Bei Anlagen mittleren Durchsatzes (3 – 6 t/h) kann teilweise auf Trommelsiebe verzichtet werden, da eine händische Eingangssortierung erfolgt und sperrige Materialien auf diese Art entfernt werden. In solchen Anlagen ist die Siebung im darauffolgenden Ballistik Separator ausreichend und es kommen sensorgestützte Sortierer (je nach Durchsatz/Genauigkeitsanforderungen in Ein- oder Zweikanalausführung) zum Einsatz. Bei Anlagen mit hohen Durchsatzleistungen (7 – 8 t/h) ist ein hoher Automatisierungsgrad festzustellen. (Ecoembes 2016) Ein Flussbild einer solchen Anlage ist in Abbildung 65 dargestellt.

### PMD-Sortieranlage Willebroek, Belgien:

Diese Anlage des Betreibers Indavier N.V. ist für das Aufgabematerial der PMD-Sammlung (blaue Säcke) ausgelegt. PMD steht für „plastic flessen en flacons, metalen verpakkingen en drankkartons“, was so viel wie „Kunststoffflaschen, Metallverpackungen und Getränkekartons“ bedeutet. Neben der Abscheidung des Über- sowie Unterkorns im Trommelsieb findet dort eine weitere Aufteilung des Inputmaterials in die Fraktionen 40 – 120 mm und 120 – 220 mm statt. Die Prozessschritte dieser getrennt geführten Stoffströme unterscheiden sich geringfügig. Alle aussortierten Fraktionen werden in einer Sortierkabine einer Qualitätskontrolle unterzogen. Ein Flussbild dieser Anlage ist in Abbildung 66 dargestellt. (Ragaert et al. 2017)

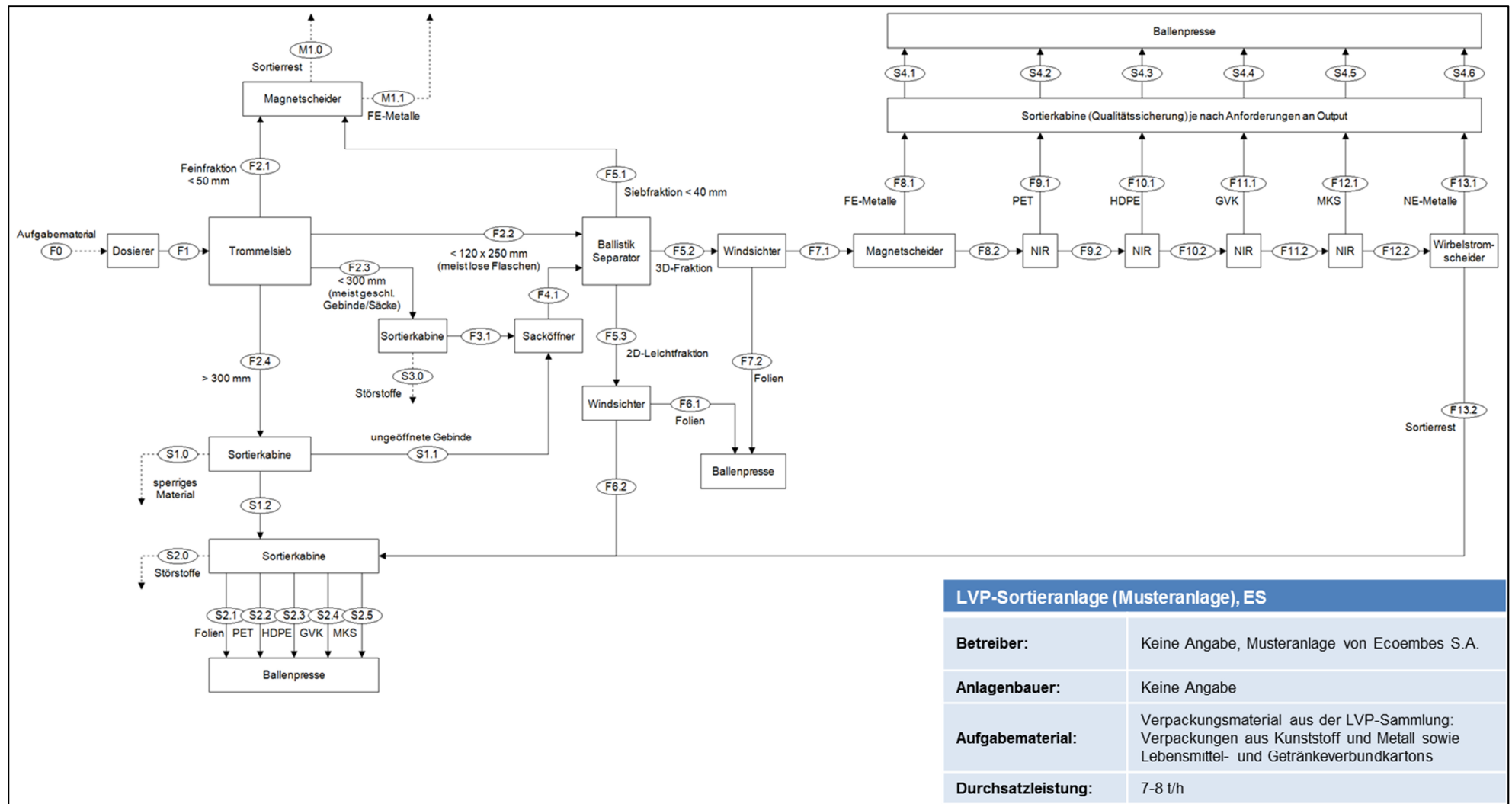


Abbildung 65: Materialflussbild spanischer LVP-Sortieranlagen in Anlehnung an Ecoembes (2016).

