



## Vorwort

Ich habe bereits seit vielen Jahren sehr interessiert die Debatte bezüglich des Plastikproblems verfolgt und mir schon des Öfteren selber die Frage gestellt, wie eine nachhaltige Zukunft aussehen kann. Eines Tages fiel mir auf, wie viel Plastik wir Menschen applizieren, uns dem aber kaum bewusst sind. Die meisten Gegenstände in unserem Zuhause bestehen aus Plastik.

Das Problem der Plastik-Flaschen bemerkte ich 2020 in meinem Sommerurlaub in Neapel. Ich schlenderte in dieser wunderschönen Stadt und bemerkte zunehmend, dass etwas gänzlich anders war, als ich es aus meiner Heimatstadt Hamburg kannte. Die ganzen Straßen und Gassen waren voller Müll. Vor allem Plastik-Flaschen lagen überall rum. Die meisten Menschen warfen ihre Flaschen rücksichtslos auf den Boden. Fast alle PET-Flaschen, die ich kaufte, waren ohne Pfand. Mir ist sofort in Erscheinung getreten, dass dies ein großes Problem für die Umwelt darstellt. Es war für mich unerklärlich, wie es möglich sein könne, dass mitten in Europa solch ein anderes Bild vorherrschen würde. Als bald war mir bewusst, dass es notwendig sei, in diesem Bereich nach neuen Lösungen zu forschen. Denn gänzlich auf Plastik zu verzichten, erschien mir aussichtslos. Dies motivierte mich dazu, genau dieses Thema zu wählen. Da ich mich sowieso schon vorher mit der Thematik auseinandergesetzt habe, wollte ich das Ganze nun wissenschaftlich analysieren und somit auch für mich neue Erkenntnisse gewinnen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 <i>Einleitung</i> .....	1
1.2 <i>Zielsetzung</i> .....	2
1.3 <i>Vorgehen</i> .....	2
<b>2 Polyethylenterephthalat</b> .....	<b>4</b>
2.1 <i>Die Geschichte des Kunststoffes PET</i> .....	4
2.2 <i>Die Herstellung des Kunststoffes PET</i> .....	4
2.3 <i>Eigenschaften des Kunststoffes PET</i> .....	8
<b>3 PET-Flasche</b> .....	<b>11</b>
3.1 <i>Die Geschichte der PET-Flasche</i> .....	11
3.2 <i>Der Unterschied zwischen einer Mehrweg- und einer Einwegflasche</i> .....	12
3.2.1 <i>Die Reinigung der PET-Mehrwegflasche</i> .....	14
3.2.2 <i>Die Reinigung der Kästen</i> .....	16
3.3 <i>Der aktuelle Stand der PET-Flaschen in Deutschland</i> .....	16
<b>4 Der Herstellungsprozess der PET-Flasche</b> .....	<b>19</b>
4.1 <i>Granulieren</i> .....	19
4.2 <i>Die Herstellung der Preform</i> .....	19
4.3 <i>Von der Preform zur PET-Flasche</i> .....	21
4.4 <i>Die Abfüllung der PET-Flasche</i> .....	22

<b>5</b>	<b>Recycling der PET-Einwegflaschen .....</b>	<b>23</b>
5.1	<i>Die Pfandpflicht in Deutschland .....</i>	23
5.2	<i>Die Sammlung und Sortierung der PET-Einwegflaschen .....</i>	25
5.3	<i>Die Herstellung des Rezyklats .....</i>	27
<b>6</b>	<b>Die Risiken für die Umwelt .....</b>	<b>28</b>
6.1	<i>Eutrophierung von PET-Flaschen .....</i>	28
6.2	<i>Erhöhter Erdölverbrauch .....</i>	29
6.3	<i>Mikroplastik in der Umwelt .....</i>	30
<b>7</b>	<b>Die Zukunft der PET-Flaschen .....</b>	<b>32</b>
7.1	<i>Politische Einflüsse und gesetzliche Regelungen .....</i>	32
7.2	<i>Eine kritische Auseinandersetzung mit der Alternative „Glas“ .....</i>	34
7.3	<i>Nachhaltige und innovative Trends .....</i>	36
<b>8</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>38</b>
	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>XVIII</b>
	<b>Erklärungen .....</b>	<b>XXV</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Chemische Strukturformel des Polyethylenterephthalats.....	5
Abbildung 2: Strukturformel der Terephthalsäure.....	6
Abbildung 3: Strukturformel des Ethylenglycols .....	6
Abbildung 4: Die Bildung des PET .....	7
Abbildung 5: Teilkristalline und amorphe Struktur von Thermoplasten .....	8
Abbildung 6: Das Zeichen "Mehrweg - Für die Umwelt" und "Der Blaue Engel" .....	13
Abbildung 7: Das Einweg-Symbol .....	14
Abbildung 8: Flaschenreinigungsmaschine für Mehrwegflaschen.....	15
Abbildung 9: Der Kastenwascher .....	16
Abbildung 10: Das PET-Granulat .....	19
Abbildung 11: Prozessablauf des Spritzgießens .....	20
Abbildung 12: Prinzip des Streckblasprozesses.....	21

## Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Co <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
dl/g	Deziliter pro Gramm
DPG	Deutsche Pfandsystem GmbH
EPBP	European PET Bottle Platform
EU	Europäische Union
g/cm <sup>3</sup>	Gramm pro Kubikzentimeter
GVM	Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung
ICI	Imperial Chemical Industries
IR-Strahler	Infrarot-Strahler
IV	Intrinsische Viskosität
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
MIV	Milchindustrieverband
MJ/	Megajoule
Partikeln/m <sup>2</sup> /d	Partikeln pro Quadratmeter pro Tag
PET	Polyethylenterephthalat, Polyethylenterephthalat
PET-A	Amorphes Polyethylenterephthalat
PET-C	Teilkristallines Polyethylenterephthalat
PHB	Bio-Kunststoff Polybuttersäure
T <sub>g</sub>	Glasübergangstemperatur
URRC	United Resource Recovery Corporation
UV-LED	Ultraviolett emittierendes Licht
UV-Strahlung	Ultraviolettstrahlung
VerpackV	Verpackungsverordnung

## Abstract

Die vorliegende Bachelorarbeit vermittelt einen Überblick über den gesamten Herstellungs- sowie Recyclingprozess einer PET-Flasche und diskutiert auf Basis der existenten Literatur die damit verbundenen Risiken für die Umwelt. Hierzu werden mögliche Alternativen, wie Glas oder Biokunststoff, kritisch analysiert, um sich eine konkrete Meinung zu bilden. Es stellt sich nämlich in diesem Zusammenhang die Frage, ob die Variante Glas, bezogen auf die Auswirkungen auf die Umwelt, besser als die PET-Flasche ist. Außerdem wurden die politischen und gesetzlichen Standpunkte herausgearbeitet, um zu verdeutlichen, dass die Politik einen starken Einfluss auf die Veränderungen des Umweltschutzes ausübt. Aus ihren Entscheidungen und Beschlussfassungen resultiert die Möglichkeit, einen nachhaltigen Wandel zu initiieren und voranzutreiben sowie die Umweltprobleme zu minimieren.

# 1 Einführung

## 1.1 Einleitung

Im Jahre 1976 wurden weltweit 50 Millionen Tonnen Kunststoff produziert. 2018 belief sich die Kunststoffproduktion bereits auf 359 Millionen Tonnen.<sup>1</sup>

Die Welt hat sich in den letzten Jahrzehnten enorm verändert und ein Leben ohne Kunststoff ist kaum vorstellbar. Kunststoffe werden „künstlich“ erzeugt und sind in der Natur nicht biologisch abbaubar. Umgangssprachlich werden sie als Plastik bezeichnet.<sup>2</sup> Zahlreiche Menschen greifen nur noch nach Plastikprodukten und sind sich dieser Tatsache meistens nicht einmal bewusst. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang z.B. die Zahnbürste, der Plastik-Thermobecher, die Tastatur auf der Arbeit, das unverzichtbare Smartphone oder die wohlbekannte PET-Flasche. Einige der genannten Gegenstände sind langlebig und werden über eine längere Zeit hinweg genutzt und einige werden sofort nach ihrem Gebrauch wieder entsorgt oder können nicht besonders lange verwendet werden. Dies trifft z.B. auf die PET-Flasche zu, in welche die meisten Getränke eingefüllt werden.

Die Mehrheit greift beim Einkaufen deshalb nach diesen Flaschen, da sie zum einen hart, robust und fest sind, zum anderen aber dennoch sehr leicht sind und gut in der Hand liegen. Auch in vielen anderen Bereichen, wie z.B. bei der Verpackung von Lebensmitteln, ist die Plastikvariante häufig von Vorteil.<sup>3</sup> Eine Getränkeflasche aus Glas ist zum einen schwerer und zum anderen auch teurer für den Kunden. Die PET-Flasche kann hingegen problemlos transportiert werden.

Allerdings sind in Kontrast zu den Vorteilen der PET-Flasche auch die Nachteile zu nennen, über die heutzutage auch oft diskutiert wird. Die negativen Aspekte betreffen vor allem die Umwelt. Vielen Benutzern ist nämlich nicht die Tatsache bewusst, dass Plastik umweltschädliche Stoffe freisetzt und zu riskanten Konsequenzen in der Natur führt.

---

<sup>1</sup> Vgl. PlasticsEurope (2020a).

<sup>2</sup> Vgl. Schröder, Heike (2017), S. 12.

<sup>3</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 1.

Oft wird die Glasverpackung aus umwelttechnischen Aspekten als besser charakterisiert und als ressourcenschonender qualifiziert. Ebenso wird die Glasvariante von vielen Händlern deshalb verwendet, da sie sich durch gezieltes Marketing dem Kunden als besonders umweltfreundlich präsentieren lässt.

Glas oder Plastik - diese Fragestellung spaltet heutzutage immer mehr die Gemüter. Auch auf der politischen Ebene wird das sogenannte „Plastikproblem“ häufig zum Gegenstand heftiger Diskussionen. Fest steht nur die Dringlichkeit der Problematik, denn es ist von großer Relevanz, eine nachhaltige Lösung zu finden. Denn die Menschheit wächst und verbraucht immer mehr Ressourcen. Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte ist rasant vorangeschritten und es ist an der Zeit, neue innovative Lösungen zu finden, um die zukünftigen Probleme minimieren zu können.

## 1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Herstellungsprozess der PET-Flasche und den daraus resultierenden Risiken für die Umwelt.

Die erste Forschungsfrage für dieses Thema lautet: *„Wie schauen die zukünftigen Aussichten der PET-Flasche aus und welche Möglichkeiten gibt es, die Umweltbelastungen zu reduzieren?“* Als zweite Frage wurde die folgende formuliert: *„Ist die Glasflasche eine bessere Alternative gegenüber der PET-Flasche und gleichzeitig umweltfreundlicher?“*

Ziel dieser Arbeit ist darauf ausgerichtet, diese Forschungsfragen mithilfe von entscheidungsgrundlegenden Daten am Ende dieser Arbeit zu analysieren und zu beantworten.

## 1.3 Vorgehen

Diese Arbeit basiert auf der Methodik einer reinen Literaturrecherche. In diesem Zusammenhang wurde eine qualitative Forschung betrieben, indem z.B. existente Fachliteraturen oder vorhandene Studien herangezogen wurden.

Der Beginn der Arbeit schildert die Geschichte des Kunststoffes „PET“. Außerdem werden die Herstellung und die Eigenschaften des Werkstoffs allgemein konkretisiert.

Im weiteren Verlauf geht es dann darum, sich mit der PET-Flasche zu beschäftigen, den Unterschied zwischen einer Mehrweg- und einer Einwegflasche herauszuarbeiten sowie sich mit den aktuellen Daten der PET-Flasche auseinanderzusetzen.

Im vierten Kapitel beginnt bereits der Hauptteil der Arbeit. In diesem wird der gesamte Herstellungsprozess expliziter präzisiert.

Im nächsten Abschnitt geht es um das Recycling der PET-Flasche. Anhand von Informationen über das deutsche Pfandsystem wird in das Themengebiet eingeführt.

In Kapitel 6 wird anschließend auf die negativen Umweltprobleme eingegangen, die durch das PET verursacht werden.

Um sich einen Eindruck über die zukünftigen Perspektiven der PET-Flasche verschaffen zu können, werden dann im nächsten Abschnitt die politischen Einflüsse herauskristallisiert. Zusätzlich wird eine kritische Auseinandersetzung mit der Glasflasche vorgenommen, die als Alternative zur PET-Flasche fungiert.

Da der Begriff „Plastik“ oft mit gesundheitlichen Aspekten in Verbindung gebracht wird, wird über diesen Aspekt sehr gerne diskutiert. Allerdings wird dieses Themengebiet in dieser Arbeit deshalb nicht behandelt, da dessen Behandlung einen großen Seitenumfang erfordert und damit den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

## 2 Polyethylenterephthalat

### 2.1 Die Geschichte des Kunststoffes PET

Das PET wurde bereits im Jahre 1941 von J. R. (Rex) Whinfield und James T. Dickson in Großbritannien entdeckt. Sie entwickelten zunächst Textilfasern aus PET. Ihr Entwicklungsgedanke war darauf ausgerichtet, eine Alternative zu japanischer Seide und Nylon herzustellen, welche qualitativ gut und kostengünstig ist. Im Jahre 1953 wurde dann die erste kommerzielle Produktion durch das britische Chemieunternehmen namens ICI<sup>4</sup> (Imperial Chemical Industries) aufgenommen. Der Siegeszug des PET-Stoffes resultierte aus der Tatsache, dass aus ihm Getränkeflaschen hergestellt wurden. Der Stoff wurde daraufhin weltweit immer bekannter. Ab 1970 waren die ersten PET-Flaschen in den USA auf dem Markt platziert. Der Kunststoff PET weckte schnell die Aufmerksamkeit von zahlreichen Getränkeherstellern und bildet heute einen wichtigen Teil der globalen Wirtschaft.<sup>5</sup>

### 2.2 Die Herstellung des Kunststoffes PET

Bevor auf die exakte Herstellung der PET-Flasche detailliert eingegangen wird, muss zunächst der Begriff Polyethylenterephthalat erläutert werden. Doch zuerst sollen die Termini Polykondensation, Monomere und Polymere intensiv beleuchtet werden, um die Zusammenhänge genau zu verstehen.

Bei der **Polykondensation** handelt es sich um eine Stufenreaktion, bei der viele identische Moleküle, sog. Monomere, kettenartig miteinander verbunden werden. Hierbei lassen sich Makromoleküle bzw. Polykondensate entwickeln. Bei einer Polykondensation reagieren zwei unterschiedliche Arten von Monomeren miteinander. Jedes Monomer hat zwei reaktionsfähige, funktionelle Gruppen, jedoch sind es nicht die gleichen.<sup>6</sup> Die Bildung von Makromolekülen erfolgt unter Abspaltung von Nebenprodukten, wie z.B. Wasser, Ammoniak oder Alkohol.<sup>7</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. ICI (o.J.).

<sup>5</sup> Vgl. Kaiser, Wolfgang (2016), S. 17; PET-Recycling (o.J.b).

<sup>6</sup> Vgl. Wolters, L. et al. (1997), S. 7.

<sup>7</sup> Vgl. Hopmann/Michaeli (2017), S. 11.

In Zusammenhang mit der Polykondensation ist ein **Polymer** als eine chemische Verbindung zu bezeichnen, die sich aus vielen gleichartigen Teilen, den sog. Monomeren, zusammensetzt.<sup>8</sup>

Ein **Monomer** ist ein reaktionsfähiges Molekül und bildet den Grundbaustein. Aus ihnen werden die makromolekularen Verbindungen bzw. die Polymere aufgebaut.<sup>9</sup>

Der Kunststoff PET resultiert aus einer Polykondensation.<sup>10</sup> Er gehört zu der Familie der gesättigten Polyester und es handelt sich um einen thermoplastischen Kunststoff.<sup>11</sup> Thermoplastisch bedeutet, dass sich die Form des Materials in Abhängigkeit von der Temperatur verändern lässt. Erhöht sich die Temperatur, so wird das Material weicher und es resultiert ein formbarer Kunststoff.<sup>12</sup>

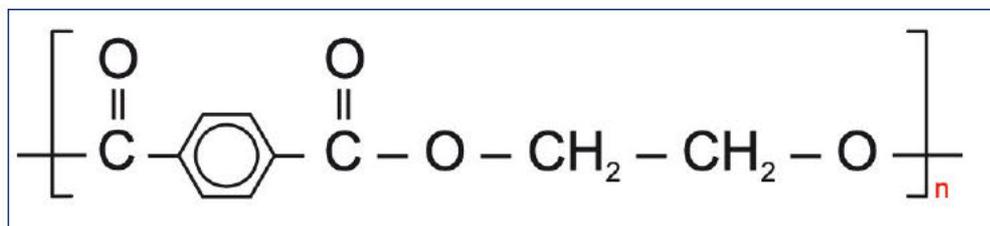


Abbildung 1: Chemische Strukturformel des Polyethylenterephthalats<sup>13</sup>

Das PET setzt sich aus den Monomeren Terephthalsäure und Ethylenglycol zusammen, welche auf der Rohölaufbereitung basieren. Die Terephthalsäure wird aus der Aromatenfraktion erzeugt und Ethylenglycol aus Naphta.<sup>14</sup> Terephthalsäure enthält zwei Carboxylgruppen (s. Abb. 2) und es handelt sich aus dem Grund um eine Dicarbonsäure.<sup>15</sup>

---

<sup>8</sup> Vgl. Eyerer, Peter (2020), S. 2 ff.

<sup>9</sup> Vgl. Lechner, M. et al. (2014) S. 3 ff.; Eyerer, Peter (2020), S. 14.

<sup>10</sup> Vgl. Bonten, Christian (2020), S. 229.

<sup>11</sup> Vgl. Bergmann, Wolfgang et al. (2013), S. 333.

<sup>12</sup> Vgl. Kauertz/Detzel (2017), S. 6.

<sup>13</sup> Kaiser, Wolfgang (2016), S. 342.

<sup>14</sup> Vgl. Kauertz/Detzel (2017), S. 6.

<sup>15</sup> Vgl. Bergmann, Wolfgang et al. (2013), S. 322; Eyerer, Peter et al. (2020), S. 60 ff.

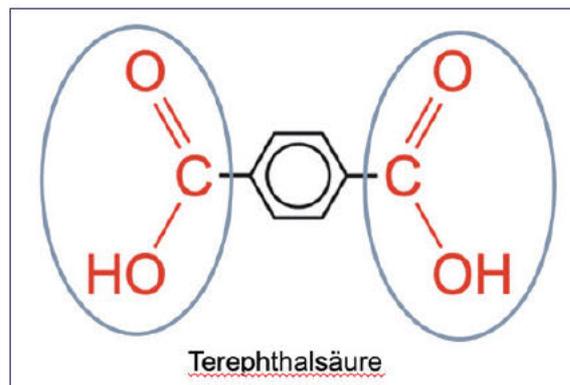


Abbildung 2: Strukturformel der Terephthalsäure<sup>16</sup>

Das Ethylenglycol hingegen besitzt zwei Hydroxylgruppen (s. Abb. 3) und ist deswegen ein Diol.<sup>17</sup>

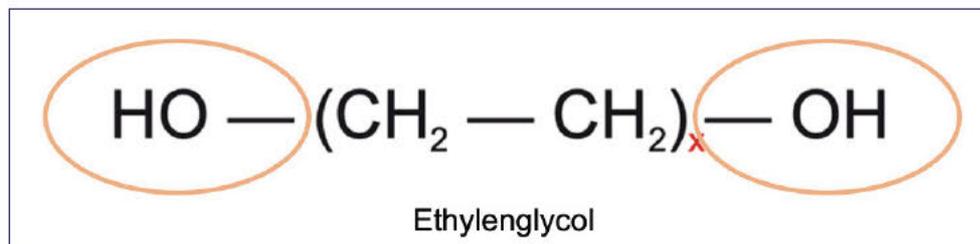


Abbildung 3: Strukturformel des Ethylenglycols<sup>18</sup>

Reagieren die Hydroxyl- und Carboxylgruppen miteinander, so bildet sich ein Ester.<sup>19</sup> Die Esterbildung resultiert aus der Vereinigung von Alkohol und einer Sauerstoffsäure. Dieser Prozess wird als Kondensationsreaktion bezeichnet.<sup>20</sup> Sobald mehrere Moleküle miteinander reagieren, entsteht auf diese Weise das PET.<sup>21</sup> Terephthalsäure und Ethylenglycol reagieren also zu PET.

