

Recycling

Bearbeiter

M.Sc. Andrea Pfeiffer

M.Sc. Laura Eickeler

B.Sc. Felix Lucht

B.Sc. Louis Fleuster

Lennart Siegers

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	III
Formelverzeichnis	III
1 Recycling	1
1.1 Definition und Bedeutung für den Wertstoffkreislauf	1
1.2 Recyclingquoten und deren Interpretation.....	2
1.3 Aktueller Stand und Ziele für das Recycling in Deutschland und Europa.....	5
Literatur.....	7
2 Glasrecycling.....	8
2.1 Bedeutung.....	8
2.2 Sammlung	9
2.3 Sortierung.....	10
2.4 Verwertung	11
2.5 Exkurs: Glasrecycling aus Photovoltaikanlagen.....	12
Literatur.....	13
3 Recycling von Papier	14
3.1 Menge und Qualität	14
3.2 Sammlung	15
3.3 Verwertung	17
3.4 Problemfeld UV-Druckfarben	18
Literatur.....	19
4 Recycling von Eisenmetallen	20
4.1 Aufkommen	20
4.2 Sammlung und Sortierung.....	20
4.3 Verwertung	21
Literatur.....	23
5 Recycling von Nichteisenmetallen.....	25
5.1 Aufkommen und Sammlung	25
5.2 Verwertung	26
Literatur.....	27
6 Kunststoffrecycling.....	28
6.1 Menge und Qualität	28
6.2 Sammlung	29
6.3 Verwertung	29
6.4 Aufbereitung	30
Literatur.....	34

7	Exkurs	35
7.1	Der Grüne Punkt –Duales System Deutschland–	35
7.2	Entwicklungen im Recyclingsektor – Elektrodynamische Fragmentierung –	36
Literatur.....		38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzip des Recyclings in der Entsorgungswirtschaft.....	1
Abbildung 2:	Stoffströme eines Recyclingprozesses von der Erfassung bis zum Sekundärrohstoff.....	4
Abbildung 3:	Offizielle Recyclingquoten ausgewählter Abfallströme der BRD im Jahr 2017 ^[4]	5
Abbildung 4:	Glasproduktion (7,5 Mg) im Jahr 2017 und die Anteile der einzelnen Glasbranchen ^[2]	8
Abbildung 5:	Altglascontainer für Braun-, Grün- und Weißglas ^[7]	9
Abbildung 6:	Verfahrensfließschema der Altglassortierung.....	11
Abbildung 7:	Zeitlicher Überblick über Papier-Erzeugung, -Verbrauch und Altpapiereinsatz in Deutschland ^[2]	14
Abbildung 8:	Einblick in einen mit verschiedenen Qualitäten Altpapier befüllten Papiercontainer ^[6]	15
Abbildung 9:	Verfahrensschema der Altpapiersammlung und -aufbereitung.....	17
Abbildung 10:	Stahlspähne ^[7]	21
Abbildung 11:	Hartkunststoffabfall in verschiedenen Formen und Farben ^[6]	29
Abbildung 12:	Verfahrensschema der 1. Aufbereitungsstufe des Kunststoffrecyclings.....	31
Abbildung 13:	Einsatzgebiete von Kunststoffrezyklaten in Deutschland ^[3]	32
Abbildung 14:	Verfahrensschema der 2. Aufbereitungsstufe des Kunststoffrecyclings.....	33
Abbildung 15:	Fertiges Re-Granulat ^[7]	33
Abbildung 16:	Gefüllter Gelber Sack ^[2]	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Künftige Recyclingquoten in der EU ^[8]	6
Tabelle 2:	Altpapiersorten nach EN 643.....	16

Formelverzeichnis

Formel 1:	Formel zur Berechnung der Recyclingquote in der Abfallbilanz der BRD ^[4]	2
Formel 2:	Formel zur Berechnung der Recyclingquote nach ARRL, erstellt nach ^[5]	3

1 Recycling

1.1 Definition und Bedeutung für den Wertstoffkreislauf

Im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) ist Recycling definiert als „jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden“. ^[1] Im Gegensatz zu der reinen Entsorgung bzw. Beseitigung der aus Primärrohstoffen produzierten und konsumierten Güter ist beim Recycling die Bestrebung, Rohstoffe im Kreislauf zu halten (siehe Abbildung 1).

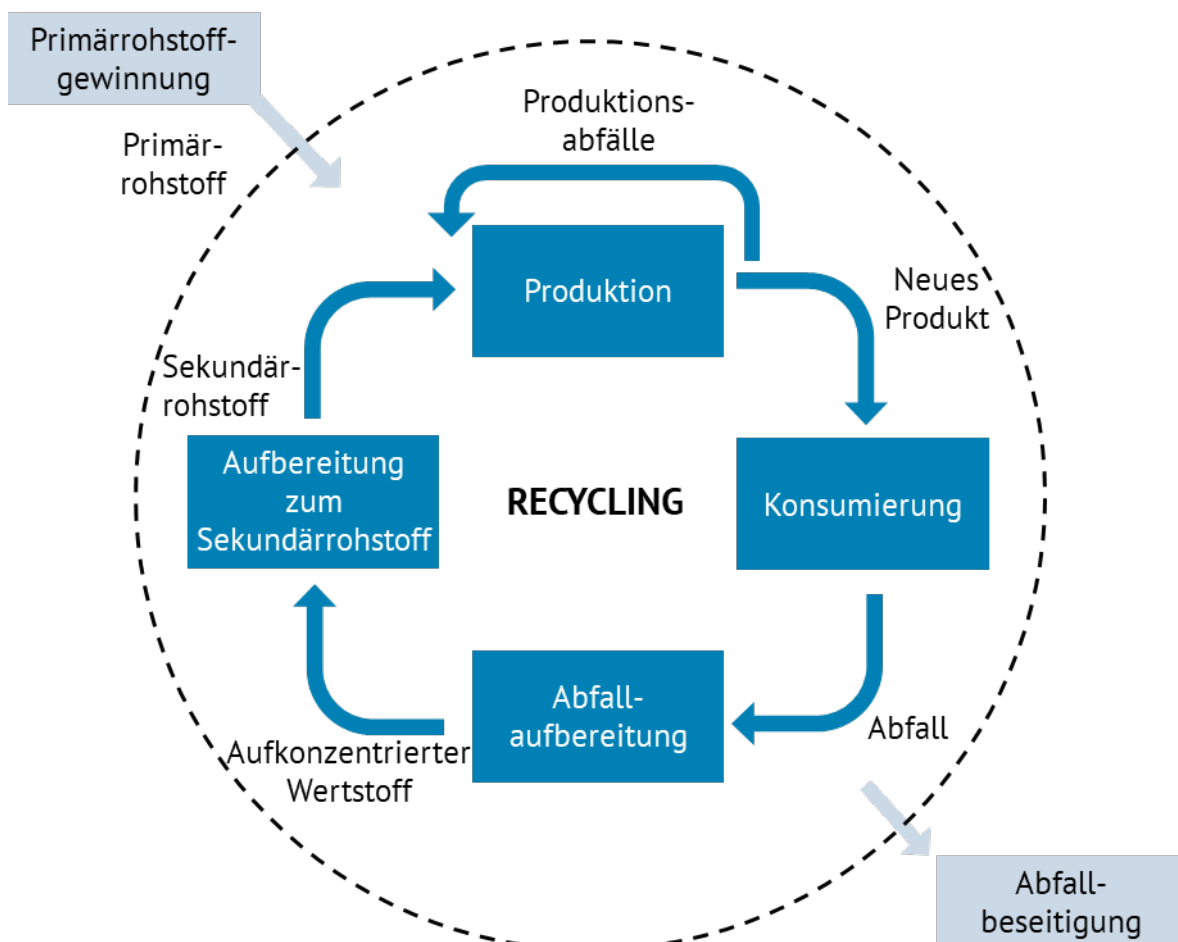


Abbildung 1: Prinzip des Recyclings in der Entsorgungswirtschaft

Recycling bezeichnet folglich die Gewinnung von Rohstoffen aus Abfällen, ihre Rückführung in den Wirtschaftskreislauf sowie ihre Verarbeitung zu neuen Produkten.

Vor allem Glas, Papier, Metalle, Kunststoffe aber auch organische Abfälle eignen sich für die Rückführung der gebrauchten Materialien in den Stoffkreislauf. Es wird darauf hinge-

wiesen, dass die stoffliche Verwertung von organischen Materialien aufgrund der Komplexität als eigene Abfallverwertungsform gesondert betrachtet wird. Für die stoffliche Verwertung müssen die Wertstoffe möglichst sortenrein gesammelt werden oder sich leicht aus den übrigen Abfallfraktion abtrennen lassen. ^[2] Nur durch die richtige Trennung und der damit verbundenen Sortenreinheit des Abfalls, kann das Recycling richtig funktionieren und das Potential genutzt werden. Wenn die Bürger die Abfälle richtig trennen, können die Sortieranlagen in der Aufbereitung optimal arbeiten und der Recyclingindustrie wertvolle Sekundärrohstoffe zur Verfügung stellen. Die Verarbeitung von Sekundärrohstoffen und der Wiedereinsatz in neuen Produkten kann nicht nur Wertstoffkreisläufe schließen, sondern bewirkt auch geringere Umweltbelastungen wie beispielsweise einen geringeren Energieverbrauch in der Produktion. ^[3]

1.2 Recyclingquoten und deren Interpretation

Genauere Aussagen bezüglich des Recyclings und somit auch bezüglich eines geschlossenen Stoffkreislaufes von einzelnen oder kombinierten Abfallströmen lassen sich mit Hilfe verschiedener Kennzahlen darstellen. Eine weit verbreitete Kennzahl hierfür ist die sogenannte **Recyclingquote**.

Ein häufiger Ansatz ist die Berechnung der Recyclingquote über ein **inputorientiertes Modell**. Formel 1 zeigt den Berechnungsansatz, wie er zurzeit vom statistischen Bundesamt der Bundesrepublik Deutschland zur Berechnung der Recyclingquoten der einzelnen Abfallströme verwendet wird.

$$Re_{Input} = \frac{m_{Input}}{m_{Abfall, ges.}} * 100$$

<i>Re_{Input}:</i>	<i>Inputbasierte Recyclingquote</i>	<i>[%]</i>
<i>m_{Input}:</i>	<i>Abfallaufkommen, gesamt</i>	<i>[Mg]</i>
<i>m_{Abfall, ges.:}</i>	<i>Input in die jeweilige Recyclinganlage</i>	<i>[Mg]</i>

Formel 1: Formel zur Berechnung der Recyclingquote in der Abfallbilanz der BRD ^[4]

Die Recyclingquote berechnet sich aus der Menge an Abfall, der einer Anlage zugeführt wird, die nach KrWG als stoffliche Verwertung gilt (m_{Input}), bezogen auf die gesamte angefallene Menge des betrachteten Abfallstroms ($m_{Abfall, ges.}$). Bei dieser Berechnungsmethode wird angenommen, dass der gesamte Massenstrom, der ein Aufbereitungsverfahren durchläuft, als recycelt gilt. Dies gilt auch, wenn während des Prozesses noch Fremd-

oder Störstoffe aussortiert wurden. Es besteht also die Gefahr, dass die resultierende Recyclingquote den tatsächlichen Wertstoffoutput überhöht darstellt. [4] Als Recyclinganlagen gelten alle Anlagen, die nach dem KrWG, Anlage 2 als stoffliche Verwertung bewertet werden (Verwertungscode R2-R13). [1] Die Recyclingquote eines Stoffstromes muss somit nicht zwangsläufig ein Maß dafür sein, welcher Anteil des im Abfall vorhandenen Stoffes den Weg zurück in den Produktionsprozess findet, anders als die Bezeichnung vermuten lassen würde. [4]

Einen anderen Berechnungsansatz verfolgt die Europäische Kommission seit dem Beschluss der Novellierung der Abfallrahmenrichtlinie (ARRL) im Jahr 2018. Demnach sollen ab dem Jahr 2020 die Recyclingquoten, die alle Mitgliedsstaaten jedes Jahr angeben müssen, nach einem festgeschriebenen **outputbasierten Modell** berechnet werden. Als recycelt gelten dann nur noch Abfälle, „die zu Siedlungsabfällen geworden sind und alle erforderlichen Prüf-, Reinigungs- und Reparaturvorgänge durchlaufen haben, die eine Wiederverwendung ohne weitere Sortierung oder Vorbehandlung ermöglichen“ [5]. Das heißt, dass nur derjenige Anteil des Abfalls in die Quote eingerechnet wird, der tatsächlich als Sekundärrohstoff den Weg zurück in den Wertstoffkreislauf findet. In Formel 2 ist diese Berechnungsmethode dargestellt.

$$Re_{Output} = \frac{m_{Sek.}}{m_{Abfall,ges.}} * 100 = \frac{m_{Input} - m_{Rest}}{m_{Abfall,ges.}} * 100$$

<i>Re_{Output}</i> :	<i>Outputbasierte Recyclingquote</i>	<i>[%]</i>
<i>m_{Rest}</i> :	<i>Masse der während des Aufbereitungsprozesses abgetrennten Reststoffe</i>	<i>[Mg]</i>
<i>m_{Input}</i> :	<i>Input in die jeweilige Recyclinganlage</i>	<i>[Mg]</i>
<i>m_{Abfall,ges.}</i> :	<i>Abfallaufkommen, gesamt</i>	<i>[Mg]</i>
<i>m_{Sek.}</i> :	<i>Masse des zu Sekundärrohstoff aufbereiteten Abfalls</i>	<i>[Mg]</i>

Formel 2: Formel zur Berechnung der Recyclingquote nach ARRL, erstellt nach [5]

Die Berechnung dieser Recyclingquote erfolgt demnach, indem die Menge an Abfall, der in aufbereiteter Form als Sekundärrohstoff einem Produktionsprozess zugeführt wird ($m_{Sek.}$), durch die gesamte angefallene Abfallmenge ($m_{Abfall, ges.}$) geteilt wird. Alternativ kann diese auch durch Annahme der Massenkonstanz von Input der Anlage zum Output der Anlage ($m_{Input} = m_{Sek.} + m_{Rest}$) über die Differenz der Reststoffmenge (m_{Rest}) zur Inputmenge (m_{Input}) und anschließende Division durch $m_{Abfall, ges.}$ berechnet werden.