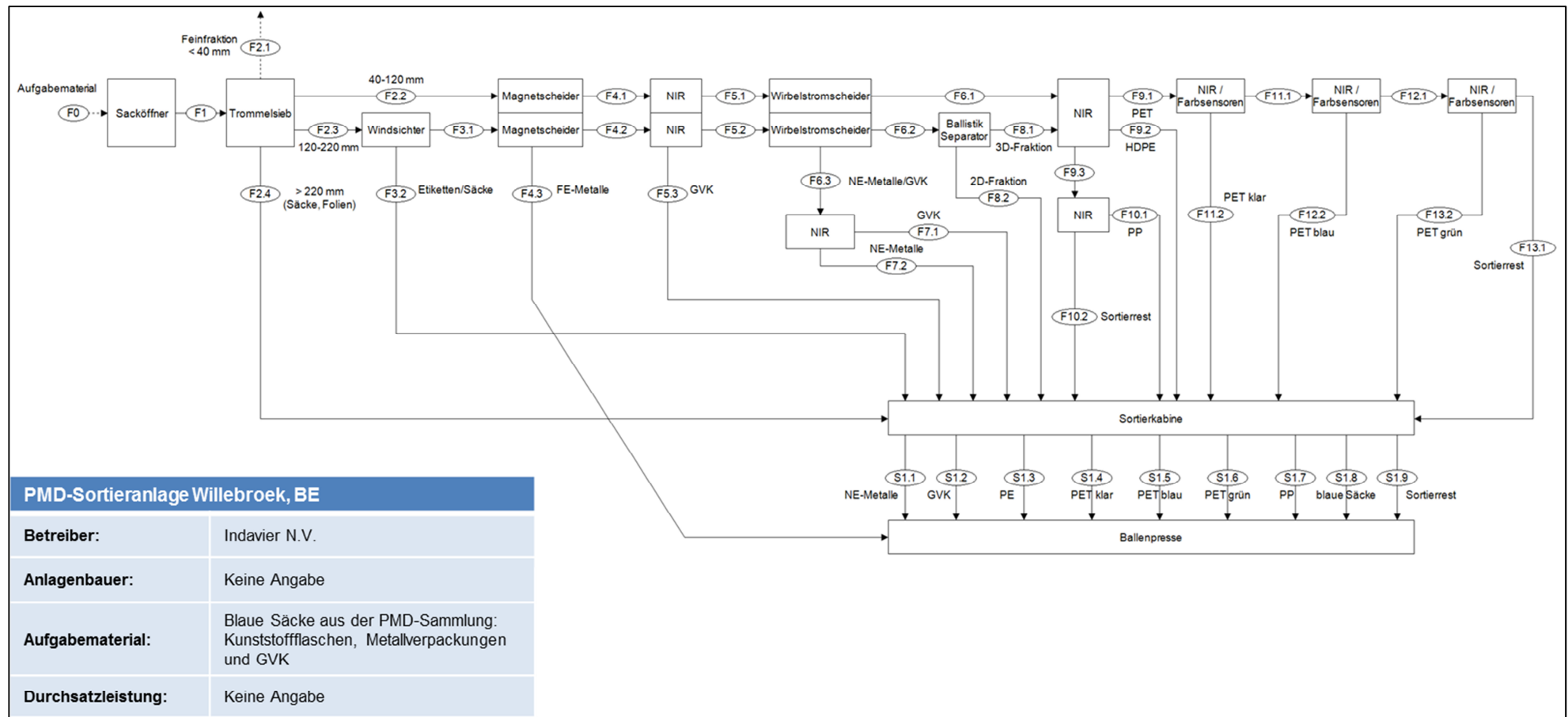


Abbildung 66: Materialflussbild einer Sortieranlage für Abfälle aus der belgischen PMD-Sammlung in Anlehnung an Ragaert et al. (2017).

### **Mischabfallsortieranlagen in Großbritannien:**

In der Haushaltssammlung in GB werden primär die Fraktionen Papier, Glas, Kunststoff und Metall gemeinsam gesammelt. Im Folgenden werden zwei verschiedene Anlagen zur Sortierung von Abfallströmen mit einer solchen bzw. ähnlichen Zusammensetzung beschrieben. Die zugehörigen Flussbilder sind in Abbildung 67 dargestellt.

