

FACT SHEET: ABFALLHIERARCHIE – DIE STUFEN DER KREISLAUFWIRTSCHAFT

Teil 2 der Fact Sheet-Reihe Kreislaufwirtschaft

Ein Ergebnis des Themenfeldes 4 – Rahmenbedingungen des Forschungsprojektes
SCI4climate.NRW

SCI4climate.NRW ist ein vom Land Nordrhein-Westfalen unterstütztes Forschungsprojekt zur Entwicklung einer klimaneutralen und zukunftsfähigen Industrie im Jahr 2050. Das Projekt ist innerhalb der Initiative IN4climate.NRW verankert und repräsentiert die Seite der Wissenschaft. Das Projekt erforscht die technologischen, ökologischen, ökonomischen, institutionellen und (infra)-strukturellen Systemherausforderungen für produzierende Unternehmen in Nordrhein-Westfalen. Ein transdisziplinärer Prozess mit den Partnerinnen und Partnern aus der Industrie und Wissenschaft erarbeitet gemeinsam mögliche Pfade und deren Auswirkungen hin zu einer klimaneutralen Industrie.



Bibliographische Angaben

Herausgeber: SCI4climate.NRW
Veröffentlicht: 19. April 2021
AutorIn/nen: Dr. Sarah Fluchs (IW Köln)
Carmen Schleicher (IW Köln)
Kontakt: fluchs@iwkoeln.de
Bitte zitieren als: SCI4climate.NRW 2021: *FACT SHEET: ABFALLHIERARCHIE – DIE STUFEN DER KREISLAUFWIRTSCHAFT. Teil 2 der Fact Sheet-Reihe zur Kreislaufwirtschaft, Köln*

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Transformation zur Circular Economy: Die Abfallhierarchie.....	5
2 Abfallvermeidung	9
2.1 Ziele	10
2.2 Indikatoren	11
2.3 Status Quo	13
2.4 Maßnahmen	14
2.5 Förderung und Forschung	14
3 Abfallverwertung.....	15
3.1 Ziele	15
3.2 Indikatoren	16
3.3 Status Quo	17
3.4 Maßnahmen	17
3.5 Forschung und Förderung	18
4 Beseitigung	18
Literaturverzeichnis	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Die fünfstufige Abfallhierarchie	6
Abbildung 2 Primärrohstoffnutzung (RMC) pro Kopf.....	7
Abbildung 3 R-Strategien	8
Abbildung 4 Abfallaufkommen der Kategorie Siedlungsabfälle.....	10
Abbildung 5: Entwicklung der Abfallintensität in Deutschland von 2000 bis 2018	13
Abbildung 6: Rohstoffproduktivität in Deutschland von 1994 bis 2015	13
Abbildung 7: Verwertungs- und Recyclingquote in Deutschland von 2000 bis 2018	17
Abbildung 8 Deponieraten und Ziele in der EU	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Definitionen der R-Strategien	9
Tabelle 2 Erweiterte Indikatoren der Abfallvermeidung	12
Tabelle 3 Auswahl Förderprojekte zur Abfallvermeidung.....	15
Tabelle 4 Recyclingziele der EU	16
Tabelle 5 Auswahl Förderprojekte zur Abfallverwertung	18

1 Transformation zur Circular Economy: Die Abfallhierarchie

Die fünf Ansätze der Abfallhierarchie

Die Transformation unserer Wirtschaft von einer linearen Ökonomie hin zu einer effizienten und ressourcenschonenden Circular Economy erfordert die Betrachtung, Analyse und Umgestaltung der gesamten Wertschöpfungskette von Produkten hin zu Wertschöpfungskreisläufen. **Zur Beschreibung und Strukturierung verschiedener Verwertungsansätze definiert das Kreislaufwirtschaftsgesetz eine Abfallhierarchie (KrWG, 2012 § 6), in der fünf Kategorien von Maßnahmen genannt und in eine Rangfolge gebracht sind.** Konkret soll diejenige Maßnahme Vorrang haben, die den größten Einfluss auf die Ressourcenschonung und die geringsten negativen Auswirkungen auf die Menschen und die Umwelt bei der Abfallgenerierung und deren Bewirtschaftung hat (KrWG, 2012 §§ 7 und 8). Zur Bewertung dieser Auswirkungen sollen folgende Kriterien entlang des gesamten Lebenszyklus vom Rohstoff über das Produkt hin zum Abfall zugrunde gelegt werden:

- Die zu erwartenden Emissionen,
- Das Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen,
- Die einzusetzende oder zu gewinnende Energie sowie
- Die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, in Abfällen zur Verwertung oder in daraus gewonnenen Erzeugnissen.

Die Priorisierung der Strategien basiert neben ökologischen Faktoren ebenso auf technischen, ökonomischen und sozialen Aspekten und deren Interdependenzen, die jeweils in die Entscheidung für eine Abfallstrategie einfließen müssen (KrWG, 2012; UBA, 2021b). Bezogen auf diese Entscheidung können Zielkonflikte entstehen, da eine stoffliche Verwertung beispielsweise technisch möglich, jedoch aufgrund hoher Prozesskosten oder niedriger Sekundärrohstoffpreise nicht ökonomisch sinnvoll sein kann. Die Abfallhierarchie ist für einzelne Produkte und Stoffgruppen anhand von Rechtsverordnungen präzisiert.

