



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelor Thesis

Untersuchung zur Verwertung von Verpackungsabfällen aus Kunststoffen in Deutschland

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences
Verfahrenstechnik

Vorgelegt von: Celina Csilla Hermann
Matrikelnr.: XXXXXXXXXX
Erstellt zum: 22.02.2020
1. Gutachter: Prof. Dr. Bernd Sadlowsky
2. Gutachter: Prof. Dipl.-Ing Ulrich Mack

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst zu haben und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben.

Hamburg, den 22.2.2020

(Unterschrift)

Danksagung

Zu aller erst Danke ich meiner Mutter, Elisabeth Hermann, geb. Vályi, dass Sie mich während meines Studiums und vor allem dieser Arbeit, immer unterstützt hat und immer an mich geglaubt hat.

Der zweite Dank geht an Prof. Dr. Bernd Sadlowsky, dass er mir ermöglicht hat, diese Untersuchung mit solch einer aktuellen und für mich sehr interessanten Thematik für meine Bachelorarbeit durchführen zu können.

Bei Prof. Dipl.-Ing Ulrich Mack, für die tatkräftige Betreuung bei den Recherchen und dass er mir zugestimmt hat mein Zweitprüfer zu sein.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Matilda Bruhns, geb. Scholz, für die hilfreiche Unterstützung und die essenziellen Impulse für die erfolgreiche Bearbeitung meiner Arbeit.

Und zu guter Letzt, bei Jondalar Borchers, der mich während der Arbeit immer wieder motiviert hat

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	IX
Einheitenverzeichnis	X
1. Einführung und Aufgabenstellung	1
2. Der Lebenszyklus von Kunststoffverpackungen.....	3
2.1. Kunststoffherstellung	3
2.1.1. Verwendung von Erdöl.....	4
2.1.2. Kunststoffarten, ihre Herstellung und Verhalten	5
2.1.3. Verwendung und Einsatz von Kunststoffen.....	9
2.1.4. Vor- und Nachteile von Kunststoffen.....	11
2.1.5. Mikroplastik.....	12
2.2. Abfall aus Verpackungen	14
2.2.1 Abfall aus Kunststoff	14
2.2.2. Sortierung von Abfällen aus Kunststoffverpackungen	15
2.4. Energetische und stoffliche Verwertung	18
2.4.1. Energetische Verwertung.....	19
2.4.2. Stoffliche Verwertung.....	20
2.4.3 Beispiele stoffliche Verwertung	22
2.5. Gesetzliche Grundlagen des Abfallrechts	24
2.5.1. Das Verpackungsgesetz vom 1.1. 2019.....	25
2.5.2. Verwertungsquoten.....	25
2.5.2. Duales System Deutschland	26

2.5.4. Abfallverbringungsgesetz, Export von Verpackungsabfall	28
3. Durchführung der Untersuchung	29
4. Ergebnisse	32
4.1. Aufteilung des Kunststoffabfalls	33
4.2. Zusätzliche Informationsquelle	36
4.3. Werkstoffliche Verwertung	39
4.3.1. Abfallpreise von Kunststoff	40
4.3.2. Mikroplastik & Mikropartikel	42
4.3.3. Attraktivität von Rezyklat	44
4.3.4. Qualitätsminderung durch werkstoffliche Verwertung	45
4.4. Energetische Verwertung	46
4.5. Wirkungsgrad von stofflicher oder energetischer Verwertung	48
4.6. CO ₂ Reduzierung	49
4.7. Besichtigung einer Sortieranlage von Remondis	50
5. Zusammenfassung und Bewertung	57
5.1. Kunststoffarten	57
5.2. Kunststoffabfallaufkommen	57
5.3. Verwertungsarten	57
5.3. Verbleib	58
5.4. Verwertungsquote	59
5.5. Umweltbewusstsein	59
6. Literaturverzeichnis	XI

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Kunststoff [3, 15, 22-24].....	11
Tabelle 2: Verwertungsquoten des neuen Verpackungsgesetzes 01.01.2019 [6]	25
Tabelle 3: EUWID-Preisspiegel für Altkunststoffe - Deutschland [53].....	40
Tabelle 4: Verbrennungsenthalpie, sowie die Energieeinsparung bei der stofflichen Verwertung und der energetischen Verwertung bei unterschiedlichen Brennstoffnutzungsgraden (BN), verschiedener Polymerarten [62].....	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: weltweite Produktion von Brennstoffen aus Erdöl in Mio. Tonnen / Jahr, eigene Darstellung nach [8].....	3
Abbildung 2: Erdölverbrauch 2017 aufgeteilt in die Anteile der wichtigsten Länder [7]	3
Abbildung 3: Nutzung des Naphthas/ Erdöls zur Kunststoffherzeugung, eigene Darstellung nach [11]	4
Abbildung 4: Nutzung des Erdöls nach Bereichen in %, eigene Darstellung [11]	4
Abbildung 5: Einteilung der Kunststoffe, eigene Darstellung nach [9,12].....	5
Abbildung 6: Herstellung von Polymeren am Beispiel von Polyethylen [13]	6
Abbildung 7: Struktur teilkristalliner Thermoplaste [14].....	6
Abbildung 8: Struktur amorpher Thermoplaste [12]	6
Abbildung 9: Struktur der Elastomere [12].....	7
Abbildung 10: Struktur der Duroplaste [12]	7
Abbildung 11:Verwendung von Kunststoff nach seinen Einsatzgebieten in Deutschland 2017 [20].....	9
Abbildung 12:Anteile verschiedener Kunststoffarten und deren Kennzeichnung mit Recyclingcodes in Deutschland 2017, eigene Darstellung nach [4]	10
Abbildung 13: Schematische Darstellung von dem Kunststoffabfall zum Mikroplastik in Gewässern [umsicht] [23, 25, 26]	12
Abbildung 14: benötigte Abbaupzeit einzelner Kunststoffprodukte, eigene Darstellung nach [27]	13
Abbildung 15: Zusammensetzung von Abfall aus Verpackungen verschiedener Materialien, 2017 [28]	14
Abbildung 16:Prozessschema einer Sortierung des Kunststoffverpackungsabfalls [5,30].....	15
Abbildung 17: Siebtrommel [5]	16
Abbildung 18: Windsichter (Querstromsichter) [5]	16
Abbildung 19: Magnetabscheider [5].....	17
Abbildung 20: Nahinfrarots Scanner [5]	17
Abbildung 21: Schematische Darstellung einer Müllverbrennungsanlage [31] .	19
Abbildung 22: Lebenszyklus von Kunststoffverpackungsabfall bei wertstofflicher Verwertung [35]	21
Abbildung 23: Prozessbeispiel einer Sortieranlage [5]	22

Abbildung 24: Resultatbeispiel für 100%igen Einsatz von Rezyklat; eigene Darstellung.....	23
Abbildung 25: Gesetze, Richtlinien und Verordnungen des Abfallrechts in Deutschland, eigene Darstellung [35]	24
Abbildung 26: Liste aller Anbieter des dualen Systems [41].....	26
Abbildung 27: Abfallhierarchien [42].....	27
Abbildung 28: Übersicht über den Durchführungsablauf; eigene Darstellung ...	29
Abbildung 29: Stoffstrombild von Post-Consumer-Abfälle in 2017, eigene Darstellung nach [19]	32
Abbildung 30: Deutsche Altkunststoffexporte; links ihre Mengen, rechts die Exportländer [46]	34
Abbildung 31: Exportangaben von der Warennummer: HS3915 aus Deutschland, eigene Darstellung nach [48]	34
Abbildung 32: Post-Consumer Abfall nach wesentlichen Einsatzfeldern [19] ...	35
Abbildung 33: werkstoffliche Verwertung; seine Wege, Ursachen und Auswirkungen; eigene Darstellung [4, 19, 26, 29, 50-57]	39
Abbildung 34: Mikroplastikaufkommen nach der Herkunft [26].....	42
Abbildung 35: Mikroplastikaufkommen nach ihren Kunststoffverhaltensarten [26]	42
Abbildung 36: Verteilung der Kunststoffabfälle in verschiedenen Gebieten [4].	43
Abbildung 37: Die vier größten Gründe für den geringen Einsatz von Rezyklat [41, 56].....	44
Abbildung 38: energetische Verwertung, seine Wege, Ursachen und Auswirkungen; eigene Darstellung [4, 19, 21, 32, 33, 52, 56-62]	46
Abbildung 39: Vergleich der Energiegewinnung durch Verbrennung oder Recycling [62]	49
Abbildung 40: Anteil des CO ₂ -Ausstoßes der weltweiten Kunststoffproduktion am Maximalbudget zu Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels bis 2050 [4].....	49
Abbildung 41: Anmeldestation und Waage für Anlieferungen [52].....	50
Abbildung 42: Halle, in der die Anlieferungen abgeladen werden und vorsortiert werden [52]	50
Abbildung 43: In der Halle vorsortierter Kunststoffabfallhaufen [52]	51
Abbildung 44: Abfallgemisch kleiner als 60 cm wird über ein Laufband auf das Rüttelsieb befördert [52].....	51
Abbildung 45: Rüttelsieb [52]	52

Abbildung 46: Größere Stücke kommen in den nächsten Bereich [52].....	52
Abbildung 47: o.l. aussortierte Kunststoffabfälle; o.r. aussortierter Metallschrott; u.l. Restabfälle; u.l. Container in den es gesammelt wird [52]	53
Abbildung 48: aussortierter Bauschutt [52].....	54
Abbildung 49: Sortierreste [52].....	54
Abbildung 50: Ausblick auf den Anlagenhof [52]	55
Abbildung 51: weitere aussortierte Kunststoffabfälle [52]	55
Abbildung 52: Produktionsabfälle [52].....	56

Abkürzungsverzeichnis

AbfAEV	Anzeige- und Erlaubnisverordnung
AbfBeutrV	Abfallbeauftragterverordnung
AbfVebrG	Abfallverbringungsgesetz
BfR	Bundesamt für Risikobewertung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BRD	Bundesrepublik Deutschland
DSD	Duales System Deutschland
ESB	Ersatzbrennstoff
HDPE	High- Density Polyethylen
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LDPE	Low- Density Polyethylen
MVA	Müllverbrennung
NachwV	Nachweisverordnung
NIR	Nahinfrarotsscanner
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
VerpackG	Verpackungsgesetz

Einheitenverzeichnis

mm	Millimeter
nm	Nanometer
Mio. t	Millionen Tonnen
MJ/kg	Mega Joule / Kilogramm

1. Einführung und Aufgabenstellung

In einem Supermarkt ist schnell zu erkennen, dass die Regale voll sind mit, in Verpackungen aus Kunststoff verpackten, Produkten. Verpackungen sind leicht, eignen sich bestens für das kostengünstige Verpacken, bieten exzellenten Schutz und sind höchst rational in Bezug auf Transporte. Hinzu kommt, dass Kunststoffe viele natürliche Ressourcen, wie Holz oder Metall ersetzen und seit Einführung des Kunststoffes im 20. Jahrhundert eine problemlösende Alternative sind. [1–3]

Das hohe Aufkommen der unverzichtbaren Kunststoffverpackungen und der damit einhergehende entstehende Abfall ist in den letzten Jahren ein immer größer werdendes globales Problem geworden. Zum einen werden für den Herstellungsprozess fossile Rohstoffe benötigt, des Weiteren haben Kunststoffprodukte zwar eine lange Lebens-, aber meistens nur eine kurze Nutzungsdauer, was Millionen Tonnen Abfall verursacht. Werden Verpackungen ordnungsgemäß eingesammelt und recycelt, dann sind sie nicht anders umweltbelastend, als z.B. verbranntes Benzin oder Erdöl zu Heizung. Zusätzlich wird in den Medien immer mehr von Mikroplastik in Gewässern und Böden berichtet, dass die Umwelt verschmutzt und Tiere verhungern lässt. Das Aufräumen von angespülten Kunststoffbeuteln und -flaschen an den verschiedensten Stränden gleicht einer Sisyphusarbeit. [4,5]

Aus dem vorteilhaften Material Kunststoff ist ein ernstzunehmendes globales Problem geworden, welches nur schwierig zu lösen sein wird. Eine der Lösungen wäre, dass Verpackungen kontrolliert wiederverwertet werden müssen, sodass eine vermehrte und unbeherrschbare Vermüllung verhindert werden kann.

In Deutschland existiert eine gesetzlich vorgeschriebene Verwertungsquote. Sie soll Unternehmen dazu verpflichten, in Verkehr gebrachte Verpackungen aus Kunststoff verstärkt zu verwerten. [6]

Mit der vorgelegten Untersuchung der Verwertung von Verpackungen aus Kunststoff in Deutschland soll geklärt werden, inwieweit die vorhandenen Verwertungsarten die gesetzlich geregelte Verwertungsquote umsetzen.

Aufgabe dieser Untersuchung ist die Darstellung der Erzeugung von Kunststoffen aus fossilem Erdöl oder Erdgas, die Darstellung der unterschiedlichen Kunststoffsorten, des Müllaufkommens aus gebrauchten Kunststoffverpackungen, deren Mengen, Zusammensetzung, das Recyceln, die Darstellung der Verwertung und insbesondere gebrauchte Kunststoffe.

2. Der Lebenszyklus von Kunststoffverpackungen

2.1. Kunststoffherstellung

Für die konventionelle Kunststoffherstellung werden Rohstoffe wie Erdöl oder Erdgas benötigt. Erdöl wird in den verschiedensten Ländern mithilfe von Erdölförderungsanlagen an die Oberfläche gebracht. Im Jahr 2017 war der globale Erdölverbrauch bei ca. 4.550 Mio. t. Dabei sind die USA an der Spitze der Liste gefolgt von China und Indien. Deutschland war mit einem Verbrauchsanteil von ca. 3 % an der neunten Stelle (siehe Abbildung 1). [7]

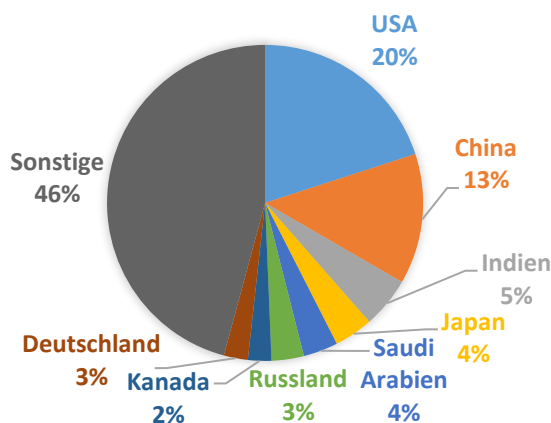


Abbildung 2: Erdölverbrauch 2017 aufgeteilt in die Anteile der wichtigsten Länder [7]

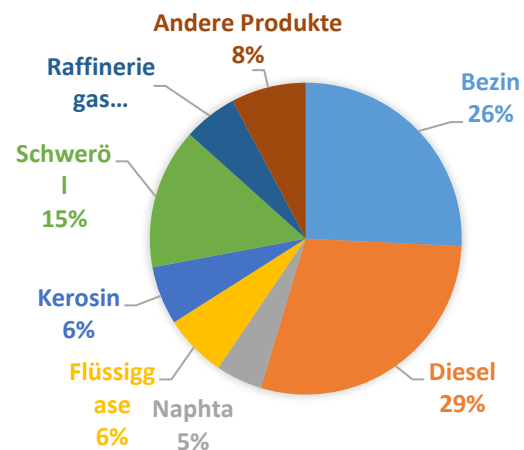


Abbildung 1: weltweite Produktion von Brennstoffen aus Erdöl in Mio. Tonnen / Jahr, eigene Darstellung nach [8]

Gefördertes Erdöl wird raffiniert. Dabei wird das Erdöl von Verschmutzungen gereinigt und destilliert, um verschiedene Produkte aus dem Erdöl zu gewinnen [8,9].

Bei der Destillation werden die unterschiedlichen Siedetemperaturen der Inhaltsstoffe des Rohöls ausgenutzt, um verschiedene Fraktionen, die im Erdöl enthalten sind, zu gewinnen. Bei Temperaturen von 400°C bis 20 °C durchläuft das Rohöl unterschiedliche Destillationsstufen. [8,9]

Dabei entstehen bekannte Brennstoffprodukte wie z.B. Diesel, Kerosin oder Leichtbenzine (Naphtha) [9,10].

Naphtha ist das Grundprodukt für die Kunststoffherstellung. In Abbildung 3 ist dargestellt, welchen Nutzen Naphtha für die Kunststoffherstellung hat. Aus dem Naphtha sind die Grundstoffe wie Benzol, Ethylen oder Propylen zu erhalten. Durch Polymerisation sind Kunststoffe wie, Polyamid (PA), Polyethylen (PE), Polyvinylchlorid (PVC) oder Polypropylen (PP) Synthesekautschuk möglich. [11]

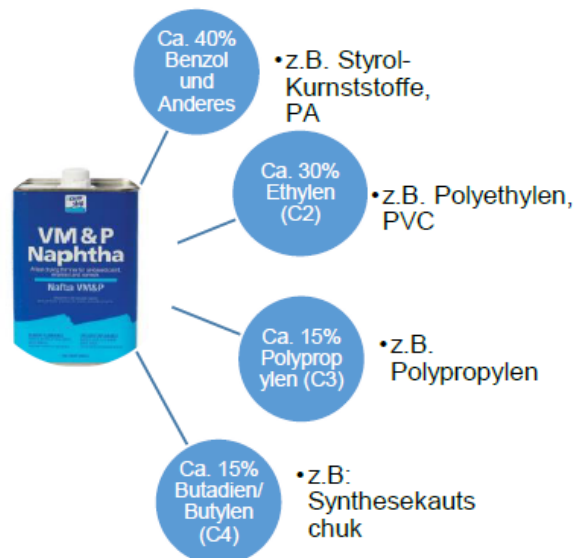


Abbildung 3: Nutzung des Naphthas/ Erdöls zur Kunststoffherzeugung, eigene Darstellung nach [11]

2.1.1. Verwendung von Erdöl

Abbildung 4 zeigt, für welche Bereiche das Erdöl verwendet wird.