#### Musteranlage Sutco Recyclingtechnik GmbH:

Anlage 1 ist eine Musteranlage des Recyclingunternehmens Sutco Recyclingtechnik GmbH, welche an vier Standorten in Großbritannien nach diesem Materialflussbild in Abbildung 67(1) umgesetzt wurde. Dabei handelt es sich um die Abfallaufbereitungsanlage Swanley des Betreibers Ideal Waste Ltd. mit einer Durchsatzleistung von 15 t/h sowie die Anlagen Berkshire, Mansfield und Southwark des Betreibers Veolia Ltd. mit Durchsatzleistungen von jeweils 15 bzw. 25 t/h. Ein wesentlicher Unterschied bei Anlagen zur Aufbereitung dieser Abfallart ist die Verwendung von Scheibensieben, mit denen größere, flächige Materialien wie Papier oder Kartonagen, die in LVP-Abfällen wie z.B. in Österreich nicht vorhanden sind, abgetrennt werden können. Kleinere Korngrößen fallen durch die Öffnungen zwischen den Scheiben und werden weitergeführt. Für die Feinsiebung des Siebdurchganges des zweiten Scheibensiebes wird dieser nach der Abscheidung von eisenhaltigen Materialien zerkleinert. Aus dem Durchlauf des zweiten Scheibensiebs werden Metalle entfernt und der Materialstrom von einem NIR-Sortierer in die Fraktionen Mischkunststoffe und Papier gemischt aufgeteilt. Die Materialströme werden abschließend in einer Sortierkabine nachsortiert bzw. in die gewünschten Wertstofffraktionen getrennt. (Sutco 2019b)

#### Abfallaufbereitungsanlage Grundon, GB:

Bei Anlage 2 (siehe Abbildung 67(2)) handelt es sich um die Abfallaufbereitungsanlage in Grundon, Großbritannien des Betreibers Grundon Waste Management Ltd. Die Abtrennung von großen Kartonagen findet in dieser Anlage mit einem Sternsieb (Scheibensieb mit sternförmigen Scheiben) statt. Anschließend wird der Stoffstrom in einem Ballistik Separator in eine 2D-, sowie 3D-Fraktion und eine Siebfraktion aufgeteilt. Eine Besonderheit in dieser Anlage stellt die Abscheidung von Glas in einem „Glasbrechsieb“ dar. Dabei handelt es sich um eine Sonderform eines Scheibensiebes (wie z.B. von Bulk Handling Systems), auf welchem Glas durch die Scheibenbewegung zerbrochen und anschließend über den Siebdurchgang aus dem Materialstrom abgeschieden wird. Die sensorgestützten Sortierschritte sind von Seiten des Anlagenbauers nicht im Detail angeführt, weshalb diese in aggregierter Form dargestellt und grau eingefärbt sind. Als letzte Prozessschritte werden die Materialströme in Sortierkabinen händisch nachsortiert und zu Ballen verpresst. (REDWAVE 2019b)