---

<sup>16</sup> Vgl. Eigene Darstellung, in Anlehnung an: Kaiser, Wolfgang (2016), S. 340.  
<sup>17</sup> Vgl. Bergmann, Wolfgang et al. (2013), S. 322; Eyerer, Peter et al. (2020), S. 60 ff.  
<sup>18</sup> Vgl. Eigene Darstellung, in Anlehnung an: Kaiser, Wolfgang (2016), S. 340.  
<sup>19</sup> Vgl. Eyerer, Peter (2020) S. 60 ff.  
<sup>20</sup> Vgl. Elsner, Peter et al. (2008), S. 631.  
<sup>21</sup> Vgl. Lechner, M. et al. (2014), S. 154

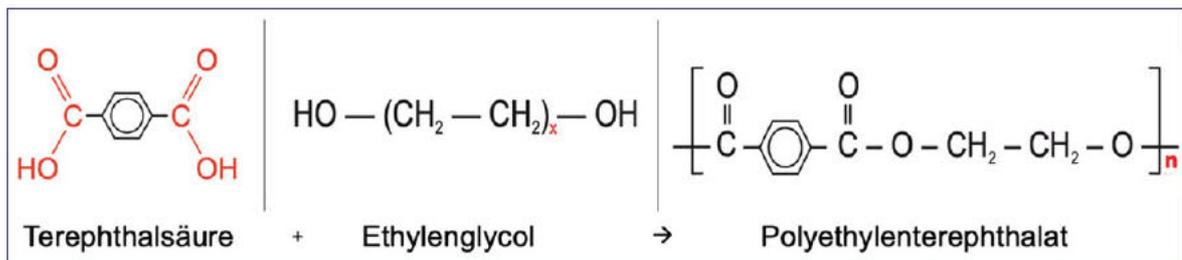


Abbildung 4: Die Bildung des PET<sup>22</sup>

Im Herstellungsvorgang des PETs erfolgt an erster Stelle eine sog. „Direkt-Veresterung“, bei der sich ein Ester bildet. Bei einer Temperatur von 220 bis 260 °C wird die Veresterung durchgeführt. Außerdem ist es möglich, die Veresterung mithilfe eines Katalysators zu forcieren.

Des Weiteren ist es ebenso möglich, eine Umesterung durchzuführen. Während der Umesterung werden Dimethylester der Terephthalsäure und bestimmte Diole zusammengefügt. Hierbei wird Methanol freigesetzt und neben der Reaktion abdestilliert. Die Reaktion erfolgt bei einer Temperatur von 220 °C.

Im nächsten Vorgang kommt es nun zu einer Kondensationspolymerisation (s. Polykondensation). Zunächst wird die Polykondensat-Schmelze zu Bändern oder Strängen geformt. Nach einer Abkühlung findet eine Granulierung statt. Damit sich die Kettenlänge erhöhen kann, erfolgt im Anschluss daran eine Nachkondensation des Granulats. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass der Bereich der Erweichung bei ca. 210 bis 240 °C liegt. Die Nachkondensation wird meist auch als Festphasenkondensation bezeichnet.<sup>23</sup>

Das PET steht heutzutage in verschiedenen Formen und Varianten zur Verfügung. Nicht nur Kunststoffflaschen werden daraus hergestellt, sondern auch Textilien, Behälter, Möbel und Smartphones. Doch dass all diese Gegenstände aus PET bestehen können, resultiert primär aus den Eigenschaften des PETs.

<sup>22</sup> Vgl. Eigene Darstellung, in Anlehnung an: Kaiser, Wolfgang (2016), S. 340.

<sup>23</sup> Vgl. Kaiser, Wolfgang (2016), S. 342 ff.

## 2.3 Eigenschaften des Kunststoffes PET

Der Kunststoff PET besitzt verschiedene Eigenschaften, die in Betracht gezogen werden müssen. PET zeichnet sich zunächst durch eine hohe Festigkeit und Zähigkeit aus. Außerdem ist PET durch ein gutes Kriechverhalten gekennzeichnet.<sup>24</sup> Das Kriechverhalten beschreibt die Verformung eines Werkstoffes, der unter Last steht, und zwar in Abhängigkeit von der Zeit und der Temperatur.<sup>25</sup> Außerdem ist hinzuzufügen, dass zwei Arten von PET existieren: PET kann sich nämlich zum einen in einem kristallin-opaken (PET-C) Zustand befinden und zum anderen in einem amorph-transparenten (PET-A) Zustand.<sup>26</sup>

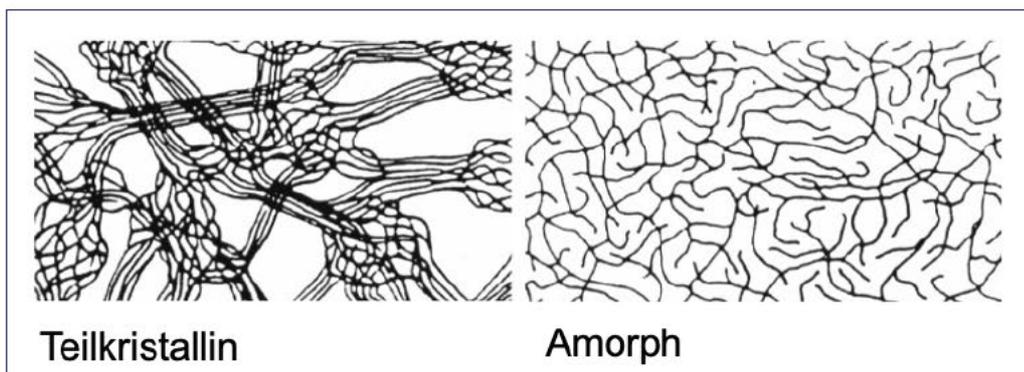


Abbildung 5: Teilkristalline und amorphe Struktur von Thermoplasten<sup>27</sup>

Der amorphe Bereich ist unstrukturiert und diffus. In Kontrast dazu ist die teilkristalline Struktur geordnet und in Schichten (Lamellen) aufgestellt.<sup>28</sup>

**Der PET-C** ist ein Thermoplast, der sich durch eine mittlere Festigkeit auszeichnet. Er verfügt über eine hohe Steifigkeit, Härte und Abriebfestigkeit. Die Schlagzähigkeit ist gering und das Kriechverhalten niedrig. Die Temperatur, bei welcher der Werkstoff von der flüssigen Beschaffenheit in die glasige bzw. harte Beschaffenheit moduliert, liegt bei  $T_g \approx 80 \text{ °C}$  und wird als Glasübergangstemperatur bezeichnet. An der Luft liegt die Dauertemperatur, bei der PET-C eingesetzt wird, zwischen  $-20 \text{ °C}$  bis  $100 \text{ °C}$ . Ansonsten befindet sich die Temperatur bei  $135 \text{ °C}$  und kurzfristig sogar bis  $200$

<sup>24</sup> Vgl. Laska/Felsch (1992), S. 267.

<sup>25</sup> Vgl. Eyerer, Peter (2020), S. 429; Lechner, M. et al. (2014), S. 488 f.

<sup>26</sup> Vgl. Bruder, Ulf (2016), S. 5.

<sup>27</sup> Thielen, Michael et al. (2020) S. 19.

<sup>28</sup> Vgl. Bruder, Ulf (2016), S. 5.

°C. Beim Kontakt mit verdünnten Säuren, Fetten, Estern und Alkoholen zeichnet sich das teilkristalline PET durch eine gute Beständigkeit aus. Im Gegenzug dazu verhält es sich nicht konsistent gegenüber heißem Wasser bzw. Wasserdampf, heißen Waschlösungen oder Alkalien. Eine weitere wichtige Eigenschaft des PET-C besteht darin, dass es eine mittlere Feuchteaufnahme aufweist und eine gute Spannungsriss- und Witterungsbeständigkeit besitzt. Allerdings verfügt PET-C nur über eine mittlere Isoliereigenschaft.<sup>29</sup> Das bedeutet, dass der Kunststoff eine mittlere Widerstandsfähigkeit gegen elektrischen Strom aufweist. Die elektrische Leitfähigkeit ist z.B. bei Metallen deshalb viel höher, da sie schneller Wärme leiten können.<sup>30</sup>

Die Verarbeitung des teilkristallinen PETs erfolgt im Wesentlichen durch Spritzgießen. Hierbei darf die niedrige Temperaturspanne zwischen 260 bis 280 °C nicht außer Acht gelassen werden. Bei Werkzeugtemperaturen sollte der Bereich zwischen 90 und 100 °C liegen. Zu den weiteren Verfahren gehören u.a. Extrudieren, Kleben und Spanen. Die Anwendungsbereiche sind zum einen die Elektrotechnik und zum anderen der Maschinenbau. Aus PET-C werden z.B. Zahnräder, Knöpfe oder Teile für Telefongeräte hergestellt.

Im Gegensatz zu PET-C sind die Steifigkeit und die Härte des **PET-A** etwas geringer. Dafür besitzt das amorphe PET aber eine bessere Schlagzähigkeit. Das PET-A wird an der Luft bei einer Dauertemperatur zwischen -40 und 60 °C eingesetzt. Unter Ausschließung von Luft erhöht sich die Temperatur bis auf 100 °C. Wird die Temperatur von 90 °C überschritten, so bilden sich eine Kristallisation und dadurch eine Trübung heraus, es sei denn, es wird eine thermische Nachbehandlung vorgenommen. Hat ein Objekt des amorphen PET eine Wanddicke von weniger als 5 mm, so ist dieses Objekt glasklar bis transluzid. Die chemischen Eigenschaften des PET-A entsprechen denen des PET-C. Es ist nur noch hinzuzufügen, dass das PET-A beständig gegen perchlorierte Kohlenwasserstoffe ist.

Die Verarbeitung des amorphen PET erfolgt ebenfalls durch Spritzgießen bei einer Werkzeugtemperatur von 20 bis maximal 40 °C. Wird dieses Maximum überschritten, so resultiert ebenfalls eine Kristallisation. Weitere Verfahren sind u.a. die Flachfoli-

---

<sup>29</sup> Vgl. Kaiser, Wolfgang (2016), S. 342 f.

<sup>30</sup> Vgl. Hopmann/Michaeli (2017), S. 30.

enextrusion und das Streck- bzw. Spritzformen. Diese Verfahren werden meistens im Rahmen einer thermischen Nachbehandlung durchgeführt.

Zu den Anwendungsbereichen gehören die Verpackungstechnik und Folien. Mithilfe des amorphen PETs werden z.B. Flaschen, Dosen oder Elektroisierfolien hergestellt.<sup>31</sup>

Im Großen und Ganzen kann daraus die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das PET auf verschiedene Art und Weise erzeugt wird. Je nach dem Zustand (teilkristallin oder amorph) ist das PET härter, fester oder steifer und verändert somit seine Eigenschaften. Um die Qualität des PETs zu messen, gibt es die sog. intrinsische Viskosität. Sie beschreibt das Molekulargewicht des PETs. Je höher der IV-Wert dl/g liegt, desto schneller kommt es beim Verstrecken des Materials zu einer Dehnungsverfestigung. Dadurch nimmt die Spannung zu und die Polymerketten verlängern sich. Erhöht sich die IV, ist es möglich, bestimmte Mängel oder Brüche zu nachzuweisen. Die Spanne der intrinsischen Viskosität liegt bei 72 bis 85 dl/g.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> Vgl. Kaiser, Wolfgang (2016), S. 343 f.

<sup>32</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 157.

## 3 PET-Flasche

### 3.1 Die Geschichte der PET-Flasche

Der amerikanische Maschinenbauingenieur und Chemiker namens Nathaniel Wyeth erforschte im Jahre 1967 die Eigenschaften des PETs und schaffte es, aus dem PET ein formbares Material herzustellen. Durch seine Forschungen gelang es Wyeth, nicht nur eine Flasche aus PET zu formen, sondern das PET in der Weise herzustellen, dass es dem Druck kohlenensäurehaltiger Getränke widerstand. Aufgrund dieser Entwicklung und Innovation ist er bis heute bekannt.

Im Jahre 1973 wurde dann von Wyeth die erste PET-Flasche patentiert.<sup>33</sup> Relativ schnell fingen die Maschinenhersteller mit der Produktion von Maschinen zur Herstellung von PET-Flaschen an.<sup>34</sup> Die ersten PET-Flaschen wurden dann im Jahre 1975 von Pepsi-Cola in den Markt eingeführt.<sup>35</sup>

Erst drei Jahre später etablierte der Konkurrent, Coca-Cola, in den USA eine Flasche mit einem Zwei-Liter-Inhalt. Auf diese Weise startete die PET-Flasche ihren weltweiten Siegeszug.<sup>36</sup> Die PET-Flasche wurde immer beliebter und seit 1980 spielten die Flaschen in der Wirtschaft in den folgenden zehn Jahren (in den 1980er Jahren) eine immer wichtigere Rolle.<sup>37</sup>

Im Jahre 1990 wurde dann die erste Coca-Cola PET-Mehrwegflasche in Deutschland eingeführt.<sup>38</sup> Im Durchschnitt hatten die Flaschen in dem Jahr (1990) ein Volumen von über 1,5 l. Dies reduzierte sich innerhalb von 14 Jahren auf 0,8 l im Durchschnitt. Von 1990 bis 2004 ist der Verbrauch von PET-Flaschen signifikant angestiegen und deren Anzahl ist in diesem Zeitraum um das Dreißigfache erhöht. Der Verbrauch beläuft sich im gegenwärtigen Zeitraum auf 14 Millionen Tonnen an PET-Flaschen pro Jahr.<sup>39</sup>

---

<sup>33</sup> Vgl. Lemelson-Mit (o.J.).

<sup>34</sup> Vgl. Brandau, Ottmar (2016), S. 1.

<sup>35</sup> Vgl. Kaiser, Wolfgang (2016), S. 17.

<sup>36</sup> Vgl. Forum-Pet (o.J.).

<sup>37</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 13.

<sup>38</sup> Vgl. Forum-Pet (o.J.).

<sup>39</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 14.

Am Rande sei auch die Tatsache erwähnt, dass zehn Jahre später die erste Ökobilanz für Getränkeverpackungen im Jahre 2000 erschien.<sup>40</sup> In der Ökobilanz wird ein Vergleich zwischen den unterschiedlichen Verpackungen für Getränke vorgenommen. Es wurde in dem Zusammenhang untersucht, wie sich die Produktion von Rohstoffen und Verpackungen auf die Umwelt auswirkte. Hierzu stehen mehrere Kennzahlen aus verschiedenen Bereichen zur Verfügung, wie z.B. der Energieverbrauch, die Versauerung oder die Ressourcenbeanspruchung. Jeder dieser Bereiche übt unterschiedliche Wirkungen auf die Kennzahlen aus.<sup>41</sup>

Seit dem rasanten Aufstieg der PET-Flasche am Ende des letzten Jahrhunderts werden PET-Flaschen überall auf der Welt mit unterschiedlichstem Inhalt und in verschiedensten Formen verwendet. Softgetränke, alkoholische Spirituosen und Milchprodukte können heute in einer PET-Flasche enthalten sein.<sup>42</sup>

### 3.2 Der Unterschied zwischen einer Mehrweg- und einer Einwegflasche

Viele Verbraucher kennen den genauen Unterschied zwischen einer Mehrweg- und einer Einwegflasche nicht und geraten diesbezüglich oft in Unsicherheit. Doch eigentlich ist dieser Unterschied gar nicht so kompliziert, wie viele denken.

Eine **PET-Mehrwegflasche** darf höchstens 25 Mal wieder befüllt werden. Nach dem Verbrauch werden die leeren Flaschen erst einmal von den Getränkefachgroßhändlern abgeholt und zu den Abfüllbetrieben transportiert. Dort werden die Flaschen gespült, gereinigt, kontrolliert und wieder befüllt. Kurz formuliert: Mehrwegflaschen werden also 25 Mal wiederverwendet.

Das Pfandgeld für Mehrwegflaschen beträgt 0,08 € für Bierflaschen und 0,15 € für Softdrinks. Außerdem muss der Verbraucher für eine Mehrwegflasche immer Pfand bezahlen.<sup>43</sup>

Die Mehrwegflasche wird entweder an einem Schriftzug mit der Bezeichnung „Mehrweg“ oder „Mehrwegflasche“ erkannt oder an einem der folgenden Kennzeichen:<sup>44</sup>

---

<sup>40</sup> Vgl. Plinke, Eckhard et al. (2000).

<sup>41</sup> Vgl. NABU (o.J.b).

<sup>42</sup> Vgl. Forum-Pet (o.J.).

<sup>43</sup> Vgl. Verbraucherzentrale (2020b).

<sup>44</sup> Vgl. Ökofaire-Gemeinde (o.J.).



Abbildung 6: Das Zeichen "Mehrweg - Für die Umwelt" und "Der Blaue Engel"<sup>45</sup>

Das Zeichen „Mehrweg – Für die Umwelt“ existiert seit 2004. Diese Kennzeichnung wird einzig und allein auf Mehrweg-Getränkeverpackungen verwendet.

Das Zeichen „Der Blaue Engel“ ist vielen Menschen bekannt und befindet sich auch auf Einwegflaschen. Allerdings ist das Zeichen „Mehrweg – Für die Umwelt“ viel häufiger auf Getränkeverpackungen zu sehen.<sup>46</sup>

Des Weiteren besteht für Mehrwegflaschen keine gesetzliche Pfand-Regelung. Das bedeutet, dass die Händler nicht dazu verpflichtet sind, diejenigen Mehrweg-Pfandflaschen anzunehmen, die sie nicht in ihrem Sortiment führen. Es handelt sich bei dem Pfandsystem also um ein „freiwilliges“ Mehrwegsystem.<sup>47</sup>

Bei den **Einwegflaschen** sieht das Ganze etwas anders aus. Diese werden nämlich nur einmal befüllt und nach ihrem Verbrauch geschreddert sowie weiterverarbeitet.

Die Pfandgebühr beträgt bei Einwegflaschen 0,25 €. Seit 2003 ist diese Pfandgebühr laut der Verpackungsverordnung (VerpackV) Pflicht. Die Verpackungsverordnung wurde am 01.01.2019 aufgehoben und durch das Verpackungsgesetz abgelöst.<sup>48</sup>

PET-Einwegflaschen sind durch den Schriftzug „Einwegpfand 0,25“ oder „Pfandflasche“ gekennzeichnet. Außerdem tragen die meisten Einweg-Pfandflaschen das eigene Symbol der DPG (Deutsche Pfandsystem GmbH).<sup>49</sup> Auf die DPG wird im weiteren Verlauf näher eingegangen.

---

<sup>45</sup> Verbraucherzentrale (2020b).  
<sup>46</sup> Vgl. Ökofaire-Gemeinde (o.J.).  
<sup>47</sup> Vgl. NABU (o.J.b).  
<sup>48</sup> Vgl. Buzer (2020).  
<sup>49</sup> Vgl. Ökofaire-Gemeinde (o.J.).