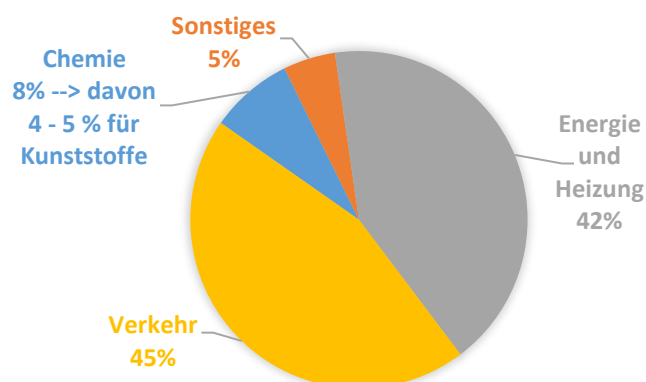


Abbildung 4: Nutzung des Erdöls nach Bereichen in %, eigene Darstellung [11]

45 % werden für den Verkehr, wie Benzin oder Diesel, verwendet. 42 % gehen in Heizung und Energie und 12 % in die chemische Industrie. Von diesen 12 % gehen 4 – 5 % in die Kunststoffproduktion. [11]

2.1.2. Kunststoffarten, ihre Herstellung und Verhalten

Durch thermisches oder katalytisches Cracken wird das Monomer Ethen, bestehend aus Kohlenwasserstoffen, freigesetzt. Cracken ist ein Verfahren zur Aufspaltung von langkettigen Kohlenwasserstoffmolekülen, z.B. Schweres Heizöl zu kurzkettigen Kohlenwasserstoffmolekülen, z.B. Benzin. Die Herstellungsverfahren Polymerisation, Polyaddition oder der Polykondensation (Abbildung 5) werden genutzt, um die kohlenstoffbasierenden Polymere wie PA, PE, PP und weitere Kunststoffe zu bilden. [8,12]

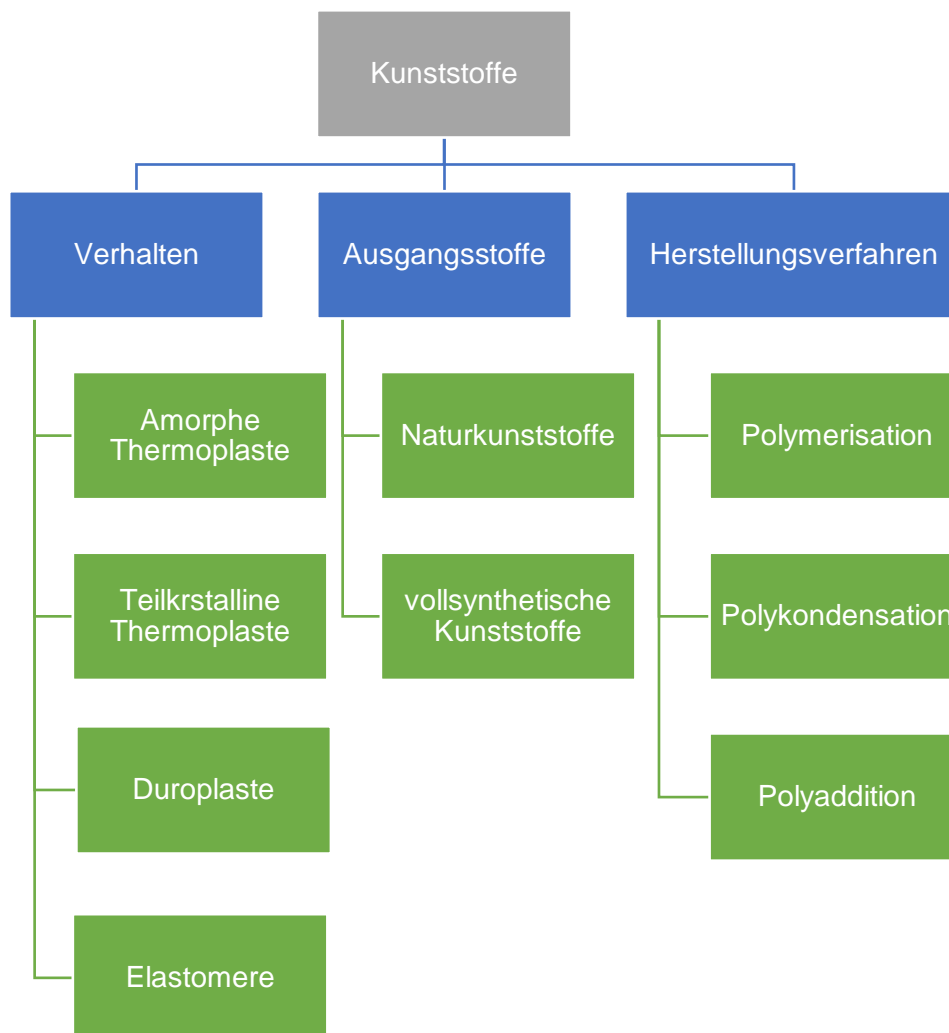


Abbildung 5: Einteilung der Kunststoffe, eigene Darstellung nach [9,12]

Beschrieben wird beispielsweise die Herstellung bzw. Polymerisation von PE. Aus Ethylen werden die Doppelbindungen zwischen den Kohlenstoffatomen mit Hilfe von Druck und hohen Temperaturen aufgebrochen, sodass die Kohlenstoffatome mit anderen Kohlenstoffatomen eine Bindung eingehen können. Es bildet sich somit ein langkettiges Kohlenwasserstoffmolekül (siehe Abbildung 6). [13]

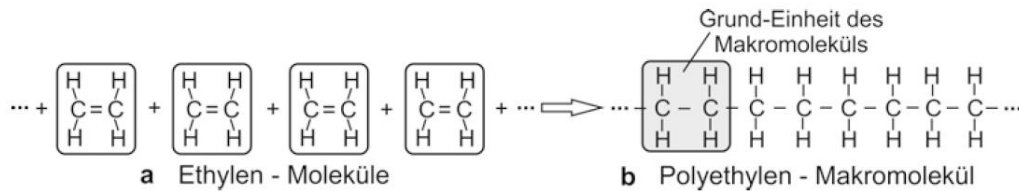


Abbildung 6: Herstellung von Polymeren am Beispiel von Polyethylen [13]

Polyamide werden mithilfe der Polykondensation und Polyurethan (PUR) wird durch die Polyaddition hergestellt. [12]

Kunststoffe unterteilen sich nicht nur nach ihrer Herstellungsart und ihrem Molekülaufbau, sondern auch nach ihrem Verhalten beim Erwärmen oder Verarbeiten bei Wärme und Druck und ihren unterschiedlichen Dichtigkeits- (Gas, Wasser), sowie Festigkeitseigenschaften. Dabei wird in **Thermoplaste**, **Duroplaste** und **Elastomere** unterschieden. Bei Thermoplasten wird in amorphe und teilkristalline Thermoplaste unterteilt (siehe Abbildung 5). [12]

Thermoplaste sind Kunststoffe, die sich wiederholt plastisch verformen lassen, schmelzbar sind und geschweißt werden können [45]. **Amorphe Thermoplaste** (siehe Abbildung 8) besitzen Moleküle, die aufgrund von sehr geringen Anziehungskräften, nur schwach miteinander verbunden sind. Die Glas temperatur ist mit 150 °C höher, als bei den **teilkristallinen Thermoplasten** (siehe Abbildung 7). Bei teilkristallinen Thermoplasten gleicht der Aufbau zum einen den der amorphen Thermoplaste, zum anderen sind teilweise Moleküle in kristalliner Struktur miteinander verbunden. [12,14]



Abbildung 8: Struktur amorpher Thermoplaste [12]



Abbildung 7: Struktur teilkristalliner Thermoplaste [14]

Die Glasstemperatur zeigt, bis zu welchen Temperaturen Kunststoffe spröde sind. Amorphe Thermoplaste (Abbildung 8) sind bei niedrigen Temperaturen spröde und erst bei höheren Temperaturen, also ab 150 °C, zäh und plastisch verformbar. Teilkristallinen Thermoplaste (Abbildung 7) hingegen sind zwar auch bei niedrigen Temperaturen spröde, der zähelastische Zustand ist jedoch bereits bei nicht so hohen Temperatur, wie es bei den amorphen Thermoplasten der Fall ist, erreicht. [43]

Bei den **Elastomeren** und **Duroplasten** sind chemisch miteinander verbundene Moleküle. Duroplasten haben mehr Vernetzungen als Elastomere, siehe Abbildung 9 und 10. Aufgrund der weitmaschigen chemischen Vernetzung der Elastomere lassen diese sich gut verformen und haben ein gummielastisches Verhalten. Durch die hohe Vernetzung der Moleküle bei den Duroplasten haben diese „[eine hohe Festigkeit, eine hohe Oberflächenhärte und eine hohe Formfestigkeit [...]“ [3]. Weiterhin werden sie bei niedrigen Temperaturen nicht spröde und halten auch hohen Temperaturen stand. [3,12,14]

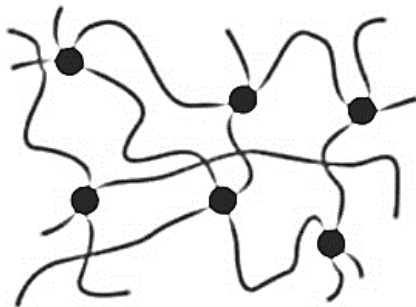


Abbildung 10: Struktur der Duroplaste [12]

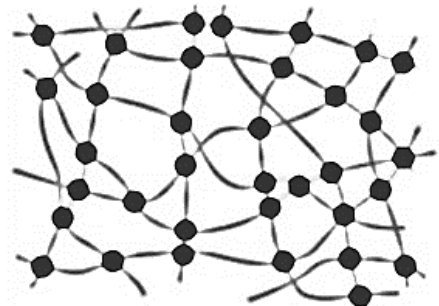


Abbildung 9: Struktur der Elastomere [12]

2.1.2 Additive und Verbundkunststoffe

Additive

Neben den unterschiedlichen Molekülstrukturen, die die Eigenschaften des Kunststoffes bestimmen, kann durch Beimischung von Additiven oder weiteren Kunststoffen eine zusätzliche Veränderung erreicht werden. Das Spektrum der Einsatzmöglichkeiten vergrößert sich dadurch. [15]

Additive, sind z.B. Weichmacher, Stabilisatoren, Gleitmittel, Flammschutzmittel, Füllstoffe, Farbstoffe, [15]

Weichmacher werden Kunststoffen beigemischt, um deren Elastizität zu erhöhen und deren Glasübergangstemperatur zu verringern. Häufig wird dieses Additiv zwischen 20-50 % dem PVC beigemischt, um die Verarbeitung von Bodenbelägen oder Elektrokabeln leichter werden zu lassen. [16–18]

Die Beimischung von **Stabilisatoren** hat als Ziel, Kunststoffe vor UV-Strahlen und Wärme zu schützen. Ist dieser Schutz nicht gegeben, verändern sich durch z.B. Einwirkung von UV-Strahlen die molekularen Bindungen. Eine Zersetzung und eine daraus folgende negative Beeinflussung auf die Eigenschaften wäre das Fazit. [16]

Gleitmittel rufen bei Zugabe zu Kunststoffen eine mühelosere Handhabung während der Verarbeitung und Verformung hervor [16].

Kunststoffe wie PP und PE sind leicht selbstentzündbar. Durch Beimischung von **Flammschutzmitteln** wird dieser Effekt eliminiert [16].

Mit der Zugabe von **Füllstoffen** kann zum Beispiel die Härte als Qualitätsmerkmal verändert werden. Weiterhin werden Füllstoffe auch für die Streckung von Kunststoffen verwendet, um einen erschwinglicheren Preis zu erzielen. [16]

Um Kunststoffverpackungen in ihrem individuellen und gewünschten Design attraktiver werden zu lassen, werden **Farbstoffe**, in Form von Pigmenten verwendet [16].

Verbundwerkstoffe

Eine weitere Möglichkeit die Eigenschaften, wie die Durchlässigkeit gegen Gase und Wasserdampf, von Verpackungen zu verbessern, ist die unterschiedlichen Kunststoffarten zu kombinieren. Das Prinzip ist die Addition unterschiedlicher Eigenschaften der einzelnen Kunststoffe. Dabei werden die Kunststoffe form-, stoffschlüssig oder als Kombination aus beiden miteinander verbunden. [15]

2.1.3. Verwendung und Einsatz von Kunststoffen

Abbildung 11 zeigt weitere Bereiche, für die Kunststoffe eingesetzt werden.

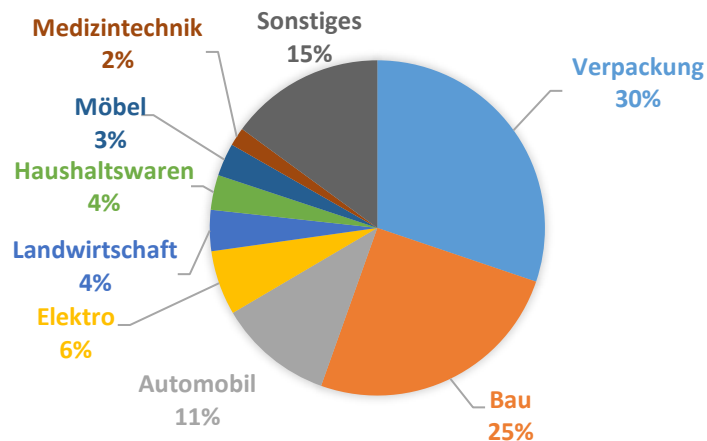


Abbildung 11: Verwendung von Kunststoff nach seinen Einsatzgebieten in Deutschland 2017 [20]

Für die Bauindustrie werden 24,5 % der Kunststoffverarbeitungs­menge verwendet. An dritter Stelle steht die Automobilindustrie. In der Bau- und Automobilindustrie ist der verwendete Kunststoff langlebig und besitzt eine hohe Nutzungsdauer. Somit werden Produkte aus diesen Branchen, erst nach einem langen Gebrauch zu Kunststoffabfall. Der größte Teil der Kunststoffverwendung geht in die Verpackung. Häufig ist bei Verpackungen die Nutzungsdauer kurz, also die Zeitspanne, in der das Produkt genutzt und gebraucht wird. [19,20]

Die am häufigste produzierte Kunststoffart ist mit 17 % Polypropylen. Anschließend das Low-Density Polyethylen (LDPE), ein eher weiches Material und das High-Density Polyethylen (HDPE), welches härtere Eigenschaften als das LDPE aufweist. Unter Kunststoffverpackungen fallen z.B. Lebensmittelverpackungen für Molkereiprodukte und Fleischwaren, Getränke (PET-Flaschen), Flaschen für Körperpflegemittel, Wasch- und Reinigungsmittel und hygienische Verpackungen. Kunststoff bietet Eigenschaften wie Schutz und hohe Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen von innen und von außen und ein vielseitiges Design aus Marktgründen ist möglich. [2,4,20]

Abbildung 12 zeigt, auf welche Kunststoffarten der Fokus liegt, wenn über Verpackungsabfall aus Kunststoff gesprochen wird [4].

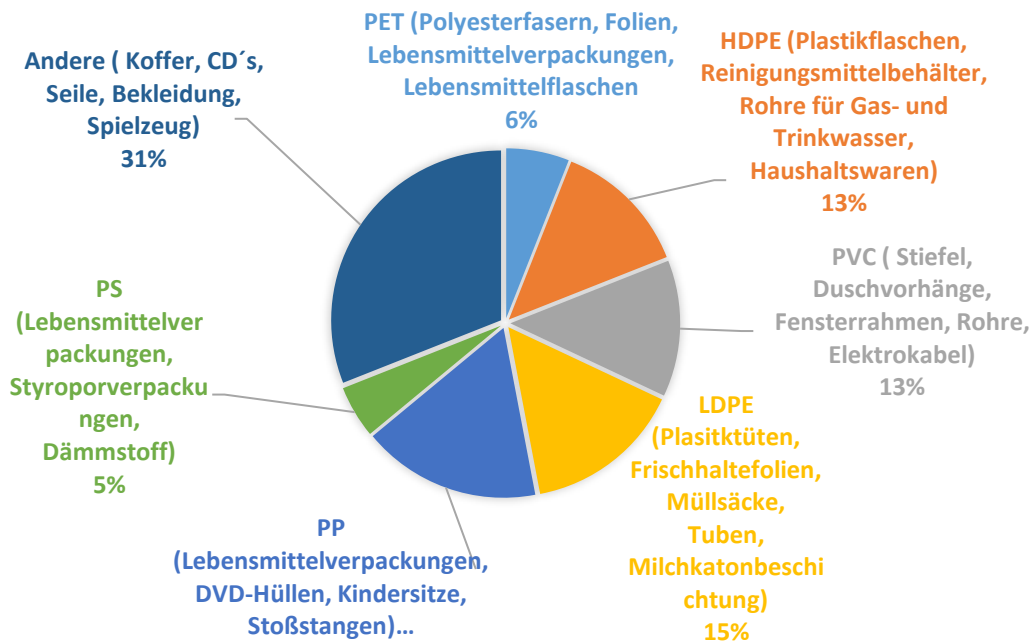


Abbildung 12: Anteile verschiedener Kunststoffarten und deren Kennzeichnung mit Recycling-codes in Deutschland 2017, eigene Darstellung nach [4]

Bevorzugte Kunststoffarten werden für Verpackungen verwendet:

- PP
- LDPE
- HDPE
- Polyethylenterephthalat (PET)
- Polystyrol (PS)

Die vorgelegte Arbeit fokussiert sich auf die genannten Kunststoffarten.

Eine immer wichtigere Bedeutung in den letzten Jahren ist die Herstellung und Verwendung von Biopolymeren. Hierbei wird eine Vielzahl nachwachsender und pflanzlicher Rohstoffe, wie Holz, Kartoffeln oder Zuckerrohr, als Basis für die Biokunststoffherstellung verwendet. Der überwiegende Gebrauch liegt aktuell bei den konventionellen Kunststoffen und hat daher einen größeren Einfluss auf die Verwertungsquote. Infolgedessen wird in dieser Thesis auf die konventionellen Kunststoffe und die daraus bestehenden Verpackungen konzentriert eingegangen. [4,11,21]

2.1.4. Vor- und Nachteile von Kunststoffen

Als Kunststoffe in den 20er Jahren an Bedeutung gewannen, geschah dies nicht ohne Grund. Für Rohstoffe wie Holz, Metall und Glas mussten Alternativen gesucht werden. Kunststoffe waren die perfekte Alternative. In Tabelle 1 sind die Vor- und Nachteile des Kunststoffes aufgeführt. [1]

Vorteile	Nachteile
Geringe Dichte	Geringe Festigkeit
Einfache und preiswerte Formgebung möglich	Geringe Wärmebeständigkeit
Hart, biegsam oder elastisch - je nach Kunststoffart	Niedriger Flammpunkt, auch gut brennbar
Elektrisch isolierend (auch leitfähige Kunststoffarten)	Recyclingfähigkeit nicht bei jeder Kunststoffart möglich
Wärmedämmend	Lösungsmittel können einige Kunststoffarten z.B. zersetzen
Schalldämmend	Kann durch beinhaltende Additive gesundheitsgefährdend sein
Sehr gute Witterungs- und Chemikalienbeständigkeit	Nicht biologisch abbaubar; zersetzt sich sehr langsam

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Kunststoff [3, 15, 22-24]

Gute Witterungs- und Chemiebeständigkeit sind nicht nur ein Vorteil, sondern auch ein Nachteil. Es kommt immer wieder vor, dass gebrauchte Verpackungen aus Kunststoffen und später seine Abfälle durch Littering in der Natur und in Gewässern wieder zu finden sind. Littering ist das achtlose Entsorgen von Abfällen. UV-Strahlen und Salze sind Beispiele, die eine Zerkleinerung der Kunststoffe unterstützt. Die zusätzliche Energiebeaufschlagung beeinflussen die Moleküle innerhalb der Kunststoffe und verändert deren Molekularstruktur, sodass es zu einem Zerfall des Kunststoffes kommt (näheres zu Kunststoffabfällen in Kapitel 2.2). Bei Kunststoffen kommt es zu keiner vollständigen Zersetzung oder einem Abbau, sondern zu einer Zerkleinerung. Bei diesem Prozess werden auch Additive frei, die gesundheitsschädlich sein können. [15,22–24]

2.1.5. Mikroplastik

Je weiter sich Kunststoffe zersetzen, desto kleiner werden die Teile, so dass so genanntes Mikroplastik vorliegt. Dieser Prozess ist in Abbildung 13 dargestellt. [24]