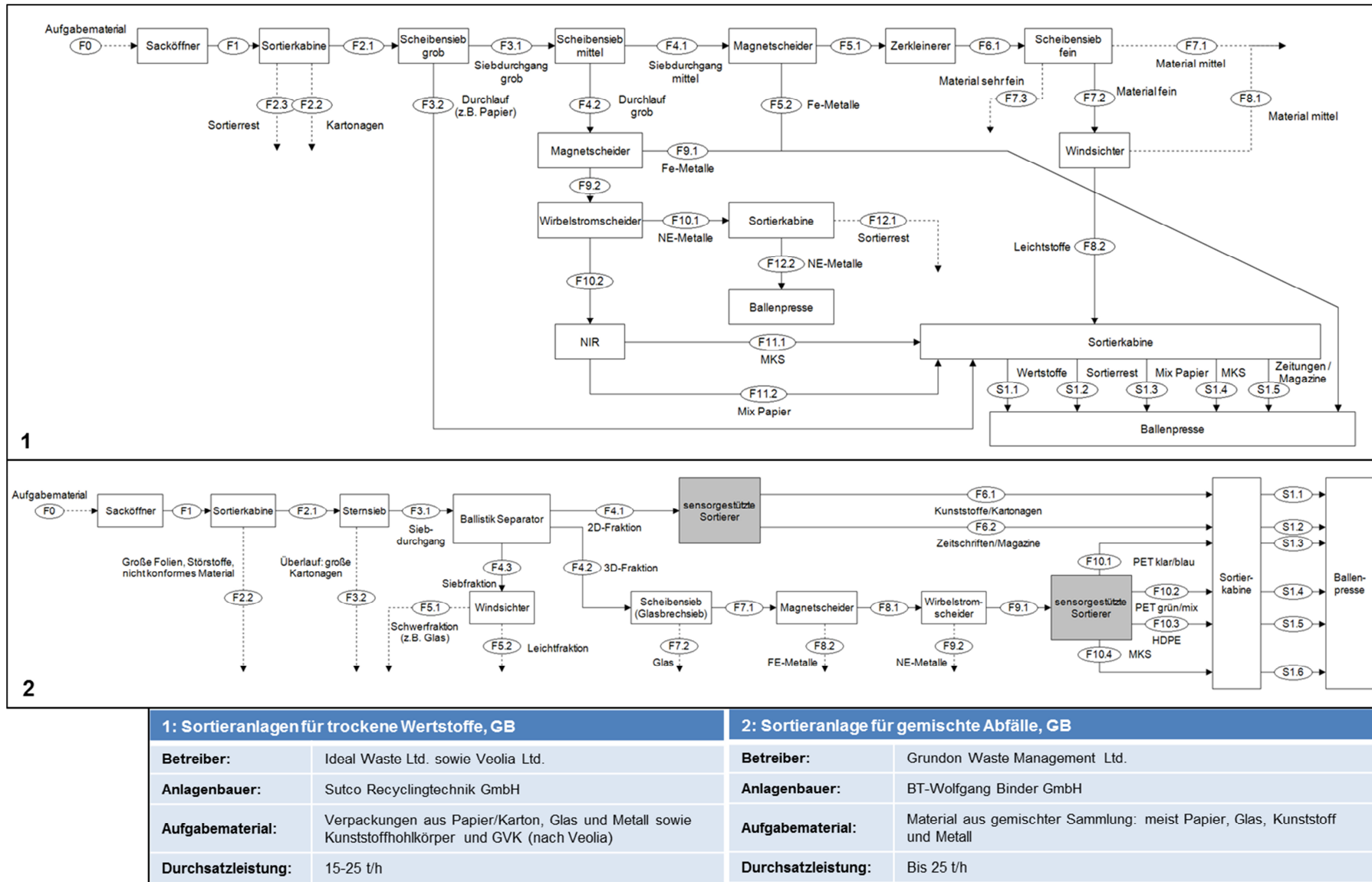


Abbildung 67: Materialflussbilder von Mischabfall-Sortieranlagen in Großbritannien in Anlehnung an Sutco (2019b) (1) bzw. REDWAVE (2019b) (2).

## Anhang IV

### Recyclinganlagen für Post-Consumer PO-Verpackungsabfälle

Bei Anlagen zum werkstofflichen Recycling von PO gibt es in der Theorie nur geringfügige Unterschiede im Verfahrensablauf. Die wesentlichen Prozesse wie Zerkleinerung, Wäsche, verschiedene Sortier- und Trennstufen sowie Extrusion finden bei der Herstellung von Regranulaten unweigerlich statt. Da, wie früher erwähnt, die kontaktierten Hersteller keine Auskünfte über genaue Prozessabläufe geben konnten, werden die Prozessschritte zur werkstofflichen Verwertung Anhand eines Beispiels aus der Literatur sowie an der Musteranlage eines Anlagenbauers beschrieben.

#### PO-Recyclinganlage nach Lechner et al. (2003):

Im Folgenden wird exemplarisch der Verfahrensablauf zum werkstofflichen Recycling von Verpackungsabfällen aus PO dargestellt (siehe Abbildung 68). Bei den Inputfraktionen handelt es sich um sortenrein gesammelte oder in Sortieranlagen vorsortierte Kunststoffhohlkörper oder -folien. Das lose bzw. zu Ballen gepresste Material wird im ersten Prozessschritt von einem Kammwalzenzerkleinerer vorzerkleinert. Das zerkleinerte Material wird anschließend auf einem Förderband händisch nachsortiert, um Störstoffe zu entfernen. Anschließend erfolgt eine Reinigung der vorzerkleinerten Kunststoffe in einem Vorwaschbehälter. Hier werden zugleich schwere Bestandteile wie Steine, Metallteile oder Sand abgeschieden. Im nächsten Prozessschritt wird das vorgereinigte Material von einer Nass-Schneidmühle auf eine Größe von ca. 10 mm (Flakes) zerkleinert. Anschließend werden die Flakes in einem Friktionswäscher erneut gewaschen, bevor sie der Dichtentrennstufe zugeführt werden. Diese besteht aus einer Serienschaltung aus Schwimm-Sink-Trennung und Hydrozyklonstufe. Die Leicht- bzw. Schwimmfraktion (PO) wird daraufhin mechanisch durch Zentrifugieren und thermisch durch Stromtrocknen entwässert. Abschließend wird das Material in einem Silo homogenisiert und dem Extruder zugeführt. Es kommt meist ein Einschneckenextruder mit Vakuumentgasung und Siebwechsler zum Einsatz, die Extrusion erfolgt mit Heißabschlag. Das fertige Regranulat wird siliert und kann zu neuen Produkten verarbeitet werden. (Lechner et al. 2003)