Abbildung 7: Das Einweg-Symbol<sup>50</sup>

Des Weiteren unterliegt die Einwegflasche dem Verpackungsgesetz. D.h., dass für bestimmte Einwegflaschen ein gesetzliches Pfand erhoben werden muss. Hierbei handelt es sich um Wasser, Bier, Softdrinks und alkoholische Getränke mit einem Alkoholgehalt von weniger als 15 Prozent. Das Verpackungsgesetz soll dazu dienen, die Verpackungsabfälle vorrangig zu vermeiden bzw. zu verringern und diese für das Recycling vorzubereiten. Ferner sollen die Marktteilnehmer vor unlauterem Wettbewerb geschützt werden.<sup>51</sup>

Am Rande sei auch erwähnt, dass es auch solche PET-Einwegflaschen gibt, die als pfandfrei gelten. Diese sollten dann nach dem Verbrauch in der Wertstofftonne landen. Meistens handelt es sich bei diesen Flaschen um Nektare und Milchgetränke. Für alkoholische Getränke wird überwiegend kein Pfand erhoben.

Zum Abschluss dieses Abschnitts ist noch hinzuzufügen, dass die Händler für die Verbraucher in den Läden kenntlich machen müssen, ob es sich bei der zu erwerbenden Flasche um eine Einweg- oder eine Mehrwegflasche handelt. Zu diesem Hinweis sind sie verpflichtet.<sup>52</sup>

### 3.2.1 Die Reinigung der PET-Mehrwegflasche

Zunächst werden die leeren Mehrwegflaschen in eine Flaschen-Reinigungsmaschine gebracht. Bevor die Flaschen der Reinigung zugeführt werden, werden die Deckel abgenommen und die Etiketten entfernt. Danach werden die Flaschen erst einmal

---

<sup>50</sup> Verbraucherzentrale (2020b).

<sup>51</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2018).

<sup>52</sup> Vgl. NABU (o.J.b).

sortiert. Die Flaschen, deren Inhalt bestimmte Rückstände, wie z.B. Sand, enthalten oder die aber mit etwas anderem befüllt sind, werden aussortiert. Solche PET-Mehrwegflaschen werden nicht wiederverwertet.



Abbildung 8: Flaschenreinigungsmaschine für Mehrwegflaschen<sup>53</sup>

Dieser Vorgang läuft ebenfalls automatisiert ab. Nun werden die Flaschen vom Fließband aufgefangen, damit sie eine Spülmaschine fortbewegt werden. In dem Reinigungsvorgang werden die Flascheninnenseiten durch das Spritzsystem mit einer Seifenlauge bespritzt, um diese adäquat zu säubern und zu desinfizieren. Durch eine Flaschenreinigungsmaschine können 150.000 bis 170.000 Flaschen pro Stunde gereinigt werden. Nachdem die Flaschen gereinigt worden sind, werden sie noch einmal auf Schmutz und Rückstände hin kontrolliert. Nun sind die PET-Mehrwegflaschen wieder bereit, befüllt zu werden. Die Abfüllung geht ebenfalls vollautomatisch vonstatten.<sup>54</sup>

---

<sup>53</sup> KHS (o.J.b)

<sup>54</sup> Vgl. KHS (o.J.b).

### 3.2.2 Die Reinigung der Kästen



Abbildung 9: Der Kastenwascher<sup>55</sup>

Es ist deshalb wichtig, die Flaschenkästen ebenfalls zu reinigen, damit alle Fremdkörper und der Schmutz an deren Oberfläche beseitigt werden und sie in einwandfreiem Zustand wiederverwendet werden können. Mithilfe einer Kastenwaschanlage werden die Kästen in einem kontinuierlichen Durchlauf gesäubert. Durch einen Kastenwender werden die Fremdkörper entfernt und der Schmutz auf der Oberfläche wird durch einen Wascher beseitigt. Die Getränkekästen durchlaufen drei unterschiedliche Behandlungszonen. Zunächst erfolgt der Vorgang der Laugenspritzung, in dem die Kästen mit einer Lauge bespritzt werden. Danach werden sie mit heißem Wasser abgespült und nochmals gereinigt. Zu guter Letzt wird noch eine Frischwasserspritzung vorgenommen, damit auch alle kleinen Reste ausgespült werden.<sup>56</sup>

### 3.3 Der aktuelle Stand der PET-Flaschen in Deutschland

Die PET-Flasche hat sich auf dem Markt der Getränke an der Spitze platziert und wird heute in eminent hohen Massen produziert. Mithilfe moderner Streckblasma-

---

<sup>55</sup> KHS (o.J.d).

<sup>56</sup> Vgl. KHS (o.J.c).

schinen ist es möglich, mehr als 85.000 Stück 1,5-Liter-Flaschen pro Stunde zu fertigen. Sie stellt in unserer heutigen Zeit eine der wichtigsten Getränkeformen dar und besitzt einen Marktanteil von mehr als einem Drittel.<sup>57</sup>

Die weltweite Kunststoffproduktion belief sich im Jahr 2018 auf eine Menge von ca. 359 Millionen Tonnen.<sup>58</sup> Der Umfang an hergestellten Kunststoffen betrug in Deutschland im Jahr 2019 ungefähr 18 Millionen Tonnen.<sup>59</sup>

Laut den statistischen Ergebnissen wurden im Jahr 2019 in Deutschland insgesamt ca. 481.000 Tonnen PET-Flaschen produziert.<sup>60</sup> Das ist ein Anteil von 2,67 Prozent an der gesamten Kunststoffproduktion. Die statistischen Ergebnisse sind noch einmal in graphischer Darstellung im Anhang zu sehen.

Der Verbrauch an PET-Flaschen liegt bei 16,4 Milliarden Stück pro Jahr. Also verbraucht jede Person in Deutschland jährlich durchschnittlich ungefähr 200 Plastikflaschen.<sup>61</sup>

Im Gegensatz zu der Zeit vor zehn Jahren ist heute die Marktmenge an PET-Einwegflaschen im Getränke-segment fünf Mal so groß.<sup>62</sup> Allein das Unternehmen Coca-Cola hat im Jahr 2017 drei Millionen Tonnen PET-Flaschen weltweit produziert. Dies entspricht einer Anzahl von 108 Milliarden Flaschen im Jahr.<sup>63</sup>

Da das Thema Recycling hinsichtlich seiner Darstellung einen großen Teil dieser Arbeit beansprucht, ist es wichtig, auch einige Daten und Fakten diesbezüglich zu benennen.

Laut einer Studie der GVM (Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung)<sup>64</sup> aus dem Jahr 2017 beträgt die Recyclingquote bei den PET-Einweg- und Mehrwegflaschen insgesamt 93 Prozent. Die Quote bei den bepfandeten PET-Einwegflaschen lag sogar bei ca. 97 Prozent.<sup>65</sup> Der Rezyklatanteil der PET-Flaschen selbst lag hingegen im Jahr 2017 nur bei ca. 26 Prozent. Allerdings wird in Zukunft angestrebt, einen Rezyklatanteil von 100 Prozent zu erreichen. Mittlerweile ist es auch technisch umsetzbar,

---

<sup>57</sup> Vgl. Hopmann/Michaeli (2017), S. 142 ff.

<sup>58</sup> Vgl. PlasticsEurope (2020b).

<sup>59</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2020).

<sup>60</sup> Vgl. Industrievereinigung Kunststoffverpackungen (2020).

<sup>61</sup> Vgl. Deutsche Umwelthilfe (o.J.).

<sup>62</sup> Vgl. Kauertz/Detzel (2017), S. 17.

<sup>63</sup> Vgl. Watson (2019).

<sup>64</sup> Vgl. GVM (o.J.).

<sup>65</sup> Vgl. GVM (2018), S. 10.

PET-Flaschen mit einem zu 100 Prozent recycelbarem Anteil herzustellen. Jedoch sind die Forschungen in diesem Bereich noch nicht ausgereift, wodurch bisweilen am Markt nur ein geringer Anteil an diesen Flaschen vorhanden ist.<sup>66</sup> Die restlichen 71 Prozent des Rezyklatanteils verteilen sich auf die Folienindustrie, die Textilfaserunternehmen und Sonstige.<sup>67</sup>

Es ist deutlich erkennbar, dass hinsichtlich der Anzahl an PET-Flaschen ein beständiger Anstieg zu verzeichnen ist und ein großer Anteil von ihnen wiederverwertet wird. Doch es ist besonders interessant, zu eruieren, was mit den übrig bleibenden 7 Prozent-Anteilen geschieht. Auf diese Fragestellung wird in Kapitel 6 detailliert eingegangen.

---

<sup>66</sup> Vgl. Kauertz/Detzel (2017), S. 38.

<sup>67</sup> Vgl. GVM (2018), S. 10.

## 4 Der Herstellungsprozess der PET-Flasche

### 4.1 Granulieren



Abbildung 10: Das PET-Granulat<sup>68</sup>

Die Herstellung beginnt mit der Aufbereitung des Kunststoffes. Nachdem der Kunststoff aufbereitet worden ist, wird er zunächst granuliert. Beim Granulieren wird der Kunststoff in kleine Riesel zerschnitten. Das Material wird zunächst in einen Extruder eingeführt und dort plastifiziert. Durch eine Lochdrüse als Werkzeug des Extruders treten Stränge aus, welche durch ein Messer in kleine Teilchen geschnitten werden. Diese werden zum Schluss entweder durch Luft oder durch Wasser abgekühlt.<sup>69</sup> Eine nähere Beschreibung folgt in Kap. 5.3.

### 4.2 Die Herstellung der Preform

Bevor die PET-Flasche hergestellt werden kann, wird zunächst ein Vorformling, eine sog. Preform, erzeugt. Die Preform wird mithilfe einer Spritzgießmaschine produziert.<sup>70</sup> Die Vorteile des Spritzgießens bestehen zum einen darin, dass nur geringe bis keine Nacharbeiten notwendig sind, und zum anderen darin, dass die Reproduzierbarkeit der Fertigung sehr hoch ist. Außerdem handelt es sich hierbei um ein vollautomatisiertes bzw. ein integrierbares Verfahren. Es handelt sich hierbei um den direkten Weg von der Formmasse zum Fertigteil.<sup>71</sup> Da die Verarbeitungstemperatu-

---

<sup>68</sup> PET-Recycling (o.J.a).

<sup>69</sup> Vgl. Hopmann, Christian et al. (2015), S. 94.

<sup>70</sup> Vgl. Varioform (o.J.).

<sup>71</sup> Vgl. Hopmann, Christian et al. (2015), S. 113.

ren bei einem Thermoplast niedrig sind, entsteht aus der Formgebung nur ein geringer Energieverbrauch.<sup>72</sup>

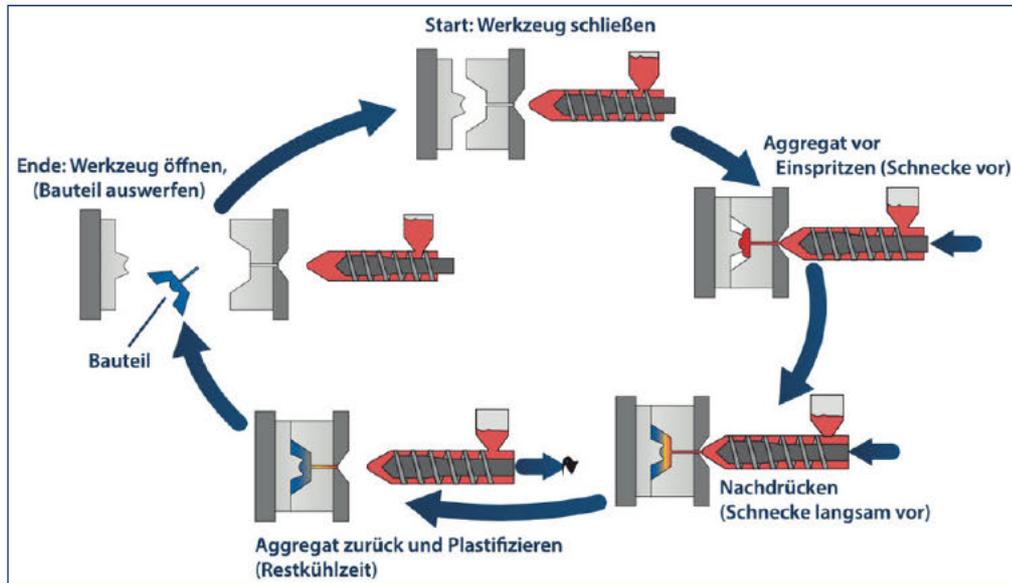


Abbildung 11: Prozessablauf des Spritzgießens<sup>73</sup>

Zunächst wird das zuvor hergestellte Granulat in einen Maschinentrichter eingeführt und durch die Rotation einer Schnecke eingezogen. Durch die Heizbänder, die den Zylinder ummanteln entsteht eine Wärmeleitung und das Granulat wird somit plastifiziert. Nun wird das flüssige Aggregat mittels des Vorschubs der Schnecke in die Werkzeugform eingespritzt. Das Thermoplast, so wird vorher gekühlt, damit das Material während des Einspritzens in das Werkzeug abkühlt und mit der Glasübergangstemperatur (s. Kap. 2.3.) erstarrt. Daraufhin erfolgt die Nachdruckphase. In dieser Phase entsteht eine Schwindung der Masse, die durch den anhaltenden Spritzdruck ausgeglichen wird. Danach fährt das Aggregat zurück, um dann in die Dosierphase zu gelangen. In dieser Phase beginnt eine erneute Rotation der Schnecke, die das Material wieder einzieht. Zum Schluss öffnet sich das Werkzeug und die fertige Preform wird ausgeworfen. Dieser ganze Vorgang verläuft in einem ständigen Zyklus.<sup>74</sup>

<sup>72</sup> Vgl. Schüle, Helmut (2008), S. 226.

<sup>73</sup> Bonten, Christian (2020), S. 291.

<sup>74</sup> Vgl. Hopmann/Michaeli (2017), S. 145.

### 4.3 Von der Preform zur PET-Flasche

Für die Produktion von Hohlkörpern kommt in der Regel das Streckblasverfahren zum Einsatz. Der Streckblasvorgang wird heutzutage für die Herstellung vieler Materialien verwendet, ist jedoch vor allem für die PET-Flasche sehr gut geeignet. Beim Streckblasen wird die Preform (s. o.) auf eine gut abgestimmte Temperatur gebracht. Im thermoelastischen Temperaturbereich findet dann die Umformung zu einer Form statt.<sup>75</sup> Der Vorteil an diesem Verfahren besteht darin, dass es gute Merkmale, wie z.B. Steifigkeit, Schlagzähigkeit, Transparenz und Glanz, am Produkt gewährleistet.<sup>76</sup>

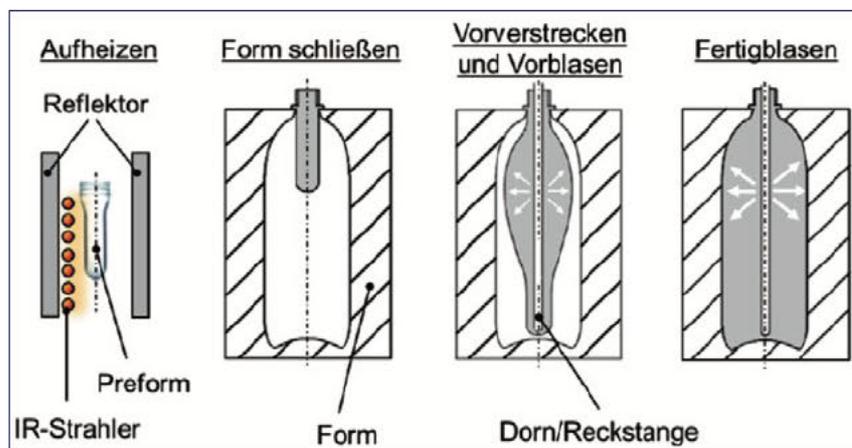


Abbildung 12: Prinzip des Streckblasprozesses<sup>77</sup>

Zunächst wird der Vorformling in eine Form eingesetzt. Danach erfolgt durch ein Heizelement, den sog. IR-Strahler, eine Vorerwärmung im Temperaturbereich von 90 bis 130 °C. Nachdem sich die Form geschlossen hat, wird der Vorformling durch eine Reckstange (s. Abb. 4.3.) sowohl axial als auch radial vorgestreckt. Simultan wird mit starkem Luftdruck geblasen und die Preform beginnt zu expandieren sowie die Form der Flasche anzunehmen.<sup>78</sup> Währenddessen fängt das Werkzeug an, das Formteil abzukühlen. Damit die Dauer der Abkühlung nicht allzu lang ist, wird im Formteil eine Luftzirkulation generiert. Dies geschieht durch eine Abluftbohrung, die an der Reckstange angebracht ist. Somit ist es möglich, dass die Luft ohne Probleme über eine

<sup>75</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 149.

<sup>76</sup> Vgl. Schüle, Helmut (2008), S. 279.

<sup>77</sup> Hopmann/Michaeli (2017), S. 142.

<sup>78</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 150.

Drossel abströmt. Die Drossel ist dafür da, dass der Blasdruck erhalten bleibt. Nachdem die Abkühlung stattgefunden hat und die Flasche nun fest genug ist, darf sie aus dem Werkzeug entnommen werden. Sowohl mit CO<sup>2</sup> versehene Luft als auch gekühlter Stickstoff können als Blasmittel eingesetzt werden.<sup>79</sup>

#### 4.4 Die Abfüllung der PET-Flasche

Der Abfüllung der PET-Flaschen wird in der gesamten Verpackungsbranche ein wichtiger Stellenwert beigemessen. Aktuell können die modernen Maschinen 300 bis 1000 Flaschen pro Minute abfüllen. Damit eine Flasche abgefüllt werden kann, ist es zunächst von Wichtigkeit, dass in ihr keine Keime, wie Bakterien, Hefen oder Schimmel, enthalten sind. Erreicht wird diese Keimfreiheit entweder durch eine Heißabfüllung oder durch eine chemische Sterilisation. Die Heißabfüllung wird bei den PET-Mehrwegflaschen vorgenommen. Sie werden bei einer Temperatur von 59 bis 65 °C gewaschen. Ein weiterer wichtiger Punkt betrifft die Haltbarkeit der Flasche. Ist eine 0,5 Liter-Flasche z.B. mit Bier befüllt worden, so ist die Flasche durch eine Haltbarkeitsdauer von max. drei Wochen gekennzeichnet. Wenn die Flasche z.B. mit Saft befüllt worden ist, hält sie max. drei Monate.<sup>80</sup>

Nachdem die Flaschen durch eine Abfüllanlage automatisiert abgefüllt worden sind, werden sie etikettiert, verpackt und anschließend palettiert.<sup>81</sup>

Der gesamte Prozess der PET-Flasche ist bis heute durch neue Technologien modifiziert worden. Mittlerweile stehen Hunderte von unterschiedlichen Flaschenformen in verschiedenen Farben und Größen zur Verfügung.

Daraus wird ersichtlich, dass die PET-Flasche den gesamten Markt erobert hat. Die Frage, was nun mit einer PET-Einwegflasche nach ihrem Verbrauch geschieht, wird im nächsten Kapitel näher beleuchtet und beantwortet.

---

<sup>79</sup> Vgl. Hopmann, Christian et al. (2015), S. 109.

<sup>80</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 14 i.V.m. S. 152 und S. 209 ff.

<sup>81</sup> Vgl. KHS (o.J.a).

## 5 Recycling der PET-Einwegflaschen

### 5.1 Die Pfandpflicht in Deutschland

Immer mehr Menschen debattieren über die Wiederverwertung und -verarbeitung von Kunststoffabfällen. Die Wiederverwertung der Kunststoffabfälle soll einen positiven Nutzen erbringen, indem die Abfälle in der Produktion erneut verwendet werden.<sup>82</sup> Damit die PET-Flaschen nicht jedes Mal nach ihrem Verbrauch im Mülleimer landen, sondern wiederverwertet werden, wurde im Januar 2003 die Pfandpflicht in Deutschland eingeführt. Seitdem wird für Einweggetränkeverpackungen eine Pfandgebühr erhoben. Die Verbraucher sind dazu verpflichtet, eine Pfandgebühr für Einweggetränkeverpackungen zu bezahlen und die Händler müssen den Käufern diese Gebühr bei Rückgabe der Einweggetränkeverpackungen zurückerstatten. Die Pfandpflicht gilt allerdings nur für solche Getränkeverpackungen, die keine Mehrwegverpackungen sind. Sie gilt also lediglich für Einwegplastik- und Glasflaschen sowie Dosen in den Bereichen Bier, Wasser und Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure. Der Grund des Inkrafttretens des Pfandsystems ist der in der Verpackungsverordnung aufgeführte § 9 Abs. 2.<sup>83</sup> Dieser hat zum Inhalt, dass die Pfandpflicht für Einweggetränkeverpackungen dann eingeführt wird, wenn die Mehrwegquote weniger als 72 Prozent beträgt.<sup>84</sup> Das Absinken des Anteils der Mehrweggetränkeverpackungen wurde im Jahre 1997 verzeichnet. Am 20. Januar 2005 wurde dann eine Novellierung vorgenommen, welche die wichtigsten gesetzlichen Weiterentwicklungen der Verpackungsverordnung aufführt.