Folgende Ansätze werden genannt:

- 1) Die **Vermeidung** von Abfall – Die höchste Priorität ist der Abfallvermeidung eingeräumt, das heißt allen Strategien und Maßnahmen, die das Abfallaufkommen reduzieren und Abfall gar nicht entstehen lassen. Das Vermeiden von Abfällen wird als präventiver Ansatz verstanden (BMU, 2013). Er umfasst Strategien, die im Produktlebenszyklus vor der Entstehung von Abfall ansetzen. Hierzu gehören insbesondere die ressourceneffiziente Produktgestaltung, ressourcenschonende Produktionsprozesse, das Ökodesign von Produkten, Strategien zur Verlängerung der Produktlebensdauer, zum Beispiel durch Reparaturmöglichkeiten, sowie ein hoher Einsatz von Sekundärrohstoffen (BMU, 2013).
- 2) Die **Vorbereitung zur Wiederverwendung** von Produkten und Komponenten – Die Wiederverwendung kann auf Produkt- oder Komponentenebene stattfinden. Ziel dieser Strategie ist der erneute Einsatz für denselben Zweck, für den das Produkt beziehungsweise die Komponenten ursprünglich hergestellt wurden. Sie umfasst jedes Verwertungsverfahren, bei dem durch Prüfung, Reinigung oder Reparatur Abfälle so vorbereitet werden, dass sie wiederverwendet werden können (vgl. Art. 3 Abs. 15a Richtlinie 2008/98/EG).

- 3) Das **Recycling**, das heißt die stoffliche Verwertung von Rohstoffen und die Gewinnung von Sekundärrohstoffen für den erneuten Einsatz in Produkten – Ziel dieses Ansatzes ist die Aufbereitung von Werkstoffen in ausreichend hoher Qualität, sodass sie als Substitut für Primärrohstoffe eingesetzt werden können. Von einer stofflichen Verwertung wird gesprochen, wenn die Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle angestrebt wird, zum Beispiel zur Herstellung von Sekundärrohstoffen. Rohstoffliches Recycling meint die chemische Zerlegung des Abfalls in seine Bestandteile, um diese als Rohstoffersatz nutzen zu können, weshalb es auch chemisches Recycling genannt wird.
- 4) Die **sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung** – Die am wenigsten zu priorisierenden Verwertungen sind diejenigen, die keine stofflichen Eigenschaften der Abfälle erhalten können, sondern diese lediglich energetisch verwerten. Dies geschieht in der Regel durch Verbrennung des Abfalls in Müllverbrennungsanlagen. Die Energie in Form von entstehender Wärme beziehungsweise Strom kann wiederum für die Herstellung neuer Produkte genutzt werden.
- 5) Die **Beseitigung** von Abfall – Nur wenn keine der bisher genannten Strategien eingesetzt werden können, wird der Abfall nach thermischer Vorbehandlung beseitigt. Zweck der Vorbehandlung ist es, den Abfall zu sortieren, Schadstoffe unschädlich zu machen und eine umweltgerechte Endlagerung des Abfalls zu ermöglichen. Eine unbehandelte Deponierung von biologisch abbaubaren Siedlungsabfällen ist in Deutschland seit 2005 uneingeschränkt verboten (BMU, 2004). In Deutschland gibt die Deponieverordnung unter anderem Standortanforderungen an die Errichtung, den Betrieb sowie die Stilllegung und Nachsorge von Deponien verpflichtend vor (BMU, 2009).

Eine Übersicht über die fünfstufige Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sowie eine Kurzbeschreibung der jeweiligen Strategien bietet Abbildung 1.



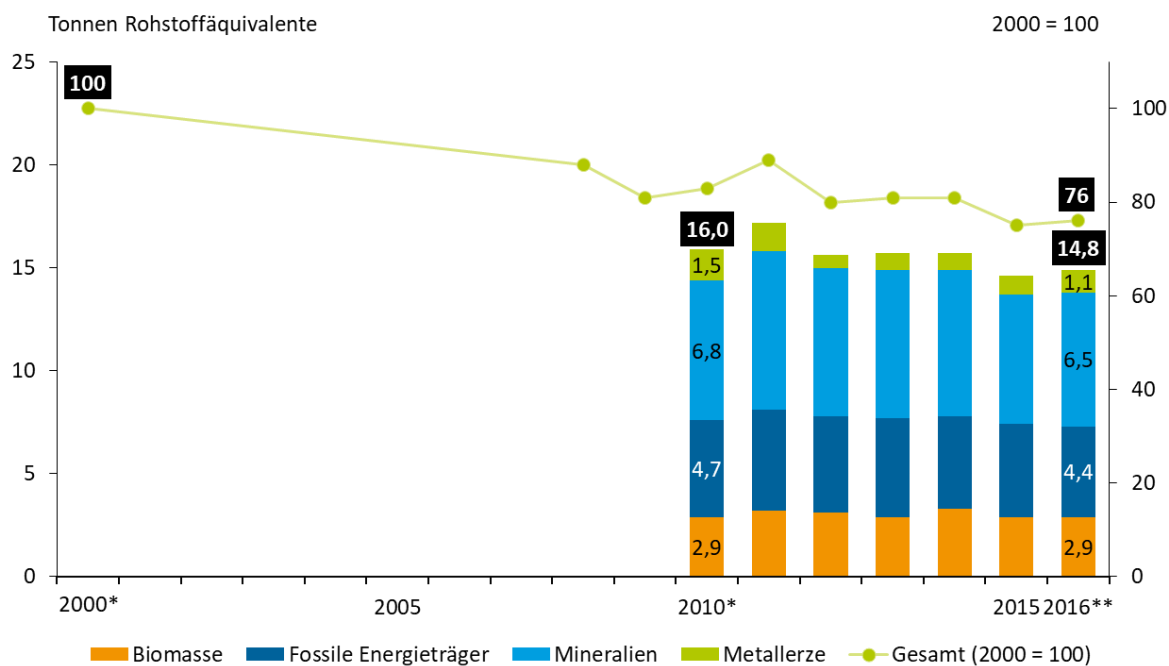
Abbildung 1 Die fünfstufige Abfallhierarchie (KrWG, 2012), eigene Darstellung