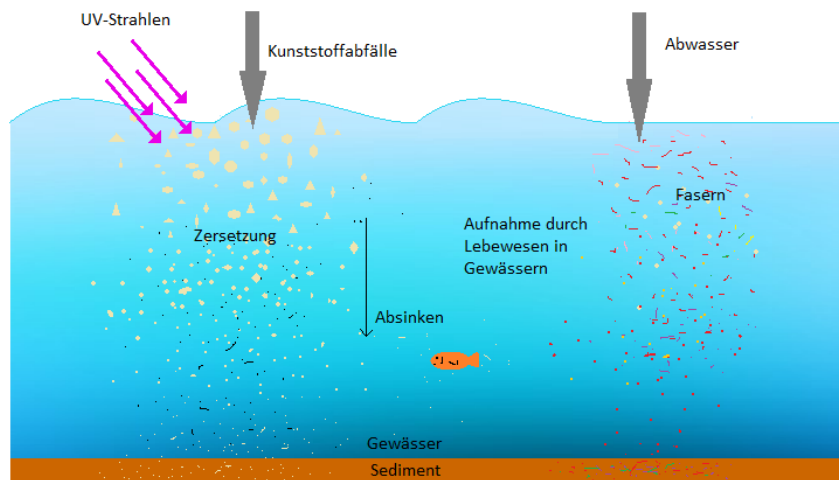


Abbildung 13: Schematische Darstellung von dem Kunststoffabfall zum Mikroplastik in Gewässern [23, 25, 26]

Von Mikroplastik wird gesprochen, wenn die Größe der Partikel zwischen 100 nm bis 5 mm liegt. Ergänzend dazu gibt es das Nanomaterial, welches eine Größe von 1 nm bis 100 nm hat. [23]

Bei der Zersetzung findet Mikroplastik seinen Weg nach unten, bis es sich, sofern es im Wasser ist, im Sediment absetzt. In Kosmetikprodukten, wie Peelings sind Mikropartikel enthalten, die in die Abwässer und anschließend in Gewässern gelangen. Wale, Fische und andere Organismen nehmen diese Stoffe auf. Auch beim Menschen können so durch die Nahrung Mikropartikel aufgenommen werden. Dazu hat das Bundesamt für Risikobewertung (BfR) folgende Stellung genommen: „Erste Untersuchungen zu Mikroplastik haben erst vor kurzer Zeit begonnen. Dementsprechend fehlt uns die Grundlage zu einer umfassenden gesundheitlichen Risikobewertung“. [23] Untersuchungen, ob Mikroplastik oder Nanomaterial durch die Darmwand gelangt, sind noch notwendig. Eine Vermutung, dass Additive sich herauslösen, könnte ein gesundheitliches Risiko mit sich bringen. Die Folgen von Mikroplastik/ Mikropartikel/ Nanomaterial ist noch nicht ausreichend erforscht. Welche gesundheitlichen Folgen daraus entstehen, kann noch nicht gezeigt werden. [23,25,26]

Abbildung 14 zeigt die Abbaupzeit für einige Kunststoffverpackungsprodukte. [27]

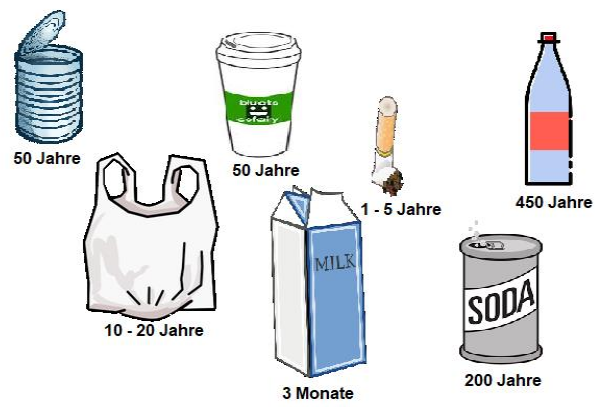


Abbildung 14: benötigte Abbaupzeit einzelner Kunststoffprodukte, eigene Darstellung nach [27]

2.2. Abfall aus Verpackungen

Verpackungen werden aus unterschiedlichen Materialien gefertigt. Abbildung 15 zeigt die Zusammensetzung von Abfall aus Verpackungen. [28]

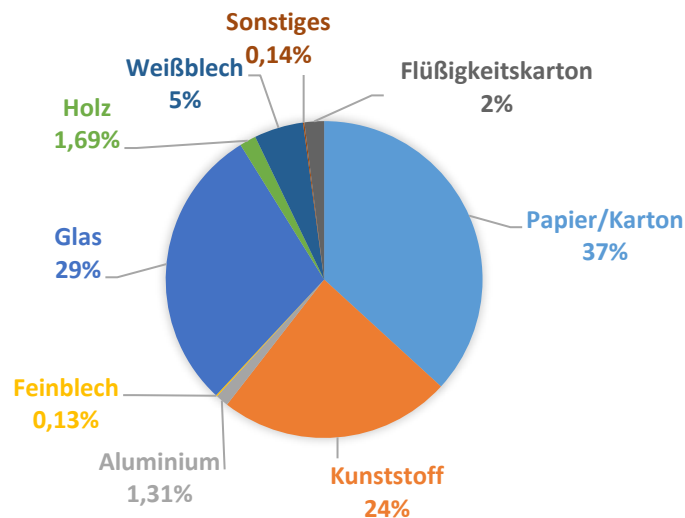


Abbildung 15: Zusammensetzung von Abfall aus Verpackungen verschiedener Materialien, 2017 [28]

Insgesamt sind 2017 8,8 Mio. t Verpackungen als Abfall angefallen. Papier bzw. Karton sind an erster Stelle und Glas an zweiter Stelle. 24 % ist der Abfallanteil für Verpackungen aus Kunststoff. [28]

2.2.1 Abfall aus Kunststoff

Kunststoffabfall entsteht, wenn Produkte aus Kunststoff beim Verbraucher nicht mehr benötigt werden. Unter **Post-Consumer Abfall** wird in diesem Zusammenhang jeder Alltagsgegenstand aus Kunststoff, der von uns Menschen gebraucht wird, verstanden. Sie haben ihre Aufgabe erledigt. Es handelt sich z.B. um Lebensmittelverpackungen, Hygieneartikel, Müllbeutel aber auch Produkte aus anderen Industriegebieten. Die Abfälle lassen sich in Post-Consumer- Abfall und in Produktion- und Verarbeitungsabfall unterscheiden. Post-Consumer Abfall kann wiederum in gewerblich und privat anfallenden Abfall unterteilen werden. [19]

Wird von **gewerblichem Abfall** gesprochen, so ist damit jeder Abfall gemeint, der bei privatwirtschaftlichen oder öffentlichen Unternehmen bei der Produktion

im Handel oder bei Dienstleistungen entsteht. **Privat anfallender Abfall** ist Abfall, der bei privaten Endverbrauchern anfällt und auch als Haushaltsmüll angesehen werden kann. [19]

Bei der Produktion von z.B. Spielzeug und anderen Gebrauchsgegenständen aus Kunststoff, bleiben **Produktions-** oder **Verarbeitungsreste** zurück, die nicht mehr weiterverwendet werden können, weil sie meist verschmutzt oder gefärbt sind. Dieser fällt dann als nicht sortenreiner Kunststoffabfall an. [19]

2.2.2. Sortierung von Abfällen aus Kunststoffverpackungen

Überwiegend wird bereits in den Haushalten oder in gewerblichen Betrieben Verpackungsabfall aus Kunststoff in die Gelben Säcke sortiert. Im Gelben Sack sollen sich Verkaufsverpackungen aus Kunststoff, Aluminium, Weißblech und Verbundstoffen befinden. Einmal pro Woche sammelt die Müllabfuhr der zugehörigen Kommune die Gelben Säcke ein und verbringt diese in Sortieranlagen. [29]

Das folgende Schema (Abbildung 16) zeigt den Prozess von der Entstehung des Kunststoffverpackungsabfalls bis hin zu der Sortierung und deren Trennverfahren.

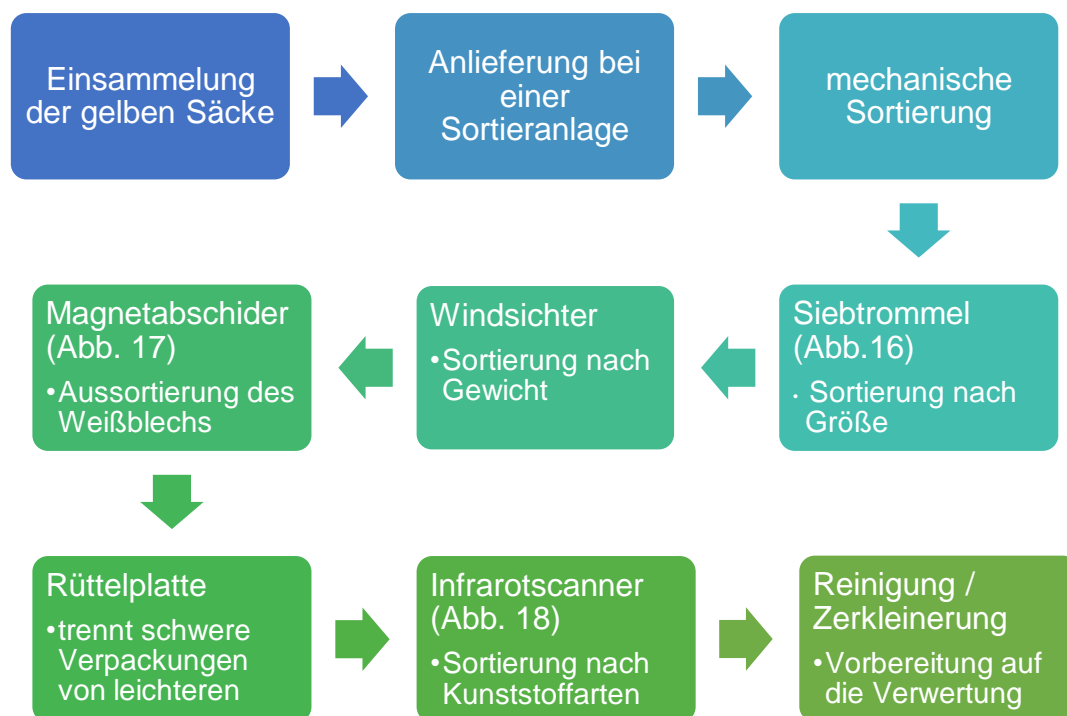


Abbildung 16: Prozessschema einer Sortierung des Kunststoffverpackungsabfalls [5,30]

Die Reihenfolge der eingesetzten Sortieranlagen kann unterschiedlich sein, die Technik ist dennoch in jeder Sortieranlage ähnlich, denn die mechanische Trennung erfolgt durch Ausnutzen der physikalischen Eigenschaften der einzelnen Stoffe. [5,30]

Abbildung 17 zeigt eine **Siebtrommel** mit gemischten Abfällen (Siebgut). Hier ist zu erkennen, dass durch die Löcher der Siebtrommel, kleinere Teile (Feingut) fallen. Die größeren Teile (Grobgut) wandert bis zum anderen Ende der Siebtrommel durch. [5]

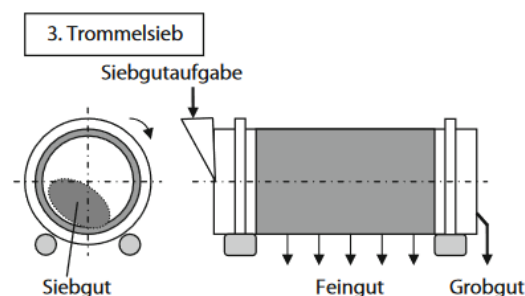


Abbildung 17: Siebtrommel [5]

Mit dem **Windsichter**, wie er in Abbildung 18 schematisch dargestellt ist, wird das Abfallgemisch (Aufgabe) in einen Raum gebracht, wodurch es mithilfe eines quer einströmenden Luftstroms voneinander getrennt wird. Verpackungen (Körner) mit höherer Dichte fallen in die vorderen Behälter. Umso geringer die Dichte der Verpackungen ist, desto später sinkt es in weitere und dafür vorgesehene Behälter. [5]

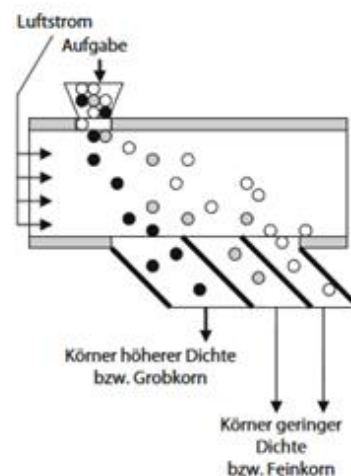


Abbildung 18: Windsichter (Querstromsichter) [5]

Der **Magnetabscheider** ist in Abbildung 19 dargestellt. Vermischter Abfall (Aufgabegut) läuft auf einem unteren Förderband. Metallische und somit magnetische Verpackungsabfälle werden vom Aufhebemagneten an das obere Förderband nach oben angezogen. Später fällt das magnetische Material wieder nach unten und damit aus dem Gemisch herausortiert. [5]

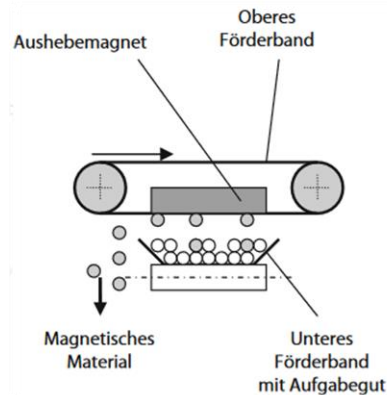


Abbildung 19: Magnetabscheider
[5]

Für die Trennung der einzelnen Kunststoffarten ist der **Nahinfrarotscanner (NIR)** von großer Bedeutung (Abbildung 20). Zu Beginn läuft das Kunststoffverpackungsgemisch (Aufgabe) über ein Förderband zum NIR-Messkopf. Jede Kunststoffart gibt unterschiedliche Wellenarten wieder. Hat der NIR eine Kunststoffart erkannt, so wird er mithilfe eines Druckluftstoßes herausortiert. So können verschieden Kunststoffarten voneinander getrennt werden. Handelt es sich um Verpackungen, die bedruckt wurden oder in schwarz gefärbt worden sind, so hat der NIR Schwierigkeiten die Kunststoffart zu erkennen. Diese wird keinem Kunststoff zugeordnet. [5]

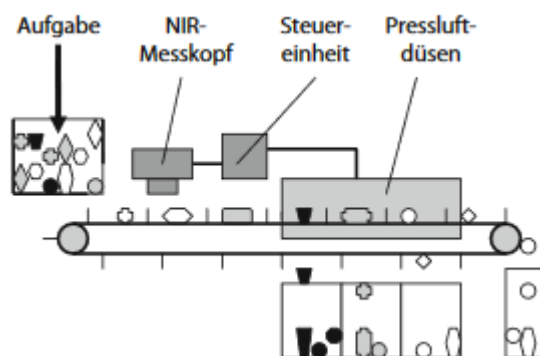


Abbildung 20: Nahinfrarotscanner [5]

2.4. Energetische und stoffliche Verwertung

Nach Duden bedeutet „Verwerten“ etwas, was brachliegt, was nicht mehr oder noch nicht genutzt wird, verwenden, etwas daraus machen [63].

Die Verwertung ist eine Möglichkeit, um anfallende Kunststoffabfälle zu reduzieren und sinnvoll wiedereinzusetzen und zu verwenden. Ziel dabei ist Rohstoffe, die endlich sind, einzusparen. Mit der Verwertung soll verhindert werden, dass Natur und Umwelt, sowie Mensch und Tier durch Kunststoffabfälle gesundheitlich belastet werden. [5]

Für die Verwertung von Kunststoffabfall gibt es zwei Möglichkeiten. Hierbei wird übergeordnet von der **energetischen** und von der **stofflichen Verwertung** gesprochen. Letzteres unterteilt sich in zwei Verwertungsarten. Die stoffliche Verwertung kann in die **werkstoffliche** und in die **rohstoffliche Verwertung** unterteilt werden [31]. Bei energetischer Verwertung wird der Kunststoffverpackungsabfall mithilfe von Müllverbrennungsanlagen (MVA) zur Energiegewinnung genutzt oder er dient als Ersatzbrennstoff (EBS) für z.B. die Metall- oder Zementherstellung. [19]

2.4.1. Energetische Verwertung

Die energetische Verwertung ist ein Mittel, die in Kunststoffverpackungen enthaltene Verbrennungsenergie in Form von Energie oder Wärme zu nutzen [19].

Abbildung 21 zeigt das Fließbild einer Müllverbrennungsanlage dargestellt [31].

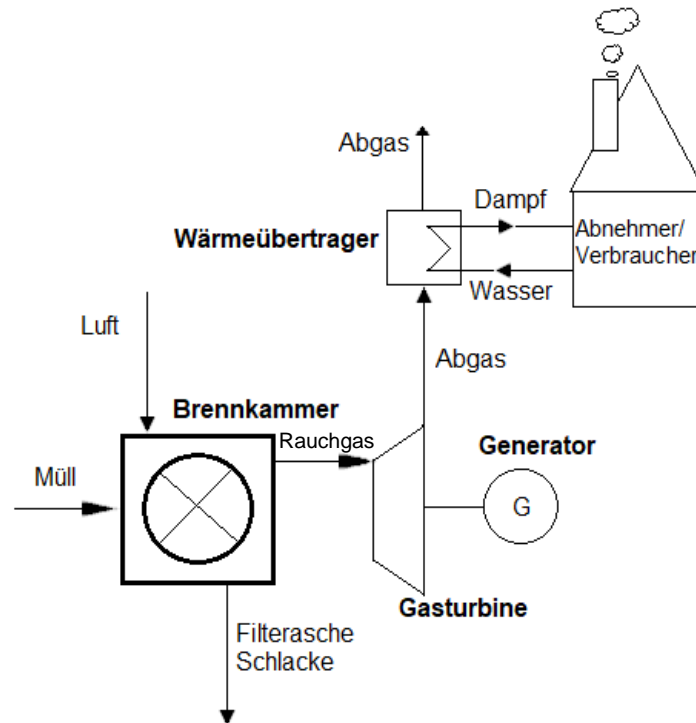


Abbildung 21: Schematische Darstellung einer Müllverbrennungsanlage [31]

Müll wird in eine Brennkammer eingebracht. Dabei wird das Abfallgemisch mit anderen Abfällen vorerst vermischt, da es wichtig ist, dass der Heizwert des Abfallgemisches nahezu konstant bleibt. Ist dies nicht der Fall, so kann die MVA nicht mehr die Energie oder Wärme leisten, die benötigt wird. Für eine vollständige Verbrennung wird Luft eingespeist. Bei der Verbrennung entsteht Rauchgas, das in einem Dampferzeuger Wasserdampf erzeugt. Dieser Wasserdampf wird in der Gasturbine entspannt, die einen Generator antreibt und Energie erzeugt. Der erzeugte Wasserdampf wird zusätzlich einem Wärmeübertrager zugeführt. Hier heizt der Wasserdampf einfließendes Wasser auf und erzeugt Dampf, mit dem beispielsweise Haushalte geheizt werden können. Zurück fließt wieder das abgekühlte kondensierte Wasser und wird wieder im Wärmeübertrager aufgeheizt. [31]

Der Einsatz von ESB dient für Prozesse, wie z.B. in der Stahl- und Zementherstellung. In beiden Fällen kommt es zu einer Verbrennung, bei denen Abgase entstehen, die durch Schornsteine in die Atmosphäre geleitet werden. Dabei sind Filteranlagen notwendig, die bei der Verbrennung entstehende und gleichzeitig unerwünschte Stoffe herausfiltern müssen. Auch mit der entstandenen Asche, auch Schlacke genannt, die als nicht brennbarer Rückstand übrigbleibt, muss richtig umgegangen werden. Hier können sich Schadstoffe während der Verbrennung ansammeln. Diese Schlacke kann aus verschiedenen Metallen wie Kupfer, Zink oder Aluminium bestehen. Die Metalle werden durch bestimmte Verfahren herausgewaschen, sodass nur noch Nicht-Metalle in der Schlacke vorhanden ist. Die Metalle werden wieder für andere Produktionen wiederverwendet. Die übrige Schlacke wird, abhängig von ihrer Zusammensetzung, im Straßenbau verwendet. Ist dies nicht der Fall, so muss dieser auf Sondermülldeponien deponiert werden. [32,33]

2.4.2. Stoffliche Verwertung

Im Gegensatz zur energetischen Verwertung gibt es die stoffliche Verwertung. Dieses Verfahren wird in die rohstoffliche und die werkstoffliche Verwertung unterteilt. [19]

Rohstoffliche Verwertung kommt dann zum Einsatz, wenn es sich um Kunststoffabfall handelt, der aus sehr vielen verschiedenen Kunststoffarten besteht. Die Kunststoffabfälle u.a. auch Verpackungsabfälle, werde so weit verwertet, dass die Makromolekülstruktur in ihre Monomere zerlegt werden. Die Zerlegung findet so weit statt, dass Produkte wie hochwertige Öle und Flüssiggase daraus entstehen und dienen somit als Ersatz für fossile Brennstoffe. [31] Diese Art der Verwertung wird nur sehr wenig eingesetzt, da der Prozess sehr teuer und aufwendig ist. Aus diesem Grund lohnt sich diese Art der Verwertung noch nicht. [34]

Der Prozess der wertstofflichen Verwertung, von Kunststoffverpackungsabfällen und allgemein von Kunststoffabfällen, auch Recycling genannt, ist im Grunde genommen nur die Zerkleinerung von Kunststoffabfällen, ohne die molekulare Struktur zu zerstören. [34]

Das Ziel der werkstofflichen Verwertung ist einen geschlossenen Kreislauf für Kunststoffe zu erreichen. Abbildung 22 zeigt diesen Kreislauf [35].