Das Ziel der Pfandpflicht ist darauf ausgerichtet, die Getränkeverpackungen ökologisch und nachhaltig zu gestalten. Außerdem soll das Pfandsystem ein Ansporn dafür sein, Entscheidungen für substitutionelle Umweltverträge zu treffen. Ein weiteres Ziel sind die Reduzierung und Vermeidung derjenigen Umweltverschmutzungen, die durch die Getränkeverpackungen verursacht werden. Dadurch, dass die Verbraucher bei der Rückgabe der PET-Flaschen eine Rückzahlung erhalten, führt die Rückgabe der Pfandflaschen zu der Anregung, Umweltverschmutzung zu verhindern.

---

<sup>82</sup> Vgl. Hopmann, Christian et al. (2015), S. 186.

<sup>83</sup> Vgl. Groth, Markus (2005), S. 320 ff.

<sup>84</sup> Vgl. VerpackV: § 9 Abs. 2 BGBl. I 1991, S. 1236.

Ob die Pfandpflicht in Wirklichkeit tatsächlich einen ökologischen Vorteil bietet, wird in vielen Fällen kontrovers diskutiert. (Dieser Punkt wird in Kap. 6 gründlich untersucht).<sup>85</sup>

Damit die am Pfandsystem beteiligten Händler die Standards der gesetzlichen Pfanderhebungs und -Erstattungspflichten leichter umsetzen können, wurde im Jahr 2005 die Deutsche Pfandsystem GmbH (DPG) gegründet. Hierbei geht es vor allem darum, die Bedingungen der Verpackungsverordnung (s. o.) zu erfüllen.<sup>86</sup> Im Mai 2006 wurde beschlossen, dass die Käufer ihre verbrauchten Einwegpfandflaschen in allen Läden abgeben können, die am Pfandsystem beteiligt sind. Die Händler sind seitdem dazu verpflichtet, alle Einwegpfandflaschen zurückzunehmen und die Pfandgebühr den Verbrauchern zu erstatten.<sup>87</sup> Die Rücknahme der Pfandflaschen durch den Händler erfolgt unabhängig von der Tatsache, ob er die jeweiligen Einweggetränkerverpackungen in seinem Laden vertreibt oder nicht. Jedoch muss der Händler z.B. nur PET-Pfandflaschen annehmen, wenn er ausschließlich diese eine PET-Flasche in seinem Sortiment hat. So muss er keine anderen Verpackungsarten, wie z.B. Glas, annehmen, jedoch jede Art, Marke oder Form der PET-Flasche. Kleine Läden, deren Fläche weniger als 200 m<sup>2</sup> umfasst, wird die Möglichkeit eingeräumt, die Rücknahme der Einwegflaschen zu beschränken. Sie haben das Recht, nur diejenigen Flaschen auch zurückzunehmen, die sie auch selbst in ihrem Sortiment aufführen.<sup>88</sup>

An dieser Stelle wird abschließend konstatiert, dass die Rückgabe der Pfandflaschen in fast allen Geschäften über einen Pfandautomaten abläuft. Dabei wird darauf geachtet, dass die Flaschen nicht zerdrückt sind und der Strich-Code vom Automaten gut zu erkennen ist. Im Falle eines Nichterkennens des Codes muss die Pfandflasche von einem Mitarbeiter händisch zurückgenommen werden.<sup>89</sup>

---

<sup>85</sup> Vgl. Groth, Markus (2005), S. 320 ff.

<sup>86</sup> Vgl. DPG (o.J.a).

<sup>87</sup> Vgl. DPG (o.J.b).

<sup>88</sup> Vgl. DPG (2012).

<sup>89</sup> Vgl. Verbraucherzentrale (2020a).

## 5.2 Die Sammlung und Sortierung der PET-Einwegflaschen

Das Recycling von Kunststoffen ist sehr wertvoll und hat für die Wirtschaft eine große Bedeutung. Die in Kap. 4.3. dargelegten Daten und Fakten verdeutlichen vor allem die Relevanz der recycelten PET-Einwegflaschen. Jedoch stellen sich in dem Zusammenhang oft Fragen, wie z.B.: Welche Voraussetzungen müssen in Bezug auf das Recyceln erfüllt werden? Wie werden die PET-Einwegflaschen sortiert und wo landen sie am Ende? Diese Fragen werden in diesem Kapitel ausführlich behandelt. In Deutschland werden die PET-Flaschen mithilfe eines sortenspezifischen Sammel-systems verarbeitet.<sup>90</sup> Da die PET-Abfälle fast nur aus Getränkeflaschen bestehen, gestaltet sich deren Sortierung recht einfach. Doch bevor die Sortierung der Flaschen vorgenommen werden kann, werden sie zunächst an verschiedenen Stellen gesammelt:

Die Werkstoffe werden von den Verbrauchern vorsortiert und im privaten **Haushalt (1)** gesammelt. Anschließend wird der Müll von der Gemeinde abgeholt.

Eine weitere Variante stellen die **zentralen Sammelstellen (2)** dar, die von der jeweiligen Gemeinde z.B. als Container zur Verfügung gestellt werden. An diesen Sammelstellen können die Verbraucher ihre PET-Flaschen entsorgen.

Die letzte Sammelstelle ist beim **Handel (3)** selbst verortet. Die verbrauchten PET-Einwegflaschen werden vom Kunden in einem Geschäft abgegeben und sie erhalten im Gegenzug dafür ihr Pfandgeld zurück.<sup>91</sup>

Nachdem die PET-Flaschen gesammelt worden sind, wird in bestimmten Sortierzentren deren Sortierung durchgeführt. Zunächst werden die in Ballen transportierten Flaschen mithilfe eines Magnets von Metallen oder Dosen getrennt und anschließend von den ihnen anhaftenden Folien befreit. Danach erfolgt die genaue Sortierung.<sup>92</sup> Wichtig ist es in dem Zusammenhang, dass bei der Sortierung auf die Sortenreinheit geachtet wird. Das bedeutet, dass alle Additiven, Füllstoffe und Flaschenfarben in die gleiche Sorte einfließen sollten. Das Recycling von PET-Flaschen mit un-

---

<sup>90</sup> Vgl. Martens, Hans (2011), S. 172.

<sup>91</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 302 ff.

<sup>92</sup> Vgl. Veolia (o.J.).

terschiedlichen Farben ist zwar technisch möglich, jedoch kann am Ende die Qualität des Granulats nicht gut genug gewährleistet werden.<sup>93</sup>

Nach der Sortierung wird der Kunststoff aufbereitet. Damit die festen Etiketten entfernt werden können, werden die Flaschen zunächst gewaschen. Danach werden sie mithilfe einer Schneidmühle zerkleinert<sup>94</sup> und als sog. „Flakes“ bezeichnet. Sobald die Zerkleinerung beendet worden ist, werden die Flakes in eine alkalische Lösung hineingegeben, in der sie bei einer hohen Temperatur gewaschen werden. Dieser Vorgang fördert und gewährleistet nochmals die Reinigung von Verschmutzungen und die Entfernung von etwaigen Rückständen.<sup>95</sup>

Anschließend wird das PET erneut durch die sog. Schwimm-Sink-Sortierung von weiteren Verunreinigungen befreit. Hierbei werden die Flakes in eine Flüssigkeit (Wasser o. Salzlösung) eingegeben und sinken durch ihre Schwerkraft bzw. Dichte zu Boden. Andere Kunststoffe, wie z.B. Deckel, steigen automatisch an die Wasseroberfläche, da sie sich durch eine geringere Dichte auszeichnen.<sup>96</sup> Im Anschluss daran werden die Flakes getrocknet. Damit die Flakes in der Lebensmittelbranche verwendet werden können, ist zusätzlich eine Dekontaminierung unerlässlich. Das bedeutet, dass bestimmte Substanzen, wie Geschmacksstoffe und Chemikalien, beseitigt werden müssen.<sup>97</sup> Der Dekontaminierungsprozess der Flakes findet in einem Drehofen statt und dauert ca. vier Stunden. Die Flakes durchlaufen verschiedene Temperaturen und werden am Ende gekühlt, um sie zu neutralisieren.

Zu guter Letzt wird noch eine farben- und größenspezifische Sortierung vorgenommen, damit auch das Ende feinfühlig abläuft. Nun sind die Flakes für den Weitertransport zu den Getränkeherstellern und für die damit einhergehende Weiterverarbeitung bereit.<sup>98</sup>

Dieser gesamte Prozess wird, kurz formuliert, auch als das URRC-Verfahren bezeichnet.<sup>99</sup> Die Abkürzung URRC bedeutet United Resource Recovery Corporation. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist darin zu erkennen, dass die Flakes in eine lebensmitteltaugliche Qualität gebracht werden können, ohne dass deren Kris-

---

<sup>93</sup> Vgl. Hopmann, Christian et al. (2015); Kauertz/Detzel (2017), S. 31.

<sup>94</sup> Vgl. Martens/Goldmann (2016), S. 40.

<sup>95</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 304.

<sup>96</sup> Vgl. Martens/Goldmann (2016), S. 47 sowie 286; Veolia (o.J.).

<sup>97</sup> Vgl. Thielen, Michael et al. (2020), S. 304 ff.

<sup>98</sup> Vgl. Veolia (o.J.).

<sup>99</sup> Vgl. Martens/Goldmann (2016), S. 297.

tallinität abgebaut und deren intrinsische Viskosität reduziert werden. Allerdings besteht der Nachteil darin, dass durch die chemische Reaktion z.B. Ethylenglycol erzeugt wird. Dieses muss dann jedoch in einem weiteren Vorgang beseitigt werden.<sup>100</sup>

### 5.3 Die Herstellung des Rezyklats

Nach der Erzeugung der Flakes findet eine Regranulierung statt, welche durch einen Extruder erzeugt wird.<sup>101</sup> Ein Extruder gehört zu einer Extrusionsanlage und führt eine Plastifizierung der Recyclate durch, um sie in eine homogene Schmelzmasse zu überführen.<sup>102</sup> Die sortenreinen Flakes gelangen zunächst in den Trichter und werden von der Förderschnecke eingezogen. Nun befinden sich die Rezyklate in der Aufschmelzzone, in der eine durch den Druckaufbau (der Schnecke) eintretende Verdichtung erfolgt. Es resultiert durch die Reibungswärme ein flüssiger Zustand der PET-Flakes. Während der Verdichtung ist es wichtig, die entstehenden Gase, wie z.B. Monomere, abzusaugen und eine Entgasung der Zwischenräume zu bewirken. Am Ende des Extrusionsvorgangs wird das geschmolzene Material durch eine Lochplatte gepresst. Anschließend schneidet ein rotierendes Messer das Granulat in kürzeren Strängen ab.<sup>103</sup>

Das Granulat ist nun fertig erzeugt und kann zur Flaschenproduktion verpackt sowie weitertransportiert werden.

---

<sup>100</sup> Vgl. Kauertz/Detzel (2017), S. 33 ff.

<sup>101</sup> Vgl. Martens/Goldmann (2016), S. 291.

<sup>102</sup> Vgl. Hopmann/Michaeli (2017), S. 112.

<sup>103</sup> Vgl. Martens/Goldmann (2016), S. 292; Hopmann/Michaeli (2017), S. 113 ff.

## 6 Die Risiken für die Umwelt

### 6.1 Eutrophierung von PET-Flaschen

Die Welt besteht zum größten Teil aus Wasser, Ozeanen und Meeren. Doch leider nehmen viele Menschen keine Rücksicht darauf. Denn im Jahr 2018 wurde eine Menge von 86 Millionen Tonnen Kunststoff in den Weltmeeren geschätzt. Von diesen waren ungefähr 34 Millionen Tonnen im offenen Meer zu finden.<sup>104</sup> Im Jahr 2017 wurde von der US-amerikanischen Umweltschutzorganisation Ocean Conservancy in Warnemünde eine Müll-Sammel-Aktion durchgeführt. Am Strand von Warnemünde wurden hauptsächlich an der Küste angelandete Verpackungsmaterialien, wie Plastikflaschen, gesammelt.<sup>105</sup>

Doch wieso gelangen die PET-Flaschen überhaupt an die Strände und auf welche Weise ist dies möglich? Wie bereits in Kap. 3.2. erwähnt, werden auch solche PET-Flaschen hergestellt, auf die kein Pfand erhoben wird. Diese Flaschen besitzen keinen Recyclingcode und werden dementsprechend auch nicht wiederverwertet.<sup>106</sup> Außerdem kommt das sog. Pfandschlupf zustande. Das bedeutet, dass einige Verbraucher sogar ihre bepfandeten Flaschen nicht zurückgeben und diese deshalb im Hausmüll landen. Das Umweltbundesamt veröffentlicht zwar für die Einweggebilde eine Rücknahmequote von 96 Prozent, dabei machen trotzdem die vier Prozent eine hohe Anzahl aus. So wurden insgesamt 720 Millionen Gebinde nicht zurückgegeben.<sup>107</sup> Die im Hausmüll befindlichen PET-Flaschen werden dann in Deponien entsorgt.<sup>108</sup> Im Jahr 2018 wurden in Deutschland rund 7,1 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle deponiert.<sup>109</sup> Durch Wind und Wasserniederschläge gelangen die Plastikflaschen über die Flüsse in die Meere.<sup>110</sup> Es wurde sogar behauptet, dass eine PET-Flasche, die in München achtlos entsorgt wurde, über die Donau bis ins Schwarze Meer gelangen kann. Durch eine Studie der Universität Wien (2014) wurde diese These bewiesen. Im Schwarzen Meer werden aktuell rund 4,2 Tonnen Plastikmüll

---

<sup>104</sup> Vgl. GRID-Arendal (2019).

<sup>105</sup> Vgl. NABU (o.J.a).

<sup>106</sup> Vgl. Schröder, Heike (2017), S. 112.

<sup>107</sup> Vgl. NABU (o.J.b).

<sup>108</sup> Vgl. Schröder, Heike (2017), S. 80.

<sup>109</sup> Vgl. PlasticsEurope (2020c).

<sup>110</sup> Vgl. Jambeck, Jenna et al. (2015), S. 768 ff.

pro Tag gefunden, darunter auch zahlreiche Plastikflaschen.<sup>111</sup> Angekommen im Meer, benötigt die PET-Flasche ganze 450 Jahre, bis sie komplett zerfallen ist.<sup>112</sup> Die im Meer gelandete Plastikflasche sinkt zu Boden oder schwimmt auf der Wasseroberfläche und verunreinigt das Wasser. Resümierend lässt sich konstatieren, dass das hohe Aufkommen von Plastikflaschen im Meer viele Risiken in sich birgt.

## 6.2 Erhöhter Erdölverbrauch

Der Satz „unsere Ressourcen sind knapp“ ist fast jedem Menschen bekannt und wird heutzutage oft aufgegriffen, um darüber zu diskutieren.

Wie schon beschrieben (s. Kap. 3.3.), liegt der Rezyklat-Anteil der PET-Flaschen bei 26 Prozent. Der geringe Anteil kommt dadurch zustande, dass die Qualität des Materials durch das Einschmelzen leidet und die Flasche am Ende z.B. eine unerwünschte Farbe bekommt.<sup>113</sup> Deswegen ist das vollständige Recyceln der PET-Flaschen noch nicht möglich und die Plastikflaschen müssen daher auch zum Teil aus Neumaterial hergestellt werden. Dieses Faktum führt aber zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch.<sup>114</sup> Zu den wichtigen Ressourcen auf der Welt gehört u.a. das wohlbekannte Erdöl. Erdöl nimmt einen wichtigen Stellenwert ein und liefert der globalen Welt nutzbare Energie. Auch die Herstellung von PET benötigt und verbraucht Erdöl. Eine kleine 0,075-Liter-PET-Flasche, die rein aus Erdöl hergestellt wurde, enthält 0,3 Liter Erdöl.<sup>115</sup> Hochgerechnet sind also in einer 0,5-Liter-Flasche mehr als 2 Liter Erdöl enthalten.

Der Erdölverbrauch in Deutschland betrug im Jahr 2009 110,6 Millionen Tonnen. Zehn Jahre später (im Jahr 2019) lag der Verbrauch bei 106,9 Millionen Tonnen Erdöl.<sup>116</sup> Auch wenn sich der Verbrauch innerhalb zehn Jahre verringert hat, so zählt Erdöl in Deutschland immer noch zu den am häufigsten verbrauchten Brennstoffen.<sup>117</sup> Im Jahr 2010 betrug der Anteil der Kunststoff- und Chemieindustrie am Erdölverbrauch laut der Statistik 8 Prozent. Der Anteil davon an Kunststoffverpackungen

---

<sup>111</sup> Vgl. Lechner, Aaron et. al (2014), S. 178 ff.

<sup>112</sup> Vgl. Statista: Suhr, Frauke (2019).

<sup>113</sup> Vgl. Stuttgarter Nachrichten: Markert (2018).

<sup>114</sup> Vgl. Reader's Digest (o.J.).

<sup>115</sup> Vgl. BUND Sachsen-Anhalt (o.J.).

<sup>116</sup> Vgl. BP (2020a).

<sup>117</sup> Vgl. BP (2020b).

belieft sich auf 1,5 Prozent.<sup>118</sup> Diese Prozentzahl scheint auf den ersten Blick nicht hoch zu sein. Jedoch wird behauptet, dass die Herstellung der PET-Flaschen insgesamt pro Jahr rund 480.000 Tonnen Rohöl erfordert. Zum Vergleich wird die Anzahl der mit Erdöl beheizten Einfamilienhäuser herangezogen. Mit dieser für die Herstellung der PET-Flaschen verwendeten Menge an Rohöl können nämlich innerhalb eines Jahres ca. 400.000 Einfamilienhäuser beheizt werden.<sup>119</sup> Doch wieso erweist sich der Ölverbrauch als ein Umweltproblem? Die Öl-Verbrennung stellt weltweit den zweitgrößten Verursacher von Co2-Emissionen dar. Wird z.B. 1 Tonne Erdöl verbrannt, so entstehen dadurch 3,1 Tonnen Co2-Emissionen.<sup>120</sup> Außerdem verbraucht das Herstellen von Erdöl enorm viel Energie. Der Anteil am Energieverbrauch beträgt knapp 32 Prozent. Unabhängig davon, dass das Erdöl weltweit mit einem Drittel seinen Beitrag zur Erzeugung von Energie leistet, verursacht das Erdöl auch den größten Anteil am weltweiten Energieverbrauch. Laut der Prognose wird der Energieverbrauch bis 2050 weiterhin steigen.<sup>121</sup>

Zum Abschluss sei erwähnt, dass das Öl durch den Verbrennungsprozess über die Atmosphäre ins Meer gelangt und die Weltmeere in starkem Maße belastet. Dieses Problem resultiert nun in einer chronischen Verschmutzung.<sup>122</sup>

### 6.3 Mikroplastik in der Umwelt

Wenn PET-Flaschen nicht in den Recycling-Kreislauf zurückkehren und in Deponien abgelagert werden, dann führt das nicht nur dazu, dass sie in die Weltmeere gelangen können, sondern auch dazu, dass die Böden durch das sog. Mikroplastik verunreinigt werden. Als Mikroplastik werden kleine Kunststoffpartikel oder Fasern bezeichnet. Der Begriff „Mikro“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet übersetzt „klein“.<sup>123</sup> Das Mikroplastik kann bei den PET-Flaschen zum einen auf physikalische Weise zersetzt werden. Dies geschieht in dem Fall durch Brände. Zum anderen kann durch Sauerstoffeinwirkung oder UV-Strahlung eine chemische Zersetzung erfolgen.