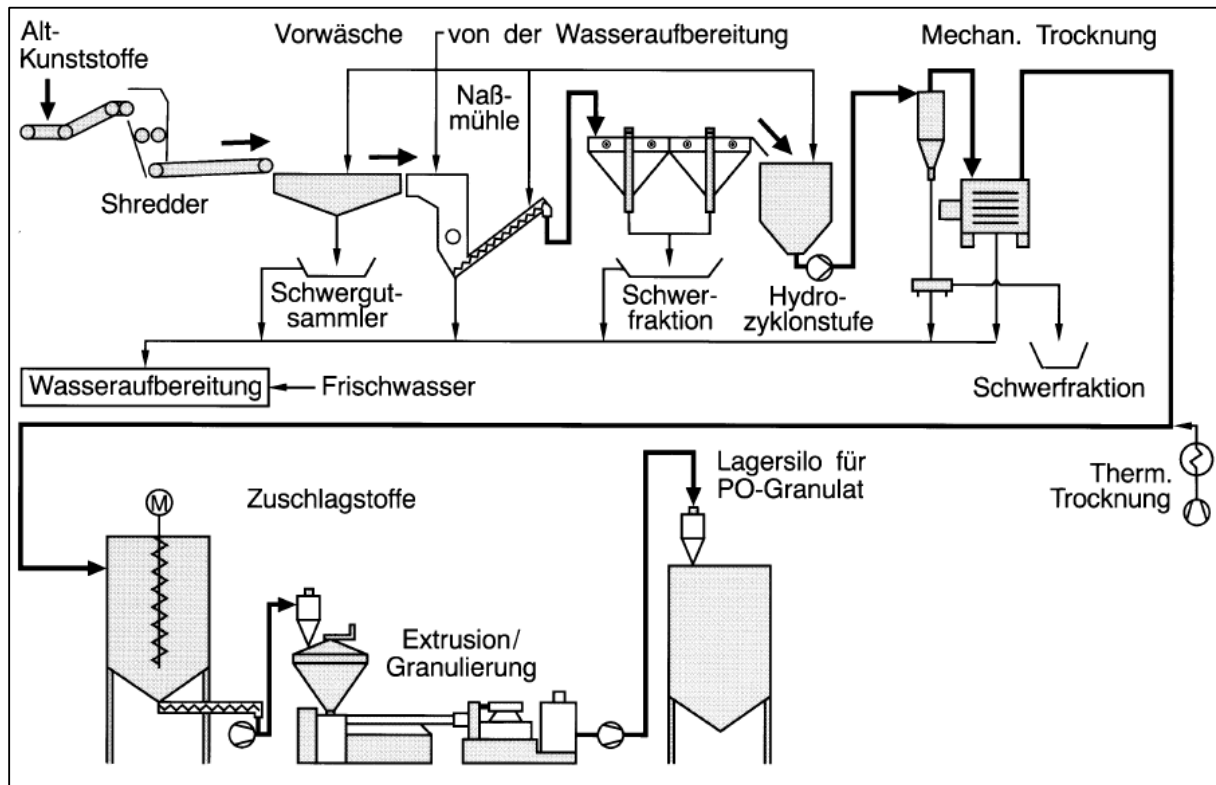
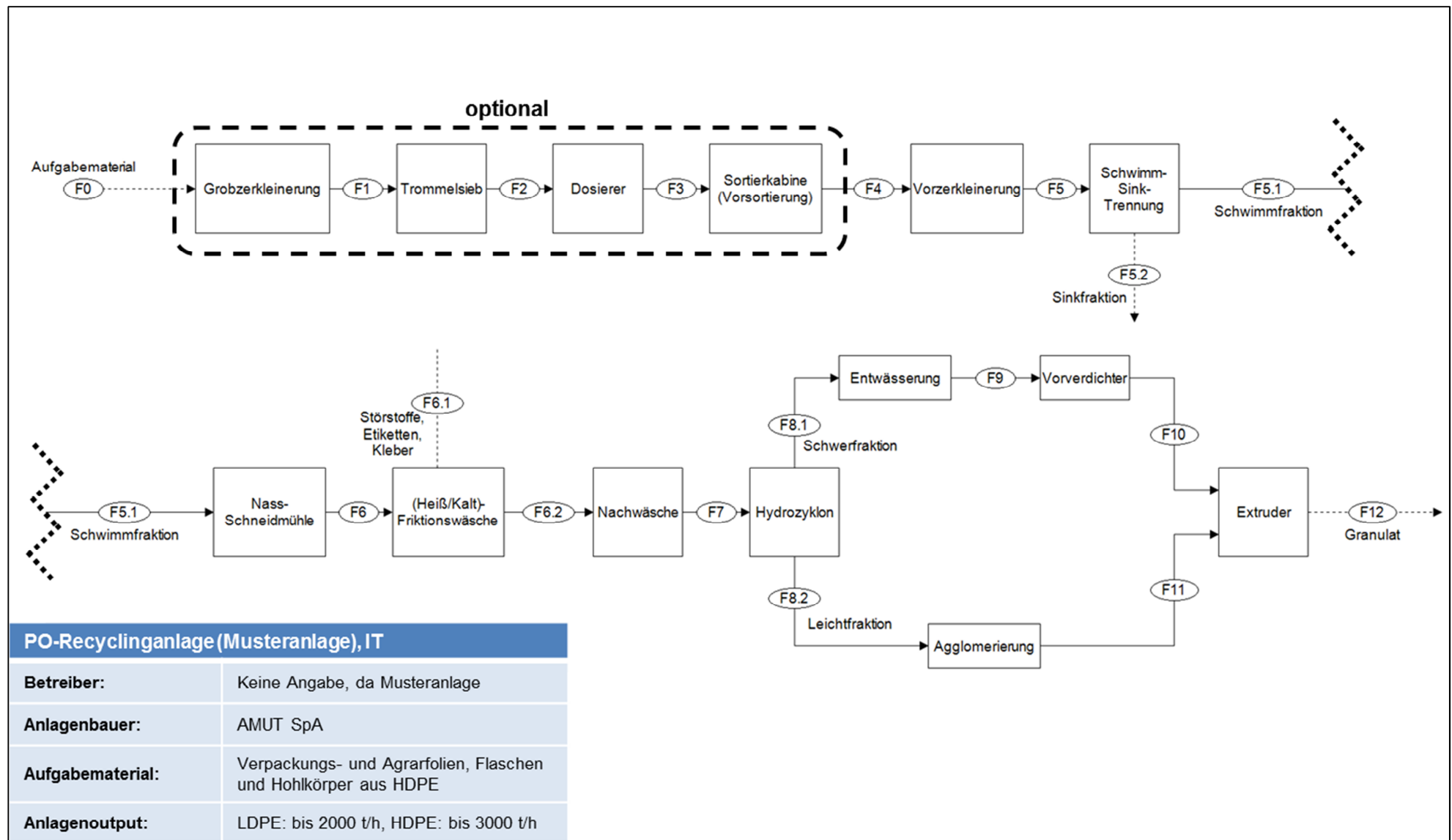


Abbildung 68: Allgemeines Verfahrensschema des werkstofflichen Recyclings von PO (Lechner et al. 2003).