Dadurch lässt sich eine deutlich differenziertere Aussage über die Effektivität eines Recyclingprozesses treffen. Gleichzeitig können die Recyclingquoten dieses Berechnungsansatzes, je nach Abfallstrom, deutlich von denen des inputorientierten Modells abweichen. Im folgenden Beispiel werden die dargestellten Berechnungsmodelle noch einmal dargestellt.

Beispiel: Im Jahr fallen in Deutschland etwa 6 Mio Mg (100 %) Verpackungsabfälle an. 0,6 Mio Mg (10 %) davon werden energetisch verwertet (d.h. als Brennstoff verwendet). Etwa 5,4 Mio Mg (89 %) werden in einer Recyclinganlage sortiert und zu Sekundärrohstoffen aufbereitet. Dort werden die Abfälle gereinigt und von jeglichen Fremdstoffen befreit, sodass diese zu Regranulat weiterverarbeitet werden können (siehe Kunststoffrecycling). Bei diesem Prozess wird etwa die Hälfte des Massenstroms in Form von Reststoffen abgetrennt. Die restlichen 0,05 Mio Mg (1 %) werden ohne weitere Behandlung beseitigt. Die einzelnen Ströme lassen sich in Abbildung 2 nachvollziehen:

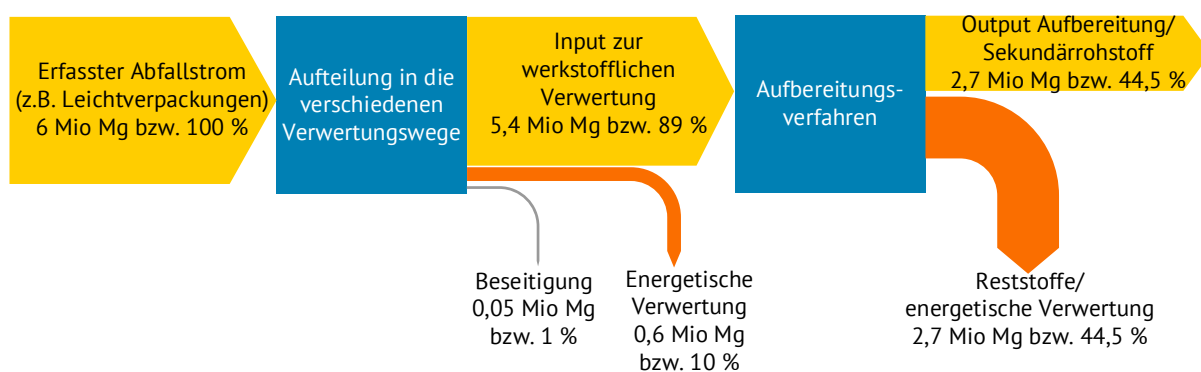


Abbildung 2: Stoffströme eines Recyclingprozesses von der Erfassung bis zum Sekundärrohstoff

Nach dem inputorientierten Modell (Formel 1) ergibt sich in diesem Beispiel eine recht hohe **Recyclingquote** von **89 %**. Das outputbasierte Modell kommt hingegen auf eine Recyclingquote von nur **44,5 %**.

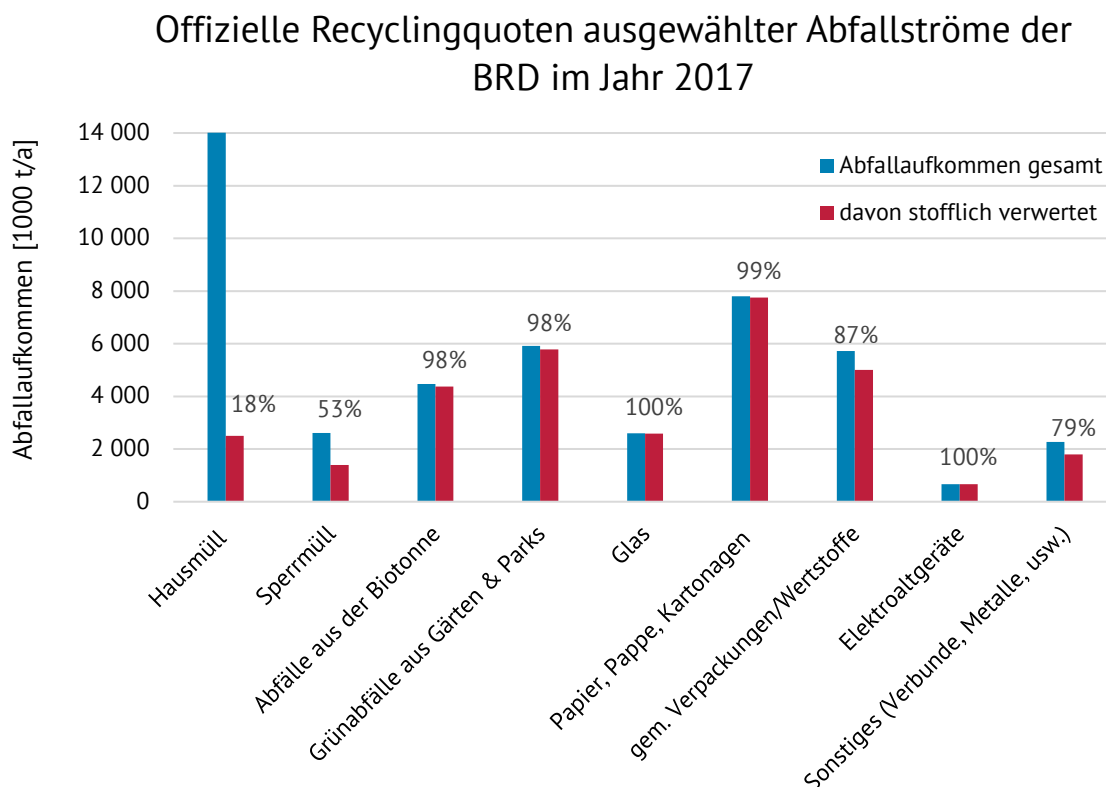
Es wird deutlich, dass das inputbasierte Modell in diesem Fall eine deutlich überhöhte Recyclingquote bewirkt. Es liegt nahe, dass nicht beide Modelle gleichwertig für ein und dieselbe Aussage stehen können. Wichtig ist daher, sich über die Aussagekraft der jeweils vorliegenden Recyclingquote bewusst zu sein. Das inputorientierte System zur Berechnung der Recyclingquote wird für die Analyse und Bewertung von ganzheitlichen Abfallwirtschaftssystemen verwendet und eignet sich insbesondere für großskalige Betrachtungen. Sie wird herangezogen, da die Datenerfassung recht unkompliziert vorgenommen

werden kann. Mit Hilfe dieser Kennzahl lässt sich identifizieren, welcher Anteil eines Abfallstromes der stofflichen Verwertung zugeführt wird, allerdings nicht welcher Anteil diese auch als verwertbarer Sekundärrohstoff verlässt. [4] Sie ist daher eher eine Kennzahl, die eine Bewertung der Aufteilung in die verschiedenen Verwertungswege zulässt. Die durch das neu eingeführte outputbasierte Berechnungsmodell bestimmte Recyclingquote ermöglicht hingegen eine Bewertung der Effektivität des Abfallsystems unter den Gesichtspunkten einer Kreislaufwirtschaft.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei dem Umgang mit Recyclingquoten äußerste Vorsicht geboten ist, da je nach Anwendungsgebiet und Berechnungsansatz, die Aussagekraft einer Quote stark variieren kann. Der kritische Fachmann bzw. die kritische Fachfrau sollte sich dieser Problematik stets bewusst sein.

1.3 Aktueller Stand und Ziele für das Recycling in Deutschland und Europa

Die Recyclingquoten für alle erfassten Abfallströme in Deutschland werden jährlich in der Abfallbilanz des Statistischen Bundesamtes veröffentlicht. Die Abfallmengen und die jeweiligen Anteile, die einer Recyclinganlage zugeführt worden sind, sind für einige ausgewählte Abfallgruppen aus den haushaltstypischen Abfällen in Abbildung 3 für das Jahr 2017 aufgetragen. [4]



Diese Zahlen erscheinen auf den ersten Blick sehr hoch. Werden zukünftig die Recyclingquoten nach einem outputbasierten Modell berechnet, wie es auch von der EU-Kommission in der Abfallrahmenrichtlinie (ARRL, 2018) gefordert wird, würden diese Zahlen etwas geringer ausfallen. Für die gemischten Verpackungen beispielsweise würde nach Schätzungen die Recyclingquote anstatt bei 87 % eher bei 20 - 50 % liegen. Für leicht zu verwertende Stoffe, wie z.B. Glas, würden jedoch die Zahlen kaum abweichen. [6]

Die EU-Kommission hat mit der Umsetzung der neuen ARRL höhere Recyclingquoten für Siedlungsabfälle beschlossen. Diese müssen in Zukunft am tatsächlich recycelten Material, d.h. am Output von Recyclinganlagen, bemessen werden. [5; 7] Demnach soll die Recyclingquote für Siedlungsabfälle im Jahr 2025 bei 55 %, in 2030 bei 60 % und in 2035 bei 65 % liegen. [7] Einen Überblick über die Recyclingquoten für Verpackungen nach der ebenfalls novellierten Richtlinie für Verpackungen und Verpackungsabfälle bietet Tabelle 1.

Tabelle 1: Künftige Recyclingquoten in der EU [8]

	Aktuelle EU-Verpackungsrichtlinie ¹	Künftige EU-Verpackungsrichtlinie ¹		Verpackungsgesetz Deutschland ²		Stoffliche Verwertung ¹
	2008 [%]	Bis 31.12.2025 [%]	Bis 31.12.2030 [%]	Ab 01.01.2019 [%]	Ab 01.01.2022 [%]	Deutschland 2015 [%]
Kunststoffe	22,5	50	55	58,5	63	49
Holz	15	25	30	-	-	26
Eisenhaltige Metalle	50	70	80	80	90	92
Aluminium	50	50	60	80	90	88
Glas	60	70	75	80	90	85
PPK	60	75	85	85	90	86
Getränkekartonverpackungen	-	-	-	75	80	-
Sonstige Verbundverpackungen	-	-	-	55	70	-

¹ bezogen auf alle Verpackungsabfälle

² bezogen auf Verpackungen privater Endverbraucher

Nach Einschätzung von Obermeier und Lehmann (2018) könnte es mit der neuen Berechnungsmethode für Deutschland schwer werden die für 2025 geforderten Quoten einzuhalten. Nach den angestellten Schätzungen verringere sich die alle Abfälle umfassende Recyclingquote von 67 % (bezogen auf das Jahr 2015) mit dem neuen Berechnungsmodell auf etwa 40 %. [9] Im Jahr 2020 sollen die Recyclingquoten das erste Mal nach der neuen Berechnungsmethode angegeben werden. [5] Es wird sich zeigen, welchen Einfluss diese Umstellung tatsächlich auf die Recyclingquoten haben wird.