---

<sup>118</sup> Vgl. Industrievereinigung Kunststoffverpackung (2011).

<sup>119</sup> Vgl. Deutsche Umwelthilfe (o.J.).

<sup>120</sup> Vgl. Bukold/Jörg (2016), S. 36.

<sup>121</sup> Vgl. IEA (2020).

<sup>122</sup> Vgl. Greenpeace: Bukold/Jörg (2016), S. 52.

<sup>123</sup> Vgl. Fath, Andreas (2019), S. 16.

Aber auch durch die Reibung des PETs mit Sand und Steinen kann eine mechanische Zersetzung entstehen.<sup>124</sup> Die Partikel sinken zu Boden und können durch die UV-Strahlung thermisch zersetzt werden und verursachen in der Folge gravierende Umweltprobleme. Ein ernstes Problem liegt darin begründet, dass kleinste Tiere das Mikroplastik mit ihrer Nahrung verwechseln und dieses in ihre Körper aufnehmen. Dadurch erleiden sie Komplikationen im Verdauungstrakt und können nicht mehr überleben. Aber auch aufgrund der im Wasser gelandeten PET-Flaschen wird das Meer durch das Mikroplastik verreckt. Denn es können sich die im Wasser vorhandenen Chemikalien an den Kunststoffpartikeln anlagern und sich vermehren.<sup>125</sup> Außerdem wird behauptet, dass sogar im Regenwasser Mikroplastik gefunden wurde und dadurch die Pflanzenwelt ruiniert wird. Zusätzlich wird postuliert, dass der größte Teil der Verunreinigung der Umwelt durch das PET verursacht wird.<sup>126</sup> Des Weiteren verbreitet sich das Mikroplastik sehr schnell, da es nur eine geringe Größe und Dichte hat. Durch den Wind können die kleinen Mikroplastikpartikel in die Atmosphäre überführt werden und sich lange in der Luft halten. Hierzu konnten zwar noch nicht viele Daten gesammelt werden, jedoch wurde nachgewiesen, dass das Mikroplastik sowohl in der Stadt als auch auf dem Land in der Luft festgestellt wurde. Laut einer Pariser Studie wurden in Paris an einem bestimmten Ort Mikroplastik im atmosphärischen Niederschlag gemessen. Daraus resultierte eine Dispositionsrate von 2-355 Partikeln/m<sup>2</sup>/d. Bei einer anderen Studie wurden in Shanghai aus filtrierter Außenluft 0-4,18 Stück/m<sup>3</sup> gemessen. Eine der nachgewiesenen Polymerarten war u.a. das PET.<sup>127</sup>

Da die Anzahl an Langzeitstudien und Forschungen in diesem Bereich noch gering ist, können noch konkretere Aussagen erst dann darüber getätigt werden, wenn sich die Datenlage erhöht hat. Trotz der geringen Datenmenge kann konstatiert werden, dass die Mikroplastikpartikel für die Umwelt äußerst schädlich sind und eine erhebliche Verschmutzung der Natur zur Folge haben.

---

<sup>124</sup> Vgl. Fath, Andreas (2019), S. 20 ff.

<sup>125</sup> Vgl. Primke, Sebastian et al. (2017), S. 402 ff.

<sup>126</sup> Vgl. Schröder, Heike (2017), S. 48.

<sup>127</sup> Vgl. Liebmann/Sexlinger (2020), S. 30.

## 7 Die Zukunft der PET-Flaschen

### 7.1 Politische Einflüsse und gesetzliche Regelungen

Es ist bekannt, dass die PET-Flasche für die Umwelt eine große Belastung darstellt und zu negativen Folgen führt, die sich in Zukunft noch vermehren werden. Um diesen Problemen entgegenzuwirken bzw. um sie zu verhindern, versucht die Politik, mit bestimmten Maßnahmen zu intervenieren.

Eine dieser Maßnahmen zielt auf die Pfandregelung ab, die aktuell in Planung ist. Das Bundesweltministerium plant nämlich eine Novellierung des Verpackungsgesetzes. Es ist davon die Rede, dass alle Restaurants oder Cafés, die Einwegverpackungen zum Mitnehmen anbieten, auch eine Mehrweg-Variante zur Auswahl offerieren müssen. Eine Ausnahme gilt nur für solche Läden, die kleiner als 50 m<sup>2</sup> sind und drei oder weniger Mitarbeiter beschäftigen. Dieses Vorgehen soll dazu führen, die Vorgaben der Kunststoff- und Abfallrichtlinien der EU zu realisieren. Hinsichtlich der Pfandregelung insistiert die Regierung darauf, dass die PET-Einwegflaschen mindestens aus 25 Prozent recyceltem Material bestehen sollen. Außerdem soll ab 2022 nur die Verpackungsart bestimmen, ob der Verbraucher eine Pfandgebühr zahlen muss, die er bei Rückgabe wieder zurückerhält.<sup>128</sup> Ferner beabsichtigt das BMU, dass in Zukunft alle Einwegkunststoffflaschen der Pfandpflicht unterliegen sollen. Zu diesen gehören also auch PET-Flaschen mit Milch, Nektaren oder Smoothies. Jedoch wurde diese Maßnahme zunächst aus hygiene-technischen Gründen von dem Milchindustrieverband (MIV) abgelehnt. Auch der Handelsverband Deutschland argumentiert damit, dass dadurch zu hohe Anforderungen an die Hygienemaßnahmen gestellt werden, und lehnt daher diese geplante Novellierung ab. Begründet wird diese Ablehnung damit, dass es zurzeit nicht möglich sei, die fetthaltigen Rückstände in einer Milchverpackung zu entfernen und diese daher nicht wiederverwertet werden könne.<sup>129</sup>

Außerdem hat das Kabinett beschlossen, dass alle Einwegprodukte ab dem 3. Juli 2021 EU-weit abzuschaffen sind. Zu diesen Einwegprodukten zählen Wattestäbchen, Einweggeschirr, Strohhalme, Fast-Food-Verpackungen sowie To-Go-Becher. Diese

---

<sup>128</sup> Vgl. Berliner Morgenpost (2020).

<sup>129</sup> Vgl. Welt: Dierig, Carsten (2020).

Artikel werden verboten. Diese Maßnahme soll dem Schutz der Umwelt und des Meeres dienen und den Plastikmüll nachhaltig reduzieren.<sup>130</sup>

In Bezug auf die PET-Flasche ist so etwas kurzfristig noch nicht geplant. Allerdings ist vorgesehen, dass ab 2024 alle Plastikflaschen nur dann verkauft werden können, wenn der Deckel an der Flasche befestigt ist, damit weniger Müll entsteht.<sup>131</sup> Im Übrigen ist noch zu erwähnen, dass der Verband in den nächsten Jahren ca. 4000 neue Sammelstellen plant, da noch zu viele PET-Flaschen im Müll landen. Diese Stellen sollen an Bus- und Tramstationen positioniert werden. Auf welchen genauen Zeitraum sich dieses Vorhaben konkret bezieht, ist noch nicht bekannt.<sup>132</sup>

Unabhängig davon, welche Maßnahmen bevorstehen und geplant sind, ist es auch wichtig, einen Blick auf das bereits Umgesetzte zu werfen. Zum einen wurde das Kreislaufwirtschaftsgesetz<sup>133</sup> am 1. Juni 2012 eingeführt, um die Kreislaufwirtschaft zu fördern. Dieses Gesetz soll den Umgang mit dem Abfall umweltfreundlich und nachhaltig regulieren.<sup>134</sup> Der deutsche Staat hatte nämlich seit Mitte der 1990er Jahre beabsichtigt, dass der Abfall zu einem Wirtschaftsgut wird. Die Ziele dieser Absicht sind die Abfallvermeidung, Beseitigung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recyceln.<sup>135</sup> Zum anderen existieren aber auch freiwillige Institute, die sich Gedanken über die Umwelt gemacht haben. Eines dieser Institute ist die Initiative namens EPBP. EPBP steht für European PET Bottle Platform. Diese Vereinigung strebt danach, den wirtschaftlichen und ökologischen Gedanken der Nachhaltigkeit im Rahmen des PET-Wertkreislaufs zu unterstützen und voranzutreiben. Bei der freiwilligen Initiative handelt es sich nicht um eine juristische Organisation, sondern, wie der Name bereits aussagt, um eine Plattform mit vier großen Verbänden. Sie formulieren bestimmte Grundsätze für das Recyceln von PET-Flaschen und nehmen fundierte Beurteilungen über die Verpackungstechnologien vor.<sup>136</sup> Trotz der hohen Mengen an Abfällen versucht die Politik, mit affirmativen Maßnahmen zum Schutz der Umwelt zu agieren. Doch nicht nur die Politik, sondern auch freiwillige Organisationen stellen sich zur Verfügung, um eine nachhaltige Zukunft zu gestalten.

---

<sup>130</sup> Vgl. Bundesregierung (2020).

<sup>131</sup> Vgl. Tagesspiegel (2019).

<sup>132</sup> Vgl. Luzerner Zeitung: Weinmann, Benjamin (2020).

<sup>133</sup> Vgl. KrWG: BGBl. I 2020, S. 2232.

<sup>134</sup> Vgl. BMU (2020).

<sup>135</sup> Vgl. RKW: Sonntag/Blaeser-Benfer (2013), S. 6 ff.

<sup>136</sup> Vgl. Polymetrix: Christel, Andreas (2017), S. 1 ff.

## 7.2 Eine kritische Auseinandersetzung mit der Alternative „Glas“

Das Thema Nachhaltigkeit und Umwelt ist heute allgegenwärtig und entwickelt sich immer stärker hin zu einem „Gesellschaftstrend“. Viele umweltbewusste und kritische Menschen neigen eher dazu, eine Flasche aus Glas zu kaufen anstatt einer solchen aus PET. Der Glasflasche wird bei der Mehrheit der Menschen ein umweltschonender Stellenwert beigemessen und wird oftmals von Unternehmen mit einem nachhaltigen Aspekt vermarktet. Um herauszufinden, welche Variante (PET oder Glas) ökologisch besser ist, macht es zunächst Sinn, die beiden Verpackungsarten miteinander zu vergleichen.

Beim Glas handelt es sich um einen amorph erstarrten Festkörper, der im engeren Sinne ebenfalls als nichtmetallisch-anorganischer Werkstoff bezeichnet wird.<sup>137</sup> Das bedeutet auch, dass während des Erstarrens der Flüssigkeit keine Kristallisation zustande kommt. Außerdem existieren unterschiedliche Glasarten. Diese sind von dem jeweils hinzugefügten Flussmittel abhängig sowie durch dieses voneinander unterscheidbar. Ein Soda-Kalk-Glas hat z.B. eine geringe Dichte von ca. 2,5 g/cm<sup>3</sup>, während ein Bleiglas über eine hohe Dichte von bis zu 6 g/cm<sup>3</sup> verfügt.<sup>138</sup>

Eine Glasflasche kann ebenso wie die PET-Flasche aus einer Einweg- und einer Mehrwegvariante bestehen.<sup>139</sup> Der größte Unterschied zwischen der Mehrwegflasche aus dem PET und dem Glas besteht darin, dass die PET-Flasche bis zu 25 Mal erneut befüllt werden kann und die Glasflasche bis zu 50 Mal. Außerdem wird die Glasflasche aus natürlichen Stoffen, wie Sand, Soda und Kalk, hergestellt und verursacht somit keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt. Dieses Faktum liegt darin begründet, dass bei der Zersetzung einer Glasflasche keine schädlichen Stoffe freigesetzt werden. Auch wenn die Zersetzung von Glasabfällen sehr lange dauert, resultieren aus ihr trotzdem keine umweltschädlichen Konsequenzen.<sup>140</sup> Die Zersetzung von Glas kann bis zu 4000 Jahre andauern.<sup>141</sup>

In Bezug auf das Recycling erzielen die Glasbehälter eine höhere Verwertungsquote als die PET-Flaschen, da Glas beliebig verwertbar ist. Im Jahr 2019 wurden in

---

<sup>137</sup> Vgl. Bergmann, Wolfgang et al. (2013), S. 369.

<sup>138</sup> Vgl. Hübner, Karl-Heinz (2018), S. 359 ff.

<sup>139</sup> Vgl. NABU (o.J.b).

<sup>140</sup> Vgl. Schröder, Heike (2017), S. 116.

<sup>141</sup> Vgl. Alpenverein (o.J.).

Deutschland ca. 7.378 Millionen Tonnen Glas produziert. Davon wurden 4.130 Millionen Tonnen Behälterglas hergestellt.<sup>142</sup> Im Jahr 2018 belief sich in Deutschland die Recyclingquote von Verpackungen aus Glas auf 83 Prozent.<sup>143</sup> Dieses Faktum kann darin begründet liegen, dass der Anteil der Aussortierung von Glasflaschen bei den Abfüllern geringer ist als der bei den PET-Flaschen.<sup>144</sup> Auch bei den Glasflaschen ist es für den Recyclingprozess von Relevanz, dass das Altglas sortenrein ist. Die Sortierung ist von der Glasart, der Glasfarbe und von den Fremdstoffen abhängig.<sup>145</sup> Allerdings kann eine Glasflasche mit gleich hoher Qualität reproduziert werden. Bei einer PET-Flasche erfordert dies mehrere Zusatzschritte, damit am Ende ein qualitativ hochwertiges Ergebnis resultiert. Ohne diese Schritte kommt es meistens nur zu einem Downcycling, d.h., dass die Kunststoffe ohne Zusatzschritte nur zu minderwertigen Erzeugnissen weiterverarbeitet werden können.<sup>146</sup>

Bis zu diesem Punkt scheint die Glasflasche definitiv umweltfreundlicher zu sein. Jedoch gibt es mehrere Aspekte, die vielen gar nicht bewusst sind oder einfach nicht wahrgenommen werden. Der wichtigste Aspekt besteht darin, dass die Glasflasche viel schwerer ist als eine PET-Flasche und dadurch die Umwelt eher belastet wird. Da die Glasflaschen mehr wiegen, ist der Benzinverbrauch beim Flaschen-Transport viel höher. Nicht nur der Verbrauch an Sprit, sondern auch die Produktion der Glasflasche ist aufwendiger. Eine PET-Flasche zeichnet sich durch viel geringere Emissionswerte aus. Wenn nur die Mehrwegvarianten miteinander verglichen werden, so ist die Ökobilanz der PET-Mehrwegflasche deutlich besser.<sup>147</sup> Die Energiewerte fallen bei der Mehrweg-Glasflasche wesentlich schlechter aus. Laut der Ökobilanz liegt der thermische Energieverbrauch von Mehrweg-Glasflaschen (0,5 l) bei 131,9 MJ/1000 Flaschen. Bei der Mehrweg-PET-Flasche (0,5 l) liegt der Verbrauch bei 86,5 MJ/1000 Flaschen.<sup>148</sup> Die thermische Energie hängt von der Masse, der Wärmekapazität und der Temperatur ab. Je schwerer der Stoff und je größer die Wärmekapazität sowie je höher die Temperatur sind, desto größer ist die Energie.<sup>149</sup> Die Glasfla-

---

<sup>142</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2020).

<sup>143</sup> Vgl. GVM (2020).

<sup>144</sup> Vgl. Schonert, Martina et al. (2002), S. 41.

<sup>145</sup> Vgl. Utopia: Senge, Phillip (2020).

<sup>146</sup> Vgl. (o.V.), Hrsg.: Smarticular (2019), S. 29.

<sup>147</sup> Vgl. Schröder, Heike (2017), S. 116.

<sup>148</sup> Vgl. Schonert, Martina et al. (2002), S. 52 ff.

<sup>149</sup> Vgl. Doering, Ernst et al. (2016), S. 20 ff.

sche kann erst bei einer Temperatur von 1500 C° erhitzt und eingeschmolzen werden.<sup>150</sup> Bei der PET-Flasche ist der Wert eindeutig geringer (s. Kap. 2.3.).

Zum Abschluss sei noch die Tatsache erwähnt, dass es kaum 1,5-Liter-Glasflaschen gibt, sondern höchstens 1 Liter-Glasflaschen. Da die PET-Mehrwegflaschen ein Volumen von 1,5 l besitzen, kann bei ihrem Transport mehr Wasser bzw. Flüssigkeit ausgeliefert werden. Bei Glasflaschen muss viel häufiger hin und her gefahren werden, um die gleiche Menge an Flüssigkeit ausliefern zu können.

Wie erkennbar, ist die Glasflasche nicht immer von Vorteil und trägt ebenso nachteilhafte Aspekte mit sich, die beim Vergleich berücksichtigt werden sollten.

### 7.3 Nachhaltige und innovative Trends

Inzwischen ist das Thema Nachhaltigkeit in aller Munde und wird eine Kernaufgabe der Zukunft darstellen. Durch die Sensibilisierung der Gesellschaft streben viele Unternehmen danach, ihre hergestellten Produkte umweltfreundlich zu planen und zu realisieren. Sogar für die PET-Flasche sind mittlerweile ideenreiche und innovative Lösungen entwickelt worden, die dem Schutz der Umwelt dienen sollen.

Ein Hersteller für Abfüll- und Verpackungsanlagen von PET-Flaschen, der auf Nachhaltigkeit setzt und umweltschonende Technologien erfindet, ist das Unternehmen KHS. Die KHS Group<sup>151</sup> mit ihrem Firmensitz in Dortmund entwickelte nämlich das erste digitale Druckverfahren „Direct Print Powered by KHS™“ für PET-Flaschen und wurde im Jahr 2017 von der EPBP (s.o.) zertifiziert. Erfunden wurde das Verfahren im Jahre 2013. Die Zulassung der EPBP basiert auf der ressourceneffizienten und umweltbewussten Technologie der Verpackungslösung. Durch die umweltschonende Innovation der KHS werden die PET-Flaschen mithilfe einer UV-LED Tinte bedruckt, die aber keine negativen Auswirkungen auf den gesamten Recyclingprozess hat. Der Aufdruck wird in Flakes abgebrochen. Somit ist die Methode Bottle-to-Bottle problemlos durchführbar.<sup>152</sup> Bei dem Bottle-to-Bottle-Verfahren geht es darum, dass aus einer PET-Flasche mithilfe des Recyclings eine neue recycelbare PET-Flasche entsteht. Des Weiteren haben die KHS Group und die NPM Systems GmbH (Tochter-

---

<sup>150</sup> Vgl. Bunk/Schubert (2016), S. 22.

<sup>151</sup> Vgl. KHS: (o.J.e).