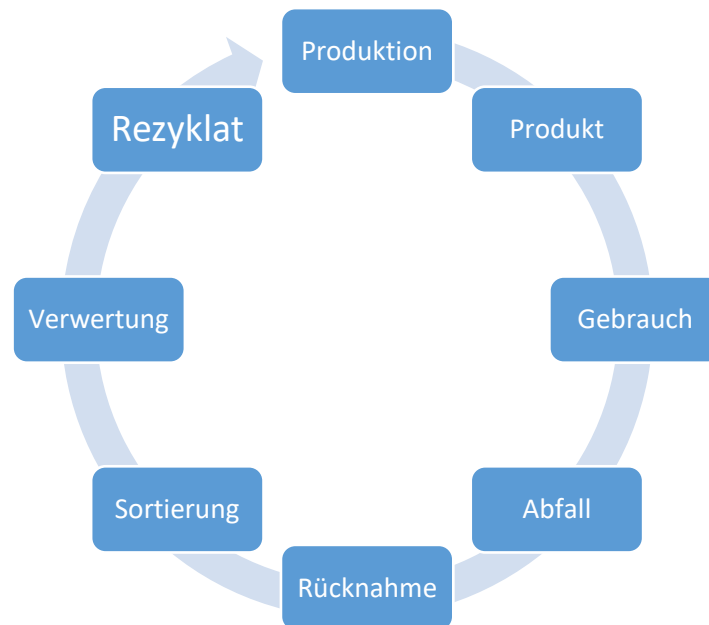


Abbildung 22: Lebenszyklus von Kunststoffverpackungsabfall bei wertstofflicher Verwertung [35]

Zuerst wird Kunststoff zur Herstellung eines Produktes eingesetzt, um diesen anschließend zu gebrauchen. Sobald es nicht mehr gebraucht wird, ist es ein Abfallprodukt. Dies wird eingesammelt, um es zu Sortieranlagen zu bringen. Ist eine hohe Sortierung verschiedener Kunststoffarten erreicht, werden diese als Rezyklat wieder in der Produktion für neue Gegenstände aus Kunststoff verwendet. [35]

Bei sehr gut sortierten Kunststoffabfällen und ohne Verunreinigungen durch z.B. Lebensmittelreste können hochwertige Kunststoffe als Rohstoff aufbereitet werden. Umso sortenreiner der Kunststoffabfall, desto besser ist am Ende das Rezyklat. [36]

Der Prozess der werkstofflichen Zerkleinerung ist in Abbildung 23 abzulesen [5].

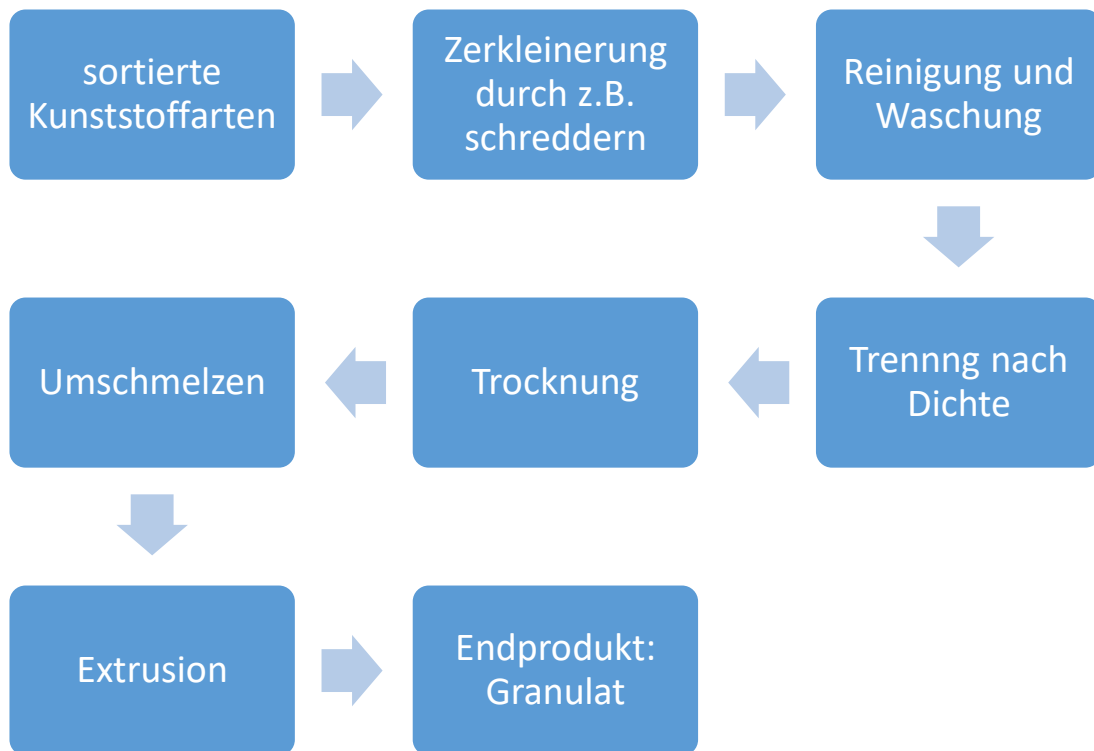


Abbildung 23: Prozessbeispiel einer Sortieranlage [5]

Zu Beginn wird sortierter Kunststoff z.B. PET, zerkleinert, so dass kleine Flocken des Kunststoffes vorliegen. Aufgrund von Verunreinigungen wie Klebe- oder Lebensmittelrückstände oder Papieretiketten müssen diese durch eine Waschung abgelöst und somit gereinigt werden. Anschließend kann eine Trennung nach Dichte erfolgen. Es folgt eine Trocknung, um es danach umzuschmelzen. Während der Extrusion können Additive hinzugefügt werden. Eine Abkühlung des Granulats beendet diesen Prozess. Das Granulat kann als Rezyklat weiterverarbeitet werden. [5]

2.4.3 Beispiele stoffliche Verwertung

Handelt es sich um sortenreine PET-Flaschen, die nach diesem Prozess recycelt werden, so können mit Zugabe von PET-Neuware, neue PET-Flaschen hergestellt werden. Es dürfen dabei jedoch keine PET-Produkte beigemischt sein, die nicht mit Lebensmitteln in Kontakt waren. [30]

Sonst werden Tragekisten, Parkbänke, Terrassendielen oder Pflanzkübel oder -töpfe aus dem Rezyklat gefertigt (siehe Abbildung 24). Verpackungen für Lebensmittel werden seltene bis gar nicht daraus hergestellt, weil die Rezyklate nicht den hygienischen und Lebensmittelrechtlich gesundheitlichen unbedenklichen Standards entsprechen. [30,37]



Abbildung 24: Resultatbeispiel für 100%igen Einsatz von Rezyklat; eigene Darstellung

2.5. Gesetzliche Grundlagen des Abfallrechts

Das Abfallrecht bzw. die Abfallrichtlinie (2008/98/EG) regelt den Umgang mit Abfällen. [38]

Für den allgemeinen richtigen „Umgang mit Abfällen in der Gemeinschaft“ (2008/98/EG) ist die obengenannte Abfallrahmenrichtlinie europaweit verbindlich. Hiermit werden „Bestimmungen wichtiger Begriffe wie Abfall, Verwertung und Beseitigung [...] [definiert und] schafft grundlegende Anforderungen an die Bewirtschaftung von Abfällen „ [38]. Jedes EU-Land muss EU-Richtlinien in nationale Gesetzgebung umwandeln. In Deutschland gehen aus der Abfallrahmenrichtlinie das gültige Verpackungsgesetz, das Kreislaufwirtschaftsgesetz, das Abfallverbringungsgesetz (AbfVebrG) uvm. hervor, siehe Abbildung 25. [38,39]

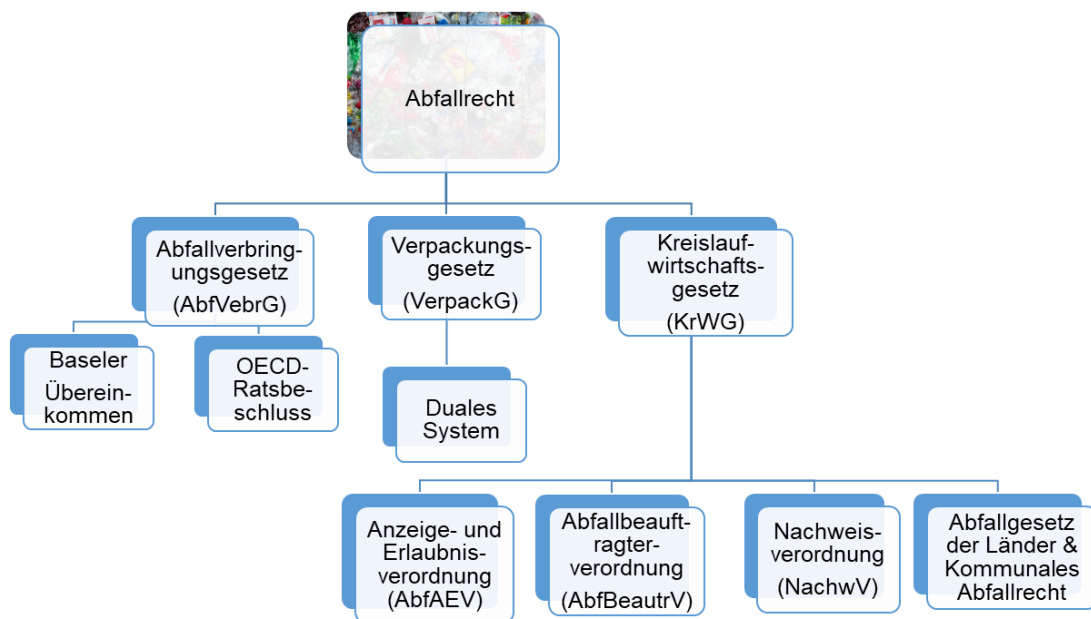


Abbildung 25: Gesetze, Richtlinien und Verordnungen des Abfallrechts in Deutschland, eigene Darstellung [35]

2.5.1. Das Verpackungsgesetz vom 1.1. 2019

Seit dem 01.01.2019 ist das neue Verpackungsgesetz gültig. Es löst die vorige Verpackungsverordnung ab. Die Idee hinter dem Verpackungsgesetz ist das Aufkommen von Verpackungsmüll zu reduziert wird. Dafür sind Hersteller, Händler und Inverkehrbringer der Verpackungen dazu verpflichtet, die eingesetzten Verpackungen nach Gebrauch wieder zurückzunehmen und diese zu entsorgen. Mit ihr wurden neue Verwertungsquoten (siehe Tabelle 2) eingeführt, die zu einer verbesserten Verwertung führen sollen. Auch für Verpackungsmaterialien wie, Glas, Metall oder Papier gibt es einzuhaltende Verwertungsquoten. [6]

2.5.2. Verwertungsquoten

Für Kunststoffverpackungen gilt zusätzlich, dass " mindestens 65 % [ab 01. Januar 2019] und ab dem 1. Januar 2022 70 % dieser Verwertungsquote durch werkstoffliche Verwertung sicherzustellen." Das bedeutet, dass ab 2019 mindestens 35 % und ab 2022 30 % energetisch verwertet werden sollen (siehe Tabelle 2). [6]

Material	2019	2022
Glas	80 %	90 %
Aluminium	80 %	90 %
Papier, Pappe, Karton	85 %	90 %
Sonstige Verbunde	55 %	70 %
Kunststoff	90 %	90 %
Getränkekartonverpackungen	75 %	80 %

Tabelle 2: Verwertungsquoten des neuen Verpackungsgesetzes 01.01.2019 [6]

Im Verpackungsgesetz ist der Begriff der Verpackung wie folgt beschrieben:

„Verpackungen sind aus beliebigen Materialien hergestellte Erzeugnisse zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung oder zur Darbietung von Waren, die vom Rohstoff bis zum Verarbeitungserzeugnis reichen können, vom Hersteller an den Vertreiber oder Endverbraucher weitergegeben werden und typischerweise dem Endverbraucher als Verkaufseinheit aus Ware und Verpackung angeboten werden (Verkaufsverpackungen)“. [6] DIN55405, Terminologie im Verpackungswesen definiert den Begriff „Verpackungen“ anders. [6]

2.5.2. Duales System Deutschland

Das Duale System verpflichtet seit 1991 Unternehmen dazu, dass Erstinverkehrbrachte Verpackungen, auch wieder zurückgenommen werden müssen. Daraufhin haben sich Unternehmen zusammengeschlossen und das Duale System Deutschland AG (DSD) gegründet, als „Grüne Punkt“ bekannt. (Seit 2009 ist die Kennzeichnung, mit dem Grünen Punkt, keine Pflicht mehr. [40]). Mit der Zeit haben sich weitere Entsorgungsdienstleister, wie Veolia, BellandVision für das Betreiben des dualen Systems entschlossen (siehe Abbildung 26). [11,41]

ANBIETER	BESCHREIBUNG
 BellandVision <small>Quality in Waste Recycling</small>	BellandVision wurde 1999 gegründet und ist Deutschlands zweitgrößtes duales System. Das Unternehmen bietet neben einfachen Online-Lösungen auch umfangreichere Beratung für jede Unternehmensgröße. BellandVision ist eine hundertprozentige Tochter des börsennotierten SUEZ-Konzerns, einem der weltweit führenden Unternehmen für Abfall- und Wasserwirtschaft.
 Der Grüne Punkt <small>Der Grüne Punkt</small>	Als weltweit erstes duales System ist Der Grüne Punkt besonders bei Verbrauchern bekannt. Das System recycelt bereits seit 1991 gebrauchte Verkaufsverpackungen um daraus Rohstoffe rückzugewinnen. Besonders durch sein international geschütztes Markenzeichen hat dieses duales System einen hohen Wiedererkennungswert.
 Interseroh <small>LIZENZERO</small> <small>Verpackung ist kein Problem</small>	Interseroh, 1991 gegründet, zählt zu den ersten Dienstleistern rund um die Schließung von Produkt-, Material- und Logistikkreisläufen. Das Unternehmen begreift sich als Full-Service-Dienstleister und Vorreiter in der Recycling-Branche - z. B. bei der Digitalisierung von Nachhaltigkeitsservices. Beispiel hierfür ist der Onlineshop für Verpackungslizenzierung „Lizenzero“.
 Landbell <small>LANDBELL</small>	Der Umwelt- und Entsorgungsdienstleister Landbell betreibt seit 2003 ein unabhängiges und zertifiziertes duales System. Das Unternehmen bietet sowohl Gesamtpakete als auch Individualleistungen an - der Anbieter bezeichnet sich als führend im Bereich Umwelt-Compliance. Landbell ist zudem auch international tätig.
 Noventiz <small>NOVENTIZ</small>	Noventiz wurde 2007 gegründet und hat seinen Sitz in Köln. Mit etwa 35 Millionen Euro Jahresumsatz gehört das Unternehmen noch zu den kleineren Anbietern, gleichzeitig wächst Noventiz stetig und stellt auch eigene E-Commerce Plattformen für die Entsorgungswirtschaft bereit.
 Reclay activate <small>by RECLAY GROUP</small>	Bereits seit 2002 ist die Reclay Group erfolgreich im Bereich der Verpackungslizenzierung und Beratung international aktiv. Mit mehr als 100 Mitarbeitern an acht Standorten stellt die Reclay Group die fach- und umweltgerechte Entsorgung und das Recycling von Verpackungen sicher.
 Veolia <small>VEOLIA</small>	Die Veolia Umweltservice GmbH entstand 2007 aus der Verschmelzung von Veolia und der SULO GmbH. Mit mehr als 10.000 Mitarbeitern gehört das Unternehmen zu den größeren Anbietern. Neben Entsorgungslösungen bietet Veolia auch eine Reihe weitere Dienstleistungen, etwa Industriereservice und Kanalreinigung an.
 Zentek <small>Duales System zentek</small>	Zentek besteht seit 1995. Seit 2019 bilden zehn mittelständische Gesellschafter aus der Entsorgungsbranche, das Rückgrat des Dualen Systems Zentek. Als integriertes Duales System werden Abfälle und Wertstoffe deutschlandweit in eigenen Sortieranlagen aufbereitet.

Abbildung 26: Liste aller Anbieter des dualen Systems [41]

Das neue Verpackungsgesetz fordert eine Systembeteiligungspflicht an der Entsorgung gebrauchter Verpackungen für Händler und Hersteller. Unter Systembeteiligungspflicht wird die Anmeldung aller Beteiligten (Inverkehrbringer, Händler, ...) bei einer zentralen Stelle verstanden. Einen finanziellen Vorteil gibt es, wenn die Verpackung gut werkstofflich verwertet werden kann. Die Anmeldekosten werden dadurch geringer. Ist die Werkstofflich Verwertung eher schwieriger, so werden die Anmeldekosten höher. [41]

2.5.3. Kreislaufwirtschaftsgesetz

Seit dem 01.06.2012 soll das Kreislaufwirtschaftsgesetz die „Schonung der natürlichen Ressourcen [...] und den Schutz von Menschen und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen“ [42].

Der Fokus in diesem Gesetz ist zudem die so genannte Abfallhierarchie. In Abbildung 27 sind die Maßnahmen dargestellt. [42]

An erster Stelle steht die Vermeidung und mit ihr, dass in diesem Fall Verpackungsabfall aus Kunststoff so gering wie möglich bis gar nicht hergestellt werden sollte, so dass erst gar kein Abfall entsteht [42].