Der Rohstoffverbrauch in Deutschland

Die Notwendigkeit für die Etablierung einer ressourceneffizienten Circular Economy wurde bereits in Teil 1 der Fact Sheet-Reihe Kreislaufwirtschaft „Einführung in die Circular Economy“ hergeleitet und ausgeführt. Dennoch ist zur Einordnung der Relevanz und der möglichen Potenziale einer

Abfallhierarchie eine Analyse über den aktuellen Rohstoffverbrauch hilfreich. Der vom Statistischen Bundesamt ermittelte Indikator der Primärrohstoffnutzung inkludiert das Gewicht aller Vorprodukte und Produkte, die in Deutschland für den inländischen Konsum sowie für Investitionen verwendet wurden und umschließt ebenfalls sogenannte *Rohstoffäquivalente*. Unter Rohstoffäquivalenten sind die Rohstoffe summiert, die für die Herstellung der jeweiligen Produkte und Vorprodukte entlang der gesamten (internationalen) Wertschöpfungskette aufgewendet wurden (Statistisches Bundesamt, 2021).

Abbildung 2 zeigt die **Entwicklung der deutschen Primärrohstoffnutzung (RMC), welche im internationalen Vergleich überdurchschnittlich hoch ist**. Zwischen den Jahren 2000 und 2016 ist sie um 24 Prozent gefallen, wobei seit dem Jahr 2009 kein eindeutiger Trend zu erkennen ist. Mineralien und fossile Energieträger machen den Großteil des deutschen Rohstoffverbrauchs aus. Verglichen mit ähnlichen Indikatoren zur Darstellung des Rohstoffverbrauchs ist der RMC der umfangreichste und inkludiert sowohl Rohstoffimporte also auch -exporte entlang der Wertschöpfungskette, die zu Gütern verarbeitet werden und beschreibt somit den exportbereinigten Rohstoffeigenbedarf eines Landes (Biebler und Lang, 2014).



* Aus methodischen Gründen können absolute Zahlen für den Rohstoffkonsum erst ab dem Jahr 2010 angegeben werden. Eine Rückrechnung bis 2000 ist nur in Form einer Indexgröße möglich (2000 = 100).
RMC = Raw Material Consumption
** 2016: vorläufige Angaben

Abbildung 2 Primärrohstoffnutzung (RMC) pro Kopf (Statistisches Bundesamt, 2021)

Die R-Strategien

Zusätzlich zur fünfstufigen Abfallhierarchie haben sich insbesondere im internationalen Kontext Modelle sogenannter *R-Strategien* etabliert, die eine feinere Untergliederung zwischen den einzelnen Strategien der Abfallhierarchie, beispielsweise zur Wiederverwertung, beinhalten. Auch wenn das Kreislaufwirtschaftsgesetz hier bisher keine Unterscheidung trifft, sollen die Strategien im Folgenden kurz erläutert werden, um ein vollständiges Bild der Vielzahl an Möglichkeiten zu schaffen, eine Circular Economy zu etablieren.

Die R-Strategien, die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt und in Tabelle 1 definiert sind, umfassen nur die ersten vier Strategien der Abfallhierarchie, sodass die Beseitigung nicht Teil dieser Darstellung ist. Während *Recover* der sonstigen Verwertung entspricht und *Recycling* in beiden Modellen benannt wird, sind *Repurpose*, *Remanufacture*, *Refurbish*, *Repair* und *Reuse* Strategien, die allesamt unter Vorbereitung zur Wiederverwertung fallen. *Reduce*, *Rethink* und *Refuse* können der Abfallvermeidung zugeordnet werden. Auch in diesem Modell sind die Strategien anhand ihres Beitrags zu einer Circular Economy priorisiert.



Abbildung 3 R-Strategien (Potting et al., 2017), eigene Darstellung

R-Strategie	Definition
R0 Ablehnen	Produkt überflüssig machen, indem seine Funktion aufgegeben oder die gleiche Funktion mit einem grundlegend anderen Produkt angeboten wird
R1 Umdenken	Produktnutzung intensivieren (zum Beispiel durch gemeinsame Nutzung des Produkts)
R2 Reduzieren	Steigerung der Effizienz bei der Produktherstellung oder -nutzung durch geringeren Einsatz von natürlichen Ressourcen und Materialien
R3 Wiederverwenden	Wiederverwendung eines ausrangierten Produkts, das noch in gutem Zustand ist und seine ursprüngliche Funktion erfüllt, durch einen anderen Verbraucher
R4 Reparieren	Reparatur und Wartung eines defekten Produkts, damit es mit einer ursprünglichen Funktion verwendet werden kann
R5 Wiederaufbereiten	Aufbereitung eines alten Produkts, indem es auf den neuesten Stand gebracht wird
R6 Wiederherstellen	Teile eines ausrangierten Produkts in einem neuen Produkt mit der gleichen Funktion verwenden
R7 Umfunktionieren	Ausrangiertes Produkt oder seine Teile in einem neuen Produkt mit einer anderen Funktion verwenden

R8	Recyclen	Materialien verarbeiten, um die gleiche oder niedrigere Qualität zu erhalten
R9	Rückgewinnen	Verbrennung von Materialien zur Energierückgewinnung

Tabelle 1 Definitionen der R-Strategien in Anlehnung an Potting et al. (2017)

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die unterschiedlichen Strategien durchaus in Kombination angewendet werden können und sich nicht gegenseitig ausschließen. Im Wesentlichen lässt sich zwischen zwei Zielen bei der Wiederverwendung unterscheiden: das erste Ziel ist das **Verlangsamen des Materialflusses über den Produktlebenszyklus hinweg**, was durch Strategien, wie eine verlängerte Nutzungsdauer zum Beispiel durch Ökodesign, die Möglichkeiten zur Wartung, Reparatur und technischer Upgrades, die Aufbereitung des Produktes etc. realisiert werden kann. Das zweite Ziel ist die **Schließung der Materialkreisläufe, indem durch Recycling eine Verbindung zwischen Abfällen und Produktion von neuen Gütern hergestellt werden kann** (Stahel, 1994). Das Recycling hat keinen direkten Einfluss auf die Geschwindigkeit des Materialflusses im System, während die unterschiedlichen Möglichkeiten zur längeren Produktnutzung keinen direkten Einfluss auf diejenigen Strategien haben, die am Ende des Produktlebens – unabhängig davon, wann dieses erreicht sein mag – angewendet werden können. In der jüngeren Literatur ist zusätzlich ein drittes Ziel aufgeführt: die **erhöhte Ressourceneffizienz in der Produktion von Produkten**. Dieses Ziel wiederum reduziert die Menge an Rohstoffen, die je Produkt im Markt zirkuliert und so gebunden ist (Bocken et al., 2016).