<sup>152</sup> Vgl. KHS: (2017), S. 1 ff.

gesellschaft der KHS) die Verpackungsform „MultiPack™“ erfunden. Hierbei geht es darum, dass für die produzierten PET-Flaschen keine Folienumverpackung benötigt wird. Die Flaschen werden mittels eines speziellen Klebestoffs zusammengehalten. Dieses Verfahren wurde ebenfalls von der EPBP zertifiziert.<sup>153</sup>

Unabhängig der technologischen Innovationen werden verschiedene Forschungen bezüglich des biologisch abbaubaren PETs durchgeführt. Im Rahmen eines aktuellen Projekts wird das Herstellungsverfahren des Bio-Kunststoffes Polybuttersäure (PHB) erforscht. Bei der Polybuttersäure handelt es sich um einen Polyester ohne Farbe. Sie ersetzt die aus Erdöl gewonnenen Polymere. Allerdings ist der Herstellungsaufwand für diesen Bio-Kunststoff mit hohen Kosten verbunden. Deswegen hat sich der Einsatz noch nicht etabliert.<sup>154</sup>

Weitere Untersuchungen laufen aktuell über das französische Start-up Carbios, das sich seit 2011 auf dem Markt etabliert hat. Das Unternehmen entdeckte ein bestimmtes Enzym auf den Mülldeponien. Über mehrere Jahre hinweg schaffte das Start-up es, das Protein durch die Zuführung von Mikroorganismen in starkem Maße wachsen zu lassen. Durch diese Beschleunigung gelang es, eine PET-Flasche innerhalb von zehn Stunden in einem Umfang von bis zu 90 Prozent abzubauen zu lassen. Da das selektive Enzym eine unendliche Kreislaufwirtschaft verfolgt, zeigen auch andere Unternehmen Interesse daran. Das Ziel der Firma Carbios ist darauf ausgerichtet, dass das Plastik beliebig oft recycelt werden kann. Allerdings ist auch für die vollständige Entwicklung dieser Methode eine lange Zeit vonnöten, bis 100-prozentige Ergebnisse vorliegen.<sup>155</sup>

Zum Abschluss dieses Kapitels ist noch die Tatsache zu erwähnen, dass Bioplastik-Alternativen zur Verfügung stehen, die aus bestimmten Lebensmitteln, wie z.B. Mais oder Zucker, hergestellt werden. Dieses Bioplastik ist ein auf Mineralöl basierender Kunststoff, welcher aufgrund seiner chemischen Aufbereitung biologisch zersetzbar ist. Allerdings wird diese Art von Biokunststoff nicht gut bewertet, da wichtige Anbaugebiete von Lebensmitteln und natürlicher Lebensräume dabei verloren gehen.<sup>156</sup>

---

<sup>153</sup> Vgl. Veolia (o.J.).

<sup>154</sup> Drinktec: Arndt, Friederike (2019).

<sup>155</sup> Vgl. Frankfurter Rundschau: Brändle, Stefan (2020).

<sup>156</sup> Vgl. Schröder, Heike (2017), S. 117 ff.

## 8 Fazit

Wie herausgearbeitet werden konnte, ist die PET-Flasche für viele Hersteller und Händler ein wichtiger Schlüssel für ihren Erfolg. Sie trägt dazu bei, die Weltwirtschaft anzukurbeln und ermöglicht der Kunststoffindustrie, den technischen Fortschritt auszubauen. Allerdings birgt dieses Wachstum auch ein ernstzunehmendes Risiko für die Umwelt in sich.

Um sich dem Thema dieser Arbeit anzunähern, wurde zu Beginn erklärt, wie der Kunststoff PET hergestellt und anschließend recycelt wird. Darauf basierend, wurde über die gravierenden Umweltrisiken debattiert. Über die Zukunftsaussichten der PET-Flasche konnte auf Basis der politischen Entscheidungsgrundlagen lediglich spekuliert werden.

Die wichtigsten aus dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse sind zum einen, dass im Bereich PET bzw. Getränkeverpackungen neue Innovationen unerlässlich sind und das PET in der Form keine Zukunft mehr haben wird. Zum anderen ist eruiert worden, dass die Glasflasche nicht zwingend eine bessere Alternative zu der PET-Flasche darstellt. Auch in Bezug auf den Herstellungsprozess wurden klare Erkenntnisse gewonnen. Fakt ist nämlich, dass für die Produktion der PET-Flaschen enorm viel Erdöl benötigt wird.

Indem der Gedankengang auf die Einleitung zurückgeführt wird, wird die zugrunde liegende Forschungsfrage *„Wie schauen die zukünftigen Aussichten der PET-Flasche aus und welche Möglichkeiten gibt es, die Umweltbelastungen zu reduzieren?“* dieser Arbeit aufgegriffen. Die PET-Flasche wird bei den Menschen immer unbeliebter. Das Thema Nachhaltigkeit wird immer mehr zum Trend. Auch die Politik versucht, ständig bestimmte Maßnahmen zu ergreifen, um z.B. das Recyclingsystem zu optimieren. Allerdings sind die Zukunftsaussichten der PET-Flasche nicht zu 100 Prozent prognostizierbar. Aktuell werden mehrere Forschungen durchgeführt, um die PET-Flasche durch umweltfreundlichere Alternativen zu ersetzen. Aufgrund dessen kann spekuliert werden, dass die PET-Flasche in zwanzig Jahren nicht mehr existiert bzw. nicht mehr in der Form, wie sie heute bekannt ist.

Nun stellt sich in diesem Zusammenhang jedoch die Frage, welche Möglichkeiten es gibt, die Umweltbelastungen zu reduzieren. Zunächst einmal ist es wichtig zu erkennen, dass jeder Mensch auch mit nur kleinen Handlungen etwas Positives für die

Umwelt bewirken kann – und zwar auch dann, wenn dies nicht jedem Menschen bewusst ist. Die erste konkrete Empfehlung lautet, dass jeder im ersten Schritt bezüglich der Einweg-Kultur umdenken muss. Weniger Verschwendung und mehr nachhaltiges Denken sind hierbei gefragt. Ein solches Denken führt zu einem deutlich geringeren Müllaufkommen und entlastet dadurch die Umwelt. Jeder Einzelne verursacht jeden Tag zahlreichen Müll und wenn jeder diesen etwas eindämmt, kommt somit schon eine signifikante Veränderung zustande.

Vor allem aber liegt die Handlungsmacht bei der Regierung, die letztendlich der Entscheidungsträger ist. Der Staat sollte Start-ups, wie Carbios (s. o.), in stärkerem Maße fördern und finanziell unterstützen, damit schneller ein effizientes Ergebnis erzielt werden kann. Die Politik und die Regierung besitzen die Entscheidungsmacht, die Hersteller und Händler in die Pflicht zu nehmen. Sobald gesetzlich entschieden wird, dass z.B. in zehn Jahren die Produktion von Einweg-PET-Flaschen aufgrund der durch sie verursachten Umweltprobleme eingestellt wird, sind alle Beteiligten dazu verpflichtet, ihr System umzustellen. Viele dieser Hersteller würden frühzeitig damit beginnen, entsprechende Forschungen dahin gehend voranzutreiben, wie die Einweg-Plastikflasche umweltfreundlich hergestellt werden kann. Auch wenn Deutschland ein relativ gutes Pfandsystem aufgebaut hat, landen dennoch immer noch zu viele PET-Einwegflaschen im Müll oder können aufgrund von Qualitätsmerkmalen nicht recycelt werden. Außerdem verspüren Menschen den Hang dazu, Plastik unüberlegt wegzuwerfen. Da die Plastikflasche eine geringere Wertigkeit als z.B. Glas für den Menschen besitzt, wird sie eher bedenkenlos behandelt und entsorgt.

Generell muss ein „großes Umdenken“ stattfinden, das im Rahmen der Gesetze erfolgt. In diesem Zusammenhang sei also noch einmal hervorgehoben, dass die Produktion der PET-Einwegflasche zu großen Umweltrisiken führt und in Zukunft verändert werden muss und dies nur auf Basis einer entsprechenden Gesetzgebung vonseiten der Politik möglich sein wird. Außerdem sollte die PET-Mehrwegflasche eher gefördert werden als die Einwegflasche, da sie 25 Mal wieder befüllt werden kann und somit definitiv umweltfreundlicher ist.

Bezugnehmend auf die zweite Forschungsfrage „*Ist die Glas-Flasche eine bessere Alternative als die PET-Flasche und gleichzeitig umweltfreundlicher?*“, lässt sich konstatieren, dass viele Menschen diese Frage mit einem „Ja“ beantworten würden. Auf den ersten Blick scheint die Fragestellung ziemlich unkompliziert zu sein. Für die

Mehrheit der Menschen ist die Glasflasche die optimale Alternative zum Plastik und wirkt sehr umweltfreundlich. Wie in der Einleitung bereits erwähnt, nutzen viele Händler diese Art von Verpackung und profitieren von ihr. Die Glasflasche wird von Unternehmen marketingtechnisch oft als nachhaltig gekennzeichnet. Leider ist den meisten nicht die Tatsache bewusst, dass die Glasflasche während des Transports viel mehr Benzin verbraucht, da sie schwerer ist als die PET-Flasche. Auch der thermische Energieverbrauch ist bei der Glasflasche höher als bei der PET-Mehrwegflasche (s. o.). Deswegen stellt die Glasflasche nicht eine bessere Alternative als die Plastikflasche dar. Auch wenn das Glas in der Natur biologisch abbaubar ist, fungiert es trotzdem nicht als die einzige nachhaltige Lösung für die Zukunft. Auch für viele Konsumenten sind Glasflaschen aufgrund ihres Gewichts von Nachteil. Eine Glasflasche sollte - wenn überhaupt - nur dann gekauft werden, wenn der Abfüllort regional verortet ist. Es macht nämlich keinen Sinn, Quellwasser aus der Schweiz zu erwerben, wenn es sogar einen Brunnen in Deutschland gibt. Schlussfolgernd ist somit zu erwähnen, dass die Glasflasche kein Alternativvorschlag ist, um umweltfreundlich zu agieren.

Im Großen und Ganzen geht es nicht darum, komplett auf die Plastikflaschen zu verzichten. Manchmal ist dies auch gar nicht möglich. Die Menschen sollten sich zum einen verpflichtet fühlen und kleine Handlungen bewusst vornehmen. Andererseits sind jedoch die Hauptverantwortlichen die Politik und die Regierung. Durch klare, zielgerichtete gesetzliche Novellierungen können sie einen großen Einfluss auf die Umwelt ausüben. In Zukunft sollten biotechnologische, umweltfreundliche und ressourceneffiziente Unternehmen und Forschungen in starkem Maße unterstützt werden. Nur auf diese Weise kann die PET-Flasche schonend für die Umwelt sein.

Aufbauend darauf, resultiert ein offener Forschungsstand bezüglich des Themas der PET-Flaschen und eröffnet die Möglichkeit, innovative Untersuchungen voranzutreiben. Es ist unerlässlich, in der Zukunft weitere intensive Forschung zu betreiben, um nachhaltige Lösungen in diesem Bereich zu fördern und zu etablieren. Nur auf diese Weise können die wirtschaftlichen Aspekte und zugleich das nachhaltige Wirtschaften enger miteinander verbunden werden, um in Zukunft die Natur deutlich weniger zu belasten. Ein Handeln in diesem Bereich ist zwingend notwendig und daraus resultiert ein akuter und dringender Forschungsdruck.

## Literatur- und Quellenverzeichnis

*Alpenverein: Verrottungstabelle.* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020. PDF:  
[https://www.alpenverein.at/tk-innsbruck\\_wAssets/docs/Verrottungstabelle-filled.pdf](https://www.alpenverein.at/tk-innsbruck_wAssets/docs/Verrottungstabelle-filled.pdf).

*Arndt, F.* (04.01.2019). *drinktec: Kunststoff geht auch nachhaltig – innovative Lösungen als Wettbewerbsvorteil.* Abgerufen am 26.12.2020 von  
<https://blog.drinktec.com/de/alkoholfreie-getraenke/kunststoff-auch-nachhaltig/>.

*Bergmann, W., Leyens, C., & Fleck, C.* (2013). *Werkstofftechnik 1* (7. Aufl.). München: Carl Hanser Verlag.

*Berliner Morgenpost: Pfand: Für diese Getränke gilt bald die Pfandpflicht.* (21.11.2020). Abgerufen am 26.12.2020 von  
<https://www.morgenpost.de/ratgeber/article230964944/Pfand-Deutschland-Regeln-Getraenke-Plastik-Einweg-neu.html>.

*BGBl: Kreislaufwirtschaftsgesetz.* (23.10.2020). Abgerufen am 26.12.2020 von [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/text.xav?SID=&tf=xaver.component.Text\\_0&toctf=&qmf=&hlf=xaver.component.Hitlist\\_0&bk=bgbl&start=%2F%2F%5B%40node\\_id%3D%27724413%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/text.xav?SID=&tf=xaver.component.Text_0&toctf=&qmf=&hlf=xaver.component.Hitlist_0&bk=bgbl&start=%2F%2F%5B%40node_id%3D%27724413%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1).

*BGBl: VerpackV: § 9 Abs. 2 BGBl. I* (1991). Abgerufen am 26.12.2020 von [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/text.xav?SID=&tf=xaver.component.Text\\_0&toctf=&qmf=&hlf=xaver.component.Hitlist\\_0&bk=bgbl&start=%2F%2F%5B%40node\\_id%3D%27654539%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/text.xav?SID=&tf=xaver.component.Text_0&toctf=&qmf=&hlf=xaver.component.Hitlist_0&bk=bgbl&start=%2F%2F%5B%40node_id%3D%27654539%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1).

*BMU: Kreislaufwirtschaftsgesetz.* (30.10.2020). Abgerufen am 26.12.2020 von  
<https://www.bmu.de/gesetz/kreislaufwirtschaftsgesetz/>.

*Bonten, C.* (2020). *Kunststofftechnik* (3. Aufl.). München: Carl Hanser Verlag.

*BP: Erdölverbrauch in Deutschland in den Jahren von 1969 bis 2019.* (2020a).

Abgerufen am 26.12.2020 von

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36171/umfrage/verbrauch-von-erdoel-in-deutschland-seit-1990/>.

*BP: Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Brennstoffen in den Jahren 2018 und 2019.* (2020b). Abgerufen am 26.12.2020

von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/42423/umfrage/primaerenergieverbrauch-von-deutschland-nach-brennstoffen-in-oelaequivalent/>.

*Brandau, O.* (2016). *Stretch Blow Molding* (3. Ausg.). United States: Elsevier/William Andrew.

*Brändle, S.* (15.10.2020). *Frankfurter Rundschau: Das Enzym, das Plastik frisst.*

Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.fr.de/zukunft/storys/nachhaltigkeit/plastik-enzym-carbios-recycling-recyclen-muell-start-up-unternehmen-pet-flaschen-plastikflaschen-90070539.html>.

*Britannica: Imperial Chemical Industries PLC.* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.britannica.com/topic/Imperial-Chemical-Industries-PLC>.

*Bruder, U.* (2016). *Kunststofftechnik leicht gemacht.* München: Carl Hanser Verlag.

*Bukold, S., & Jörg, F.* (2016). *Greenpeace: People vs. Oil.* Hamburg.

PDF: [https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/oel-report-2016-greenpeace-20160108\\_0.pdf](https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/oel-report-2016-greenpeace-20160108_0.pdf).

*BUND Sachsen-Anhalt: Ölwechsel: Fakten zu Erdöl und Plastik.* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.bund-sachsen-anhalt.com/themen/gesellschaft-gestalten/nachhaltiger-konsum/oelwechsel-fakten-zu-erdoel-und-plastik/>.

*Bunk, A., & Schubert, N.* (2016). *Besser leben ohne Plastik* (2. Ausg.). München: oekom Verlag.

*Buzer: Verpackungsverordnung.* (2008). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.buzer.de/gesetz/3971/b10608.htm>.

*Christel, A.* (Mai 2017). *Polymetrix: European PET Bottle Platform (EPBP) : An example for a circular Economy.* Abgerufen am 26.12.2020.

PDF: [https://www.polymetrix.com/sites/de/assets/File/downloads/EPBP as an example for a circular economy script part 1 - 3 01.pdf](https://www.polymetrix.com/sites/de/assets/File/downloads/EPBP_as_an_example_for_a_circular_economy_script_part_1_-_3_01.pdf).

*Der Tagesspiegel: Weniger Plastikmüll.* (27.03.2019). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.tagesspiegel.de/politik/weniger-plastikmuell-eu-parlament-verabschiedet-verbot-von-einweg-plastikprodukten/24150894.html>.

*Deutsche Umwelthilfe: Mehrweg ist Klimaschutz.* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020 von [https://www.duh.de/mehrweg-klimaschutz0/einweg-plastikflaschen/#:~:text=Zu%20viel%20Einwegmüll%3A%20Pro%20Jahr,bis%20zum%20Mond%20reichen%20würden.](https://www.duh.de/mehrweg-klimaschutz0/einweg-plastikflaschen/#:~:text=Zu%20viel%20Einwegm%C3%9Cll%3A%20Pro%20Jahr,bis%20zum%20Mond%20reichen%20w%C3%9Crden.)

*Die Bundesregierung: Verbot von Einweg-Plastik.* (06.11.2020). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/einwegplastik-wird-verboden-1763390>.

*Dierig, C.* (18.11.2020). *WeltKampf dem Kunststoff – der Bund plant Ausweitung der Einweg-Pfandpflicht.* Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.welt.de/wirtschaft/article220372852/Milch-und-Saeft-PET-Die-Ausweitung-der-Einweg-Pfandpflicht.html>.

*Doering, E., Schedwill, H., & Dehli, M.* (2016). *Grundlagen der Technischen Thermodynamik* (8. Aufl.). Wiesbaden: Springer Vieweg.

*DPG: Aufbau und Entwicklung.* (o.J.a). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://dpg-pfandsystem.de/index.php/de/ueber-die-dpg-detusche-pfandsystem-gmbh/aufbau-und-entwicklung.html>.

*DPG: Die Pfandpflicht.* (o.J.b). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://dpg-pfandsystem.de/index.php/de/die-pfandpflicht-fuer-einweggetraenkeverpackungen.html>.

*DPG: Gesetzliche Anforderungen an die Rücknahme pfandpflichtiger Einweggetränkeverpackungen.* (2012). Abgerufen am 26.12.2020. PDF: [https://dpg-pfandsystem.de/images/Öffentliche Dokumente/120926 Marktinforücknahme.pdf](https://dpg-pfandsystem.de/images/Öffentliche_Dokumente/120926_Marktinforücknahme.pdf)

*Elsner, P., Eyerer, P. & Hirth, T. (2008). Kunststoffe. Eigenschaften und Anwendungen.* (7. Aufl.). Berlin: Springer Verlag.

*Eyerer, P. (2020). Polymer Engineering. (2. Aufl.).* (Eyerer, P., Schüle, H., Hrsg.). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

*Fath, A. (2019). Mikroplastik.* Berlin: Springer (Spektrum)-Verlag GmbH.

*Forum-PET: PET-Flasche.* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.forum-pet.de/material/pet-flasche/#:~:text=Die%20erste%20PET%20Flasche%20wurde,sorgte%20damals%20weltweit%20f%C3%BCr%20Furore>.

*GRID-Arendal: Geschätzte Menge an Kunststoff in den Weltmeeren im Jahr 2018.* (13.07.2020). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1072590/umfrage/plastikmenge-in-den-weltmeeren/>.

*Groth, M. (Mai 2005). Die Pfandpflicht für Einweggetränkeverpackungen.* *Wirtschaftsdienst*, 5, S. 320-325. DOI: 10.1007/s10273-005-0378-7.

*GVM: Aufkommen und Verwertung von PET- Getränkeflaschen in Deutschland 2017.* (2018). Abgerufen am 26.12.2020.

PDF: <https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/2019/02/Studie-Verwertung-PET-Getrankeflaschen-2017-Kurzfassung.pdf>.

*GVM: B2B-Marktforschung mit Schwerpunkt Verpackung .* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020. von <https://gvmonline.de>.

*GVM: Verwertungsquote von Verpackungen aus Glas in Deutschland in den Jahren 2002 bis 2018.* (2020). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/168694/umfrage/recyclingquote-von-altglas-in-deutschland-seit-1974/>.

*Hopmann, C., & Michaeli, W. (2017). Einführung in die Kunststoffverarbeitung* (8. Ausg.). München: Carl Hanser Verlag.

*Hopmann, C., et al. (2015). Technologie der Kunststoffe* (4. Ausg.). München: Carl Hanser Verlag.

*Hübner, K.-H. (2018). Werkstoffkunde* (12. Ausg.). (H.-J. Bargel, & G. Schulze, Hrsg.) Berlin: Springer Verlag.

*IEA: Verteilung der weltweiten Energieerzeugung nach Energieträger im Jahr 2018.* (2020). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167998/umfrage/weltweiter-energiemix-nach-energietraeger/>.

*Industrievereinigung Kunststoffverpackungen: Anteil der Chemie- und Kunststoffindustrie am Erdöl- und Gasverbrauch Westeuropas im Jahr 2010.* (2011). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/200625/umfrage/umsatz-der-deutschen-kunststoffindustrie/>.