Danach kommt die Vorbereitung zur Wiederverwendung. Diese Stufe besagt, dass entstandener Abfall so verarbeitet werden soll, dass dieser für weitere Schritte, wie der Verwertung, vorbereitet ist. So soll eine optimale, sortenreine Verwertung garantiert sein. [42]

An dritter Stelle das Recycling. Dieses kann auch als stoffliche Verwertung bezeichnet werden (siehe Kapitel 2.4.2) [42].

Im nächsten Schritt ist die sonstige Verwertung und hier z.B. die energetische Verwertung aufgeführt. (siehe Kapitel 2.4.1.) [42].

Die unterste Stufe ist die Beseitigung. In diesem Fall werden nicht verwertbare und toxische Abfälle auf speziellen Deponien gelagert [42].

In dieser Reihenfolge, wie ein Abbildung 27, sollte nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz mit Abfall umgegangen werden [42].



Abbildung 27: Abfallhierarchien [42]

2.5.4. Abfallverbringungsgesetz, Export von Verpackungsabfall

Bevor das Abfallverbringungsgesetz eingeführt wurde, war es erlaubt ohne jegliche Kontrolle Abfälle ins Ausland zu entsorgen [39,43].

Damit das Verbringen, also das Exportieren, von Abfällen kontrollierter ablaufen kann, wurde das Abfallverbringungsgesetz eingeführt. Es „basiert auf der europäischen Verordnung über die Verbringung von Abfällen (VVA)(1013/2006/EG). Diese baut wiederum auf dem Basler Übereinkommen und dem OECD-Ratsbeschluss aus“ [43]. Das Basler Übereinkommen ist die Genehmigungsbehörde für den Export von Abfällen. Das dazugehörige Abfallverbringungsgesetz ist auch für die Umsetzung des Basler Übereinkommens in Deutschland erforderlich. [43]

Wird ordnungswidrig Abfall entsorgt oder verbracht, so kommt es Bußgeldstrafen [44].

Notifizierung von Verpackungsabfall

Um überhaupt Abfälle grenzüberschreitend zu exportieren, müssen diese durch das Notifizierungsverfahren notifiziert werden. Dafür muss der Versandort den Export dieser Abfälle und der Bestimmungsort den Import dieser, genehmigen. [45]

3. Durchführung der Untersuchung

Im folgenden Kapitel wird die Durchführung dieser Arbeit dargestellt. Dafür wurden wissenschaftliche Studien herangezogen, Interviews geführt eine Literatur-, als auch eine Internetrecherche durchgeführt. Die zentralen Fragen innerhalb der Interviews werden am Ende dieses Kapitels dargestellt.

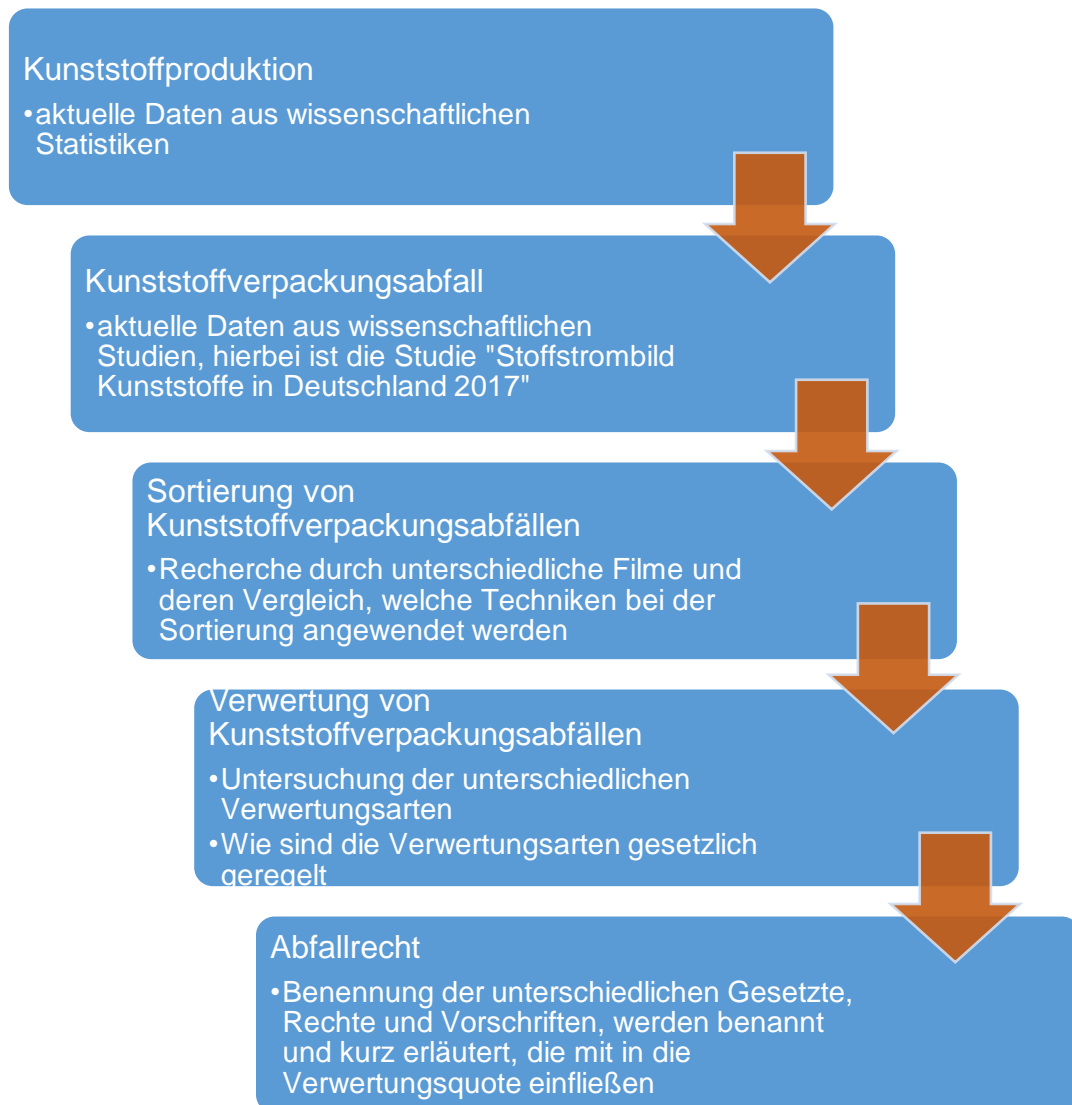


Abbildung 28: Übersicht über den Durchführungsablauf; eigene Darstellung

Häufig blieb die Beantwortung der im Interview gestellten Frage unbeantwortet und somit ist ein klares Bild der aktuellen Situation nicht garantiert.

Es wurde versucht, die aktuellsten Daten zu berücksichtigen. Für die Durchführung wurden zu Beginn Arbeitspakete aufgestellt, die als Leitfaden und zur späteren Bearbeitung dienen sollen. (siehe Abbildung 28)

Als derzeit zuverlässigste Quelle für die vorgelegte Arbeit kann die wissenschaftliche Studie „Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017“ von Conversio Market & Strategy angesehen werden. Sie umfasst Stellungnahmen von 14 unterschiedlichen Industrieverbänden, die alle mit Verpackungen aus dem Bereich der Kunststoffe zu tun haben. Sie differenziert in Kunststoffproduktion, Kunststoffverarbeitung, Kunststoffverbrauch und Kunststoffabfälle und Verwertung. Wichtig ist hierbei, dass der Anteil der Verpackungen, die als Abfall anfallen, als separiert wurde. Eine Differenzierung auf die Verwertungsquote von Verpackungsabfällen aus Kunststoff ist somit möglich und konnte als erster Ansatz für die Arbeit verwendet werden.

Eine weitere Methode, um die Verwertungsquote zu untersuchen, war das Heranziehen von TV- oder Internet Dokumentationen als Videoquelle. Diese dienten zur Beantwortung der Frage, wieso in Länder wie z.B., Malaysia oder Indonesien exportiert wird.

Zentrale Aufgabe dieser Arbeit ist die Untersuchung der Verwertung von Verpackungen aus Kunststoff in Deutschland.

Der Begriff Post-Consumer Abfall ist der Überbegriff für gebrauchte Verpackungen und deren Nachbehandlung.

Fragenkatalog:

- Wie kommt die Verwertungsquote zustande?
- Wie wird darüber entschieden, welcher Verwertungsart der Verpackungsabfall aus Kunststoff zugeführt wird?
- Wieso wird Verpackungsabfall aus Kunststoff exportiert?
- Welche Unternehmen sind für den Export von Abfall verantwortlich?
- In welchem Zustand/ in welchen Zuständen wird der Post-Consumer-Abfall exportiert?
- Wieso gibt es illegale kriminelle Schlupflöcher?
- Welche Vorteile ergeben sich hieraus für den Käufer/ Abnehmer?
- Wieso exportiert Deutschland an Länder, in denen die Kontrollen ungenau sind und illegale Schlupflöcher existieren?
- Wieso wird Kunststoffverpackungsabfall importiert?

- Wir haben eine weiterentwickelte Technik für die Verwertung von Verpackungsabfällen aus Kunststoff. Wieso wird in Länder exportiert, die überwiegend über schlechtere technische Mittel verfügen?
- Wieso möchten Länder wie Malaysia, Vietnam oder Indien Kunststoffabfall kaufen?
- Wer kontrolliert im Ausland die Verwertung?

4. Ergebnisse

Bei der Darstellung der Ergebnisse wird schematisch zuerst das Aufkommen von Post-Consumer-Abfall und seine Verwertungsquoten dargestellt, dann auf die stoffliche bzw. werkstoffliche Verwertung und anschließend auf die energetische Verwertung eingegangen. Zusätzlich erfolgt die Neuberechnung der Verwertungsquote und die Gründe und die aktuellen Folgen beider Verwertungsarten werden aufgeführt. Die Studie "Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017" ist eine Studie, durch die eine Reduzierung der Verwertung von Post-Consumer-Abfall und der darin enthaltene Verpackungsabfall aus Kunststoff, möglich ist. [19]

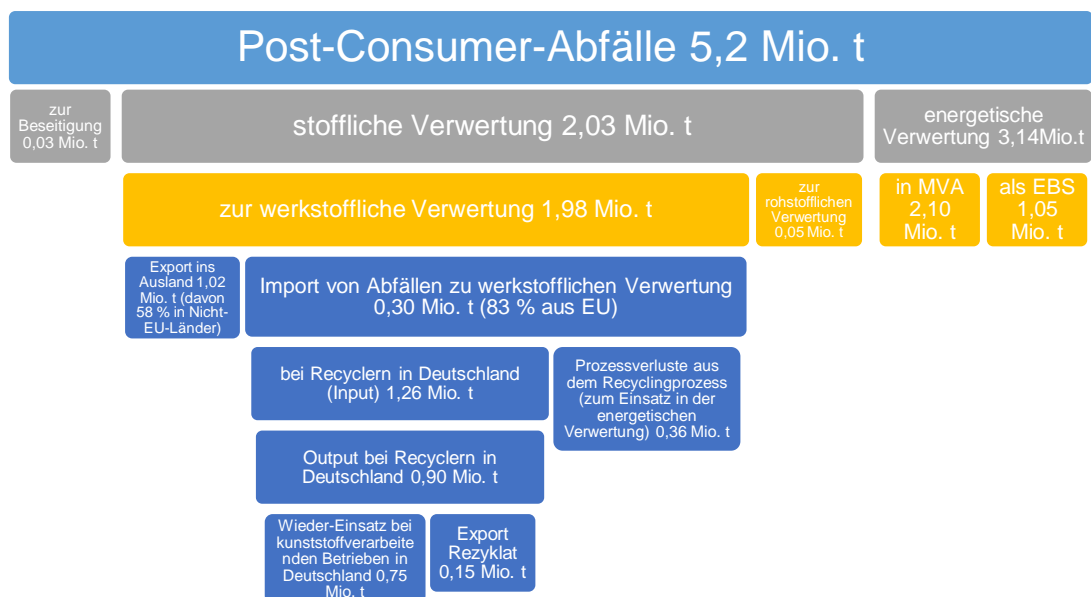


Abbildung 29: Stoffstrombild von Post-Consumer-Abfällen in 2017, eigene Darstellung nach [19]

Abbildung 29 ist eine eigene Zusammenstellung aller wichtigen Daten aus der Studie. Aus ihr können genauere Angaben zu den einzelnen Verwertungsquoten ersehen werden, wie hoch die jeweiligen Verwertungsquoten des Post-Consumer-Abfalls sind. [19]

4.1. Aufteilung des Kunststoffabfalls

Aus der Studie ist zu entnehmen, dass im Jahr 2017 aus 6,15 Mio. t gesamten Kunststoffabfall, 5,2 Mio. t zu Post-Consumer Abfall wurden. Es wird zeigt, dass 0,03 Mio. t beseitigt werden. Von den 3.14 Mio. t, die in die energetische Verwertung gehen, landen 2,10 Mio. t in MVA und 1,05 Mio. t werden als ESB verwendet. In die stoffliche Verwertung gehen insgesamt 2,03 Mio. t. Davon gehen 1,98 Mio. t in die werkstoffliche Verwertung. Dies unterteilt sich in den Input in die Recyclinganlagen (1,26 Mio. t) und in den Export ins Ausland (1,02 Mio.t). Ein kleiner Teil wird der rohstofflichen Verwertung zugeführt. Von den 1,26 Mio. t, blieben 0,9 Mio. t als Output übrig. Während des Prozesses entstehen Verluste in Höhe von 0,36 Mio. t die am Ende auch der energetischen Verwertung zugeführt werden. [19]

Von den 1,02 Mio.t. sind 0,59 Mio. T (56 %) in Nicht EU-Länder, wie Malaysia, Indien oder Indonesien exportiert worden. In der Abbildung 30 von EUWID, sind detailreichere Exportmengen von 2017 und 2018 angegeben. Es ist zu beachten, dass nur die Mengen von Januar bis Oktober angegeben sind. Eine Hochrechnung die Werte gibt die Möglichkeit, eine Aussage über 2017 vollziehen zu können. Für 2017 ist der Wert bei 1,04 Mio. t und für 2018 bei 0,86 Mio. t. [19]

Somit gilt, dass insgesamt 1,25 Mio. t Altkunststoff im Jahr 2017 exportiert worden sind. 2018 lag der Wert bei 1,03 Mio. t. Da hier von Altkunststoffen allgemein geredet wird, ist eine differenzierte Aussage über die Verpackungsabfälle nicht möglich. Festzustellen ist, dass von den 1,25 Mio. t Altkunststoffen, 1,02 Mio. t Post-Consumer Abfälle sind. Das entspricht einem prozentualen Wert von 81,6 %. [19]

Darstellung 30 im Ring-Diagramm zeigt auf, in welche Länder exportiert wird. [46]

Außenhandelsstatistik für Altkunststoffe in Tonnen			
	Jan. - Okt. 2018	Jan. - Okt. 2017	Veränd. in %
Einfuhr			
PE-Abfälle	153.348	199.929	-23,3 %
PS-Abfälle	18.627	20.265	-8,1 %
PVC-Abfälle	27.467	33.868	-18,9 %
PP-Abfälle	38.470	31.368	22,6 %
Sonst. Altkunststoffe	142.120	158.070	-10,1 %
Gesamt	380.032	443.499	-14,3 %
Ausfuhr			
PE-Abfälle	498.421	634.701	-21,5 %
PS-Abfälle	35.963	36.001	-0,1 %
PVC-Abfälle	9.489	14.710	-35,5 %
PP-Abfälle	61.855	62.780	-1,5 %
Sonst. Altkunststoffe	253.619	294.377	-13,8 %
Gesamt	859.345	1.042.570	-17,6 %

Quelle: Destatis; eigene Berechnungen (ohne Gewähr)

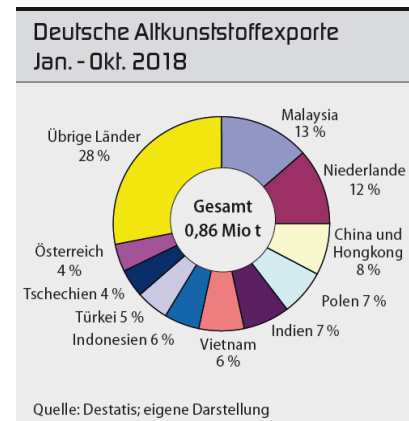


Abbildung 30: Deutsche Altkunststoffexporte; links ihre Mengen, rechts die Exportländer [46]

Dabei ist Malaysia an erster Stelle. Niederlande ist mit 12 % dabei und China/Hongkong mit 8 %. Auch nach Indonesien und Tschechien wird Altkunststoff, also Kunststoffabfall, exportiert. [46]

Die Bezeichnung von Kunststoffabfällen, die exportiert werden, haben die Bezeichnung HS3915 und steht allgemein für Scrap Plastic. Unter Scrap Plastic sind Kunststoffabfälle aus Kunststoffbeutel, Verpackungen, Gastronomiebehälter, Rohre, Platten und Kunstharz. [47]

Abbildung 31 zeigt, dass Deutschland im Jahr 2017 nach China exportiert. [48]

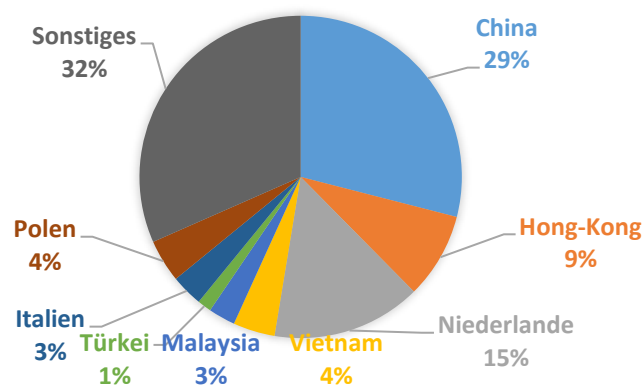


Abbildung 31: Exportangaben von der Warennummer: HS3915 aus Deutschland, eigene Darstellung nach [48]

Auch Hong-Kong, die Niederlande und Indien gehören dazu. Damit hat Deutschland im Jahr 2017 mit dem Export von Scrap Plastic, einen Umsatz von US\$ 442Mio erreicht. 2018 lag der Umsatz bei US\$ 537Mio.. [48,49]

Werden Abbildungen 30 und 31 verglichen, ist zu erkennen, dass vor dem Importstopp von China, China auch der größte Abnehmer für Deutschland war. Im Jahr 2018 ist Malaysia der größte Abnehmer geworden. Aus aktuellen Daten ist bekannt, dass Malaysia einen Teil der importierten Kunststoffabfälle zurückgeschickt hat. Damit kann ausgesagt werden, dass Malaysia diese nicht haben möchte. [48–50]

In Abbildung 32 ist der Anteil der Verpackungen aus Post-Consumer Abfällen dargestellt. [19]

Einsatzfelder 2017	Abfallaufkommen			Verwertung in kt				Beseitigung in kt		
	in kt	in kg per capita	in %	Total	Werk- stofflich	Roh- stofflich	Ener- getisch	Total	Deponie	MVA ohne Energie- gew.
Verpackungen	3.081	37	59,2%	3.079	1.498	44	1.537	2	2	0
Bau	495	6	9,5%	484	141	0	343	11	11	0
Fahrzeuge	232	3	4,5%	225	70	2	153	7	7	0
Elektro/Elektronik	307	4	5,9%	304	63	3	238	3	3	0
Haushaltswaren, Sport, Spiel, Freizeit	158	2	3,0%	156	8	0	148	2	2	0
Landwirtschaft	277	3	5,3%	273	112	0	161	4	4	0
Sonstiges	651	8	12,5%	645	83	0	562	6	6	0
Total	5.201	63	100%	5.166	1.975	49	3.142	35	35	0
				99,3%	38,0%	0,9%	60,4%	0,6%	0,6%	0,0%

Verpackungen 2017	Abfallaufkommen			Verwertung in kt				Beseitigung in kt		
	in kt	in kg per capita	in %	Total	Werk- stofflich	Roh- stofflich	Ener- getisch	Total	Deponie	MVA ohne Energie- gew.
Haushaltsnahe Verpackungen	2.038	24,5	66,1%	2.036	1.083	44	909	2	2	0
Industrielle/gewerbl. Verpackungen	1.043	12,8	33,9%	1.043	415	0	628	1	1	0
Total	3.081	37,3	100%	3.079	1.498	44	1.537	2	2	0
				99,9%	48,6%	1,4%	49,9%	0,1%	0,1%	0,0%

Abbildung 32: Post-Consumer Abfall nach wesentlichen Einsatzfeldern [19]

48,6 % der 3,08 Mio. t gingen vom Verpackungsabfall in die werkstoffliche Verwertung, 1,4 % in die rohstoffliche Verwertung und 49,9 % in die energetische Verwertung. Zusammen liegt die Verwertungsquote für Verpackungen bei 99,9 %. Die Verwertungsquote der Post-Consumer Abfälle liegt bei 99,3 %. Der Anteil des Verpackungsabfall von des gesamten Post-Consumer Abfall liegt bei 59 %. [19]

Nach dem Verpackungsgesetz wären die zu erreichenden Quoten erreicht worden!