2 Abfallvermeidung

Der Abfallvermeidung wird gemäß der „Richtlinie 2008/98/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien“ (kurz: Abfallrahmenrichtlinie) die höchste Priorität im Rahmen der fünfstufigen Abfallhierarchie gegeben. Sämtliche EU-Mitgliedsstaaten sind demnach seit dem 12. Dezember 2013 verpflichtet, nationale Abfallvermeidungsprogramme zu erstellen (EU, 2008). Deutschland setzte diese Forderung durch § 33 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) im Juli 2013 um und erstellte ein nationales Abfallvermeidungsprogramm. Dieses ist alle sechs Jahr auszuwerten und bedarfsgerecht fortzusetzen, mit dem Ziel einer Entkoppelung von Ressourcennutzung und Wirtschaftswachstum (BMU, 2013). **Die Abfallvermeidung ist eine Schlüsselstrategie für die Etablierung einer Circular Economy und impliziert eine Anpassung von Herstellungsmethoden auf der einen Seite sowie ein angepasstes Konsumentenverhalten auf der anderen Seite.** Die Kundennachfrage nach umweltfreundlichen Produkten soll erhöht und Verpackungen reduziert werden. Streng genommen ist die Vermeidung von Abfall nicht Teil der Abfallpolitik, da die Maßnahmen eher Effizienzsteigerungen in Herstellungsprozessen oder die Beeinflussung der Kundennachfrage adressieren (Neligan, 2016).

Laut Kreislaufwirtschaftsgesetz adressiert die Abfallvermeidung im Sinne von § 3 Absatz 20 Satz 2 insbesondere die „anlageninterne Kreislaufführung von Stoffen, eine abfallarme Produktgestaltung, die Wiederverwendung von Erzeugnissen, die Verlängerung ihrer Lebensdauer sowie ein Konsumverhalten, das auf den Erwerb von abfall- und schadstoffarmen Produkten sowie die Nutzung von Mehrwegverpackungen gerichtet ist“ (KrWG, 2012).

Notwendigkeit der Abfallvermeidung

Den größten Anteil an Deutschlands Gesamtabfallaufkommen machen Bauabfälle mit circa 55 Prozent aus. Die in Abbildung 4 dargestellten Siedlungsabfälle haben mit 12 Prozent im Jahr 2018 einen

deutlich geringeren Anteil am Netto-Abfallaufkommen. Auffällig ist, dass die Abfallmenge der Siedlungsabfälle seit 2002 verhältnismäßig konstant geblieben ist und um einen Wert von circa 50 Millionen Tonnen schwankt (UBA, 2021a). Ähnlich wie in Deutschland sank auch das Abfallaufkommen in den EU-28 Ländern zwischen 2004 und 2012 um nur circa 1 Prozent (auf 2.514 Millionen Tonnen), was einer Pro-Kopf-Reduzierung von circa 3 Prozent auf fast 5 Tonnen pro Kopf entspricht (Eurostat, 2016). Deutschlands Anteil am Gesamtabfallaufkommen der Europäischen Union beträgt circa 15 Prozent.

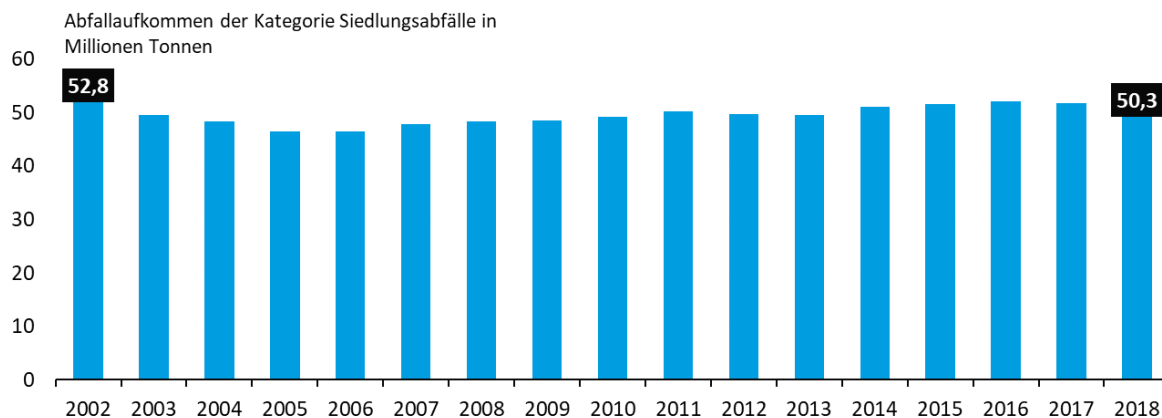


Abbildung 4 Abfallaufkommen der Kategorie Siedlungsabfälle (Statistisches Bundesamt, 2020b)