*Industrievereinigung Kunststoffverpackungen: Produktion von Kunststoffverpackungen in Deutschland nach Packmittelgruppen in den Jahren von 2017 bis 2019.* (2020). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156492/umfrage/produktionsmenge-von-kunststoffverpackungen-in-deutschland/>.

*Jambeck, J., et al.* (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. DOI: 10.1126/science.1260352.

*Kaiser, W.* (2016). *Kunststoffchemie für Ingenieure* (4. Ausg.). München: Carl Hanser Verlag.

*Kauertz, B., & Detzel, A.* (2017). *Verwendung und Recycling von PET in Deutschland*. Ifeu. Heidelberg: NABU – Naturschutzbund Deutschland e.V. PDF: [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/veranstaltungen/171025-nabu-01b\\_studie\\_verwendung-und-recycling-pet-deutschland.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/veranstaltungen/171025-nabu-01b_studie_verwendung-und-recycling-pet-deutschland.pdf).

*KHS: Abfüllanlagen.* (o.J.a). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.khs.com/produkte/detail/abfuellanlagen-fuer-bier-in-pet-flaschen>.

*KHS: Flaschenreinigungsmaschine.* (o.J.b). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.khs.com/produkte/detail/flaschenreinigungsmaschine-innoclean-se/>.

*KHS: Kastenwascher Innoclean.* (o.J.c). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.khs.com/produkte/detail/kastenwascher-innoclean-kw>.

*KHS: Kastenwascher.* (o.J.d). Abgerufen am 26.12.2020.

PDF: [https://www.khs.com/fileadmin/user\\_upload/Datenblaetter-Produkte/Einzelmaschinen/Downloads\\_PDFs /Kastenwascher Innoclean KW.pdf](https://www.khs.com/fileadmin/user_upload/Datenblaetter-Produkte/Einzelmaschinen/Downloads_PDFs/Kastenwascher_Innoclean_KW.pdf).

*KHS: KHS Group.* (o.J.e). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.khs.com>.

*KHS: Zulassung der EPBP: Direct Print Powered by KHS™ zertifiziert und voll recyclingfähig.* (05.10.2017). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.khs.com/medien/presstexte/presseinformationen/detail/zulassung-der-epbp-direct-print-powered-by-khs-zertifiziert-und-voll-recyclingfaehig>.

*Laska, R., & Felsch, C. (1992). Werkstoffkunde für Ingenieure (3. Ausg.).* Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH.

*Lechner, A., et al. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. Environmental Pollution, 188, 177-181.* von <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>.

*Lechner, M., Gehrke, K., & Nordmeier, E. (2014). Makromolekulare Chemie (5. Ausg.).* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

*Leeson, C. (Juli 2017). Die Klimaschutz-Baustelle.* Abgerufen am 26.12.2020 von <http://www.die-klimaschutz-baustelle.de/index.html>.

*Lemelson: Nathaniel Wyeth.* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://lemelson.mit.edu/resources/nathaniel-wyeth>.

*Liebmann, B., & Sexlinger, K. (2020). Umweltbundesamt GmbH: Mikroplastik in der Umwelt.* Wien. DOI: 10.1002/ciuz.201700821

*Markert, S. (08.03.2018). Stuttgarter Nachrichten: Wie umweltschädlich sind PET-Flaschen?* Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.getraenkeverpackungen-wie-umweltschaedlich-sind-pet-flaschen.a589bedb-f347-44d2-9e6f-c619278d3a24.html#:~:text=Bei%20Glasflaschen%20geht%20das%20bis,und%20das%20S%3%A4ubern%20der%20Flaschen>.

*Marktjagd: Einweg und Mehrweg – Das Pfandsystem in Deutschland.* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.marktjagd.de/news/pfandsystem-deutschland#:~:text=In%20Deutschland%20existieren%20zwei%20verschiedene%20Pfandsysteme%3A%20Mehrwegpfand%20und%20Einwegpfand.&text=Nach%20der%20R%C3%BCckgabe%20werden%20die,und%20durch%20Recycling%20wieder%20aufbe.>

*Martens, H.* (2011). *Recyclingtechnik*. Heidelberg: Spektrum akademischer Verlag.

*Martens, H., & Goldmann, D.* (2016). *Recyclingtechnik* (2. Ausg.). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

*NABU: Küstenputz für den Meeresschutz.* (o.J.a). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.nabu-mittleres-mecklenburg.de/projekte/muellsammelaktionen/international-coastal-cleanup/>.

*NABU: Mehrweg Guide.* (o.J.b). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/einzelhandel-und-umwelt/mehrweg/nabumehrwegguide.html#:~:text=Was%20hei%C3%9Ft%20%C3%96kobilanz%20von%20Getr%C3%A4nkeverpackungen,Transporte%20bis%20hin%20zu%20Recyclingquoten.>

*o.V.* (2019). *Plastik Sparbuch*. (Smarticular, Hrsg.) Berlin: Business HUB Berlin UG.

*Ökofaire-Gemeinde: Merhwegflaschen vs. Einwegflaschen.* (o.J.). Abgerufen am 05.11.2020. PDF: [https://www.oekofaire-gemeinde.de/fileadmin/user\\_upload/baukaesten/Baukasten\\_Oekofaire\\_Gemeinde/Dokumente/17-11-22\\_Mehrweg-vs-Einweg\\_01.pdf](https://www.oekofaire-gemeinde.de/fileadmin/user_upload/baukaesten/Baukasten_Oekofaire_Gemeinde/Dokumente/17-11-22_Mehrweg-vs-Einweg_01.pdf).

*PET-Recycling: Granulat.* (o.J.a). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.petrecycling.ch/de/medien/medienmitteilungen/medienmitteilung-pet-rezyklat-fuer-das-jahr-2019-ausverkauft.>

*PET-Recycling.* (o.J.b). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.petrecycling.ch/de/news/id-75-jahre-pet#:~:text=Der%20Kunststoff%20Polyethylenterephthalat%20oder%20kurz,Geburts tag.&text=Dickson%20schrieben%201941%20Geschichte%2C%20als,den%20formb aren%20Stoff%20Polyethylenterephthalat%20herstellten.>

*PlasticsEurope: Kunststoffabfallaufkommen und recycelte Menge Kunststoff in Europa in den Jahren 2006 bis 2018.* (2020c). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/206843/umfrage/kunststoffabfallaufkommen-und-recycelte-menge-kunststoff-in-europa/>.

*PlasticsEurope: Verteilung der weltweiten Kunststoffproduktion nach Ländern und Regionen im Jahr 2019.* (2020b). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/244172/umfrage/verteilung-der-weltweiten-kunststoffproduktion-nach-regionen/>.

*PlasticsEurope: Weltweite und europäische Kunststoffproduktion in den Jahren von 1950 bis 2019.* (2020a). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167099/umfrage/weltproduktion-von-kunststoff-seit-1950/>.

*Plinke, E., et al. (2000). Umweltbundesamt: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II.* Berlin. Abgerufen am 26.12.2020. PDF: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/1882.pdf>.

*Primke, S., et al. (07.12.2017). Mikroplastik in der Umwelt. Chemie in unserer Zeit, 51, S. 402-412.* DOI: 10.1002/ciuz.201700821.

*Reader's Digest: Das Problem mit den Plastikwasserflaschen.* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://readersdigest.de/de/wissen-tipps/haus-garten/item/das-problem-mit-den-plastikwasserflaschen.>

Schonert, M., et al. (2002). *Umweltbundesamt: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II*. Berlin. Abgerufen am 26.12.2020.

PDF: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2180.pdf>

Schröder, H. (2017). *Plastik im Blut* (1. Ausg.). Freiburg: VAK Verlags GmbH.

Schüle, H. (2008). *Polymer Engineering*. (P. Eyerer, T. Hirth, & P. Elsner, Hrsg.) Berlin: Springer-Verlag.

Senge, P. (14.05.2020). *Utopia: Glas-Recycling: Wie es funktioniert und was mit Altglas passiert*. Abgerufen am 26.12.2020 von <https://utopia.de/ratgeber/glas-recycling-wie-es-funktioniert-und-was-mit-altglas-passiert/>.

Sonntag, A., & Blaeser-Benfer, A. (Juni 2013). *RKW: Ressourceneffizienz – Rechte und Pflichten*. Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.rkw-kompetenzzentrum.de/innovation/faktenblatt/ressourceneffizienz-rechte-und-pflichten/>.

Statistisches Bundesamt: *Produktionsmenge der Kunststoffindustrie in Deutschland in den Jahren 2006 bis 2019*. (2020). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167076/umfrage/produktionsmenge-der-deutschen-kunststoffindustrie-seit-2006/>.

Suhr, F. (28.03.2019). *Statista: Natur- und Umweltschutz*. Abgerufen am 26.12.2020 von <https://de.statista.com/infografik/17508/haltbarkeit-von-plastikmuell-im-meer/>.

Thielen, M., Hartwig, K., & Gust, P. (2020). *Blasformn von Kunststoffhohlkörpern* (2. Ausg.). München: Carl Hanser Verlag.

Umweltbundesamt: *Glas und Altglas*. (06.10.2020). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/glas-altglas#massenprodukt-glas>.

*Umweltbundesamt: Verpackungsgesetz.* (19.12.2018). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/verpackungen/verpackungsgesetz#sinn-und-zweck-des-verpackungsgesetzes>.

*Varioform: Vom Granulat zur Preform.* (o.J.). Abgerufen am 23.12.2020 von <http://www.varioform.at/produktion/>.

*Veolia: Bottle-to-bottle-Recycling.* (o.J.). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.veolia.de/leistungen-entsorgung/bottle-to-bottle-recycling>.

*Verbraucherzentrale: Einweg-Pfand.* (03.09.2020a). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/umwelt-haushalt/abfall/fragen-und-antworten-zum-einwegpfand-dosenpfand-11505#:~:text=Für%20Läden%20mit%20einer%20Verkaufsfläche,sie%20selbst%20im%20Sortiment%20führen>.

*Verbraucherzentrale: Mehrweg oder Einweg.* (02.01.2020b). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/umwelt-haushalt/abfall/mehrweg-oder-einweg-verwirrung-total-beim-pfand-11504>.

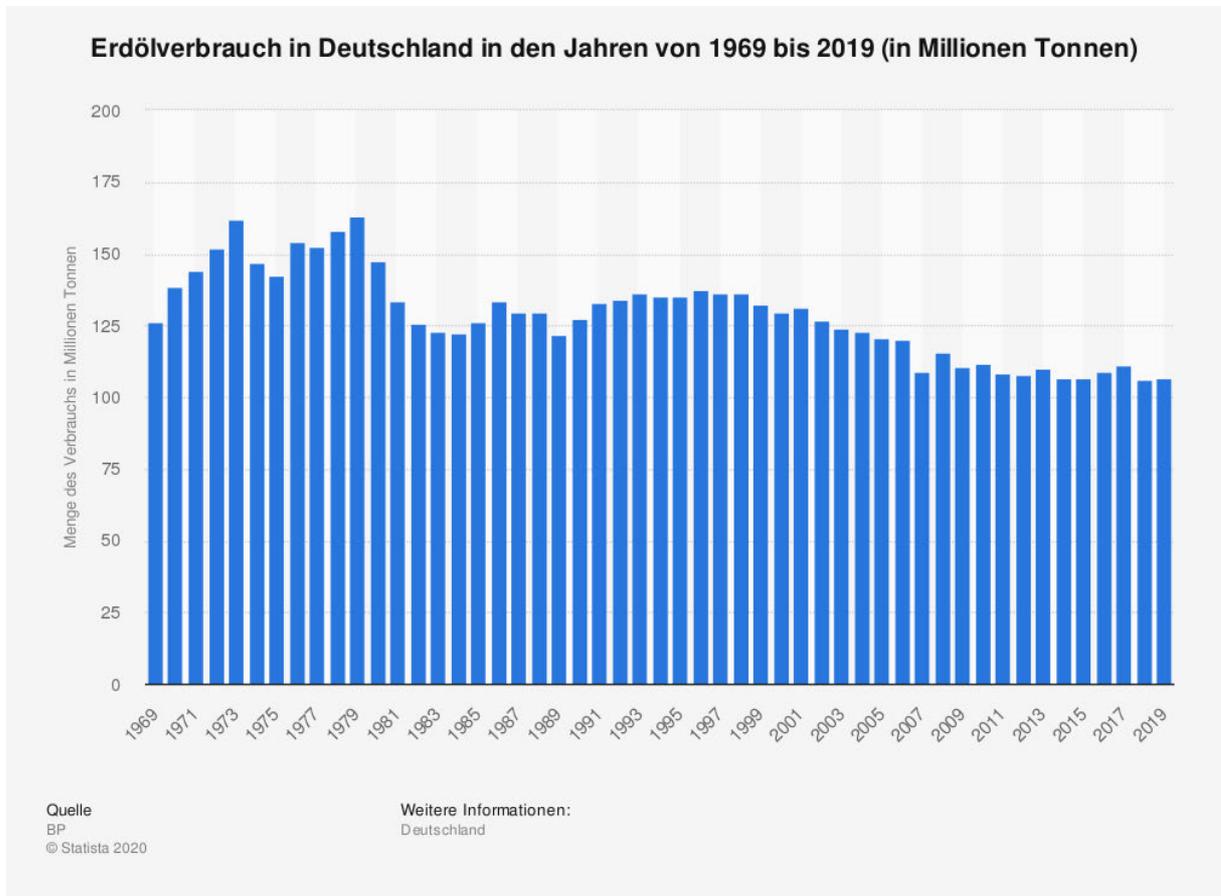
*Watson: Coca-Cola.* (03.14.2019). Abgerufen am 26.12.2020 von <https://www.watson.de/umwelt/wirtschaft/418356294-nachhaltigkeit-coca-cola-produziert-die-meisten-plastikflaschen>.

*Weinmann, B.* (07.02.2020). *Luzerner Zeitung: Grüne und braune PET-Flaschen sind ein Problem: Nun geraten Valser und Rivella in Erklärungsnot.* Abgerufen am 26. 12 2020 von <https://www.luzernerzeitung.ch/wirtschaft/gruene-und-braune-pet-flaschen-sind-ein-problem-nun-geraten-valser-und-rivella-in-erklaerungsnot-ld.1191948>.

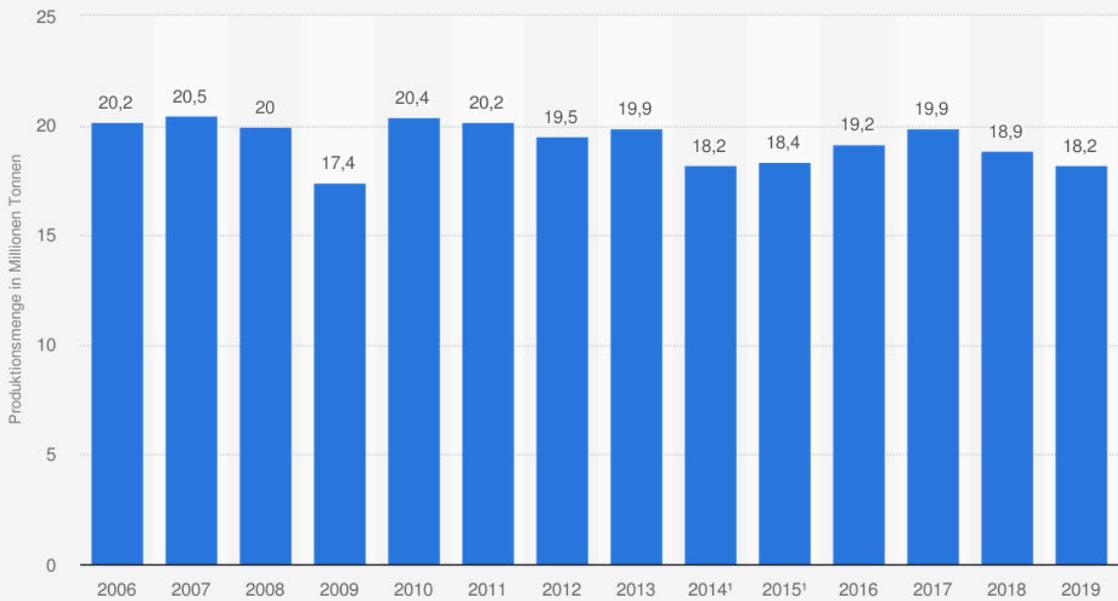
*Wolters, L., et al.* (1997). *Kunststoff-Recycling.* München, Wien: Carl Hanser Verlag.

## Anhang

Statistische Ergebnisse in graphischer Darstellung:



## Produktionsmenge der Kunststoffindustrie in Deutschland in den Jahren 2006 bis 2019 (in Millionen Tonnen)

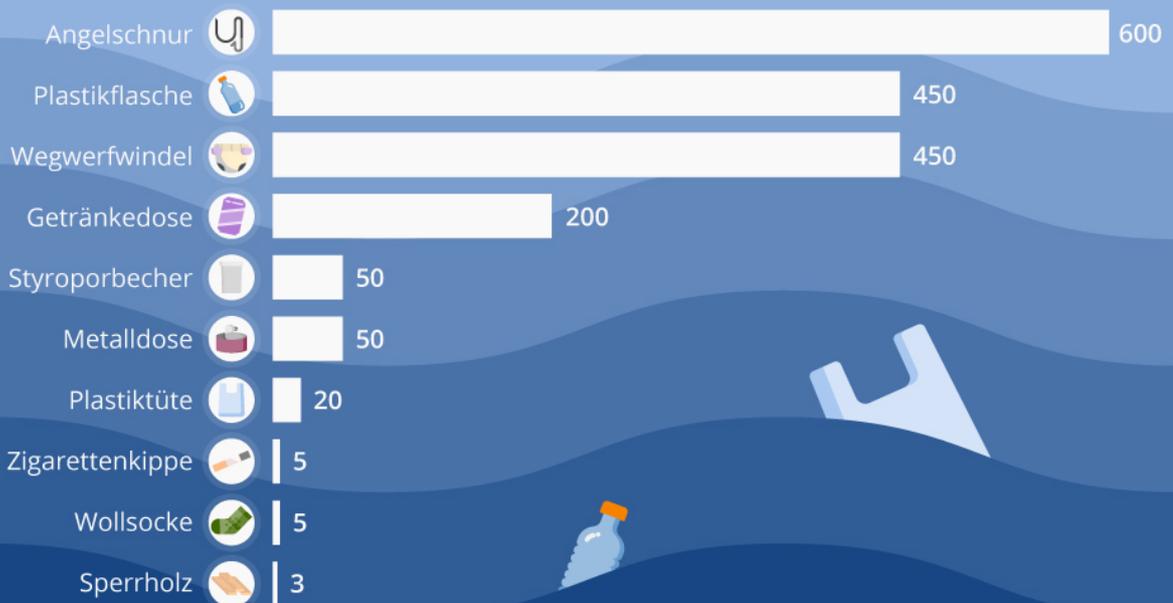


Quelle:  
Statistisches Bundesamt  
© Statista 2020

Weitere Informationen:  
Deutschland; Statistisches Bundesamt

## Plastik währt ewig in den Ozeanen

Zersetzungzeiten von Müll im Meer (in Jahren)