#### PO-Recyclinganlage von AMUT S.p.A.:

Die Musteranlage der Firma AMUT S.p.A. (dargestellt in Abbildung 69) stellt den Prozessablauf des werkstofflichen Recyclings von Verpackungs- und Agrarfolien sowie Flaschen und Hohlkörpern aus HDPE dar (jeweils nur eine sortenreine Inputfraktion, jedoch für alle genannten möglich). Je nach Inputfraktion unterscheidet sich die Anlage nur geringfügig, die optionalen Komponenten sind mit einem Rahmen markiert. So ist beispielsweise für Agrarfolien aufgrund der möglichen Verunreinigungen eine Grobzerkleinerung mit anschließender Siebung sowie händischer Vorsortierung sinnvoll, während z.B. bei sortenreinen HDPE-Flaschen darauf verzichtet werden kann. Die Vorzerkleinerung des Inputmaterials findet durch einen Einwellenzerkleinerer statt. Danach folgen typische Prozessschritte wie Schwimm-Sink-Trennung, eine weitere Zerkleinerungsstufe in einer Nass-Schneidmühle sowie verschiedene Waschstufen. Vor der Extrusion trennt ein Hydrozyklon die Flakes in eine Schwer- und Leichtfraktion. Die Schwerfraktion wird entwässert und vorverdichtet, bevor sie im Extruder zu Regranulat verarbeitet wird. Da die Leichtfraktion schlechte Transport- und Dosiereigenschaften aufweist, ist eine Kompaktierung erforderlich. Diese erfolgt in einem Agglomerator. Im Agglomerator wird durch rotierende Messer oder Walzen Reibungswärme erzeugt und damit eine Agglomeration des Materials bewirkt (Martens und Goldmann 2016). Die so erzeugten Pellets werden anschließend im Extruder zu Regranulat verarbeitet. (AMUT S.p.A. 2019)



### PO-Recyclinganlage (Musteranlage), IT

<b>Betreiber:</b>	Keine Angabe, da Musteranlage
<b>Anlagenbauer:</b>	AMUT SpA
<b>Aufgabematerial:</b>	Verpackungs- und Agrarfolien, Flaschen und Hohlkörper aus HDPE
<b>Anlagenoutput:</b>	LDPE: bis 2000 t/h, HDPE: bis 3000 t/h

Abbildung 69: Materialflussbild des Recyclingprozesses für verschiedene Inputmaterialien in Anlehnung an AMUT S.p.A. 2019).



### Recyclinganlage für gemischte Kunststoffverpackungsabfälle:

Die folgende Anlage ist für die Verwertung stark vermischter Abfallfraktionen wie z.B. aus der LVP-Sammlung in Österreich oder Deutschland (siehe Kapitel 3.3.7 und 3.3.1) ausgelegt. Dabei werden sämtliche Kunststoffverpackungsabfälle teilweise mit Metallverpackungen oder anderen Fraktionen gesammelt, woraus ein sehr breites Spektrum von Materialien und Verpackungsformen resultiert. Eine Möglichkeit zum Recycling ohne einer vorgelagerten Sortieranlage bietet das Recyclingverfahren des belgischen Recyclingunternehmens „ECO-oh!“, wie in der Studie „Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste“ (Ragaert et al. 2017) beschrieben. Ein zugehöriges Flussbild ist in Abbildung 70 dargestellt. Das Aufgabematerial wird im ersten Prozessschritt von einem Zerkleinerer grob vorzerkleinert. Danach wird der Stoffstrom in einer Waschtrommel gereinigt und zugleich Fremdkörper wie z.B. Metalle oder Glas abgetrennt. In der anschließenden Friktionswaschstufe werden Lebensmittelrückstände und andere Verunreinigungen entfernt. Das gereinigte Material wird danach von einem Nachzerkleinerer auf eine Korngröße von 1 – 12 mm zerkleinert und direkt einer zweiten Friktionswaschstufe zugeführt. Im nächsten Prozessschritt findet eine Schwimm-Sink-Trennung und gleichzeitige Reinigung im Wasserbad statt. Der Stoffstrom wird hier in eine Schwimmfraktion (PP, PE) und eine Sinkfraktion (PET, PS, PVC) getrennt. Die Sinkfraktion passiert einen Überbandmagneten zur Abtrennung von Fe-Metallen und ist nach einer abschließenden Trocknungsstufe als Sekundärrohstoff in Form einer Kunststoffmischung aus PET, PS und PVC verwendbar. Die Schwimmfraktion wird in einem Windsichter erneut in zwei Stoffströme aufgeteilt. Die Leichtfraktion (z.B. Folien aus LDPE oder PP) wird aufgrund der niedrigen Schüttdichte in einem Extruder mit Schmelzefiltration (um nicht schmelzende Anteile abzuscheiden) zu Regranulat verarbeitet. Die Schwerfraktion aus dem Windsichter (Polyolefin-Mix aus HDPE und PP) kann direkt als Sekundärrohstoff verwendet werden. (Ragaert et al. 2017) Ein Materialflussbild mit den wichtigsten Prozessschritten dieses Verfahrens ist in Abbildung 70 dargestellt.