Die Entwicklung der Abfallmenge in Deutschland macht deutlich, dass das Ziel der Bundesregierung der Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch durchaus erreicht wurde, da die Wirtschaft im gleichen Zeitraum gewachsen ist, während das Abfallaufkommen stabil blieb. **Der Fokus muss jedoch im Sinne einer Circular Economy auf der Reduzierung des Ressourcenverbrauchs liegen, weshalb Maßnahmen getroffen werden müssen, das Abfallaufkommen deutlich und nachhaltig zu reduzieren.**

2.1 Ziele

Mit dem übergeordneten Ziel der Entkopplung der Umweltauswirkungen, die sich aus der Abfallerzeugung ergeben, vom Wirtschaftswachstum ist die Abfallvermeidung insbesondere eine präventive Strategie zur Reduzierung des Abfallaufkommens. **Konkret bedeutet dies ein effizienteres Wirtschaften und stellt einen essenziellen Schritt in Richtung Circular Economy dar, da jede Abfallverwertung auf einer niedrigeren Stufe der Abfallhierarchie damit verbunden ist, dass Rohstoffe abgebaut, verarbeitet und entweder verbraucht werden oder entsorgt werden müssen.** Nur durch die präventive Vermeidung von Abfällen können Rohstoffe tatsächlich komplett eingespart werden.

Quantitative Zielvorgaben hinsichtlich der Abfallvermeidung beziehungsweise der Reduktion des Abfallaufkommens gibt es bislang weder auf europäischer noch auf nationaler Ebene. Im deutschen Abfallvermeidungsprogramm werden lediglich nicht-quantifizierte Ziele im Rahmen der Abfallvermeidung beschrieben. Eine Quantifizierung würde nach dieser Maßgabe der Tatsache nicht gerecht, dass die Abfallvermeidung kein Selbstzweck sei. Konkret bedeutet das, dass Abfall immer dann vermieden werden soll, wenn damit eine Reduzierung der Umweltauswirkungen einhergeht, was als Hauptziel der Abfallvermeidung definiert wird (BMU, 2013). Ein konkretes Beispiel, welches die Vermeidung von Abfall in den Fokus stellt, ist das Verbot für Einwegplastik, welches Ende 2020 beschlossen wurde und unter anderem To-go-Becher, Einweg-Geschirr und -Besteck, Trinkhalme, Rühr- und Wattestäbchen aus expandiertem Polystyrol betrifft. Zudem werden drei operative Ziele benannt, die zur Erreichung des Hauptziels dienen:

- Reduktion der Abfallmenge
- Reduktion schädlicher Auswirkungen des Abfalls
- Reduktion der Schadstoffe in Materialien und Erzeugnissen bis hin zur Substitution umwelt- und gesundheitsschädlicher Stoffe

Darauf basierend werden sogenannte Unterziele abgeleitet, die mit Strategien für die Etablierung einer Circular Economy im Einklang stehen und von denen hier ein Auszug vorgestellt werden soll:

- Anlageninterne Kreislaufführung von Stoffen
- Abfallarme Produktgestaltung
- Steigerung der Lebensdauer von Produkten
- Förderung eines Konsumverhaltens, das auf den Erwerb von abfall- und schadstoffarmen Produkten gerichtet ist

Das Abfallvermeidungsprogramm benennt zudem Ansätze und konkrete Maßnahmen der öffentlichen Hand zur Vermeidung von Abfall und bewertet diese anhand ökologischer, ökonomischer und sozialer Kriterien.

Die nationale Nachhaltigkeitsstrategie hat das Ziel festgelegt, die Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber 1994 zu verdoppeln. Das deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess III) sieht für die Entwicklung der Rohstoffproduktivität eine Trendfortschreibung der Jahre 2000 bis 2010 bis zum Jahr 2030 vor, was einem durchschnittlichen jährlichen Anstieg von 1,5 Prozent entspricht (BMU, 2020). Auf europäischer Ebene finden sich in der 2018 novellierten Abfallrahmenrichtlinie insbesondere die Aufforderung zu einer Festlegung von Zielvorgaben auf nationaler Ebene sowie Instrumente und Maßnahmen zur Abfallreduktion (EU, 2008). Die Richtlinie definiert grundlegende Anforderungen an die Bewirtschaftung von Abfällen, insbesondere eine Genehmigungs- beziehungsweise Registrierungspflicht von Anlagen oder Unternehmen, die Abfallwirtschaftsmaßnahmen durchführen, sowie eine Verpflichtung der Mitgliedsstaaten zur Aufstellung von Abfallwirtschaftsplänen. Gemäß einer Studie des Wuppertal Instituts (Wilts et al., 2019) sind klar definierte und quantifizierte Indikatoren und Ziele erforderlich, um wirksame Impulse für die Abfallvermeidung zu setzen. Die 2017 veröffentlichte Studie schlägt beispielhaft eine Halbierung der Abfallintensität vor.

2.2 Indikatoren

Trotz weitestgehend fehlender quantifizierbarer Zielmarken finden sich im Abfallvermeidungsprogramm 2013 zwei Indikatoren, die zur Beurteilung des generellen Fortschritts der Abfallvermeidung herangezogen werden können:

1. Die **Abfallintensität des Abfallnettoaufkommens** beschreibt das Verhältnis von Abfallaufkommen zum Bruttoinlandsprodukt (BIP) und kann als Zeitreihe betrachtet werden. Mit diesem Indikator wird der Entkopplung des Abfallaufkommens von der Wirtschaftsleistung Rechnung getragen.
2. Die **Rohstoffproduktivität** beschreibt das Verhältnis aus inländischen Rohstoffentnahmen und Materialimporten im Verhältnis zum BIP und drückt somit aus, wie effizient abiotische Primärmaterialien eingesetzt werden, um das BIP zu erwirtschaften (UBA, 2020b).