Literatur

- [1] *Kreislaufwirtschaftsgesetz* vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 9 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist
- [2] DAS UMWELT-LEXIKON, o.J.. *Recycling* [online] verfügbar unter: <https://www.umweltdata-bank.de/cms/lexikon/44-lexikon-r/932-recycling.html> [zuletzt abgerufen am 22. Februar 2018]
- [3] DERGRÜNEPUNKT, 2017. *Recycling-Tipps* [online] verfügbar unter: <https://www.gruenerpunkt.de/de/muelltrennung-muell-trennen.html> [zuletzt abgerufen am 22. Februar 2018]
- [4] Statistisches Bundesamt: Abfallbilanz 2017. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/_inhalt.html#sprg236394 [Stand: 25.05.20]
- [5] Richtlinie (EU) 2018/851 des europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle vom 30. Mai 2018 verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN#d1e2069-109-1> [zuletzt abgerufen am 22. Februar 2018]
- [6] Bilitewski, B. und Härdtle, G.: Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre. 4., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin: Springer, 2013 - ISBN: 978-3-540-79531-5.
- [7] Höhere Recyclingquoten für EU - BMU-Pressemitteilung. URL: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/hoehere-recyclingquoten-fuer-eu/> [Stand: 25.05.2020]
- [8] Umweltbundesamt: Neuer Umgang mit Abfall in Europa. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/neuer-umgang-abfall-in-europa> [Stand: 25.05.2020]
- [9] Obermeier, T. und Lehmann, S.: Recycling-Quotenzauber – Schaffen wir in Deutschland die europäischen Recyclingziele? In: Thiel, S. et al. (Hrsg.): Energie aus Abfall. Nietwerder: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 2018, S. 60–77

2 Glasrecycling

2.1 Bedeutung

Der wichtigste Rohstoff für neue Glasverpackungen ist **Altglas**. In Deutschland ist das Glasrecycling der wichtigste Lieferant für die Neuproduktion von Glas, da Glas den Vorteil hat beliebig oft recycelt werden zu können. ^[1]

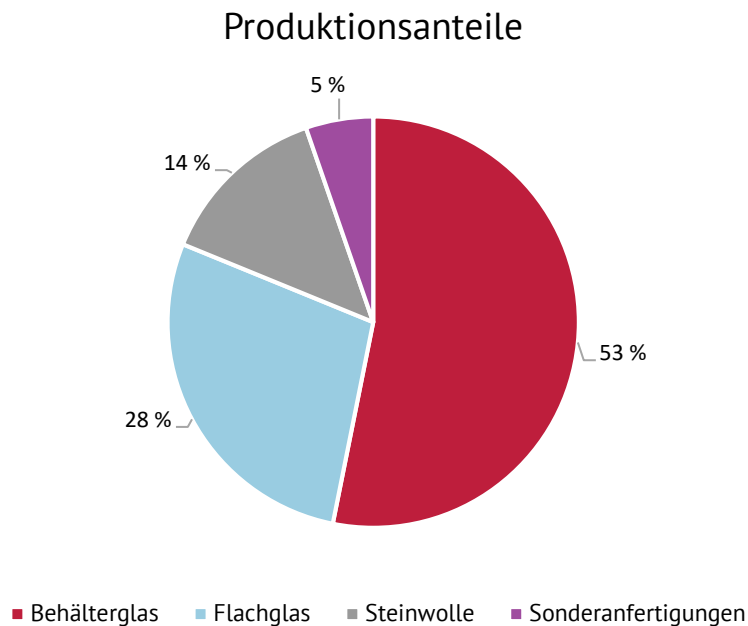


Abbildung 4: Glasproduktion (7,5 Mg) im Jahr 2017 und die Anteile der einzelnen Glasbranchen ^[2]

Im Durchschnitt bestehen heute Behältergläser wie Glasflaschen und Konservengläser zu rund 60 % aus Recyclingglas. Die **Scherbeneinsatzquoten** variieren markt- und produktionsbedingt zwischen 40 % bei Braunglas und etwas über 90 % bei Grünglas. ^[3] Da recyceltes Glas bei niedrigeren Temperaturen als die zur Glasherstellung erforderlichen Rohstoffe: Quarzsand, Soda und Kalk, schmilzt, sinkt der Energiebedarf, wenn Glasscherben zugegeben werden. ^[4] So werden je 10 % Altglasverwendung 3 % an Energie und zusätzlich 3,6 % CO₂-Emissionen im Vergleich zu der Produktion aus den Rohstoffen eingespart. ^[5] Durch die geringere Hitze können bis zu 50 % Energieersparnis erreicht werden. ^[6] Das Einschmelzen von Altglas schützt dadurch das Klima und spart Rohstoffe ein. ^[4]

2.2 Sammlung

Die Voraussetzung für das nachhaltige Behälterglasrecycling ist, dass das Glas vom Bürger korrekt entsorgt wird, damit es anschließend entsprechend aufbereitet werden kann. Dafür stehen in Deutschland bundesweit rund 300.000 Glascontainer zur Verfügung. ^[1] Durch die entsprechenden Erfassungsstrukturen und die effizienten technischen Verfahren können in der Praxis **Recyclingquoten** im Bereich von 90 % erreicht werden. Aufgrund des hohen ökologischen und ökonomischen Nutzens des Glasrecyclings gehört dieses zu den festen Säulen der modernen Kreislaufwirtschaft. ^[3]

In den **Sammelcontainern** darf nur Behälterglas gesammelt werden. Das hängt damit zusammen, dass Spezialgläser den Produktionsprozess erheblich stören. Feuerfeste Gläser, wie zum Beispiel die Glaskannen aus Kaffeemaschinen, haben einen erhöhten Schmelzpunkt gegenüber den herkömmlichen Behältergläsern wodurch bereits das Einschmelzen der aufbereiteten Scherben nicht mehr funktioniert. Ein weiteres Beispiel für Spezialgläser ist das sogenannte Bleikristallglas dies kann zu Schwermetallanreicherungen in den neu produzierten Verpackungen führen und darf daher nicht in Glascontainern entsorgt werden. ^[2] Weiterhin verursachen Fehlwürfe von beispielsweise Keramik, Steinen, Porzellan oder Steingut kleine Einschlüsse im neuen Glas. ^[1] Diese Fehlstellen im neu produzierten Glas würden zu Spannungen führen, wodurch das Glas springen könnte. ^[8]

Darum gehören Spezialgläser, Scheibenglas sowie andere Inertmaterialien wie Keramik, Porzellan und Steingut nicht in die Behälterglassammelcontainer, sondern werden auf Reststoffhöfen gesammelt oder über den Haus- bzw. Restmüll entsorgt. Für eine hohe Qualität der Scherben und folglich des neu produzierten Glases bedarf es also einer gründlichen Trennung des gebrauchten Behälterglases. ^[1]



Abbildung 5: Altglascontainer für Braun-, Grün- und Weißglas ^[7]

Zum richtigen Recycling von Glas ist außerdem die Farbsortierung ausschlaggebend. Die meisten Glascontainer sind mit Sammelbehältern für weißes, grünes und braunes Behälterglas ausgestattet. Diese Trennung ist wichtig, da sich aus bunten, gemischten Glascherben nur schwer wieder eine bestimmte Glasfarbe herstellen lässt. Blaues und rotes Altglas wird übrigens dem Grünglas zugeordnet, da Grünglas den größten Anteil an Fremdfarben aufnehmen kann. ^[1]

2.3 Sortierung

Die gesammelten Glasabfälle werden in speziellen Glasaufbereitungsanlagen zunächst auf Farbreinheit, grobe Verunreinigungen und Glasbruch kontrolliert. Bei der Lagerung des Rohglases wird zwischen den Glasfarben getrennt und innerhalb dieser die unterschiedlichen Eingangsqualitäten berücksichtigt. Das farbgetrennt aufgegebene Rohglas wird mit einem Stangensieb in eine Grob- und Mittel-/Feinfraktion klassiert. Weiterhin findet eine erste Abtrennung von losen Eisen-(FE-)Metallen durch einen **Magnetscheider** statt. Dieser Aufbereitungsschritt kann entweder noch vor der Klassierung durch das Sieb oder auch erst danach für die jeweiligen Fraktionen vorgenommen werden. Während der Förderung werden an allen vertikalen Übergabestellen der Anlage mithilfe von **Absaugungen** lose Leichtstoffe wie beispielsweise Etiketten aus dem Glasstrom aussortiert. ^[3]

Die grobe Fraktion wird **manuell** vorsortiert. Bei diesem Schritt werden vor allem große Keramik- oder Porzellanteile, sonstige Abfälle wie Kunststofftüten oder -flaschen sowie große fehlfarbige Glasteile aussortiert. Die sortierte Grobfraktion wird anschließend mithilfe eines Walzenbrechers definiert gebrochen. Dadurch lösen sich die Verschlüsse von den Flaschenöffnungen. Danach wird der gesamte Glasstrom über weitere Siebe gefördert, um die Verschlüsse und Kapseln abzutrennen. Mithilfe von **Magnet-** und **Wirbelstromscheidern** können die verbliebenen FE- und NE-Metalle wie Verschlüsse, Sprengringe oder Aluminiumfolien abgeschieden werden. ^[3]

Als nächstes folgt der Schritt der **sensorbasierten Sortierung**. Über mehrstufige Prozesse mit optischen Sortiermaschinen werden sowohl Keramik, Stein und Porzellan als auch die Fehlfarben abgeschieden. Der gesamte Glasstrom wird über hochkomplexe Kamerasysteme detektiert und die auszusortierenden Scherben werden mittels Luftdüsen ausgeschleust. ^[3] Außerdem besteht die äußerst aufwendige Möglichkeit, hitzebeständiges Glas und Bleikristall mittels UV- oder Röntgenfluoreszenztechnik auszusortieren, um so qualitativ sehr reine Glasscherben zu separieren. ^[3] Im letzten Verfahrensschritt werden die Glasscherben in Glashütten eingeschmolzen und anschließend zu neuen Behältnissen verarbeitet. ^[9] Ein Gesamtüberblick über die Sortierung von Altglas ist mittels Verfahrensfliesschema in Abbildung 6 zusammengefasst.

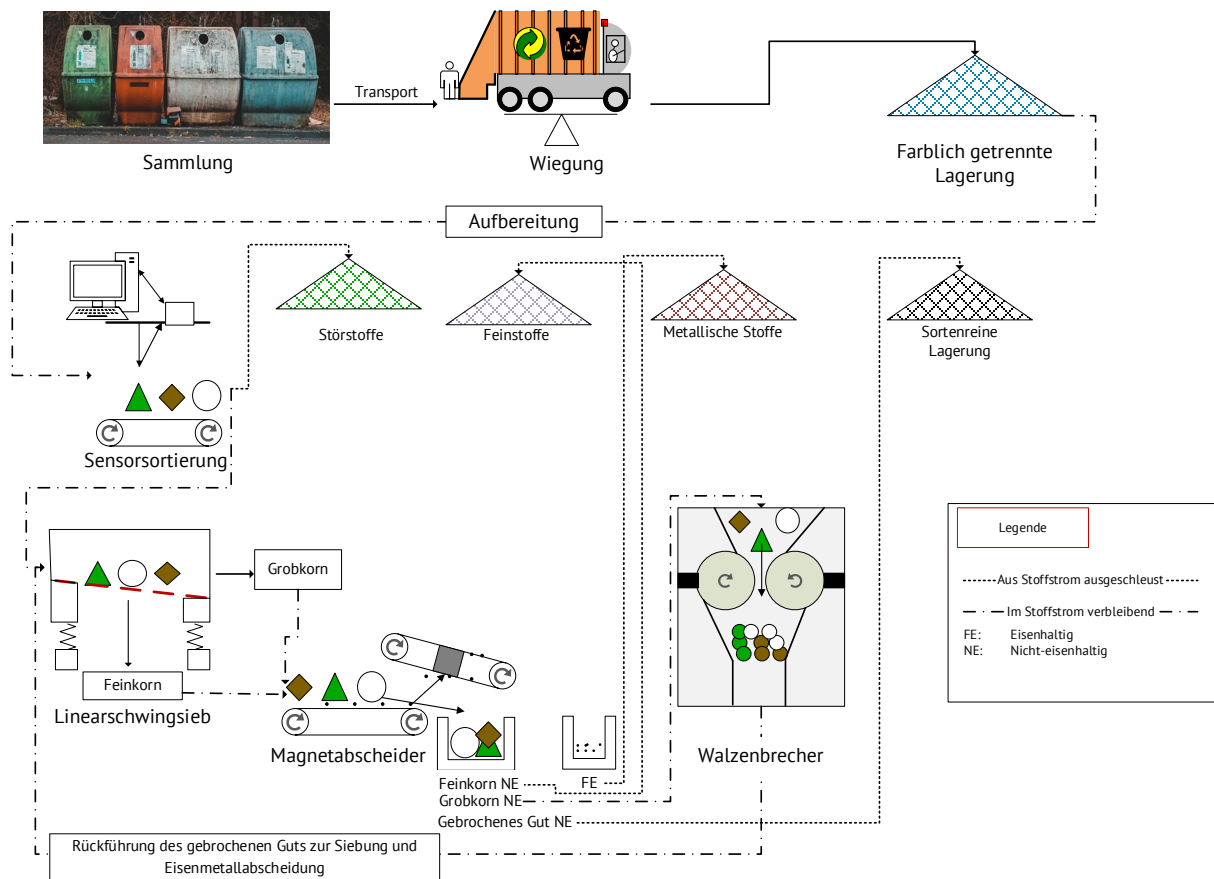


Abbildung 6: Verfahrensfließschema der Altglassortierung

2.4 Verwertung

Durch die Einschmelzung von vor allem Quarzsand, Soda und Kalkstein wird durch Aushärten bei Unterdrückung der Kristallisation Glas hergestellt. Durch die Zugabe von Glasproduktionsabfällen des Herstellungsbetriebes (10 % bis 20 %) und den Altglasscherben (20 % bis 90 %), werden Rohstoffe und Energie eingespart, sowie verfahrenstechnische Vorteile gewonnen. Durch die Zugabe weitere Stoffe können besondere Eigenschaften wie Feuerfestigkeit gewonnen werden. Altglas mit solchen Eigenschaften ist nur mit sehr hohem Aufwand und nicht mit dem gewöhnlichen Altglas möglich. Die zuvor aufbereiteten Scherben bewirken, dass bei der Schmelze, nach der Bildung von Silikat, die Schmelze der Silica und des Restquarzes beschleunigt werden. Daraus resultiert eine kürzere Zeit des Einschmelzens und somit ein um 0,25 % bis 0,3 % geringerer Energiebedarf. Beim Läutern und Homogenisieren können weitere Zusatzstoffe hinzugegeben werden. Läutern bedeutet die Resorption von Gasblasen bei über 1200 °C durch die Zugabe von bspw. Natriumsulfat. In der Glaswanne kühlt das Glas auf Verarbeitungstemperatur ab. Aufgrund der geringeren Qualitätsansprüche werden aus Altglas vor allem Behälter und weniger Flachglas produziert. ^[10]