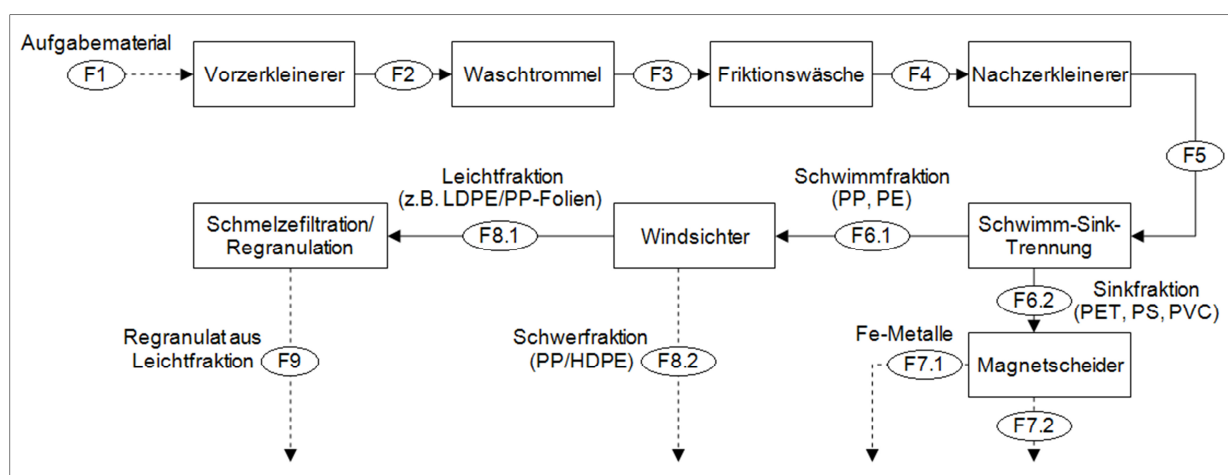


Abbildung 70: Materialflussbild des Recyclingprozesses für gemischte Kunststoffverpackungen in Anlehnung an Ragaert et al. (2017).

## Anhang V

Tabelle 56: Liste wichtiger Aggregathersteller für Sortier- und Recyclinganlagen.

Hersteller	Firmensitz	Website	Anlagenplanung	Recyclinganwendungen	Aufgabe-/ Deskriptor	Sacköffner	Übergrößeentrenner/ Folienabscheider	Windsichter	Unterdrukrenner	Überanda bauung	Trommelsiebe	Spannwe lensesie	Scheibensiebe	Schwing siebe	Magnetscheider	Ballistik Separatoren sensorgestützte Sortierer	Siero berer	NE-Scheider	Perforatoren	Ballenpressen	Ballenaufflöser	Deabeler	Zerkleinerer	Schneidmühlen	Trockenreiner	Waschanlagen	Dichttrenner	Trockner	Extruder
ACA Industry Ap S	DK	w ww .acaindustry.co.uk																			x		x						
AMUT Group S.p.A	IT	w ww .amutgroup.com	S*, R**	PET(LQ***), LDPE, HDPE	x	x				x		x			x						x	x	x	x		x	x	x	x
B+B Anlagenbau GmbH	DE	w ww .bub-anlagenbau.de	R	PET(LQ), (L)LDPE, PP, PE																				x	x	x	x		
Bezner Anlagen- und Maschinenbau GmbH	DE	w ww .bezner.com	S, R		x			x		x			x																
BHS Sonthofen GmbH	DE	w ww .bhs-sonthofen.de			x																		x	x					
Bollegraaf Recycling Machinery b.v.	NL	w ww .bollegraaf.com					x						x		x		x			x						x			
Bühler AG	CH	w ww .buhlergroup.com														x													
Bulk Handling Systems	USA	w ww .bulkhandlingssystem.com	S		x	x		x					x			x	x	x			x								
Coparm Srl	IT	w ww .coparm.de	S			x				x										x			x						
CP Manufacturing Inc.	USA	w ww .cpgrp.com	S						x	x		x	x		x				x										
Cumberland (ACS-Group Ltd.)	USA	w ww .cumberlandplastics.com/																					x	x					
Heinrich Dreher GmbH & Co. KG	DE	w ww .dreher-aachen.de						x							x								x	x					
Eggersmann GmbH	DE	https://www.eggersmann-recyclingtechnology.com	S		x	x		x		x		x			x				x		x								
Erema Group GmbH	AT	w ww .erema.com		PE- & PP-Folien, PET(LQ), PO-Flaschen, PS-Becher																					x			x	x
FHF Anlagentechnik GmbH	DE	w ww .fhf.global	S		x			x		x					x														
Flottweg SE	DE	w ww .flottweg.com																									x		
Gassner Rectec GmbH	DE	w ww .gassner-rectec.de			x	x	x	x											x										
HEIN, LEHMANN GmbH	DE	w ww .heinlehmann.de										x		x															
Herbold Meckesheim GmbH	DE	w ww .herbold.com	R	Folien, PET, PO											x		x				x	x	x	x		x	x	x	
IFE Aufbereitungstechnik GmbH	AT	https://www.ife-bulk.com			x							x		x	x				x										
Impact Air Systems Ltd.	GB	w ww .impactairsystems.com						x																					
IMT InnovativeMaschinenTechnik GmbH	AT	w ww .imt-separator.at														x													
Jiangsu GET Recycling Technology Co.,Ltd.	CHN	w ww .get-recycling.com		PET, HDPE, PP, Folien				x														x			x	x	x		
Krones AG	DE	w ww .krones.com	R	PET(LQ)				x													x	x		x		x	x	x	x
Lindner-Recyclingtech GmbH	AT	w ww .lindner.com	R	PP, PE, HDPE, (L)LDPE																	x		x	x		x	x	x	
Machinex Industries Inc.	CA	w ww .machinexrecycling.com	S		x	x		x	x	x		x			x	x	x	x	x	x									
Matthiessen Lagertechnik GmbH	DE	http://w ww .bagsplitter.com			x	x	x														x								