Die Studie von Wilts et al. (2019) im Auftrag des Umweltbundesamts geht einen Schritt weiter und definiert auf Basis des Abfallvermeidungsprogramms acht Indikatoren, welche sich am Hauptziel, den

operativen Zielen und den Unterzielen des Programms orientieren. Eine Übersicht dieser Indikatoren gibt Tabelle 2.

Ziel	Indikator
Hauptziel: Entkopplung des Wirtschaftswachstums von den mit der Abfallerzeugung verbundenen Auswirkungen für Mensch und Umwelt	Indikator 1: Abfallintensität des Abfallnettoaufkommens abzüglich des Bausektors
Operatives Ziel: Reduktion der Abfallmenge	Indikator 2: Bau- und Abbruchabfälle (im Verhältnis zur preisbereinigten Bruttowertschöpfung im Baugewerbe) Indikator 3: Lebensmittelabfälle Indikator 4: Sektorale Abfallintensitäten des Produzierenden Gewerbes Indikator 5: Ressourceneffizienz
Operatives Ziel: Reduktion der Schadstoffe in Materialien und Erzeugnissen / Substitution umwelt- und gesundheitsschädlicher Stoffe	Indikator 6: Gesamtaufkommen gefährlicher Abfälle (nach KrWG); bevorzugter aber ggf. Nicht verfügbarer Indikator: Gesamtmenge der eingesetzten Schadstoffe, Produkte und Produktionsprozesse
Unterziel: Steigerung der Lebensdauer von Produkten	Indikator 7: Steigerung der Produktnutzungsdauer (durchschnittliche gewichtete technische Nutzungsdauer aller Produkte/ausgewählter Leitprodukte)
Unterziel: Verbesserung des Informationsstands zum Thema Abfallvermeidung	Indikator 8: Verbesserung des Informationsstands (Anteil der Bevölkerung, der dem Thema Abfallvermeidung auch vor dem Hintergrund hoher Recyclingraten eine hohe Bedeutung zumisst)

Tabelle 2 Erweiterte Indikatoren der Abfallvermeidung nach Wilts et al. (2019)

Als Weiterentwicklung der vor allem auf die Masse der Abfallmenge bezogenen Indikatoren gilt laut dem UN Environment Programme (2019) die Einbeziehung der eingesparten CO₂-Äquivalente (CO₂e). In Deutschland werden die CO₂-Äquivalente der Abfallwirtschaft bereits betrachtet, sodass Analysen zu den Auswirkungen des Deponieverbots unbehandelter Siedlungsabfälle sowie zu höherer stofflichen und energetische Verwertung auf den Gesamtausstoß der Abfallwirtschaft existieren. Die Analyse der Abfallbehandlungsstrategien sieht beispielsweise die Reduktion der gesamten CO₂e in der Abfallwirtschaft vom Jahr 1990 bis 2015 begründet (UBA, 2021c). Laut aktuellem Kenntnisstand werden die jeweiligen CO₂e beziehungsweise die Einsparungspotenziale der konkreten Ziele zur Abfallvermeidung bisher nicht betrachtet.

2.3 Status Quo

Abfallintensität

Während das BIP zwischen den Jahren 2000 und 2018 um 26,3 Prozent gestiegen ist, befindet sich das Abfallaufkommen auf einem um etwa 11 Prozent niedrigeren Niveau als im Jahr 2000. Eine starke Reduktion des Abfallaufkommens kann dabei insbesondere bis zum Jahr 2005 beobachtet werden, während es im Anschluss leicht anstieg. Insgesamt sinkt die Abfallintensität im betrachteten Zeitraum deutlich um 30 Prozentpunkte (vgl. Abbildung 5). Als mögliche Gründe dafür werden in der Literatur die Verlagerung von abfallintensiven Produktionsschritten ins Ausland (Zanker et al., 2013), ein Strukturwandel hin zu einem höheren Dienstleistungsanteil (Wilts et al., 2019) sowie materialsparende Produktionsweise infolge gestiegener Material- und Abfallkosten genannt.

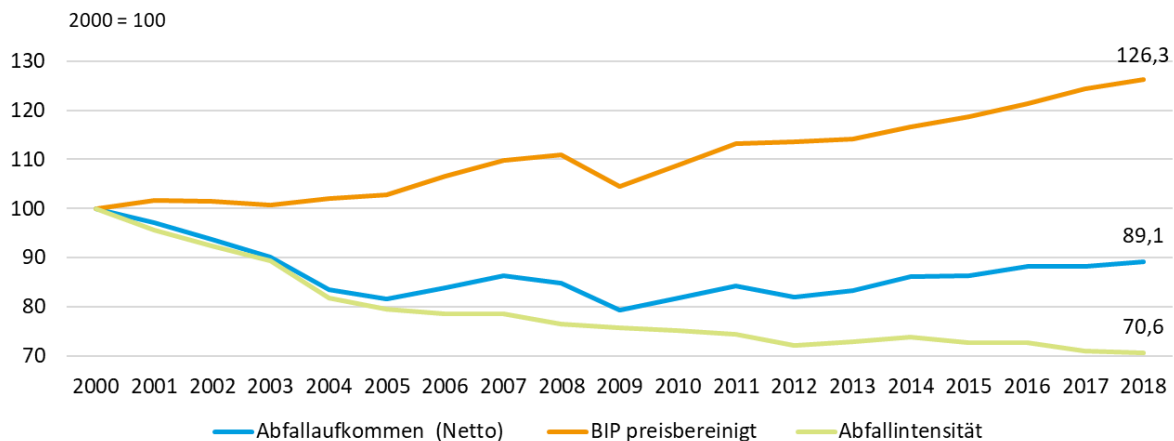


Abbildung 5: Entwicklung der Abfallintensität in Deutschland von 2000 bis 2018 (UBA, 2020b)

Rohstoffproduktivität

Laut nationaler Nachhaltigkeitsstrategie soll sich die Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber dem Referenzjahr 1994 verdoppeln. Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der Rohstoffproduktivität seit 1994.