Die Werte aus der Studie geben nur an, wie viel in Abfallbehandlungsanlagen gelangen. Die Verwertungsquote würde mehr Qualität besitzen, wenn das tatsächlich erzeugte Rezyklat, also das Output einer Anlage, einberechnet würde und nicht der Input. [28]

Wird davon ausgegangen, dass in die Berechnung der Quote für werkstoffliche Verwertung nur der tatsächliche produzierte Wieder-Einsatz eingeht, so berechnet sich diese zu 17,3 % [19].

Ergänzend dazu müsste die energetische Verwertungsquote neu berechnet werden. Beim werkstofflichen Verwertungsprozess entstehen laut Abbildung 27 0,36 Mio. t Produktionsverluste, die der energetischen Verwertung zugeführt werden. [19]

Somit liegt der neue prozentuale Wert für die energetische Verwertung bei 67,3 %. Das sind 7 % mehr, als in Abbildung 26 angegeben werden. [19]

Addiert man berechneten Werte, so ergibt ein Wert von

$$67,3 \% + 17,3 \% = 74,6 \%$$

Somit wäre die realistische Verwertungsquote von Post-Consumer Abfällen bei ca. 75 %.

4.2. Zusätzliche Informationsquelle

Laut Interviews mit Experten haben sich folgende Informationen ergeben: [51]

- Ein Telefoninterview mit Mitwirkenden des Berichts „Plastik Atlas“ , hat gezeigt, dass die Quote der werkstofflichen Verwertung durch Zugabe von hochwertigen Kunststoffresten, wie etwa Folien, die für die Umhüllung und Fixierung von Material und Paletten verwendet werden (keine Verkaufsverpackungen), verbessert. So entstehen wahrscheinlich unrealistisch hohe Verwertungsquoten. [51]
- Die Entscheidung darüber, wann welcher Kunststoffabfall stofflich oder energetisch verwertet wird, sei davon abhängig ob es sich um einen hochwertigen oder weniger hochwertigen Kunststoffabfall handelt. Eine geregelte Norm gibt es dafür nicht. Es kann aber darüber eine Aussage getroffen werden, welche Verpackungen für eine hochwertige werkstoffliche Verwertung ungeeignet sind: [51]
 - o bedruckte Verpackungen [51].

- mehrlagige Kunststoffverpackungen und Kunststoffverbundmaterial [51].
 - alles, was nicht sortenrein trennbar ist [51].
 - Sortierreste [51] und
 - biologisch abbaubare Kunststoffe werden in der Regel nicht recycelt [51].
- Sortierreste entstehen bei der Sortierung, die entweder zu klein sind oder die eine Sortieranlage, z.B. der Windsichter oder der Infrarotscanner nicht mehr als recyclebaren Kunststoff anerkennt [51].

Gründe für In- und Export

- Handelt es sich um hochwertige Kunststoffabfälle, bekommen Unternehmen Geld dafür [51].
- Handelt es sich jedoch um minderwertige Kunststoffabfälle, so müssen Unternehmen dafür Geld bezahlen. Es ist offensichtlich häufig günstiger, diese Kunststoffe ins Ausland zu verschiffen, was für nicht unbedeutliche Mengen auch erfolgt ist. [51]
- Ein weiterer Aspekt für deutsche Unternehmen ist, dass im Ausland der Kunststoffabfall billiger und unkontrollierter entsorgt werden kann, da dort nicht dieselben hohen Standards herrschen, wie hier in Deutschland. Möglicherweise gilt das Material in Deutschland dann als „verwertet“, ohne dass wirklich kontrolliert werden kann, was damit geschieht. [51]
- Der Gelbe Sack oder die Gelbe Tonne enthalten zu einem großen Teil mehrlagige Kunststoffe, oft farbig auch schwarz, bedruckt. Alle diese Kunststoffverpackungen sind nicht mehr hochwertig recyclebar. Diese werden dann verbrannt oder ins Ausland verbracht oder zu minderwertigem Mischkunststoff verarbeitet. [51]
- Seit Import-Stopp in China, müssen deutsche Abfall- und Sortierunternehmen neue Lösungen für den anfallenden Kunststoffabfall finden [52].

- Die anfallenden Kunststoffabfallmengen in den Sortieranlagen sind so hoch, dass dafür wieder Abnehmer gefunden werden müssen. Da nur sehr hochwertiger Kunststoffabfall werkstofflich zu verwerten ist und nur dafür Geld gezahlt wird, muss für nicht hochwertigen Kunststoffabfall, Geld bezahlt werden, um überhaupt Abnehmer zu finden. Der Preis ist dabei unwichtig geworden. Abnehmer finden und somit den sortierten Abfall los zu werden, ist höchste Priorität, da die Kapazität von Abfall- und Sortieranlagen begrenzt ist. [52]
- Schrumpffolien zur Bündelung mehrerer Einzelverpackungen mit aufgeklebten Tragevorrichtungen müssen verbrannt oder exportiert werden, weil die Halterung stört [52].

Soweit die Aussage aus den Interviews.

4.3. Werkstoffliche Verwertung

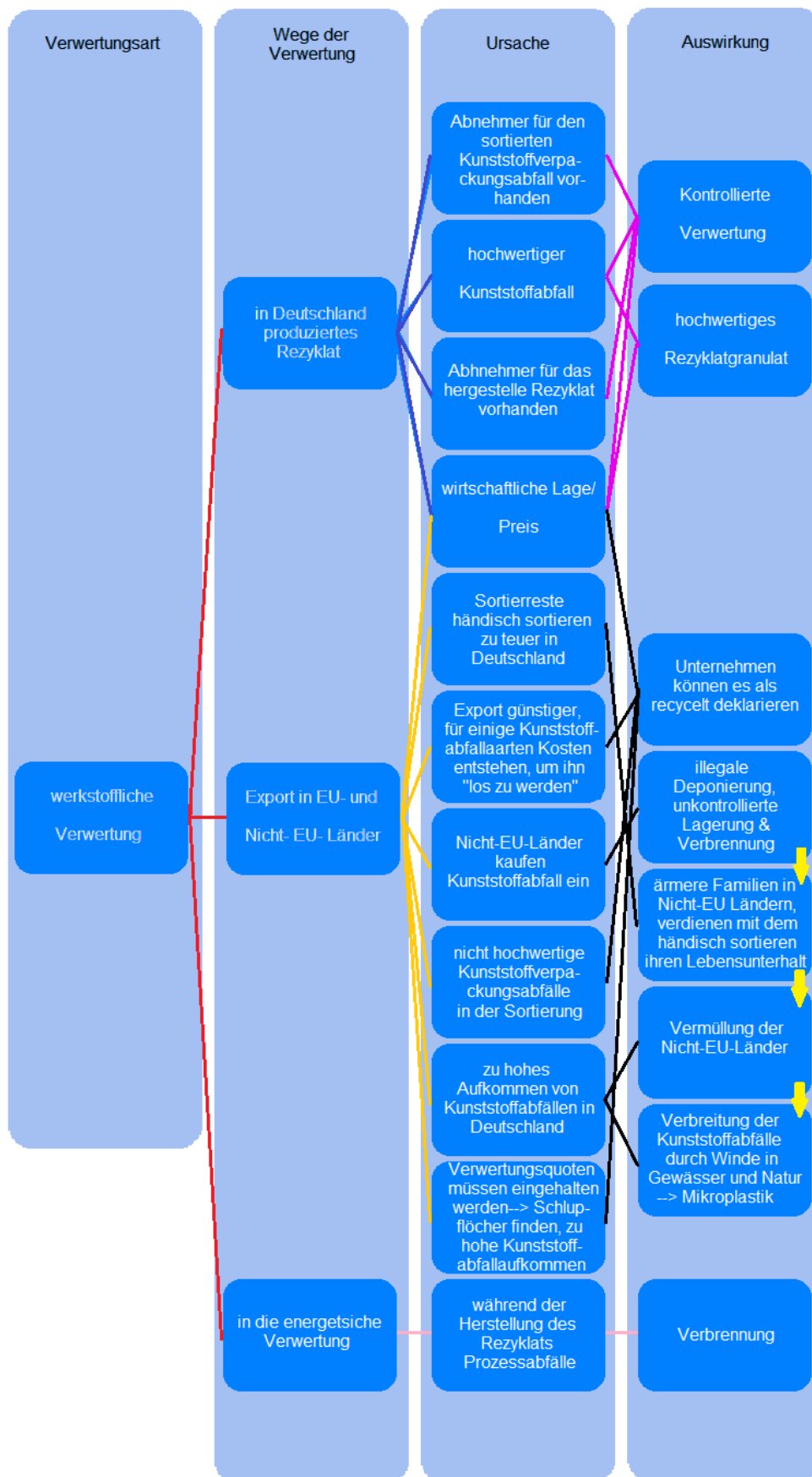


Abbildung 33: werkstoffliche Verwertung; seine Wege, Ursachen und Auswirkungen; eigene Darstellung [4, 19, 26, 29, 50-57]

Kunststoffabfälle, für die werkstoffliche Verwertung lassen sich in drei Hauptzweige aufteilen (siehe Abbildung 33). [19,29]

- Für die Produktion von Rezyklat in Deutschland wird überwiegend hochwertiger sortierter Kunststoffabfall verwendet [51].
- Ein Teil während dieses Prozesses wird als Produktionsabfall der energetischen Verwertung zugeführt [19].
- Kunststoffabfall, der als nicht hochwertig gilt, wird dem Export überlassen [50].

4.3.1. Abfallpreise von Kunststoff

Als weiteren Grund für den Export, als auch der Rezyklat Produktion ist der Preis oder die Kosten, die für Kunststoffabfall auf dem Markt gelten. Dies ist mit der Tabelle 3 zu begründen. [53]

November 2019		Preise in €/t			
		Nov. 2019	Okt. 2019	Aug. 2019	Nov. 2018
PE-Produktionsabfälle					
HDPE bunt	M	400 - 500	450 - 500	450 - 510	480 - 520
HDPE natur	M	580 - 680	620 - 720	630 - 720	640 - 750
LDPE bunt	M	400 - 500	420 - 500	430 - 500	400 - 500
LDPE natur	M	580 - 680	620 - 720	630 - 720	640 - 750
LDPE-Folie bunt (K49)	B	70 - 120	70 - 120	80 - 120	70 - 100
LDPE-Folie natur (K40)	B	350 - 420	350 - 420	370 - 430	400 - 460
PE post user					
LDPE-Schrumpfhauben natur (E40)	B	330 - 390	340 - 400	350 - 410	400 - 430
LDPE-Schrumpfhauben bunt (E49)	B	80 - 120	90 - 130	100 - 140	110 - 140
PE-Folie transparent natur < 70 µm	B	170 - 215	170 - 215	170 - 210	155 - 185
PE-Folie transparent farbig < 70 µm	B	0 - 10	0 - 10	0 - 10	-25 - 0
LDPE-Agrarfolie schwarz oder weiß > 70 µm (B41)	B	-50 - -20	-40 - -20	-40 - -10	-20 - 0
PE-Gewerbemischfolie (90/10)	B	70 - 90	70 - 90	60 - 85	45 - 65
PE-Gewerbemischfolie (80/20)	B	30 - 50	30 - 45	20 - 35	0 - 20
HDPE-Hohlkörper bunt (C29)	B	120 - 250	120 - 250	150 - 280	180 - 300
HDPE-Kastenware farbsortiert	M	550 - 630	580 - 650	600 - 690	600 - 700
HDPE-Kastenware bunt	M	430 - 500	470 - 530	490 - 550	500 - 600
PP-Produktionsabfälle					
PP-Folie bunt (K59)	B	80 - 150	100 - 160	100 - 160	80 - 150
PP-Folie natur (K50)	B	320 - 380	350 - 400	360 - 410	370 - 420
Homopolymer bunt	M	400 - 470	410 - 500	440 - 520	460 - 560
Homopolymer natur	M	500 - 670	520 - 700	530 - 720	550 - 760
Copolymer bunt	M	400 - 470	420 - 500	450 - 520	460 - 560
Copolymer natur	M	500 - 670	500 - 700	530 - 720	560 - 760
PS-Produktionsabfälle					
Standard bunt	M	400 - 500	440 - 500	470 - 530	500 - 600
Standard glasklar	M	480 - 670	520 - 700	550 - 720	620 - 790
Standard weiß	M	480 - 670	520 - 700	550 - 720	620 - 790
Schlagfest bunt	M	400 - 500	440 - 520	470 - 550	500 - 600
Schlagfest schwarz	M	490 - 590	530 - 630	580 - 660	620 - 700
Schlagfest weiß	M	580 - 680	620 - 720	670 - 750	720 - 790
Preise ab Station		(Preisangaben ohne Gewähr)			
Bei den Angaben handelt es sich um Preise, die für Abschlüsse zwischen Sortierern bzw. Händlern einerseits und Weiterverarbeitern andererseits genannt wurden.					
M = Mahlgut, B = Ballen. Die Preise beziehen sich in der Regel auf große Mengen (20 t).					
Die bei einigen Qualitäten angegebenen Kurzbezeichnungen verweisen auf die bvse/BIR-Sortenliste für Altkunststoffe.					

Tabelle 3: EUWID-Preisspiegel für Altkunststoffe - Deutschland [53]

Zum Beispiel erzielt LDPE-Folie natur in Ballenform, die bei der PE-Produktion herstellung entsteht, im November 2019 einen positiven Wert von 350-420 €/t. Für die LDPE-Folie in bunt ist der Wert nur bei 70-120 €/t. Hier entstehen Kosten auf Seiten der Abnehmer. LDPE-Agrarfolie, schwarz oder weiß, sind ein Minusgeschäft mit 20 - 50 €/t. Das bedeutet, dass für solche Kunststoffe Geld gezahlt werden muss, um dafür Abnehmer zu finden. Im Ausland gibt es Abnehmer, deren Kosten entweder geringer sind, oder sogar die Kunststoffabfälle aufkaufen. In dieser Liste sind hauptsächlich Abfälle aus einer Produktion aufgelistet. Da in Sortieranlagen eine sortenreine Trennung der Kunststoffabfälle angestrebt wird, ist ein ähnlicher Marktwert auch für solche Kunststoffabfälle, möglich. [53]

Ein großer Teil der anfallenden Kunststoffabfälle geht in Müllverbrennungsanlagen, sodass er zu einem Ersatz für Erdöl und Gas wird, weil diese Rohstoffe fast den gleichen Energiegehalt wie fertige Kunststoffe beinhalten. Häufig wird auch dann energetisch verwertet, wenn aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr werkstofflich verwertet werden kann. Eines der großen Probleme ist, dass die Menge des anfallenden Kunststoffabfalls in Deutschland zu hoch ist. Alle Zement- und Kraftwerke zusammen benötigen diese großen anfallenden Mengen nicht. Lässt sich für die Abfälle keine Abnehmer in Deutschland finden, so wird er nach Asien verkauft und exportiert. [54]

Nicht nur der Preis der Kunststoffabfälle ist ein Grund für den Export. Während der Sortierung fallen Sortierreste an, die mechanisch nicht erfasst werden können. Eine händische Sortierung ist in Deutschland zu teuer und im Ausland günstiger. Ob es sich dabei um EU oder Nicht-EU Länder handelt ist unbekannt. Als Ergebnis liegt jedoch vor, dass in der Landschaft Malaysias Kunststoffabfälle illegal gelagert werden. Dort lebende Familien sortieren händisch diese Kunststoffabfälle, um daraus Rohstoffe zu sammeln, die dann verkauft werden können. Die Familien können etwas mehr zum Lebensunterhalt hinzuverdienen, als es mit der Landwirtschaft möglich ist. Somit ist das Kunststoffverpackungsabfallgeschäft ein profitables Geschäft auch für Familien. Der Rest, der dort nicht mehr sortiert werden kann und nicht mehr brauchbar ist, wird unkontrolliert unter freiem Himmel verbrannt. Dabei ist das Problem, dass dadurch gesundheitsschädliche Stoffe in die Atmosphäre gelangen, die normalerweise über Filter abgeschieden werden müssen. Die zurückbleibende Schlacke nach der Verbrennung kann zu einer Verunreinigung der Böden führen. [29,55]

Die illegale Lagerung hat ebenfalls zur Folge, dass Kunststoffe durch Winde in die Natur verteilt werden. Bei Regenfällen können sich Additive und Giftstoffe aus den Kunststoffen lösen und gelangen in die Böden bis hin zum Grundwasser. Über Flüsse gelangen dann Kunststoffabfälle, wie Beutel oder Lebensmittelverpackungen in die Meere, wo sie zum bekannten Mikroplastik zerfallen. [4,25,29,55]

4.3.2. Mikroplastik & Mikropartikel

Mikroplastik besteht aus den unterschiedlichsten Kunststoffarten und Werkstoffen. In Abbildung 35 sind die Anteile der verschiedenen Verhaltensarten, aus den Mikroplastik besteht, dargestellt. Fast die Hälfte machen die Elastomere aus. [26]

Aus welchen Bereichen der Mikroplastik kommt, ist in der Abbildung 34 gezeigt [26].