2.5 Exkurs: Glasrecycling aus Photovoltaikanlagen

Eine weitere, neuere Herausforderung stellt das Recycling von **Glas aus Photovoltaikanlagen** da. Für siliziumbasierte Photovoltaikanlagen gibt es zum einen die Möglichkeit durch Schreddern, Aluminiumabscheidung, Abtrennung der Folien durch Hammermühlen und Hand-Klaubung, sowie NE- und FE-Metallabscheidung und weitere optische Verfahren das Material so weit zu reinigen, dass 80 % des Glases zu Glaswolle verarbeitet werden kann. Um aus dem Glas der Solarzellen hingegen neues Behälterglas oder Flachglas aufzuarbeiten, bedarf es zunächst einer händischen Trennung von Glas, Metallen und der Solarzelle. Von dem so separierten Glas müssen anschließend mittels thermischer Verfahren die Kunststoffe abgetrennt werden, dies geschieht durch eine Verbrennung bei 600 °C. Die Wafer der Solarzelle können erneut genutzt oder zu Rohsilicium eingeschmolzen werden, allerdings in beiden Fällen mit deutlichen Qualitätseinbußen. Bei Dünnschichtzellen bietet sich zusätzlich zu den mechanischen und thermischen Verfahren nasschemische Verfahren an, mit dem Glas zur hochwertigen Flachglasherstellung wiedergewonnen werden kann. ^[11]

Literatur

- [1] DERGRÜNEPUNKT, 2017. *Glasrecycling* [online] verfügbar unter: <<https://www.gruenerpunkt.de/de/glasrecycling-glas-entsorgen.html>> [zuletzt abgerufen am 22. Februar 2018]
- [2] Umweltbundesamt [online] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/glas-altglas#textpart-2> [zuletzt aufgerufen am 15.06.2019 um 11:41 Uhr]
- [3] P. Kurth, A. Oexle und M. Faulstich, 2018. *Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft*. 4. Aufl. Springer Vieweg
- [4] Umweltbundesamt, 2017. *Glas und Altglas* [online] verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/glas-altglas#textpart-2> [zuletzt abgerufen am 22. Februar 2018]
- [5] Glas News, 2018. Glasverpackungen sind für neues Verpackungsgesetz gewappnet, 10.2018
- [6] NDR DOKU, 2017. *Recycling: Wie aus Scherben Flaschen werden; Wie geht das?*; [YouTube-Video] verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=X8NVrA5lHx8> [zuletzt abgerufen am 07.05.2018]
- [7] Reinhard Weikert / abfallbild.de [zuletzt abgerufen am 20.05.2020]
- [8] Recyclingportal.eu, 2010. *Altglas: Technik gegen störende Splitter* [online] verfügbar unter: <<http://www.recyclingportal.eu/artikel/23565.shtml>> [zuletzt abgerufen am 07.05.2018]
- [9] Duale Systeme, o.J. *Sortier- und Recyclingverfahren in den Anlagen* [online] verfügbar unter: <https://www.muelltrennung-wirkt.de/> [zuletzt abgerufen am 22. Februar 2018]
- [10] Recyclingtechnik 2011, Martens, Hans; Spektrum, Heidelberg
- [11] http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2013_rur/2013_RuR_545_558_Kernbaum.pdf [zuletzt aufgerufen am 15.06.2019 um 12:58]

3 Recycling von Papier

3.1 Menge und Qualität

Papierrecycling gibt es bereits, seit es Papier gibt. Heute ist Altpapier mit einem Anteil von rund 67 % der wichtigste Rohstoff für die deutsche Papierindustrie. ^[1] 2017 wurden 22,9 Millionen Mg PPK (Papier Pappe Kartonage) mit einem Einsatz von 17,1 Millionen Mg Altpapier produziert. ^[2] Die Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Produktion von Papier und dem Einsatz von Altpapier. Zusätzlich ist die Altpapierverwertungsquote aufgetragen, welche sich aus Altpapierverbrauch geteilt durch den Papierverbrauch berechnet.

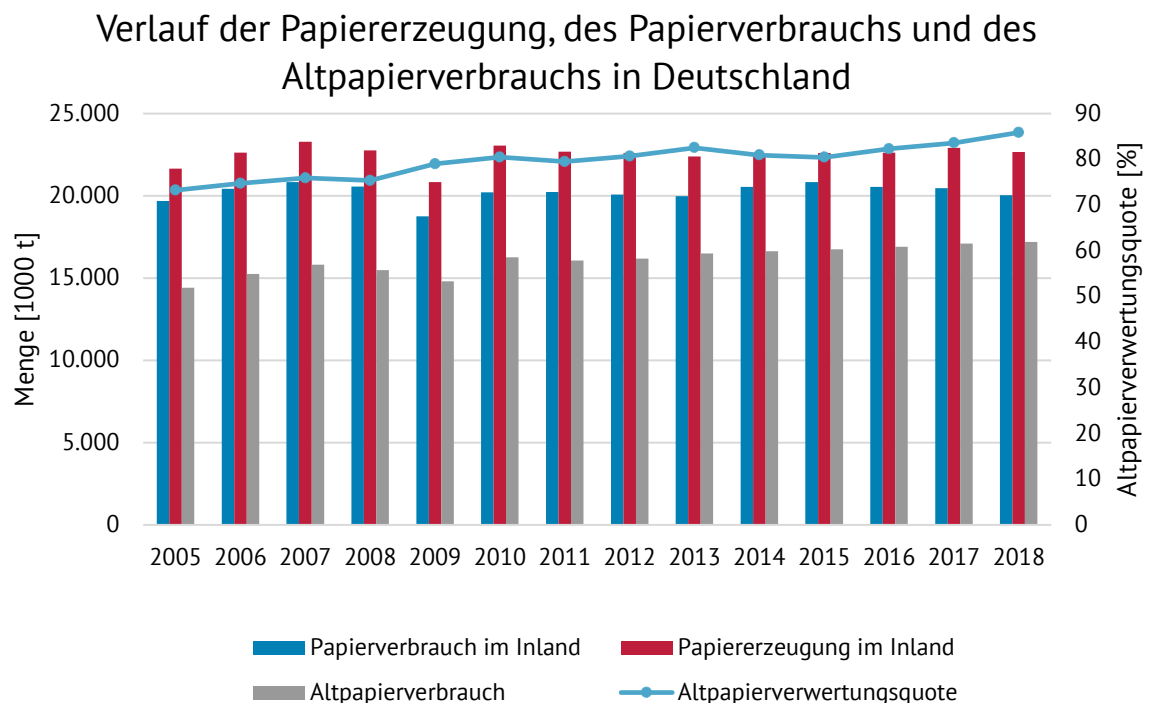


Abbildung 7: Zeitlicher Überblick über Papier-Erzeugung, -Verbrauch und Altpapiereinsatz in Deutschland ^[2]

Seit 1990 haben sich die Rückführung und die Verwertung von Altpapier von rund 40 % auf 86 % im Jahr 2018 stark gesteigert. Während die Produktion und der Verbrauch von Papier seit 2005 kaum Wachstum verzeichnen, ist bei der Verwendung von Altpapier ein schwacher, aber steter Anstieg zu beobachten. Dennoch ist eine Stagnation der Recyclingquote aufgrund der praktischen Grenzen des Systems (**siehe Verwertung**) in den nächsten Jahren zu erwarten.

Die Herstellung und Verwendung von Recyclingpapier haben dabei viele ökologische Vorteile. Bei der Aufbereitung von Altpapier wird in der Regel entscheidend weniger Energie

und Wasser verbraucht als für die Herstellung von Zellstoff. ^[3] Für die Gewinnung von Zellstoff wird überwiegend Holz wie Fichte, Kiefer oder Buche aber auch anderes zellulosehaltiges Material, beispielsweise Stroh oder Bastfasern, als Rohmaterial verwendet. ^[4] Jeder Recyclingkreislauf kann als eine Verlängerung des Lebenszyklus von Frischfaserpapier gesehen werden, wodurch der Verbrauch von Primärrohstoffen verringert wird und im Idealfall Transportwege verkürzt werden. ^[3] Das Recycling von Papier ist jedoch begrenzt: als Daumenregel wird angenommen, dass die Fasern des Altpapiers bis zu siebenmal recycelt werden können. ^[5]

3.2 Sammlung

Wie bei jedem Recycling ist auch beim Papierrecycling eine besonders sorgfältige und sortenreine Erfassung des Altpapiers wichtig. In Deutschland und vielen anderen europäischen Ländern wird Altpapier systematisch und sehr sorgfältig erfasst. Die Sammlung erfolgt dabei sowohl an privaten als auch an industriellen und gewerblichen Anfallstellen und garantiert einen hohen Wert des Rohstoffs für das Recycling und damit letztendlich auch ein hochwertiges Endprodukt. In die Papiertonne und ins Altpapier gehören daher ausschließlich Papier, Pappen und Kartonagen (siehe Abbildung 8). ^[1] Um die Fehlwürfe



Abbildung 8: Einblick in einen mit verschiedenen Qualitäten Altpapier befüllten Papiercontainer ^[6]

bei im öffentlichen Raum aufgestellten Papiersammelcontainern möglichst gering zu halten, wird der Einwurf hier meist schlitzförmig gewählt.

Von den Sammelcontainern aus werden die bunt gemischten Altpapiere zunächst in eine Papiersortieranlage transportiert, wo sie sortiert und zu Ballen gepresst werden. Durch einen Luftstrom werden leichtere Papiere von schweren Sorten und Störstoffen getrennt. Entsprechend der EN 643 Liste der europäischen Standardsorten wird Altpapier in mehrere Qualitätsgruppen unterschieden. Die in Tabelle 2 aufgeführten Sorten haben eine von Gruppe 1 zu Gruppe 4 aufsteigende Qualität für die Verwertung. Der Gruppe 1 gehören u.a. einfaches gemischtes Altpapier und Karton, sowie Illustrierte an. Zu der Gruppe 2 zählen u.a. Telefonbücher und überwiegend unverkaufte Zeitungen und Illustrierte, sowie weiße Späne. Weitgehend holzfreie, weiße Produkte wie Späne von Bindereien oder Akten, sind der Gruppe 3 zuzuordnen, während u.a. kräftige Pappen und Kraftpapier der Gruppe 4 zugehören. In der Gruppe 5 der Sondersorten finden sich Produkte wie unbenutzter Getränkekarton, Mischungen der anderen Gruppen sowie Etiketten und unbenutztes Pappgeschirr.

Tabelle 2: Altpapiersorten nach EN 643

Altpapiersorten nach EN 643				
Gruppe 1 Untere Sorten	Gruppe 2 Mittlere Sorten	Gruppe 3 Bessere Sorten	Gruppe 4 Krafthaltige Sorten	Gruppe 5 Sondersorten
Mischungen, Graukarton, Verpackungen, Wellpappe, Illustrierte	Zeitungen, Büropapier, etc. bunt, kleber- und holzfrei	Gemischte Späne, vorrangig weiße Produkte	Papier, Pappe	z.B. neue Getränkekartons, Mischungen anderer Gruppen, Etiketten neues Pappgeschirr

Die so erzeugten sortenreinen Ballen Altpapier werden anschließend in die Papierfabrik transportiert. Eine Übersicht über die Abläufe, die das gesammelte Altpapier vor der Verwertung durchläuft, ist in einem Verfahrensschema in Abbildung 9 dargestellt.