\*Sortieranlagen, \*\*Recyclinganlagen, \*\*\*für Lebensmittelkontaktanwendungen geeignet

Hersteller	Firmensitz	Website	Anlagenplanung	Recyclinganwendungen	Aufgabe-/ Dosierbunker	Sacköffner	Übergröße entrommer/ Folienabscheider	Windsichter	Unterdrucktrenner	Überbandabsaugung	Trommelsiebe	Spannweilensiebe	Schlebe siebe	Schwingensiebe	Magnetscheider	Ballistik Separatoren sensorgestützte Sortierer	Sternbofer	NE-Scheider	Perforatoren	Ballenpressen	Ballenauflöser	Delabier	Zerkleinerer	Schneidmühlen	Trockenreiner	Waschanlagen	Dichtebrenner	Trockner	Extruder	
Metso Corporation Oy	FIN	w w w . m e t s o . c o m																												
Hefei Meyer Optoelectronic Technology Inc.	CHN	w w w . s h m e y e r . c o m														x														
Nihot Recycling Technology B.V.	NL	w w w . n i h o t . d e					x		x				x																	
Pallmann Maschinenfabrik GmbH & Co. KG	DE	w w w . p a l l m a n n . e u																						x	x					
Parini S.r.l.	IT	w w w . p a r i n i . i t	S		x		x			x						x														
Pellenc ST	FR	w w w . p e l l e n c s t . c o m														x														
Polystar Machinery Co.,Ltd.	TWN	w w w . p o l y s t a r c o . c o m		u. a. HDPE, (L)LDPE, PP																				x						x
Presto GmbH & Co. KG	DE	w w w . p r e s t o . e u																		x	x									
REDWAVE (BT-Wolfgang Binder GmbH)	AT	h t t p : / / w w w . r e d w a v e . c o m	S													x														
RIKA GmbH & Co. KG	DE	w w w . r i k a g m b h . d e	S																x	x										
Schulz und Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH	DE	h t t p s : / / w w w . s c h u l z - b e r g e r . c o m					x	x	x																					
Sesotec GmbH	DE	w w w . s e s o t e c . c o m														x														
SIKOPLAST Maschinenbau Heinrich Koch GmbH	DE	w w w . s i k o p l a s t . d e	R	PET (LQ), verschiedene Thermoplaste																	x			x		x	x	x	x	x
Sorema S.r.l.	IT	w w w . s o r e m a . i t	R	u. a. PET (LQ), Folien, HDPE (LQ)																	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Spaleck GmbH & Co. KG	DE	w w w . s p a l e c k . d e			x							x		x																
SSI Shredding Systems Inc.	USA	w w w . s s i w o r l d . c o m																					x							
Stadler Anlagenbau GmbH	DE	w w w . w - s t a d l e r . d e	S							x						x							x							
Starlinger & Co GmbH	AT	w w w . s t a r l i n g e r . c o m	R	L/LDPE, HDPE (LQ), PET (LQ)											x						x		x	x		x	x	x	x	x
STF Maschinen- und Anlagenbau GmbH	DE	w w w . s t f - g r o u p . d e	R	u. a. PET, HDPE, LDPE			x		x				x	x							x			x	x	x	x			
Sutco Recyclingtechnik GmbH	DE	w w w . s u t c o . d e	S		x	x	x			x		x				x					x									
Tomra Systems ASA	NO	w w w . t o m r a . c o m															x													
UNTHA shredding technology GmbH	AT	w w w . u n t h a . c o m																					x							
Vecoplan AG	DE	w w w . v e c o p l a n . c o m	S, R	universell	x	x	x		x			x				x		x					x	x		x	x	x		
Wagner Maschinenbau GmbH	AT	w w w . w a g n e r - s h r e d d e r . c o m																		x	x									
Weima Maschinenbau GmbH	DE	w w w . w e i m a . c o m																					x	x						
ZERMA Machinery & Recycling Technology Co., Ltd.	CHN	w w w . z e r m a . c o m																					x	x						