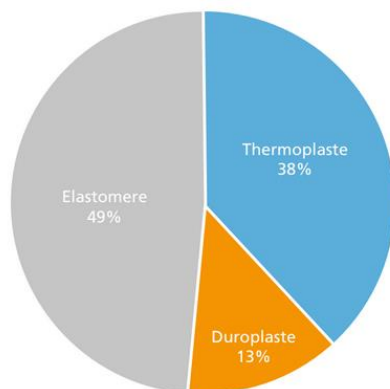


Abbildung 35: Mikroplastikaufkommen nach ihren Kunststoffverhaltensarten [26]

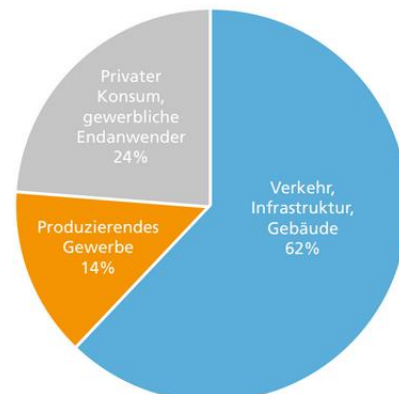


Abbildung 34: Mikroplastikaufkommen nach der Herkunft [26]

Daraus ist zu erkennen, dass Verkehr, wie z.B. der Autoreifenabrieb, der Hauptverursacher für Mikroplastik ist. Privater Konsum, wie z.B. Kunststoffverpackungen, sind zu 24 % Mitverursacher für das Mikroplastikaufkommen. Damit zeigt sich, dass die illegale und unkontrollierte Lagerung von Kunststoffabfällen fast ein Viertel des gesamten Mikroplastiks ausmacht. [26]

Dem „Plastik Atlas“ ist der Anteil der Produktionsabfalls aus verschiedenen Anwendungsgebieten beispielsweise von Verpackungen in Nord- und Ostsee, zu entnehmen. (Siehe Abbildung 36) [4]

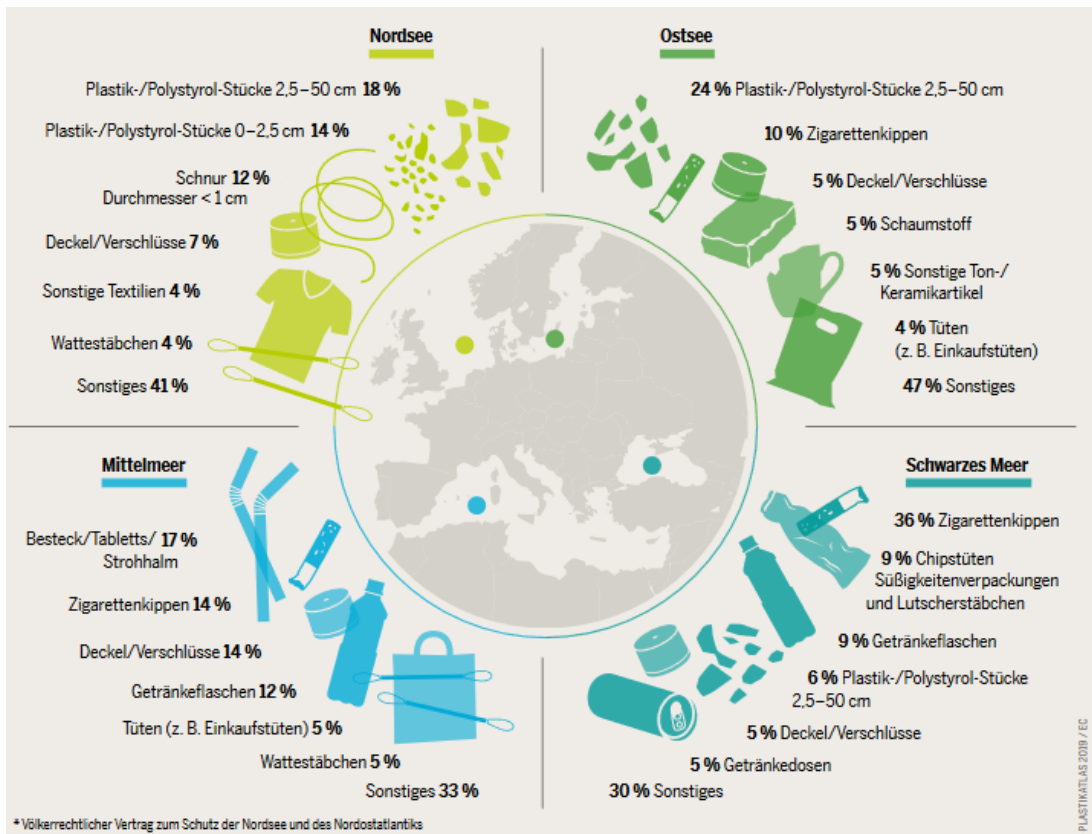


Abbildung 36: Verteilung der Kunststoffabfälle in verschiedenen Gebieten [4]

4.3.3. Attraktivität von Rezyklat

Vier Gründe, gemäß Abbildung 37 zeigen das Kunststoff aus Rezyklat nicht besonders attraktiv sind [56].



Abbildung 37: Die vier größten Gründe für den geringen Einsatz von Rezyklat [41, 56]

- Neuware von Kunststoff ist überwiegend günstiger und zudem sind die hohen Hygiene- und Belastungsansprüche erfüllt [51].
- mangelnde Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen Rezyklaten [56].
- Heutzutage sind Rezyklate noch ungeeignet, Gegenstände daraus so klar und transparent wie Neuware herzustellen [56].
- Rechtliche Zulassungen für Rezyklate mit Lebensmittelkontakt bestehen bis heute nicht [56].

4.3.4. Qualitätsminderung durch werkstoffliche Verwertung

Kein Kunststoff für Verpackungen kann immer wieder aufs Neue werkstofflich verwertet werden kann [57].

Thermoplasten können zwar wieder zu anderen Produkten verarbeitet werden, die Qualität und die Eigenschaften jedoch leiden darunter drastisch, genannt „Downcycling“. Duroplaste hingegen haben eine Molekülstruktur, die eine werkstoffliche Verwertung verhindert. Sie sind für den Wieder-Einsatz nicht geeignet. Teile duroplastischer Kunststoffe, die in thermoplastischen Kunststoffen zu finden sind (hervorgerufen z.B. durch schlechte Sortierung), reduzieren die Eigenschaften des thermoplastischen Kunststoffes. [5,17,57]

Additive in Rezyklaten, die regelmäßig den Kunststoffen hinzugefügt werden, sind ebenfalls verantwortlich dafür, dass die Qualität schlechter wird. Es muss damit gerechnet werden, dass keine Kontrolle der diversen Additive im Rezyklat vorausgesetzt werden kann. Dieser Vorgang wird „Downcycling“ genannt. Die recycelten Kunststoffe weisen eine schlechtere Qualität auf, als die preiswertere Neuware. [5,17,57]

Bekannt ist, dass Additive zu den Rezyklaten hinzugegeben werden, um diese stabiler zu machen, wie es die Neuware ist [5].

4.4. Energetische Verwertung

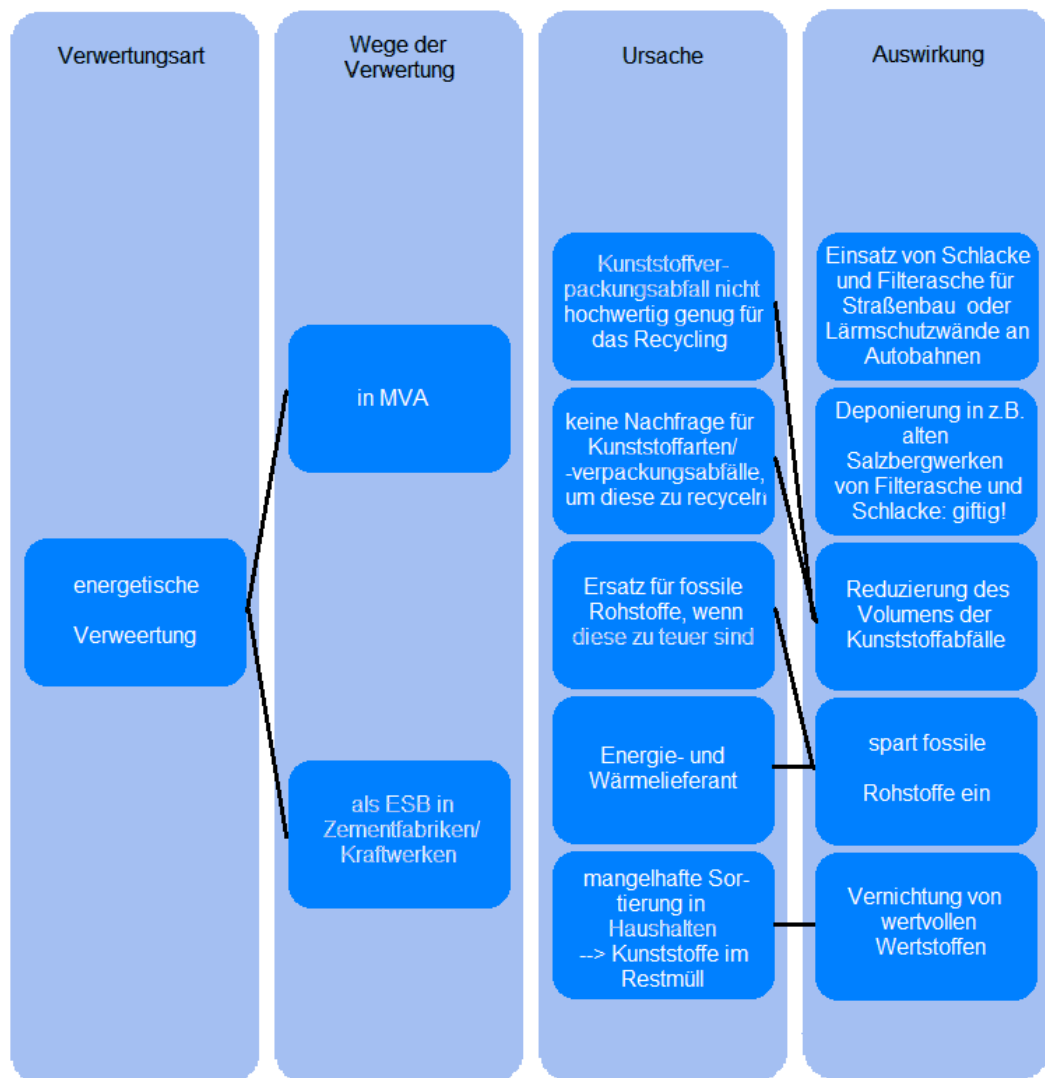


Abbildung 38: energetische Verwertung, seine Wege, Ursachen und Auswirkungen; eigene Darstellung [4, 19, 21, 32, 33, 52, 56-62]

Energetische Verwertung erfolgt hauptsächlich nach zwei Verfahren:

- Verbrennung in MVA [19] oder
- als ESB in Zementfabriken (siehe Abbildung 38) [19]

Die Vorteile an der energetischen Verwertung sind Ressourcenschonung von fossilen Rohstoffen und Reduzierung der Kunststoffabfallvolumina. Die dabei entstehende Schlacke wird dann für z.B. Autobahnlarmschutzwände oder den Straßenbau eingesetzt. Ein Teil davon landet dennoch auf Sondermülldeponien, da die Nachfrage für diese Schlacke nicht allzu groß ist und nicht jede Schlacke für die Weiterverwendung geeignet ist. Zusätzlich gilt seit dem 1. Juni 2005, dass

eine Deponierung erlaubt ist, wenn der nicht werkstofflich verwertbare Kunststoffabfall, vorbehandelt wurde. Diese Vorbehandlung ist mit der Verbrennung gegeben. [21,32,33,58]

Im Jahr 2014 waren viele Kraftwerke, die nur EBS als Kraftstoff verwendet haben, nicht voll ausgelastet. Der Import von Kunststoffabfällen aus z.B. Großbritannien, war eine wichtige Lösung, um Kraftwerke, Hochöfen und Zementfabriken auszulasten. Fünf Jahre später ist der Einsatz von EBS angestiegen. Der größte Teil des importierten und der im Inland anfallende Abfall wird in MVA verwertet. Diese sind jedoch stark überlastet. Ergänzend sollen mit dem „Kreislaufwirtschaftspaket der EU [...] bis 2035 die Deponierungen von Siedlungsabfällen aus 10 % beschränkt werden“ [59]. Dies wird zu einer Erhöhung der energetischen und thermischen Verwertung führen. [59–61]

Recherchen dieser Arbeit ergaben, dass Schlacken und Filteraschen aufbereitet in alten Salzbergwerken unter Tage eingelagert werden. Da es gesetzlich vorgeschrieben ist, solche alten Salzbergwerke aufzufüllen, ist das Verfüllen durch Müllverbrennungsüberresten eine Verwertung und keine Deponierung. [21]

Ein weiterer Nachteil der Müllverbrennung ist, dass wertvolle und im Grunde wichtige Wertstoffe in der Verbrennung zerstört werden. Die Möglichkeit für einen Wieder-Einsatz der Kunststoffe ist damit ausgeschlossen. Ergänzend hierzu ist die Energieeinsparung der einzelnen Verwertungswege erfasst. [21]

4.5. Wirkungsgrad von stofflicher oder energetischer Verwertung

Einer nicht näher identifizierbaren Publikation von Klaus Fricke, Tobias Bahr, Tmo Thiel, Oliver Kugelstädt „Stoffliche oder energetische Verwertung- Ressourceneffizientes handeln in der Abfallwirtschaft“ ist folgender Beitrag auszugsweise zu entnehmen (wahrscheinlich eine BMU Veröffentlichung). [62]

Polymerart	Verbrennungsenthalpie	Energieeinsparung stoffliche Verwertung	Energieeinsparung energetische Verwertung bei BN 21 %	Energieeinsparung energetische Verwertung bei BN 39 %	Energieeinsparung energetische Verwertung bei BN 76 %
LD-PE	43 MJ/kg	53 MJ/kg	32,7 MJ/kg	16,3 MJ/kg	9,0 MJ/kg
PVC	18 MJ/kg	36 MJ/kg	13,7 MJ/kg	7,0 MJ/kg	3,8 MJ/kg
PS	40 MJ/ kg	40 MJ/kg	9,4 MJ/kg	5,1 MJ/ kg	2,6 MJ/kg

Tabelle 4:Verbrennungsenthalpie, sowie die Energieeinsparung bei der stofflichen Verwertung und der energetischen Verwertung bei unterschiedlichen Brennstoffnutzungsgraden (BN), verschiedener Polymerarten [62]

Die Verbrennungsenthalpie jeder Polymerart bei der Verbrennung, hat einen Einfluss auf die Entscheidung, ob es der energetischen oder stofflichen Verwertung zugeführt werden soll. Für die Kunststoffe LD-PE ist eine Verbrennungsenthalpie von 43 MJ/kg bekannt und PVC hat eine von 18 MJ/kg (siehe Tabelle 4). Auch hier führen Verunreinigungen oder schlechter Sortierung zu Energieverluste bei der Verbrennung. Zudem soll die Verbrennung von Kunststoffverpackungsabfällen eine Energieeinsparung hervorrufen. Diese ist in Müllverbrennungsanlagen auch von Brennstoffnutzungsgrad abhängig. In der Tabelle 3 ist zu erkennen, dass bei steigendem Brennstoffnutzungsgrad, die Energieeinsparung mithilfe der energetischen Verbrennung, sich verkleinert. Im Gegenteil dazu ist die Energieeinsparung durch die stoffliche Verwertung höher. [62]

Die energetische Verwertung ist dann der stofflichen Verwertung gleich zu setzen, wenn es sich bei der Verbrennung um „kleinteilige Verpackungen, wie Kunststoffbecher oder Kunststofffolien kleiner A4 und Kunststoffverbunde handelt“ [60]. Zudem muss der Wirkungsgrad der Müllverbrennungsanlage bei 70 %

liegen, damit es zu diesem Gleichgewicht kommt. Hierbei entsteht „3,6 MJ/kg elektrische und 9,8 MJ/kg thermische Energie. Der Energiebedarf bei der stofflichen Verwertung liegt bei 3,5 MJ/kg. An dieser Stelle sollte erwähnt werden, dass die Herstellung von Neuware mehr Energie kostet, als der Energieaufwand bei der stofflichen Verwertung. [36] Die stoffliche Verwertung ist trotzdem dann nicht mehr sinnvoll, wenn eine gute Sortierung des Kunststoffabfalls nicht garantiert ist. In Abbildung 39 sind Energiegewinnung bzw. –einsparung gegenübergestellt. Hier ist liegt der größte Energiegewinn beim Recycling. [62]

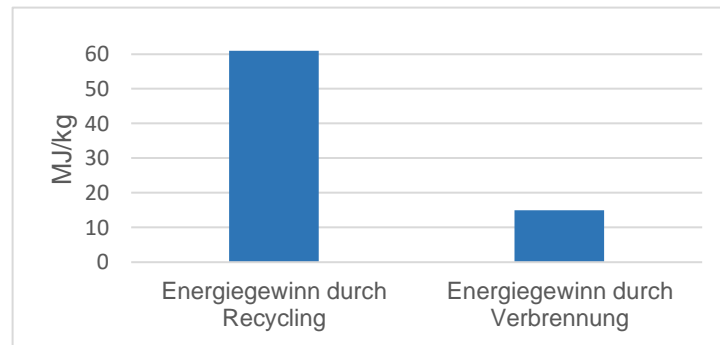


Abbildung 39: Vergleich der Energiegewinnung durch Verbrennung oder Recycling [62]

4.6. CO₂ Reduzierung

Aus Abbildung 40 ist der Anteil des CO₂-Ausstoßes der weltweiten Kunststoffproduktion ersichtlich [4].

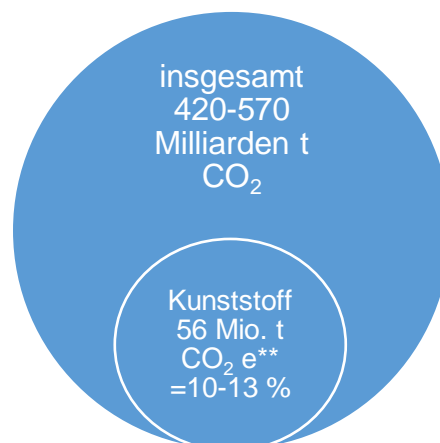


Abbildung 40: Anteil des CO₂-Ausstoßes der weltweiten Kunststoffproduktion am Maximalbudget zu Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels bis 2050 [4]

Durchschnittlich liegt der Klimafußabdruck für Menschen in Europa bei ca. 15 t CO₂/Kopf*Jahr. Davon werden 1,5 – 2 %, also 230 – 300 kg*CO₂e / Kopf*Jahr, für Verpackungen aus Kunststoff verwendet. [4]

4.7. Besichtigung einer Sortieranlage von Remondis

Am 21.01.2020 wurde eine Sortieranlage von der Firma Remondis besichtigt. Dort werden pro Tag 5000-7000 t Bau- und Produktionsabfälle verarbeitet. Folgende Abfälle werden dort voneinander getrennt: [52]

- Kunststoffe
- Dämmstoffe
- Verschiedene Hölzer
- unterschiedliche Metalle
- Bauschutt
- Produktionsabfälle
- Papier/Pappe
- Sand

Bei Anlieferung von Abfällen, per LKW, werden diese gewogen (Abbildung 41) [52].



Abbildung 41: Anmeldestation und Waage für Anlieferungen [52]

Es erfolgt eine Vorsortierung durch einen Bagger (Abbildung 42) [52].