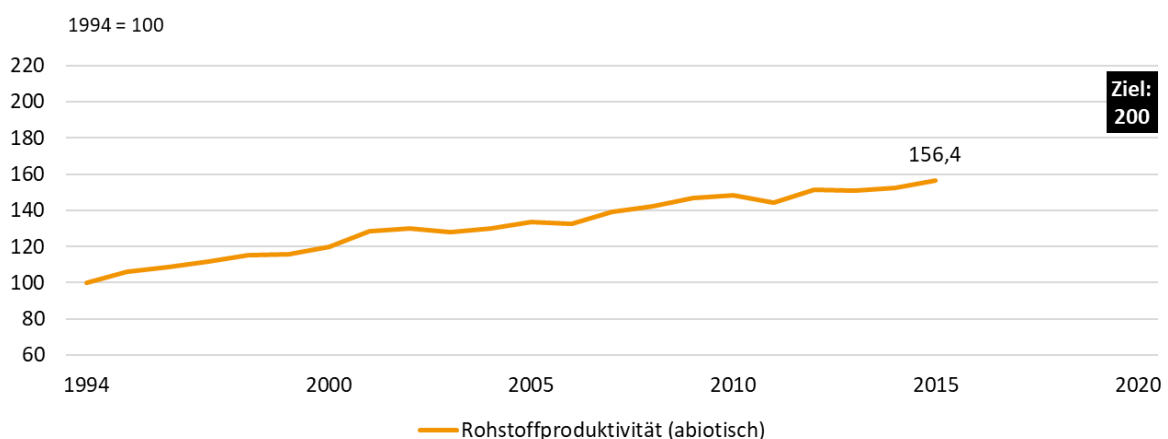


Abbildung 6: Rohstoffproduktivität in Deutschland von 1994 bis 2015 (Statistisches Bundesamt, 2020a)

Über den gesamten Zeitraum sank gemäß UBA (2020b) der abiotische¹ direkte Materialeinsatz um 15,1 Prozent, während das BIP um 32,8 Prozent stieg. Insgesamt stieg die Rohstoffproduktivität im

¹ Unter abiotischen Rohstoffen werden all diejenigen Rohstoffe gefasst, die nicht aus oder von Lebewesen stammen. Beispiele sind: fossile Energieträger, Erze, Sand, Kies etc.

dargestellten Zeitraum um 56,4 Prozent. Die bisherige, durchschnittliche Steigerungsrate müsste jedoch weiter ansteigen, damit das gesetzte Ziel einer Verdoppelung bis 2020 erreicht wäre.

2.4 Maßnahmen

Das Abfallvermeidungsprogramm beschreibt und bewertet eine Vielzahl von Maßnahmen zur Abfallvermeidung, die zu großen Teilen aus dem KrWG stammen (BMU, 2013). Dazu gehören unter anderem:

- Identifizierung produktspezifischer Anforderungen an eine abfallvermeidende Produktgestaltung im Rahmen von Durchführungsmaßnahmen der EU-Ökodesign-Richtlinie
- Forschung zu abfallvermeidenden Technologien und Nutzungskonzepten
- Verbreitung von Informationen und Stärkung der Aufmerksamkeit für die abfallvermeidende Produktgestaltung
- Abfallvermeidende Kooperationen unter Industriebetrieben
- Abfallvermeidung durch verursachergerechte Entsorgungskosten
- Entwicklung und Anwendung von Indikatorsystemen mit dem Ziel Benchmarking
- Praktische Einführung und Umsetzung von nachhaltigen, ressourcenschonenden Abfallkonzepten an Schulen

2.5 Förderung und Forschung

Im Folgenden ist eine Auswahl an Fördermöglichkeiten im Bereich der Abfallvermeidung aus der EU, Deutschland und NRW abgebildet, welche vorrangig Unternehmen adressiert.

Ebene	Name	Inhalt
EU	Europäischer Fonds zur Förderung der Kreislaufwirtschaft (EIB)	Förderung von Projekten in den Bereichen Rohstoffeinsparung und Förderung von umweltverträglichen Industrieprozessen und -produkten (EIB, 2019)
D	KMU-Innovativ (BMBF)	Bewilligung von Fördermitteln für KMUs unter anderem in den Bereichen Ressourceneffizienz und Klimaschutz sowie Materialforschung (BMBF, 2019)
D	Energieforschungsprogramm (BMWi)	Unter anderem Förderung von Technologien der CO ₂ -Kreislaufwirtschaft und der Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende (BMWi, 2018)
D	KfW-Umweltprogramm (KfW)	Förderung von Investitionen, die dazu beitragen, die Umweltsituation wesentlich zu verbessern, dazu gehören Maßnahmen zum effizienten und kreislaforientierten Umgang mit Ressourcen (BMWi, 2021)
D	Umweltinnovationsprogramm (BMU)	Die KfW fördert großtechnische Pilotvorhaben, die die Umwelt nachhaltig entlasten (BMWi, 2021).
NRW	Effizienzagentur NRW (EFA)	Zur Beratung von KMUs zum produktionsintegrierten Umweltschutz, der Ressourceneffizienz und umweltgerechter Produktgestaltung (EFA NRW, o. J.)