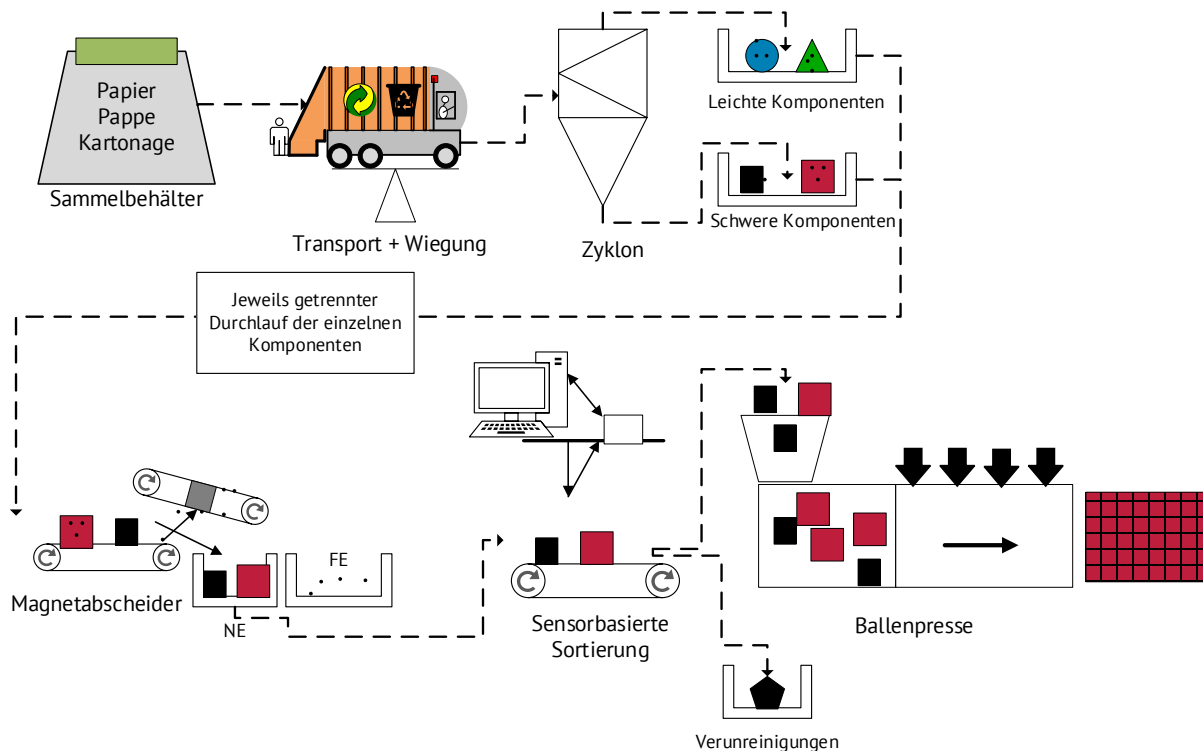


Abbildung 9: Verfahrensschema der Altpapiersammlung und -aufbereitung

3.3 Verwertung

In der Papierfabrik wird das Altpapier in sehr großen Mixern, den sogenannten Pulpfern, in Wasser eingeweicht und verrührt. Simultan erfolgt die Abscheidung von Fremdstoffen. Durch spezielle Verfahren in der sogenannten Deinking-Anlage wird der Altpapierstoff zudem von Druckfarben befreit. ^[5] Danach erfolgt die Dispergierung, die Zerkleinerung verbliebener Schmutzpunkte unter die Sichtbarkeitsgrenze. Anschließend werden die entstandenen Fasern über ein Siebssystem nach Größe sortiert. Der fertige Altpapierhalbstoff wird mit anderen Faserstoffen, Füll- und Hilfsstoffen gemischt, gelangt in die Mischbütte und anschließend in den neuen Produktionsprozess. ^[3]

Das Recycling von Papier hat Grenzen. Auch bei einem gut ausgebauten Sammelsystem in Kombination mit einer hohen Sammeldisziplin lässt sich die Sammelquote kaum über 80 % steigern. Gründe hierfür sind, dass Altpapier auch außerhalb der typischen Verwendung beispielsweise als Isolationsmaterial eingesetzt werden kann. ^[3] Weiterhin werden

Hygienepapiere in der Regel nur einmal verwendet und anschließend dem Recyclingkreislauf praktisch entzogen, weil sie über die Kanalisation entsorgt werden.^[7] Ein weiterer Punkt ist, dass sich im Aufbereitungsprozess nicht 100 % der Fasern zurückgewinnen lassen. Es bleibt immer ein Anteil Reststoffe, Mineralien (z.B. Füllstoffe) und unbrauchbarer, kurzer Fasern. Dieser Anteil kann bis zu 25 % ausmachen und kann in modernen Recyclingwerken als Düngemittel, Baumaterial oder zur Energieerzeugung verwertet werden. Der wichtigste Aspekt ist, dass Papier nicht endlos recycelt werden kann. Im Durchschnitt wird von 4 bis 7 Zyklen ausgegangen. Jeder Durchlauf in der Altpapieraufbereitung mindert zwangsläufig die Qualität des Fasermaterials, die Fasern werden kürzer und ihre Festigkeit lässt nach. Ausgehend von diesen drei Gründen müssen laufend frische Fasern zugefügt werden. Ohne Frischfasern gibt es demnach kein Recyclingpapier.^[3]

3.4 Problemfeld UV-Druckfarben

Ein weiteres Problem bei dem Recycling von Altpapier sind sogenannte UV-Druckfarben, die unter UV-Lichteinwirkung in Sekunden zu Polymerstrukturen aushärten. Angewendet für viele Produkte wie Bücher und Zeitschriften, zeichnen sich UV-Druckfarben u.a. durch schnelles Aushärten, geringeren Energieverbrauch, mechanische und chemische Widerstandsfähigkeit, sowie Prozessvorteile, wie weniger Emissionen am Arbeitsplatz während des Druckens aus.^[8] UV-Druckfarben verschlechtern jedoch das Ergebnis des Deinkens, weil sie sich nicht wie herkömmliche Druckfarben abtrennen lassen. Beim Deinken, also dem lösen der Farbstoffe mittels Flotation, können diese Polymere nicht entfernt werden.^[9]

Literatur

- [1] DerGrünePunkt, 2017. *Altpapier* [online] verfügbar unter: <https://www.gruener-punkt.de/de/altpapier-entsorgen-papierrecycling.html> [zuletzt abgerufen am 22. Februar 2018]
- [2] Umweltbundesamt [online] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altpapier#textpart-1> [zuletzt abgerufen am 11.06.2019]
- [3] Papyrus, o.J.. *Papierrecycling* [online] verfügbar unter: <https://www.papyrus.com/deCH/services/9800025/Papierrecycling/view.htm> [zuletzt abgerufen am 22. Februar 2018]
- [4] Wissen.de, o.J.. *Zellstoff* [online] verfügbar unter: <https://www.wissen.de/lexikon/zellstoff> [zuletzt abgerufen am 22. März 2018]
- [5] Duale Systeme, o.J.. *Sortier- und Recyclingverfahren in den Anlagen* [online] verfügbar unter: <http://www.recycling-fuer-deutschland.de/web/recycling/dl=verfahren> [zuletzt abgerufen am 22. Februar 2018]
- [6] Harald Heinritz / abfallbild.de [zuletzt abgerufen am 25.05.2020]
- [7] Umweltbundesamt, 2017. *Hygienepapiere* [online] verfügbar unter: <https://eu-recycling.com/Archive/20065> [zuletzt abgerufen am 11.06.2019]
- [8] <https://www.azdd.de/druckverfahren/vorteile-led-uv/index.htm> [zuletzt aufgerufen am 20.06.2019, 22:11Uhr]
- [9] Recycling and Deinking of Recoveed Paper, Baijpai, P., 2013, Elsevier.

4 Recycling von Eisenmetallen

4.1 Aufkommen

Bei der Aufbereitung von metallhaltigen Abfällen wird häufig zwischen Eisen(haltigen) Metallen (FE-Metalle) und Nichteisen-Metallen (NE-Metallen) unterschieden. FE-Metalle bezeichnen hierbei Eisen und dessen Legierungen mit Mangan (Mn), Silicium (Si), Chrom (Cr), Nickel (Ni), Wolfram (W), Molybdän (Mo) und Vanadium (V), zu denen auch Stahl gehört.^[1] Eisen ist eines der am häufigsten vorkommenden Elemente in der Erdkruste. Über eine Milliarde Mg 40-%iges Eisenerz werden jährlich gefördert, hauptsächlich in Brasilien, Australien, Russland und Indien. Gleichzeitig wird weltweit für mehr als 40 % der Stahlproduktion Stahlschrott eingesetzt.^[2]

Eisenmetall- und eisenhaltige Metallabfälle machten 2016 mit 10,36 Millionen Mg 2,5 % der Gesamtabfälle in Deutschland aus.^[3] Eisenmetalle stammen überwiegend aus der Eisen- und Stahlindustrie, aus der mechanischen Behandlung von Metallen, Altfahrzeugen, Bau und Abbruch von Gebäuden und nur nachrangig aus Verbrennungs- und Pyrolyseprozessen, sowie der Aufbereitung von Siedlungsabfällen.

Pro Tonne Hausmüll fallen ca. 28 kg Eisen- und Nichteisenmetalle an.^[4] Eisenschrott im Haushaltsmüll besteht vor allem aus verzinkten Blechdosen die durch Papier, Kunststoffe, andere Verpackungsmaterialien, sowie Speisereste verunreinigt sind.

4.2 Sammlung und Sortierung

Eisenmetalle aus Siedlungsabfall werden vornehmlich in Reststoffhöfen gesammelt und sortiert oder als Haus- und Industriemüll gesammelt und dann entsprechend weiterverarbeitet.

Eisenhaltige Abfälle, Elektrogeräte usw. werden in der mechanischen Aufbereitung oder von einem Recyclingunternehmen zunächst zerkleinert, in grobe und leichte Fraktionen getrennt und anschließend von anderen Abfallfraktionen getrennt. Die Eliminierung der Eisenbestandteile erfolgt mit dem **Magnetabscheider**. Dieser trennt eisenhaltige Bestandteile über ein elektrisches oder permanentes Magnetfeld ab. Dies geschieht während des Transportes auf Fließbändern. Die Anordnung des Magnetabscheiders und die Vorbehandlung des Abfalls sind von entscheidender Bedeutung für das Trennergebnis. Eine ausreichende Vorzerkleinerung und Vereinzelung bspw. durch zwei unterschiedlich schnell laufende Förderbänder, soll bewirken, dass ferromagnetische Teile einzeln und

ohne Anhaftungen und damit ohne Störstoffanteile vorliegen und abgetrennt werden können. ^[4]

Aus **Rohschlacke** der MVA lassen sich zudem 100 bis 150 kg Eisenschrott pro Mg abtrennen. Die Metalle können durch die Verbrennungsprozesse in Sulfide, Oxide oder Salze überführt werden oder schmelzen zu metallischer Schliere. ^[4] Ca. 30 % des Eisens verbleibt jedoch in der Schlacke und ist stark verschmutzt, womit es nur einen geringen Nutzen für eine Weiterverwertung besitzt. ^[5]

4.3 Verwertung

Sortierte FE-Fraktionen werden in verschiedene Schrottkategorie unterschieden ^[6]:

- Neuschrott (aus der Produktion, muss nicht aufbereitet werden, kein Betonstahl oder leichter Stabstahl, frei von Begleitstoffen)
- Stahlspäne (nicht zu voluminös, frei von NE-Metallen, Zunder und Staub, sowie oxidierter Späne) (siehe Abbildung 10)
- Schredderschrott (< 200 mm große Stückelungen, trocken, frei von losem Gusseisen, frei von Müllverbrennungsschrott (Weißblech), frei von Cu, Sn, Pb, und Schutt)
- Leicht legierter Schrott mit hohem Anteil an Begleitelementen (möglichst wenig Baustoffanteile, frei von Cu, Sn, Pb, Schutt)
- Altschrott (Kein Karosseriestahl, kein Betonstahl, kein Cu, Sn, Pb)
- Schrott mit hohem Reststoffanteil (v.a. Maschinenanteile, frei von Cu, Sn, Pb, ohne Kugellagergehäuse und Bronze)
- Geschredderter Schrott aus der Müllverbrennung (aus Haushaltsmüll stammend, < 200 mm, frei von zu starker Nässe und Rost, nicht zu viel Cu, Sn, Pb und Schutt, Fe-Gehalt > 92 %)



Abbildung 10: Stahlspäne ^[7]

Im **Stahlwerk** wird der Stahlschrott oder der Stahlschrott mit Roheisen im Hochofen oder im Elektro-Stahlverfahren zu neuem Elektrostahl verarbeitet. Bei letzterem erzeugt ein Lichtbogen Temperaturen von 2000 °C, bei der auch hochlegierte Stähle schmelzen. Durch kontrollierte Sauerstoffzugabe und flammgasfreie Luft wird eine hohe Reinheit erzielt. ^[8]