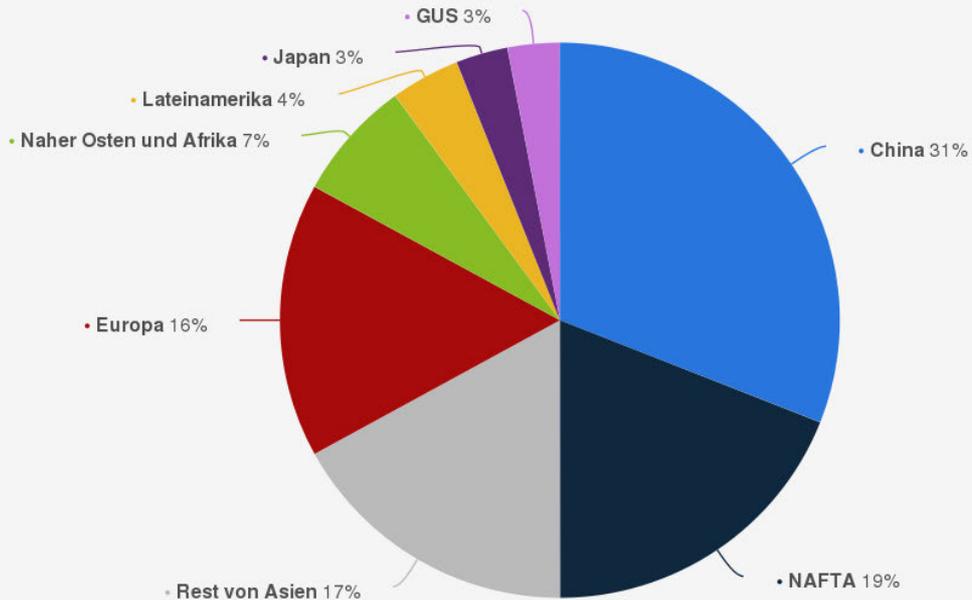


CC BY ND  
@Statista\_com

Quelle: Nabu

statista

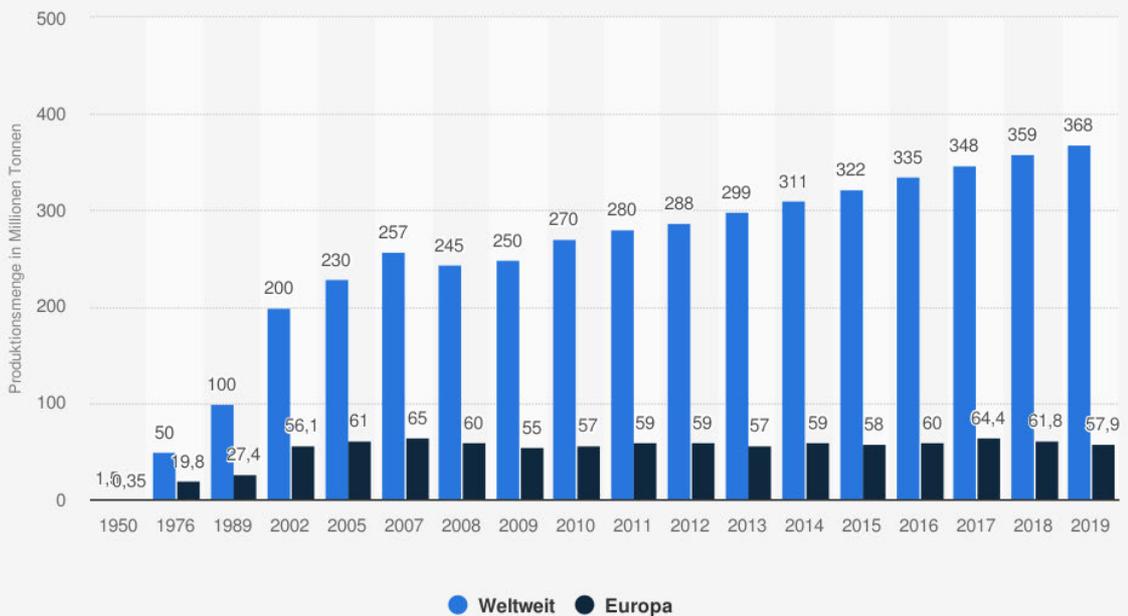
### Verteilung der weltweiten Kunststoffproduktion nach Ländern und Regionen im Jahr 2019



Quellen  
PlasticsEurope; Consultic; Conversio  
© Statista 2020

Weitere Informationen:  
Weltweit

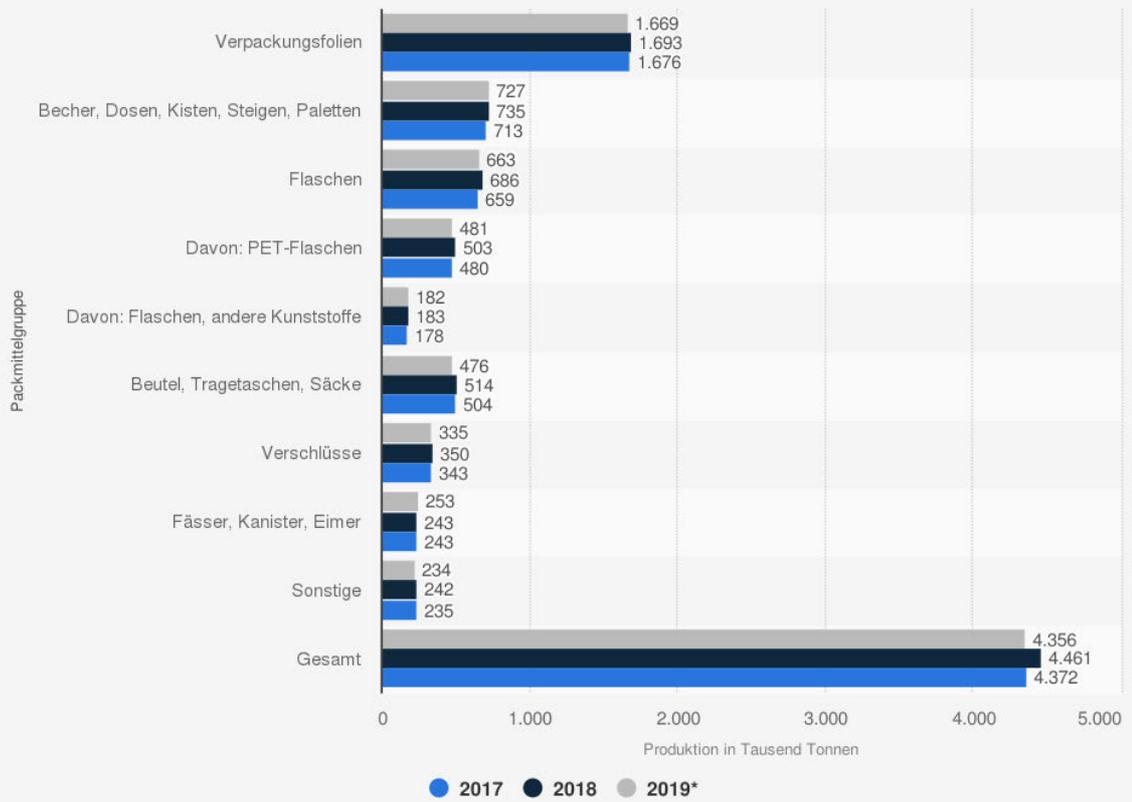
### Weltweite und europäische Kunststoffproduktion in den Jahren von 1950 bis 2019 (in Millionen Tonnen)



Quellen  
PlasticsEurope; Consultic; Conversio  
© Statista 2020

Weitere Informationen:  
Weltweit

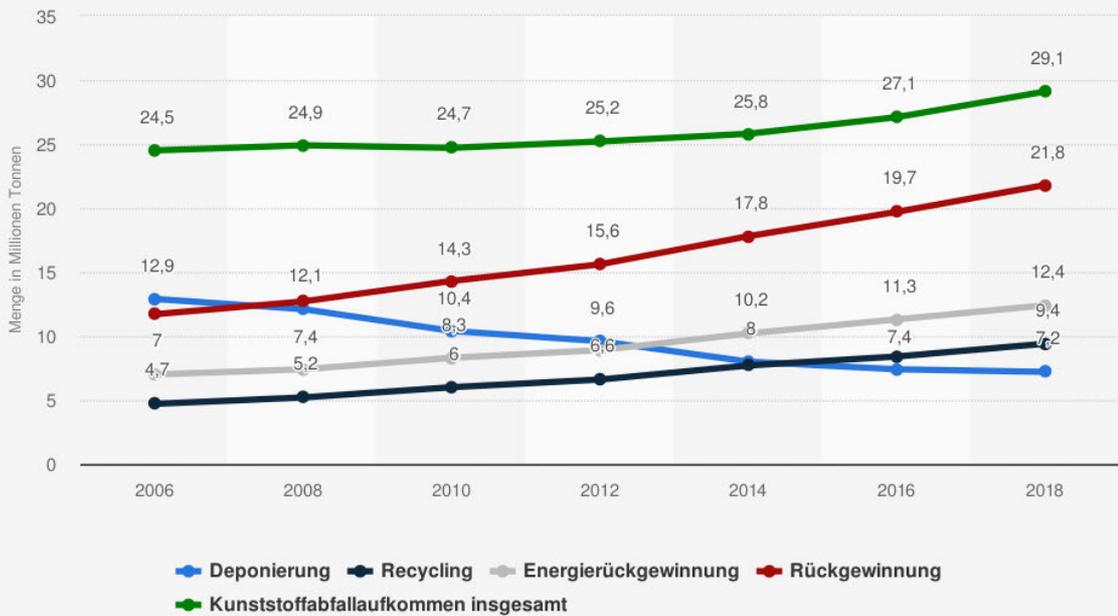
## Produktion von Kunststoffverpackungen in Deutschland nach Packmittelgruppen in den Jahren von 2017 bis 2019 (in 1.000 Tonnen)



**Quellen**  
 Statistisches Bundesamt; Industrievereinigung  
 Kunststoffverpackungen; GVM  
 © Statista 2020

**Weitere Informationen:**  
 Deutschland

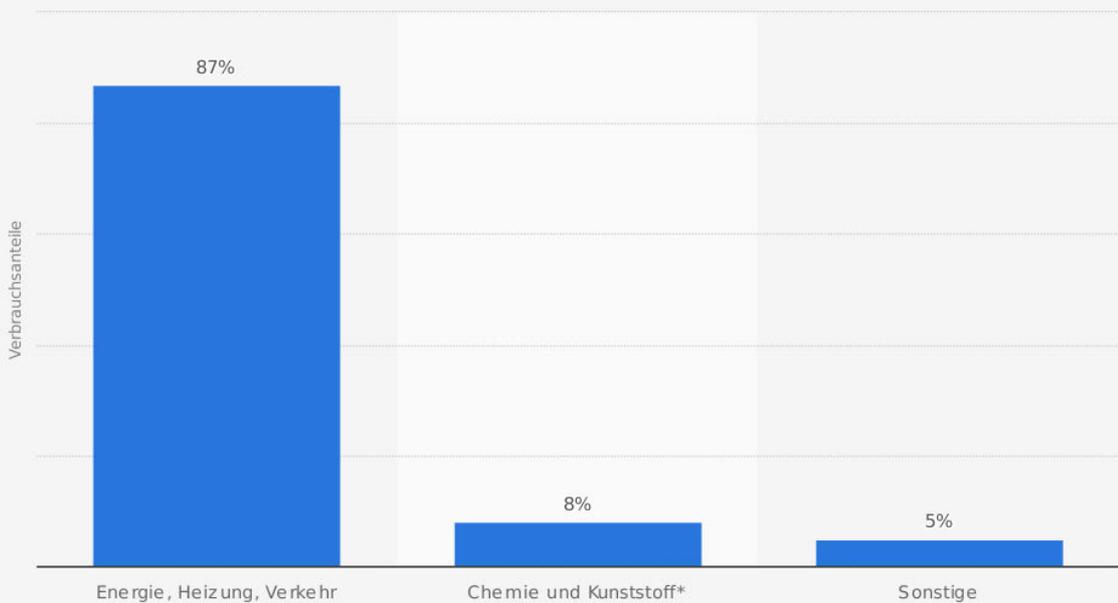
### Kunststoffabfallaufkommen und recycelte Menge Kunststoff in Europa in den Jahren 2006 bis 2018 (in Millionen Tonnen)



Quellen  
PlasticsEurope; Consultic  
© Statista 2020

Weitere Informationen:  
Europa

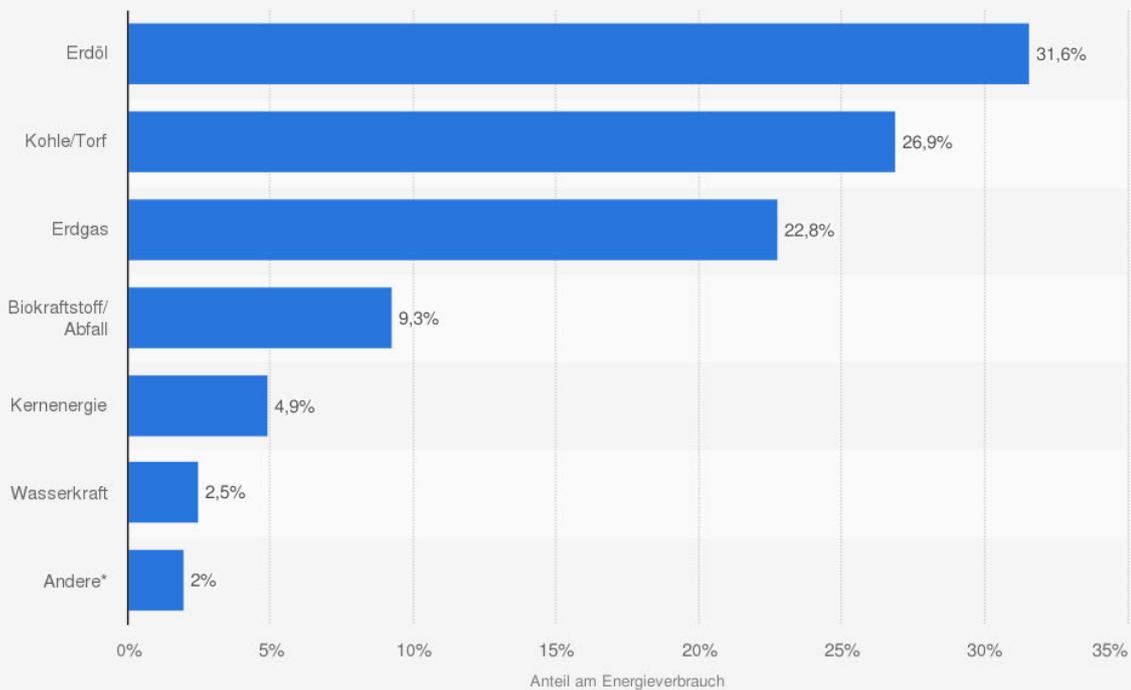
### Anteil der Chemie- und Kunststoffindustrie am Erdöl- und Gasverbrauch Westeuropas im Jahr 2010



Quelle  
Industrievereinigung Kunststoffverpackungen  
© Statista 2018

Weitere Informationen:  
Europa; 2010

### Verteilung der weltweiten Energieerzeugung nach Energieträger im Jahr 2018



Quelle:  
IEA  
© Statista 2020

Weitere Informationen:  
Weltweit

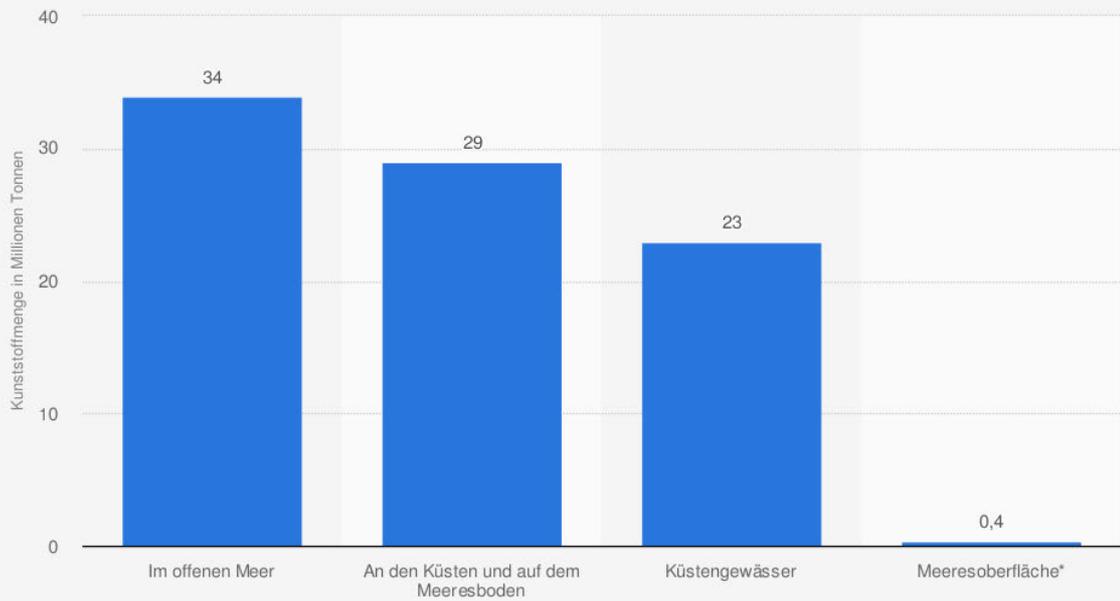
### Verwertungsquote von Verpackungen aus Glas in Deutschland in den Jahren 2002 bis 2018



Quelle:  
GVM  
© Statista 2020

Weitere Informationen:  
Deutschland

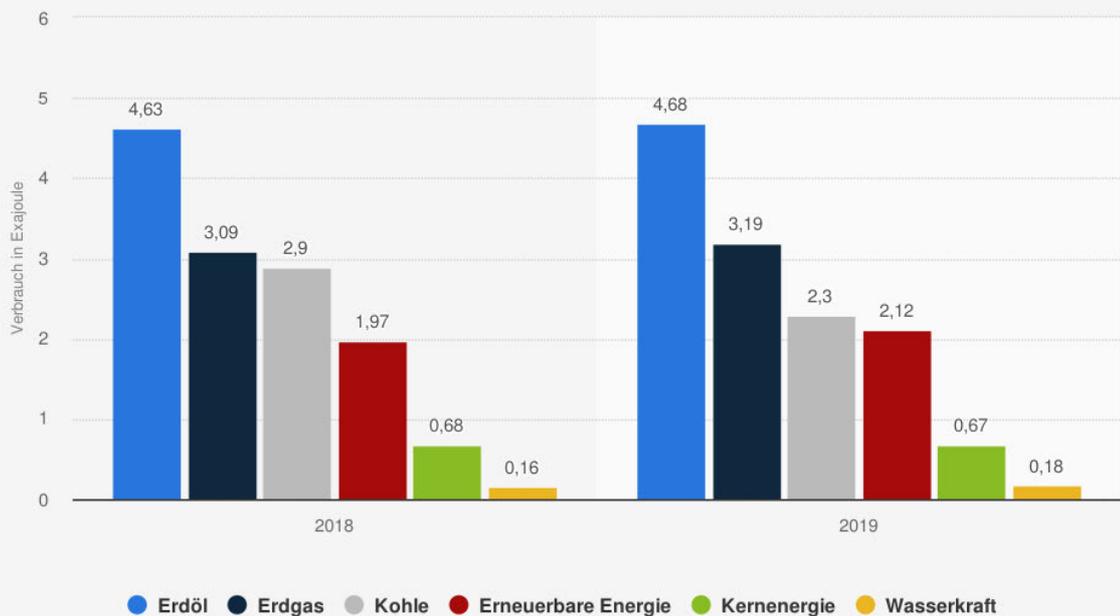
### Geschätzte Menge an Kunststoff in den Weltmeeren im Jahr 2018 (in Millionen Tonnen)



Quelle:  
GRID-Arendal  
© Statista 2020

Weitere Informationen:  
Weltweit; \* 0,2 bis 0,4 Tonnen.

### Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Brennstoffen in den Jahren 2018 und 2019 (in Exajoule)



Quelle:  
BP  
© Statista 2020

Weitere Informationen:  
Deutschland, 2018 und 2019

## Erklärungen

Hiermit erkläre ich, Banu Niederstraßer, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen (einschließlich elektronischer Quellen und dem Internet) direkt oder indirekt übernommenen Inhalte sind ausnahmslos als solche kenntlich gemacht.

Ich erkläre mich damit

o einverstanden,

o nicht einverstanden,

dass ein Exemplar meiner Bachelor-Thesis in die Bibliothek des Fachbereichs aufgenommen wird; Rechte Dritter werden dadurch nicht verletzt.