Abbildung 42: Halle, in der die Anlieferungen abgeladen werden und vorsortiert werden [52]



Abbildung 43: In der Halle vorsortierter Kunststoffabfallhaufen [52]

Diese Fraktion in Abbildung 43 besteht aus Abfällen von Baustellen, von Handwerksbetrieben oder auch von Autowerkstätten, sie sind sehr durch Fremdstoffe verschmutzt und für eine werkstoffliche Verwertung nicht mehr brauchbar. Deshalb geht dieser Kunststoffabfall in energetische Verwertung. Alle Teile kleiner als 60cm, werden auf ein Laufband gebracht (siehe Abbildung 44). [52]



Abbildung 44: Abfallgemisch kleiner als 60 cm wird über ein Laufband auf das Rüttelsieb befördert [52]

Vom Laufband geht es zum Rüttelsieb. Hier fallen kleinere Teile wie Sand oder zu kleine Kunststoffbruchteile durch das Sieb (siehe Abbildung 45) [52].



Abbildung 45: Rüttelsieb [52]

Größere Teile verbleiben auf dem Sieb und werden später händisch sortiert [52].



Abbildung 46: Größere Stücke kommen in den nächsten Bereich [52]

Dafür sind am Rand des Laufbandes große Löcher. Unter den Löchern stehen Container, in die der aussortierte Abfall fällt (Abbildung 47). [52]



Abbildung 47: o.l. aussortierte Kunststoffabfälle; o.r. aussortierter Metallschrott; u.l. Restabfälle; u.l. Container in den es gesammelt wird [52]

Am Ende des Laufbandes wird der Bauschutt gesammelt (siehe Abbildung 48). Dieser wird für z.B. den Straßenbau verwendet [52].



Abbildung 48: aussortierter Bauschutt [52]

Eine leichtere Fraktion wird für kleinere Teile, die durch das Rüttelsieb fallen, gebildet, siehe Abbildung 49 [52].



Abbildung 49: Sortierreste [52]



Abbildung 50: Ausblick auf den Anlagenhof [52]

Ein weiterer Sortierbereich, siehe Abbildung 50, besteht aus Styroporabfall und anderen Kunststoffabfällen. Bild 51 ist anderer Kunststoffabfall näher gezeigt und wird auch energetisch verwertet. [52]



Abbildung 51: weitere aussortierte Kunststoffabfälle [52]

Abbildung 52 zeigt Produktionsabfälle, die im Ausland für die Abdichtung von Absetzbecken für den Uranabbau vorgesehen sind. Diese Lösung der Verwertung ist jedoch begrenzt, da auch dieser Abbau ausgeschöpft sein wird. [52]



Abbildung 52: Produktionsabfälle [52]

Für viele der dort anfallenden Wertstoffe gibt es keine Interessenten oder Abnehmer. Seit der Einführung des eingeschränkten Deponierens in Deutschland und dem Import-Stopp von China, müssen neue Wege gefunden werden. Die Folge, dass der Abfall verbrannt werden muss oder auf Deponien laut Auskunft, in Dänemark landet. Hierfür muss jedoch Geld bezahlt werden, damit dieser weiterverarbeitet oder verwertet werden kann. [52,63]

5. Zusammenfassung und Bewertung

Ziel und Aufgabe der Arbeit war die Darstellung der unterschiedlichen Kunststoffarten, des Müllaufkommens durch gebrauchte Verpackungen aus Kunststoff, dessen Zusammensetzung, die Verwertung gebrauchter Verpackungen bzw. den Verbleib (Export), sowie die Wiederverwendungsmöglichkeiten von gebrauchten Kunststoffen.

5.1. Kunststoffarten

Beschrieben werden diejenigen Massenkunststoffe, die insbesondere für alle Arten von Verpackungen verwendet werden oder Verwendung finden.

Bekanntlich werden Kunststoffe aus Erdöl und Erdgas gewonnen. Von diesen 100 % importierten Rohstoffen, fallen 42 % auf Heizung, 45 % auf Verkehr, Chemie 8 % und davon lediglich 4- 5 % für Kunststoffe. Lediglich 1,5 % dieser eben genannten Menge werden für Verpackungen aus Kunststoff verwendet.

5.2. Kunststoffabfallaufkommen

Abfall aus Kunststoff betrug im Jahr 2017 insgesamt 6,15 Mio. t, davon sind 5,2 Mio. t Post-Consumer Abfall und davon wiederum sind 3,08 Mio. t als Verpackungsabfall aus Kunststoff angefallen.

Insgesamt fallen 8,8 Mio.t Verpackungsabfälle verschiedenster Materialien an. Neben Papier bzw. Karton, 37 % und Glas, 29 %, macht Verpackungsabfall aus Kunststoff mit 24 % den drittgrößten Anteil aus.

5.3. Verwertungsarten

Abfallverwertung aus gebrauchten Kunststoffverpackungen sind

- a.) werkstofflicher
- b.) energetischer Art.

Unter werkstofflicher Verwertung wird die Wiederverwendung gebrauchter, recycelter Kunststoffe verstanden. Kunststoffe daraus sind für Verpackungen insbesondere von Lebensmitteln ungeeignet, sie sind gesetzlich nicht reguliert und wären eine gesundheitliches, sowie geschäftliches Risiko und sind sehr begrenzt zugelassen.

Jede Wiederverwendung recycelter Kunststoffe wird durch erneute Verarbeitung geschädigt und ändert dessen Eigenschaften. Die spärliche Literatur zu diesem Thema spricht von voraussichtlich 5-7-mal, ähnlich wie bei Altpapier. Das dadurch hervorgerufene Downcycling ist demnach nicht zu vermeiden.

Energetische Verwertung geschieht durch zwei Arten:

- Verbrennung zur Energieerzeugung in Hochöfen
- und als Ersatzbrennstoff bei der Zementherstellung

Die Enthalpie von Kunststoffen ist fast identisch mit der von Erdöl und Erdgas.

Biologisch abbaubare Kunststoffe sind keine Alternative zu konventionellen Kunststoffen. Ihr Zerfall ist zwar in kürzerer Zeit fortgeschrittener, die hohe Temperatur für deren Kompostierung ist dabei zu beachten, einen stofflichen Mehrwert gibt es jedoch nicht. Kompostwerke lehnen deshalb biologisch abbaubare Kunststoffe ab. Zu recycelnde PET- Chargen müssen deponiert oder energetisch verbrannt werden, wenn biologisch abbaubarer Kunststoff mit enthalten ist. Eine hochwertige stoffliche Verwertung ist für diesen Kunststoff nicht möglich.

5.3. Verbleib

Export

Presseberichte aus der Vergangenheit sprechen mehrfach vom Export von Abfall aus gebrauchten Kunststoffen von über 100.000 t jährlich, insbesondere nach Malaysia.

Insgesamt belief sich der Export 2017 auf 1,02 – 1,042 Mio. t. Nach China werden davon 29 % = 0,3 Mio. t und nach Malaysia lediglich 3 % = 0,03 Mio. t verbracht. Nach dem Import-Stopp von China, wird von den 0,86 Mio. t nur noch 8 % = 0,069 Mio. t nach China exportiert, nach Malaysia 13 % = 0,11 Mio. t.

Es hat den Anschein, als ob der Export gebrauchter Kunststoffe vor allem in nicht europäischen, eher exotischen Ländern, nicht kontrolliert wird. Zudem stellt sich die Frage, welchen technischen Vorteil diese Länder gegenüber Deutschland haben, so dass Verpackungsabfälle aus Kunststoff dort werkstofflich verwertet werden können. Export ist absolut keine Lösung!

5.4. Verwertungsquote

Die Bundesrepublik Deutschland ist das erste und bisher einzige Land der Welt, das unter anderem zum Ziel hat das Müllaufkommen durch gebrauchte Verpackungen zu reduzieren und das strikte Recyclingquoten fordert!

Die Werkstoffe für Verpackungen vom Glas bis zum Kunststoff müssen ab 2022 mehrheitlich zu 90 % einer Verwertung zugeführt werden!

Die werkstoffliche Verwertung von Verpackungsabfällen aus Kunststoff liegt 2017 bei 48,6 %. Ab den 01.01 2019 soll der Wert bei 65 % und ab 2022 bei 70 % liegen. Der Wert 49,9 % für die energetische Verwertung muss 2019 bei somit 35 % und ab 2022 nur noch bei 30 % liegen. Folgend ist eine Optimierung zur Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Verwertungsquoten gefordert! Zusammen muss die Verwertungsquote bei 90 % liegen, der mit insgesamt 99,9% bereits erreicht ist.

Die vorgegebene Verwertungsquote von 99,9 % wird jedoch bis heute nicht erreicht; sie berechnet sich auf ca. 74 %. Hier wird nicht der Input in die werkstoffliche Verwertung miteinberechnet, sondern der Output von Rezyklat.

5.5. Umweltbewusstsein

Bisher fehlt in den allermeisten Fällen, vor allen bei den klein- und mittelständischen Unternehmen das Verständnis über Verpackungen aus Kunststoff und das Bewusstsein, aber auch der Wille, deutliche Materialeinsparungen zu erarbeiten, um die Ziele des Verpackungsgesetzes zu erreichen. Das Bemühen der Verpa-

ckungsherstellenden und verarbeitenden Industrie zur Reduzierung von Verpackungen aller Art, insbesondere aus Kunststoff, ist heute noch deutlich unterentwickelt.

Kommerzielle Interessen einiger Unternehmen können den massenhaften Einsatz von Kunststoffen für Verpackungen und anderen Produkten begründen. Neuware ist attraktiver als Rezyklat!

Auch Verbraucher der Kunststoffverpackungen haben Einfluss auf die Verwertung. Sortierung und Trennung der Verpackungsabfälle müssen strenger durchgeführt werden, damit eine höhere und hochwertigere Recyclingquote erfolgreich sein kann. Für eine optimale Sortierung muss mehr Aufklärung stattfinden!

Deutschland befindet sich mit Abstand bereits auf einem guten Weg, um die vorgeschriebenen Ziele unseres Verpackungsgesetzes zu erreichen. Es erfordert jedoch dafür von allen Beteiligten noch erheblichen Anstrengungen.

6. Literaturverzeichnis

- [1] I. Reichert, "Kunststoff," 2/3/2019, <https://www.planet-wissen.de/technik/werkstoffe/kunststoff/index.html>.
- [2] A. Reitz, *Nutzen von Verpackungen: "Verpackungen nutzen - auch in ökologischer Hinsicht"*, Mainz, 04. 2018.
- [3] B. Schröder, *Kunststoffe für Ingenieure: Ein Überblick*, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014.
- [4] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., "Plastikatlas 2019," Heinrich-Böll-Stiftung & BUND.
- [5] H. Martens and D. Goldmann, *Recyclingtechnik*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016.
- [6] Bundesministerium der Justiz und Verbraucherschutz, *Verpackungsgesetz: VerpackG*, 01.01.2019.
- [7] BP, "Full report – BP Statistical Review of World Energy 2019," no. 68., 2019.
- [8] T. Seilnacht, "Erdöl und Erdölverarbeitung: Gewinnung der Kraft- und Heizstoffe," <https://www.seilnacht.com/Lexikon/erdoel.html>.
- [9] C. Lechner and J. Seume, *Stationäre Gasturbinen*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2019.
- [10] C. Bonten, *Kunststofftechnik: Einführung und Grundlagen*, Carl Hansen Verlag GmbH & Co. KG, 2016.
- [11] H.-J. Endres and A. Siebert-Raths, *Technische Biopolymere: Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften*, Hanser, München, 2009.
- [12] H. Domininghaus, P. Elsner, P. Eyerer et al., *Kunststoffe: Eigenschaften und Anwendungen*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [13] B. Arnold, *Werkstofftechnik für Wirtschaftsingenieure*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017.
- [14] E. Roos, K. Maile, and M. Seidenfuß, *Werkstoffkunde für Ingenieure*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017.

- [15] M. Bonnet, *Kunststofftechnik: Grundlagen, Verarbeitung, Werkstoffauswahl und Fallbeispiele*, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2016.
- [16] "Additive (Zusatzstoffe) in der Kunststoffverarbeitung," 2/3/2020, <https://www.tis-gdv.de/tis/verpack/kunststo/additive/additive.htm/>.
- [17] K. Ragaert, S. de Meester, L. Delva et al., "MECHANICAL RECYCLING OF POLYMERS FOR DUMMIES,".
- [18] "Polyvinylchlorid mit Weichmacher (PVC-P, Weich-PVC)," 2/3/2020, <https://www.kunststoffe.de/themen/basics/standardthermoplaste/polyvinylchlorid-pvc/artikel/polyvinylchlorid-pvc-p-weich-pvc-644705>.
- [19] J. Schmitt, "Stoffsstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017," 2018.
- [20] M. Hohmann, "Kunststoffindustrie,".
- [21] *Plastik für die Ewigkeit: "Das ist hier die Endstation für den Müll"*, 2018.
- [22] S. Reinsprecht, "Kunststoffe: Vor- und Nachteile von Kunststoff," 2/3/2020, <https://netzkonstrukteur.de/werkstoffe/kunststoffe/>.
- [23] BfR, "Mikroplastik in Lebensmitteln: Kleine Teile- große Wirkung?," *BfR 2 Go*, no. 2, 2019.
- [24] S. Rist, *Auswirkungen von Mikroplastik auf die Grünlippmuschel Perna viridis*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016.
- [25] R. Bertling and M. Hiebel, "Frauenhofer Umsicht nimmt Stellung: Thema: Mikroplastik," *Frauenhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik Umsicht*, 2015.
- [26] J. Bertling, R. Bertling, and L. Hamann, "Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik: Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen," Frauenhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits, und Energietechnik Umsicht, Juni / 2018, <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2018/kunststoffe-id-umwelt-konsortialstudie-mikroplastik.pdf>.
- [27] Utopia Team, "Plastik statt Plankton im Meer," 2/3/2019.
- [28] K. Schüler, "Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2017," 2019.

- [29] A. L. Schanze, D. Weinert, and P. Weinert, *Recycling-Mythen und illegale Plastik-Exporte, was ist dran ?*, 2019.
- [30] VDI Zentrum Ressourceneffizienz, *Kunststoffrecycling - Ressourceneffizienz durch optimierte Sortierverfahren*, 2018.
- [31] T. Dipl.-Ing. Sommerwerk, "Müllverbrennungsanlage (MVA)," *Energiestrom*, 2/3/2020, <http://www.energie-strom.com/energie/kraftwerke/muellverbrennungsanlage.html>.
- [32] H. Riedel, "Umweltrelevante Eigenschaften von Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen," Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2004, <https://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/abfallbehandlung/doc/schlacken.pdf>.
- [33] R. Günther, "Müllverbrennung in Deutschland: Übrig bleibt hochtoxisches Material," 2/3/2020, <https://www.deutschlandfunknova.de/beitrag/m%C3%BCllverbrennung-in-deutschland-%C3%BCbrig-bleibt-hochtoxisches-material>.
- [34] "Verwertung von Kunststoffen," 2/3/2020, <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie/artikel/verwertung-von-kunststoffen>.
- [35] "Komplettes Leben ohne Plastik- Zukunftsvision oder "Ökospinnerei"?", 2/3/2010, http://oekonista.blogspot.com/2015/06/komplettes-leben-ohne-plastik_15.html.
- [36] "Sortierung der Kunststoffabfälle," *bvse*, 2/3/2020, <https://www.bvse.de/themen-kunststoff-recycling/kunststoffaufkommen/sortierung-der-kunststoffabfaelle.html>.
- [37] *Kunststoffrecycling mit dem Grünen Punkt*, 2011.
- [38] Das Europäische Parlament, *Abfallrahmenrichtlinie: 2008/98/EG*, 19.01.2008.
- [39] "Abfallrecht," 3/3/2020, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallrecht>.
- [40] "Der Grüne Punkt," 2/3/2020, <https://www.gruener-punkt.de/de/politik-gesellschaft/verbraucher/wie-funktioniert.html>.

- [41] “Verpackungsgesetz: Rechtssicher Handeln mit dem Händlerbund,” 07 / 2019, <https://www.haendlerbund.de/de/downloads/whitepaper-verpackungsgesetz.pdf>.
- [42] Bundesministerium der Justiz und Verbraucherschutz, *Kreislaufwirtschaftsgesetz: KrWG*, 20. 7. 2017.
- [43] “Grenzüberschreitende Abfallverbringung,” 2/3/2020, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/grenzueberschreitende-abfallverbringung>.
- [44] Bundesministerium der Justiz und Verbraucherschutz, *Abfallverbringungsgesetz: AbfVerbrG*, 20.11.2019.
- [45] “Notifizierungsverfahren,” 2/3/2020, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/grenzueberschreitende-abfallverbringung/notifizierungsverfahren>.
- [46] “Altkunststoffexporte auf Zehn-Jahres-Tief,” *EUWID Recycling und Entsorgung*, 2019.
- [47] “Abfälle aus Kunststoff,” 2/3/2020, <https://www.euwid-recycling.de/news/maerkte/>.
- [48] “Where does Germany export Scrap Plastic to? (2017),” 2/3/2020, https://oec.world/en/visualize/tree_map/hs92/export/deu/show/3915/2017/.
- [49] “Overview of Scrap Plastic,” 2/3/2020, <https://www.tridge.com/hs-codes/3915-scrap-plastic/DE>.
- [50] “Malaysia schickt illegal importierten Plastikmüll zurück,” *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 20.01.2020.
- [51] Wefers, Heribert, Verwertung von Verpackungsabfall aus Kunststoff. Interview by Celina Hermann, 12/12/2019.
- [52] C. Hermann. personal communication.
- [53] “Markt für Altkunststoffe: Schwache Rezyklatnachfrage,” *EUWID Verpackung*, vol. 2019, no. 50.
- [54] J. Cwienk, “German plastic floods Southeast Asia,” 2/3/2020, <https://www.dw.com/en/german-plastic-floods-southeast-asia/a-47204773>.

- [55] *Das Plastik in mir: Wie der Müll uns krank macht. Das Jenke Experiment*, 2019.
- [56] K. Schüler, "Mehr Recycling ist möglich: Studie der HDE-Klimaschutzoffensive sieht Möglichkeiten für stärkere Nutzung von Rezyklaten," Juni / 2019, https://www.agvu.de/wp-content/uploads/2019/06/Nutzen-von-Verpackungen-2019_Vortrag-Orientierungstag.pdf.
- [57] L. Sedaghat, "7 Things You Didn't Know About Plastic (and Recycling)," 2/3/2020, <https://blog.nationalgeographic.org/2018/04/04/7-things-you-didnt-know-about-plastic-and-recycling/>.
- [58] "Müllverbrennung," 2/3/2020, <https://www.verivox.de/strom/themen/muellverbrennung/>.
- [59] M. Kummer, "Thermische Abfallverwertung in Europa wächst wieder," 2/3/2020, <https://www.recyclingmagazin.de/2020/01/08/thermische-abfallverwertung-in-europa-waechst-wieder/>.
- [60] T. Obermeier and D. Lechtenberg, "Wie beeinflussen die zunehmenden Importmengen an Ersatzbrennstoffen den Abfallverbrennungsmarkt in Deutschland?," 2014, https://www.tomm-c.de/fileadmin/pdf/2014/Vortrag_ThomasObermeier_TASIMA.pdf.
- [61] "SCHLACKEN UND ASCHEN AUS VERBRENNUNG," 2/3/2020, <https://www.sutco.de/anlagentechnik/schlacken-und-aschen-aus-verbrennung/>.
- [62] K. Fricke, T. Bahr, and Thiel, Timo, Kugelstadt, Oliver, "STOFFLICHE ODER ENERGETISCHE VERWERTUNG -RESSOURCENEFFIZIENTES HANDELN IN DER ABFALLWIRTSCHAFT," 2008, <https://ggsc-seminare.de/pdf/Fricke-Ressourceneffizientes-Handeln-in-der-Abfallwirtschaft.pdf>.
- [63] DUDEN, ed., *verwerten*.