Durch das Recycling von 3 Mg Elektroschrott kann so beispielsweise 1 Mg Eisen hergestellt werden, bzw. 2 Mg abbauwürdiges Erz ersetzt werden. ^[8]

Pro Tonne mit Stahlschrott substituierten Roheisens werden 1,5 Mg Erz und 0,5 Mg Brennstoffe weniger benötigt, weil der Schmelzpunkt des Schrotts niedriger liegt als der des Erzes. Die Energieeinsparung gegenüber Stahlproduktion aus Erz mit Steinkohle als Energielieferant beträgt ca. 7 Millionen Steinkohleinheiten. ^[9] Es werden 1,744 Mg CO₂/Mg Rohstahl aus dem Hochofen freigesetzt, während es beim Recycling im Elektrolichtbogenofen 0,395 Mg CO₂/Mg Rohstahl sind. So werden in Deutschland ca. 17 Millionen Mg CO₂ pro Jahr weniger emittiert, als wenn nur Erze verwendet würden. ^[10]

Stahlschrott machte 2017 44,4 % der Rohstahlproduktion in Deutschland aus. ^[10] Mit mehr als 19 Millionen Mg verbrauchten Stahlschrott ist Deutschland zweitwichtigstes europäisches Land im Stahlschrottverbrauch nach Italien mit ca. 21,6 Millionen Mg und vor Spanien mit ca. 11 Millionen Mg. ^[12] Weltweit wurden im selben Jahr 600 Millionen Mg Stahlschrott verbraucht und 1.690 Millionen Tonnen Stahl produziert. ^[13]

Literatur

- [1] Martens H., Goldmann D., 2016, Recyclingtechnik 2. Aufl., Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 107 f.
- [2] alba group,2019, alba.info.de [online] verfügbar unter <https://www.alba.info/service/glossar/detail/eisenhaltige-metalle-fe-metalle/> [zuletzt aufgerufen am 16.06.2019]
- [3] Statistisches Bundesamt, 2019. Abfallbilanz 2016. [PDF] Wiesbaden: statistisches Bundesamt Verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.html> [zuletzt aufgerufen am 23.06.2019]
- [4] Bilitewski B., Härdtle G., 2013, Abfallwirtschaft 4. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer-verlag
- [5] BUND 2010,Ressourcen: Abfallwirtschaftposition [PDF] BUND Verfügbar unter https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/potion/ressourcen_abfallwirtschaft_position.pdf [zuletzt aufgerufen am 10.06.2019]
- [6] Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. 2019, Europäische Stahlschrottsortenliste von 1995[PDF], Düsseldorf BDSV - Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e. V. [online] Verfügbar unter https://www.bdsv.org/fileadmin/service/gesetze_und_regelwerke/sortenliste_eu.pdf [zuletzt aufgerufen am 15.06.2019]
- [7] Harald Heinritz / abfallbild.de [zuletzt aufgerufen 25.05.2020]
- [8] Elektrorecycling GMBH, Innovatives Elektrorecycling(Präsentation) [PDF] 2012, Elektrorecycling GMBH. Verfügbar unter http://files.messe.de/001/media/02informationenfrbesucher/vortraege/2012_12/metropolitan_solutions/Innovatives-Electrorecycling.pdf [zuletzt aufgerufen am 10.06.2019]
- [9] BDSV - Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e. V., 2019, BDV.org Verfügbar unter <https://www.bdsv.org/derverband/> [zuletzt aufgerufen am 10.06.2019]

- [10] Fraunhofer-Institut, 2016 Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott [PDF] Oberhausen: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT [online] Verfügbar unter: <https://docplayer.org/25926580-Technische-oekonomische-oekologische-und-gesellschaftliche-faktoren-von-stahlschrott.html> [zuletzt aufgerufen am 23.06.2019]
- [11] BGR, 2018, Rohstoffsituation in Deutschland 2017 [PDF], Wirtschaftsvereinigung Stahl; BDSV; ICSG Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/259779/umfrage/recyclinganteil-bei-der-produktion-ausgewaehlter-metalle-in-deutschland/> [zuletzt aufgerufen am 09.06.2019]
- [12] EUROFER, 2018, World steel recycling in figures 2013 [PDF], Bureau of International Recycling Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/259507/umfrage/stahlschrottverbrauch-nach-laendern-europas/> [zuletzt aufgerufen am 09.06.2019]
- [13] Wirtschaftsvereinigung Stahl; World Steel Association; Bureau of International Recycling, 2018, World steel recycling in figures 2013 [PDF], Bureau of International Recycling Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/169315/umfrage/stahlproduktion-und-schrottverbrauch-weltweit/> [zuletzt aufgerufen am 09.06.2019]

5 Recycling von Nichteisenmetallen

5.1 Aufkommen und Sammlung

Nichteisenmetalle (NE-Metalle) sind Metalle wie beispielsweise Aluminium, Kupfer, Silber, Gold und Zink sowie Metall-Legierungen mit weniger als 50 Massenprozent Eisen hierzu zählen beispielsweise Bronze und Messing. ^[1] NE-Metalle sind für die Wirtschaft hochtechnisierter Industrieländer unverzichtbar und werden vielfältig genutzt. ^[2] Für die Recyclingwirtschaft werden die Erfassung und Aufbereitung von NE-Metall-Schrotten immer wichtiger, da die Stoffe am Weltmarkt stark nachgefragt sind und die Preise aufgrund der Rohstoffverknappung in den letzten Jahren stark angestiegen sind. ^[3]

2017 wurden in Deutschland 2.634.000 Mg NE-Metalle und Legierungen hergestellt. Der Anteil von Sekundärrohstoffen in Deutschland hat sich von 57 % in 2009 auf 50 % in 2016 verringert. Im gleichen Zeitraum hat sich dabei jedoch die Produktion in Deutschland um 22,97 % erhöht. ^[4] Der geringere Einsatz von Sekundärrohstoffen kann auch durch die aufwendige Aufbereitung begründet werden, denn große Anteile an Legierungselementen erschweren zunehmend die Recyclingfähigkeit von NE-Metallen. Eine Verwertung ist abhängig von Legierungsanteilen und dem damit verbundenen Aufwand in der Aufbereitung, sowie den nachfragebedingten Preisen für NE-Metalle.

NE-Metalle werden vorwiegend in der Elektronik- und Elektrotechnik, dem Maschinen- und Fahrzeugbau sowie im Bausektor eingesetzt. Die NE-Metallbranche zählt weltweit zu den energie- und rohstoffintensivsten Branchen. Zusätzlich werden bei der Produktion von NE-Metallen aus Erzen starke negative Umweltauswirkungen während der gesamten Wertschöpfungskette verursacht. Bei der Produktion und Verarbeitung aus Rohstoffen entsteht ein höherer Wasser-, Flächen- und Energieverbrauch gegenüber der Produktion und Verarbeitung aus Sekundärrohstoffen. Dies macht ein Recycling von NE-Metallen erstrebenswert. ^[2]

Gesammelt werden NE-Metalle und NE-metallhaltige Abfälle, wie FE-Metalle auch, auf Reststoffhöfen, in Müllbehandlungsanlagen und Schredderanlagen für Metallabfälle, sowie bei Händlern, die nach ElektroG zur Rücknahme von Altgeräten verpflichtet sind.

5.2 Verwertung

Um die NE-Metalle wiederzugewinnen, werden zunächst Aufbereitungsschritte analog zum FE-Metall-Recycling vorgeschaltet. In der Regel wird nach der FE-Metallabscheidung über Magnetabscheider ein **Wirbelstromabscheider** nachgeschaltet, um NE-Metalle auszusortieren. Ein schnellrotierendes Permanentmagnetsystem am Ende eines Förderbandes induziert gemäß der **Lenz'schen Regel** in den NE-Metallen einen Strom. Als mit Wirbelströmen durchflossene Leiter bilden diese wiederum ein Magnetfeld aus, das dem des Abscheiders entgegenwirkt. Dadurch werden die NE-Metallteilchen abgelenkt. In Abhängigkeit ihrer Leitfähigkeit fliegen sie unterschiedlich weit in die jeweiligen Sammelcontainer. Wie auch bei anderen Abscheidern müssen die Teilchen möglichst vereinzelt auf dem Förderband liegen, damit die Separation gelingt. ^[5]

Im Prinzip lassen sich Nichteisenmetalle beliebig oft wieder einschmelzen und raffinieren, ohne dass die Qualität der Metalle beeinträchtigt wird. Das Recycling von Legierungen zum reinen Metall erfordert hingegen einen vergleichsweise hohen Reinigungsaufwand. ^[2] Der „perfekte“ Recyclingkreislauf von NE-Metallen scheitert in der Praxis häufig an Legierungsbestandteilen, die sich beim Wiedereinschmelzen nicht wieder abtrennen lassen. Dadurch haben die erzeugten Sekundärmetalle eine in Teilen unbestimmte Zusammensetzung und dementsprechend undefinierte Eigenschaften. ^[6] Auch beim Recycling von Nichteisenmetallen spielt die sortenreine Sortierung daher eine wichtige Rolle. Vor allem bei Aluminium muss darauf geachtet werden, um ein Downcycling, also die Wertminderung infolge des Recyclings, des Produktes zu verhindern. ^[2]

Die Erzeugung von NE-Metallen aus sekundären Rohstoffen (also recycelten NE-Metallen) ist in der Regel mit einem wesentlich geringeren Energieverbrauch (in KEA gemessen) in der gesamten Verwertungskette (Aufbereitung und Verarbeitung) verbunden als die Verwendung von Primärrohstoffen. ^[2] Die produktbezogenen Rücklaufquoten bei Nichteisenmetallen liegen zwischen 80 und 100 %, die Energieeinsparung kann bis zu 95 % betragen. Dies führt zu einer hohen Wertschöpfung der sekundären Rohstoffe. ^[7]

Bei der Aufbereitung fallen zudem unter anderem Schlacken, Krätzen, Schlämme und Filterstäube als Abfälle an. ^[2] Detaillierte Informationen zu den Emissionen lassen sich beispielsweise bei der ProBas Datenbank des Umweltbundesamtes finden. ^[8]

Literatur

- [1] Lernort-Mint.de, o.J.. *Einteilung Eisen- und Nichteisenmetalle* [online] verfügbar unter: http://www.lernort-mint.de/Werkstoffe/eisen_nichteisenwerkstoffe.html [zuletzt abgerufen am 19.04.2018]
- [2] Umweltbundesamt, 2013. *Nichteisenmetallindustrie* [online] verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industriebrauchen/herstellung-verarbeitung-von-metallen/nichteisenmetallindustrie#text-part-3> [zuletzt abgerufen am 19.04.2018]
- [3] Alba Group, o.J.. *Nichteisen-Metalle (NE-Metalle)* [online] verfügbar unter: <https://www.alba.info/unternehmen/service/glossar/nichteisen-metalle-ne-metalle.html> [zuletzt abgerufen am 19.04.2018]
- [4] Breitkopf, A., 2018, Dossier zur Ne-metallindustrie in Deutschland [online] statista verfügbar unter: <https://de.statista.com/themen/1359/ne-metallindustrie/> [zuletzt abgerufen am 16.06.2019]
- [5] Steinert,2019, steinertglobal.com [online] verfügbar unter <https://steinertglobal.com/de/magnete-sensorsortierer/magnetseparation/wirbelstromscheider/> [zuletzt abgerufen am 16.06.2019]
- [6] Ecodesign Kit, o.J.. *Metallabfälle – Rezyklierbar, aber mit Einschränkungen* [online] verfügbar unter: <https://www.ecodesignkit.de/praxis/c2-illustrative-praxisbeispiele/c27-kreislauffaehig/metallabfaelle-rezyklierbar-aber-mit-einschraenkungen/> [zuletzt abgerufen am 07.05.2018]
- [7] Stachelski GmbH, o.J.. *NE-Metalle* [online] verfügbar unter: http://www.stachelski.de/?page_id=208 [zuletzt abgerufen am 19.04.2018]
- [8] ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, umweltbundesamt.de [online] verfügbar unter <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id={3492B409-0B8D-4CF1-B421-66547769222B}> [zuletzt abgerufen am 24.06.2019]

6 Kunststoffrecycling

6.1 Menge und Qualität

Die Bedeutung und Verwendung von Kunststoffen hat in den letzten Jahren rasant zugenommen. Mittels additiver Hilfsstoffe (Weichmacher, Härterer etc.) können die Kunststoffeigenschaften für ihren jeweiligen Verwendungszweck verändert und optimiert werden. Des Weiteren können unterschiedliche Kunststoffarten und/oder Kunststoffeigenschaften miteinander zu sogenannten kombiniert werden. Die Einsatzmöglichkeiten für Kunststoffe sind dadurch nahezu grenzenlos geworden. Als Resultat entsteht ein enormes Spektrum an Kunststoffen mit diversen chemischen Zusammensetzungen.

In Deutschland ist das jährliche Kunststoffaufkommen in den letzten Jahren stark gestiegen. Das Kunststoffabfallaufkommen hat sich seit dem Jahr 1994 mit 2,8 Mio. Tonnen bis zum Jahr 2017 mit 6,2 Mio. Tonnen mehr als verdoppelt. ^[1]

Die **Verwendungsaufteilung** für Kunststoff gliedert sich wie folgt:

- Verpackungen 35,2 %
- Bausektor 22,7 %
- Fahrzeugindustrie 10,5 %
- Elektro- und Elektronikgeräte 6,0 %

In Hinblick auf die Kunststoffeigenschaften können diese in Duroplasten, Elastomere und Thermoplasten unterschieden werden. In der Regel werden die einzelnen Kunststoffarten jedoch miteinander kombiniert verwendet.

Die Verteilung und Häufigkeit der jeweiligen Kunststoffart sind unterschiedlich und teilen sich wie folgt auf (Daten bezogen auf Deutschland 2015):

- 73,9 % der hergestellten Kunststoffe entfielen auf die fünf folgenden Thermoplasten
 - Polyethylen (PE) mit 2,8 Millionen Mg
 - Polypropylen (PP) mit 2,0 Millionen Mg
 - Polyvinylchlorid (PVC) mit 1,55 Millionen Mg
 - Polystyrol (PS und PS-E) mit 535000 Mg
 - Polyamid (PA) mit 615000 Mg

- 15 % der produzierten Gesamtmenge waren andere Thermoplasten z.B.
 - Polycarbonat (PC)
 - Polyethylenterephthalat (PET)
- Die restlichen 11 % waren sonstige Kunststoffe, u.a. Duroplasten wie z.B.
 - Polyurethane
 - Polyester
 - Formaldehydharze ^[2,3]

6.2 Sammlung

Eine klassische Sammlung für Kunststoffabfälle gibt es in Deutschland nicht. Kunststoffe werden zum einen in Form von Verkaufsverpackungen im Gelben Sack/Gelbe Tonne über das Duale System Deutschland (= DSD, Grüner Punkt) und zum anderen im Restmüll erfasst. Inzwischen gibt auch Wertstofftonnen zur Erfassung von Leichtverpackungen und stoffgleicher Nichtverpackungen, die konkrete Umsetzung obliegt jedoch dem jeweiligen Entsorgungsgebiet. Eine weitere Sammelstelle neben den oben genannten Optionen des Holsystems sind die im Bringsystem betriebenen Depotcontainer oder Recyclinghöfe. ^[4] Auf Grund dieser vielfältigen Erfassungssysteme kommt es zu starken Durchmischungen und Verunreinigungen. Zusätzlich erschwert die Vielzahl an unterschiedlichen Kunststoffarten und -zusammensetzungen die Aufbereitung der Kunststoffe. ^[2,4,5]

6.3 Verwertung

Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen des Kunststoffabfalls ist eine hochwertige rohstoffliche Verwertung, zur Erzeugung von gleichwertiger Neuware, für nur etwa 1 % der Kunststoffabfälle möglich. Immerhin 47 % der erfassten Kunststoffe können nach ihrer ersten Nutzungsphase noch werkstofflich, meist mit geringen Qualitätsanforderungen, genutzt werden.



Abbildung 11: Hartkunststoffabfall in verschiedenen Formen und Farben ^[6]

Jedoch werden derzeit etwa 52 % der Kunststoffabfälle energetisch verwertet und so dem Stoffkreislauf entzogen. Für jede Art der Verwertung ist aber eine Aufbereitung zwingend notwendig.

6.4 Aufbereitung

Es gibt zwei unterschiedliche Aufarbeitungsarten für Kunststoffe – die Nasskunststoffaufbereitung und die Trockenkunststoffaufbereitung –. Die Trockenkunststoffaufbereitung ist die etabliertere Methode und besteht aus mehreren verfahrenstechnischen Schritten, die im folgendem erläutert werden.

1. Aufbereitungsstufe:

In der ersten Aufbereitungsstufe werden die Kunststoffe nach ihrer Art und Qualität sortiert. Hochwertige Kunststoffe werden anschließend einer zweiten Aufbereitungsstufe zugeführt. Im Gegensatz hierzu werden Kunststoffe mit niedriger Qualität direkt nach der 1. Aufbereitungsstufe in der werkstofflichen oder energetischen Verwertung eingesetzt.

Nach der Anlieferung des Kunststoffabfalls, wird dieser einem **Sacköffner**, via Radlader oder Förderband, zugeführt und homogenisiert.

Anschließend erfolgt eine ein- oder mehrstufige **Siebung** (unterschiedliche Trommelsiebe) für eine Trennung der Kunststoffteile nach Größe. Die einzelnen Materialströme ermöglichen bzw. erleichtern die nachfolgende größenabhängige Sortierung der Kunststoffabfälle.

Im Folgenden werden mittels **Magnetscheider** Eisenmetalle aus dem Materialstrom ausgeschleust. Als nächstes werden leichte Bestandteile, wie Tüten und Folien, in einem **Windsichter**, aus dem Abfallstrom entfernt.

Danach wird der Kunststoffabfallstrom auf einem Förderband mit **Nahinfrarottechnik** gescannt und die einzelnen Kunststoffarten selektiert. Dieses Verfahren wird mehrmals wiederholt um zuerst die PP-Kunststoffe, gefolgt von den PET-Kunststoffen und zuletzt den HDPE-Kunststoffe sortenrein zu separieren.

Anschließend erfolgt eine **manuelle Sortierung** der einzelnen sortenreinen Stoffströme nach dem Prinzip der Negativ-Sortierung. Die gut zu verwertenden Kunststoffe mit einem Reinheitsgrad von 94 - 98 % verbleiben auf dem Förderband. Entweder erfolgt eine werkstoffliche Verwertung in Form von Aufschmelzung zu Granulat oder in Form von Downcycling. Mischkunststoffe und Reststoffe – zu kleine Kunststoffteile oder Fremdstoffe – werden vom Förderband entfernt und für eine anschließende energetische Verwertung gesammelt.

Die einzelnen getrennten Kunststofffraktionen werden im letzten Prozessschritt zu Ballen gepresst. Als Endergebnis entstehend neben den drei Kunststofffraktionen PP, PET und HDPE, noch vier weitere Kunststofffraktionen für eine stoffliche oder energetische Verwertung. Der gesamte Prozess ist in Abbildung 12 dargestellt.

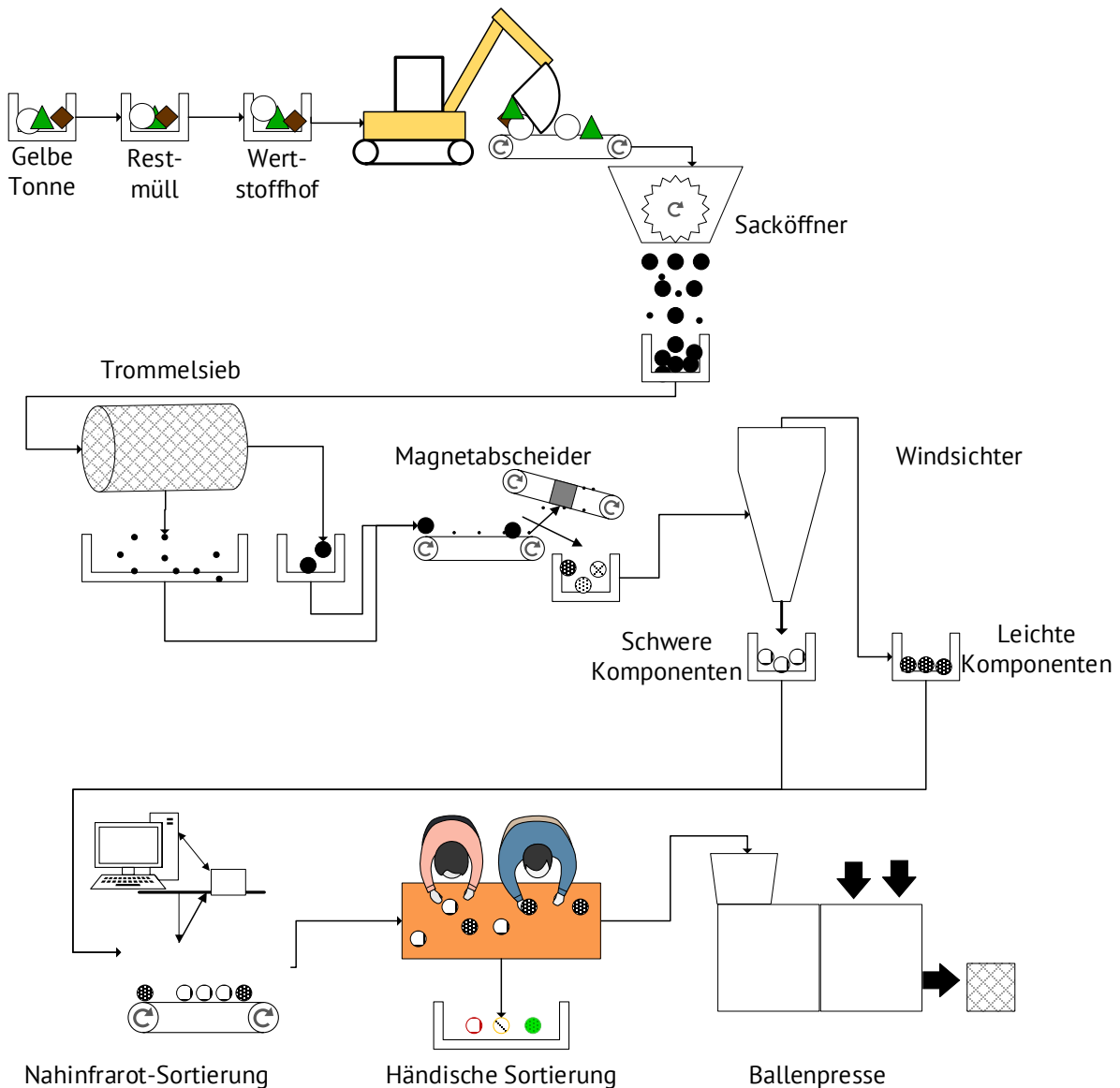
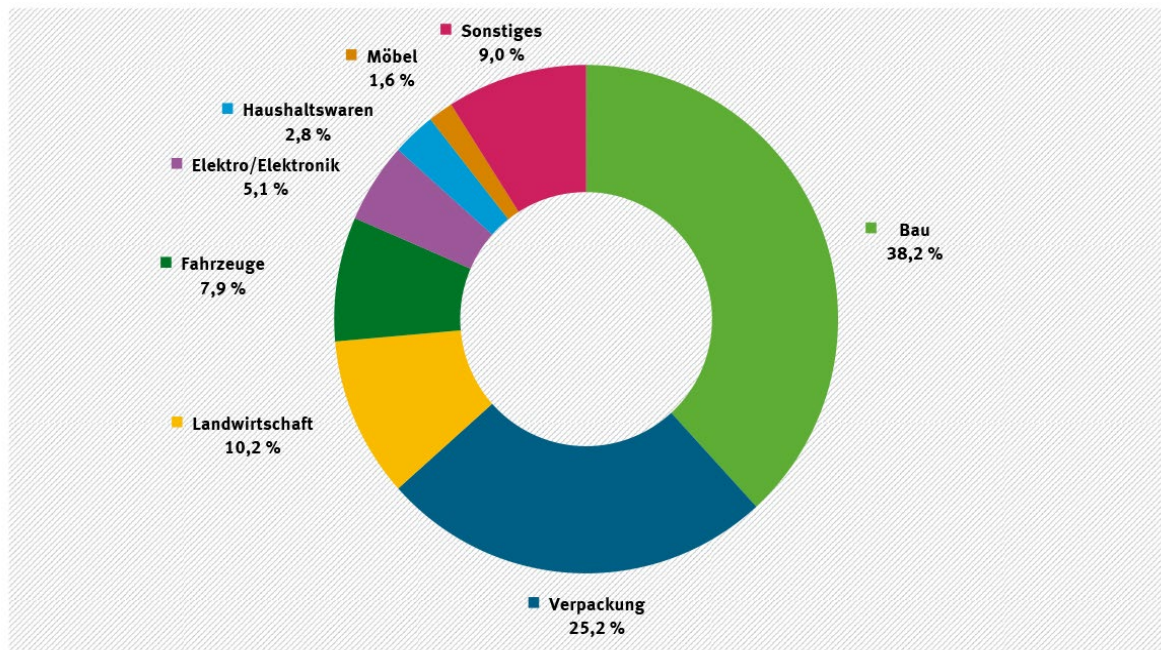


Abbildung 12: Verfahrensschema der 1. Aufbereitungsstufe des Kunststoffrecyclings

Nach der ersten Aufbereitungsstufe werden die Kunststofffraktionen einer werkstofflichen Verwertung zugeführt, wenn sie sich nicht für eine weitere Aufbereitung zu Re-Granulat eignen.

Die Einsatzmöglichkeiten der Kunststofffraktionen, bzw. Rezyklate in der werkstofflichen Verwertung, sind in der nachfolgenden Abbildung aufgeführt. Besonders bedeutend sind Kunststoffrezyklate für die Herstellung minderwertiger Produkte mit Verwendung im Baugewerbe (38,2 %), für Verpackungen (25,2 %) und in der Landwirtschaft (10,2 %).

Einsatz von Kunststoffrezyklaten in Deutschland 2015



bezogen auf in Deutschland zum Einsatz kommende Rezyklate

Quelle: Umweltbundesamt 2016, eigene Zusammenstellung mit Daten der CONSULTIC GmbH - Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015 (Stand 09/2016)

Abbildung 13: Einsatzgebiete von Kunststoffrezyklaten in Deutschland ^[3]

Die Lebensdauer dieser minderwertigen Einsatzprodukte ist jedoch begrenzt und mündet auf Dauer in einer energetischen Verwertung. Aus diesem Grund kann nicht von einem geschlossenen Stoffkreislauf gesprochen werden.

Ziel ist es jedoch, alle Kunststoffe in einem stofflichen Kreislauf zu führen. Das bedeutet, dass die Kunststofffraktionen zur Herstellung des Ausgangsproduktes genutzt werden können. Dies ist aber nur möglich, wenn die chemischen Eigenschaften eine weitere Aufarbeitung zu Re-Granulat in der zweiten Aufbereitungsstufe, aufbauend auf der ersten Stufe, zulassen. ^[3]

2. Aufbereitungsstufe:

Zunächst werden die sortenreinen Kunststoffarten aus der ersten Aufbereitungsstufe in einem Shredder zerkleinert. Danach werden die so entstandenen Flakes in einem Wäscher gereinigt und per Sensorsystem farblich sortiert. Die Reinheit der farblich getrennten Flakes ist > 99 %. Der gesamte Ablauf dieser Aufbereitungsstufe ist in Abbildung 14 veranschaulicht.

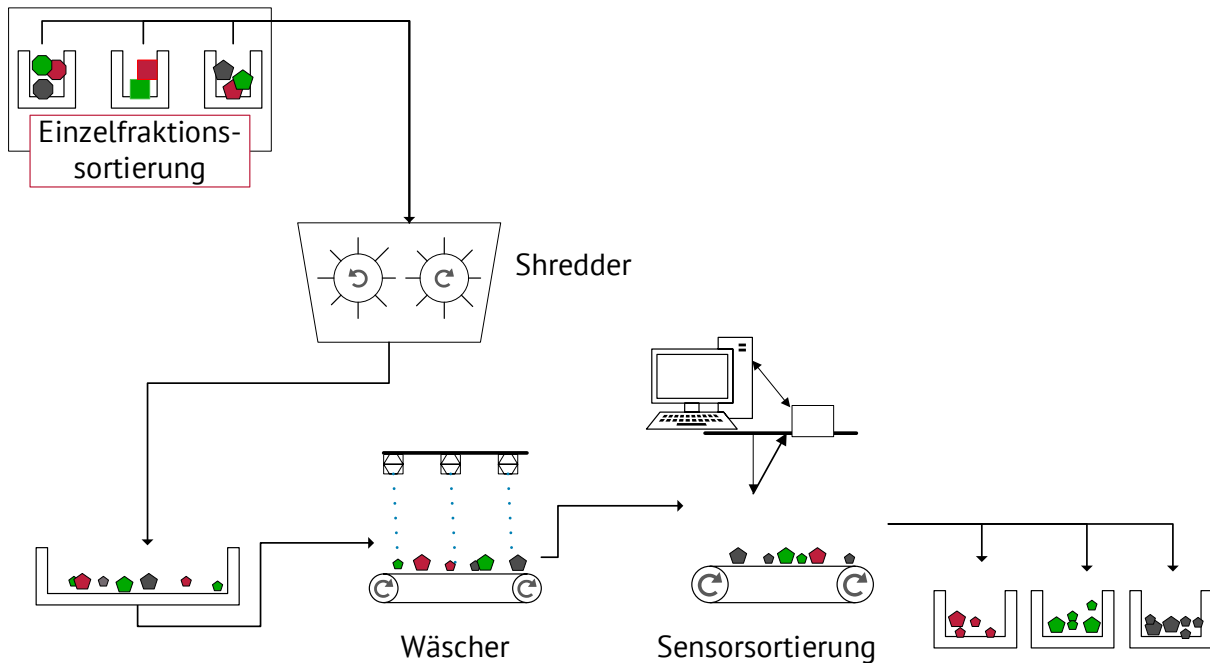


Abbildung 14: Verfahrensschema der 2. Aufbereitungsstufe des Kunststoffrecyclings

Daraufhin werden die farblich getrennten Flakes aufgeschmolzen und zur Qualitätssicherung durch einen Filter gepresst. Durch das Filtern werden letzte Verunreinigungen entfernt. Im letzten Schritt erfolgt die Weiterverarbeitung zu vermarktungsfähigem Re-Granulat (siehe Abbildung 15) für die kunststoffverarbeitende Industrie. ^[5]



Abbildung 15: Fertiges Re-Granulat ^[7]

Literatur

- [1] Lindner C., 2012, Kunststoffabfälle und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland und Blick auf Europa [PDF] Alzenau: Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH Verfügbar unter http://www.hdk-dresden.de/dokumente/kunststoffrecycling_2012/Lindner.pdf [zuletzt abgerufen am 10.01.2019]
- [2] Fachverband Kunststoffrecycling (BSVE), verfügbar unter: <https://www.bvse.de/themen-kunststoff-recycling/kunststoffaufkommen.html> [zuletzt abgerufen am 26.11.2018]
- [3] Umweltbundesamt, verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/kunststoffe>; <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten> [zuletzt abgerufen am 18.12.2018]
- [4] Kranert, M., Hrsg. Cord-Landwehr K., *Einführung in die Abfallwirtschaft*, 4. Auflage, Vieweg + Teubner
- [5] VDI Zentrum Ressourceneffizienz, 2018. *Kunststoffrecycling – Ressourceneffizienz durch optimierte Sortierverfahren*. [Youtube-Video] Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=EvuNJ_yZi3g [zuletzt abgerufen am 29.11.2018]
- [6] Jürgen Morlok, LK Aschaffenburg / abfallbild.de [zuletzt abgerufen am 25.05.2020]
- [7] Harald Heinritz / abfallbild.de [zuletzt abgerufen am 25.05.2020]
- [8] Bilitewski, B. und Härdtle, G.: *Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre*. 4., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin: Springer, 2013 - ISBN: 978-3-540-79531-5.

7 Exkurs

7.1 Der Grüne Punkt –Duales System Deutschland–

Der Grüne Punkt –Duales System Deutschland – ist ein Konzept zur Finanzierung der Verpackungsabfälle (insbesondere Glas, Papier und Kunststoff). Es beruht darauf, dass sich Herausgeber von mit Ware befüllten Verkaufsverpackungen, die typischerweise an den privaten Endverbraucher abgegeben werden, erstmals in Verkehr bringen, verpflichten für deren Entsorgung an einem dualen System wie z.B. der Grüne Punkt – Duales System Deutschland zu beteiligen. Der Grüne Punkt kümmert sich um Sammlung, Sortierung und Verwertung der Verpackungen. Dafür fallen bei der Verpackungslizensierung Beteiligungsentgelte an. Die Höhe der Beteiligungsentgelte ist abhängig von Gewicht, Material und der Recyclingfähigkeit der genutzten Verpackungsmaterialien. ^[1]

Folgende Abfälle sind vom Grünen Punkt lizenziert:

- Leichtverpackungen aus Metall, Kunststoff oder Verbundstoffen:
 - Gelbe Tonne, Gelber-Sack (siehe Abbildung 16)
- Verpackungen aus Papier und/oder Pappe:
 - Altpapiersammlung
- Einwegbehälterglasverpackungen:
 - Altglassammlung



Abbildung 16: Gefüllter Gelber Sack ^[2]

Neben den lizenzierten Abfällen fallen nicht lizenzierte Abfälle an, die Kosten verursachen. Diese Kosten für die Sammlung und die Verwertung/Entsorgung werden in Form von Abfallgebühren für nicht lizenzierte Abfälle gedeckt. Gemeinsam gesammelt werden die lizenzierten und nicht lizenzierten Abfälle lediglich in sogenannten Wertstofftonnen /-säcken oder der Gelben Tonne Plus. Der klassische gelbe Sack ist ausschließlich für die Erfassung der Leichtverpackungen vorgesehen.

In der Abfallwirtschaft werden die Dienstleistungen der Entsorgung von Abfällen und die Rückführung von Wertstoffen in den Wirtschaftskreislauf nach der Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen (VOL/A) ausgeschrieben. Zu den Ausschreibern zählen u.a. Wirtschaftsbetriebe, Ver- und Entsorgungsbetriebe, Abfallverbände und medizinische Institutionen. ^[3] Die Ausschreibungen sind wettbewerbsorientiert zu vergeben, es dürfen dabei keine Verhandlungen gemacht werden oder lokale Bieter bevorzugt werden. Es ist das günstigste Angebot zu wählen, sofern abzusehen ist, dass dieses den Anforderungen gerecht wird. Jede Dienstleistung ist einzeln (Loose) zu vergeben und nur durch wirtschaftliche oder technische Gründe kann die Aufteilung verhindert werden. ^[4] So ist es möglich, dass es zu sehr langen Transportstrecken für den Abfall kommen kann.

7.2 Entwicklungen im Recyclingsektor – Elektrodynamische Fragmentierung –

Zukünftig wird dem Recycling mit zunehmenden Rohstoffpreisen aufgrund Verknappung und steigender Nachfrage eine immer größere Bedeutung zukommen. Während für Unternehmen besonders in Ländern ohne eigene Rohstoffe sich vor allem ganzheitliche Life-Cycle-Ansätze oder vergleichbares durchsetzen müssen, wird sich auch die Abfallwirtschaft weiterentwickeln.

Als ein Beispiel für sich in Entwicklung befindliche Neuerungen soll der Einsatz von **elektrodynamischer Fragmentierung** kurz erläutert werden. Es handelt sich dabei um ein Verfahren, das bereits in den 1940er Jahren von russischen Forschern entwickelt wurde. Diese fanden heraus, dass der mechanische Widerstand von Flüssigkeiten und Festkörpern gegenüber Blitzen von der Dauer des Blitzes abhängt. Wasser habe demnach die durch eine Blitzeinwirkung von 500 Nanosekunden eine höhere Durchschlagsfestigkeit als die meisten Festkörper. Liegt ein Festkörper in einem mit einer 150 Nanosekunden durch Blitze belasteten Wasserbad, schlägt der Blitz in den Festkörper anstatt in das Wasser ein. In diesem wiederum folgt er weiterhin den Weg des kleinsten Widerstandes, also an den Grenzflächen von Verbunden entlang. Wiederholte Blitze schwächen den Verbund, bis es zum Durchschlag kommt, der die Einzelbestandteile trennt.

Für Beton ist das Verfahren interessant, weil sich so der weltweit zuneigehende Sand und Kies vollständig ohne Downcycling wiedergewinnen lässt. Bisher wird der Großteil des Re-Betons lediglich zerbrochen und kann durch die mindere Festigkeit nur noch im Straßenbau eingesetzt werden. Mit dem Verfahren sind 20 Mg pro Stunde Durchsatzleistung zur Wirtschaftlichkeit notwendig, derzeit sind lediglich 1 Mg/h realisierbar.

Und auch für faserverstärkte Kunststoffe und MVA-Schlacken ist das Verfahren anwendbar. Aus der MVA-Schlacke könnten so Metalle und Glas und möglicherweise Zement(-ersatz) wiedergewonnen werden. ^[5]

Literatur

- [1] DSD, DUALES SYSTEM HOLDING GMBH & CO.KG, Verfügbar unter:
<https://www.gruener-punkt.de/de/dsd-1-2-3.html> [zuletzt abgerufen am 22.06.2018]
- [2] Reinhard Weikert / abfallbild.de
- [3] Deutsches Ausschreibungsblatt, 2019 deutsches-ausschreibungsblatt.de, Verfügbar unter <https://www.deutsches-ausschreibungsblatt.de/da/service/branchen-informationen/abfallwirtschaft/> [zuletzt aufgerufen am 27.06.2019]
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016, Vergabe-und Vertragsordnung für Leistungen (VOL) 2009Teil A: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Leistungen(VOL/A)Abschnitt 1: Bestimmungen für die Vergabe von Leistungen [PDF] verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/V/vol-a-abschnitt-1.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [zuletzt aufgerufen am 27.06.2019]
- [5] Lürs Katja, 2012, Blitz, schlag`ein! Werkstoffe, weiter.vorn – Das Fraunhofer-Magazin Jg.; [online] Nr.3, S50-51, verfügbar unter <https://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung/baufolit.jsp?s=Betonrecycling> [zuletzt aufgerufen am 28.06.2019]