NRW	Sonderprogramm Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz (LANUV)	Das Sonderprogramm unterstützt zur Bewältigung der Corona-Krise Unternehmen dabei, ihre Geschäftsabläufe kreislaufforientiert zu gestalten und neue Konzepte für die Produktgestaltung zu entwickeln (BMW, 2021).
NRW	ÖKOPROFIT (MULNV)	Förderprogramm zur Kostensenkung durch Umweltschutzmaßnahmen (u. a. Energie- und Ressourceneffizienz) in Unternehmen (Ökoprotit NRW, 2020)

Tabelle 3 Auswahl Förderprojekte zur Abfallvermeidung

3 Abfallverwertung

Die Abfallverwertung findet sich in den Stufen 2 bis 4 der Abfallpyramide wieder und bezeichnet gemäß der Richtlinie 2008/98/EG der EU (2008) jedes „Verfahren, als dessen Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen“ (Artikel 3, Punkt 15). Sie umfasst die Vorbereitung zur Wiederverwendung sowie die stoffliche und sonstige (energetische) Verwertung. Gemäß der Abfallhierarchie ist die Wiederverwendung der stofflichen Verwertung und diese wiederum der energetischen Verwertung vorzuziehen.

Einer Studie des Umweltbundesamtes zufolge ist der Anstieg des sogenannten anthropogenen Lagers unter anderem eine negative Beeinträchtigung für ein zirkuläres Wirtschaften. Konkret bedeutet dies, dass trotz steigender Recyclingeffizienzen, zum Beispiel durch technische Innovationen, Primärrohstoffe weiterhin eingesetzt werden müssen, um den steigenden Materialbedarf decken zu können (UBA, 2019). Zusätzlich spielen steigende dissipative Verluste² innerhalb der Stoffkreisläufe sowie daraus entstehende Umweltbelastungen eine entscheidende Rolle.

3.1 Ziele

Ziel im Sinne einer Circular Economy ist der Einsatz von Sekundärrohstoffen als Substitute für Primärrohstoffe bei der Herstellung von Produkten. Insbesondere für Papier, Glas und Metalle, die zu den trockenen Wertstoffen zählen, ist eine stoffliche Verwertung technisch umsetzbar und gleichzeitig wirtschaftlich. Ökologisch betrachtet ist für diese Beispiele der Energieeinsatz bei der Wiederverwertung niedriger verglichen mit der Herstellung von Primärmaterial, auch wenn die Recyclingverfahren in der Regel energieintensive Verfahren sind (Werland et al., 2014).

Bereits heute werden große Teile des Abfallaufkommens in Deutschland einer stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt, im Jahr 2018 betrug der Anteil circa 81 Prozent des gesamten Abfallaufkommens, der Anteil der stofflichen Verwertung allein betrug 70 Prozent (Statistisches Bundesamt, 2021). Dennoch existieren zahlreiche Einzelstoffströme, die bisher nicht in einer vergleichbaren Qualität und in ausreichendem Maßstab verwertet beziehungsweise recycelt werden. Dies betrifft häufig die gefährlichen Abfälle zum Beispiel im Bereich der Bau- und Abbruchabfälle (Verwertungsquote: 52 Prozent in 2018 (Statistisches Bundesamt, 2021)). Ziele des deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess III) sind daher unter anderem Stoffströme getrennt zu erfassen, die Verwertungs- und Recyclingsysteme zu optimieren sowie den Einsatz der Sekundärrohstoffe zu maximieren und bisher

² Stoffverluste aufgrund feiner Verteilung, Beispiele: Korrosion von metallischen Bauteilen, Verwitterung von mineralischen Bauteilen, Reifen- und Bremsbelagabrieb, Stoffverluste beim Leiterplattenrecycling (UBA, 2012).

ungenutzte Stoffströme, soweit technisch und ökonomisch möglich, zu erschließen. Für die Abfallverwertung durch Recycling gibt es darüber hinaus verbindliche Recyclingziele der EU (im Paket zur Kreislaufwirtschaft):

Recyclingziele in der EU	2025 [Gewichtsprozent]	2030 [Gewichtsprozent]
Alle Verpackungen	65	70
Glas	70	75
Papier und Karton	75	85
Kunststoffe	50	55
Aluminium	50	60
Holz	25	30
Eisenmetalle	70	80

Tabelle 4 Recyclingziele der EU (EU, 2018)

Neben der Recyclingquote wird laut EG-Abfallrahmenrichtlinie außerdem angestrebt, die Verwertungsquote zu erhöhen. Die EU wird die Einführung verbindlicher Recyclingziele für Bau- und Abbruchabfälle, Textilabfälle, Gewerbeabfälle, nicht gefährliche Industrieabfälle sowie Bioabfälle bis Ende des Jahres 2024 prüfen (DNR, 2018).

Wichtig an der Stelle ist, dass seitens der EU eine bisher nicht eindeutig zu interpretierende Definition für die Berechnung der Recyclingquote vorgegeben ist. Artikel 6a (1) b) der EU Richtlinie 2018/52 über Verpackungen und Verpackungsabfälle zur Berechnung der Erfüllung der Zielvorgaben besagt: „wird das Gewicht der recycelten Verpackungsabfälle berechnet als das Gewicht der zu Abfall gewordenen Verpackungen, die, nachdem sie alle erforderlichen Prüf-, Sortier- und sonstigen vorgeschalteten Verfahren durchlaufen haben, die dazu dienen, Abfallmaterialien zu entfernen, die anschließend nicht mehr weiterverarbeitet werden, und für ein hochwertiges Recycling zu sorgen, dem Recyclingverfahren zugeführt werden, durch das Abfallmaterialien tatsächlich zu Produkten, Materialien oder Stoffen weiterverarbeitet werden“ (EU, 2018). Da die Recyclingquoten auf dieser Basis in verschiedenen Ländern womöglich unterschiedlich berechnet werden und die Vergleichbarkeit somit limitiert, existiert seit einigen Jahren eine intensive anhaltende Debatte zu diesem Thema (vgl. (Neligan, 2018a, 2018b)).

3.2 Indikatoren

Zwei Hauptindikatoren können zur Beurteilung der Abfallverwertung herangezogen werden und werden entweder für das gesamte Abfallaufkommen oder für einzelne Segmente und Gruppen betrachtet:

1. Die **Verwertungsquote** beinhaltet alle Maßnahmen zur Nutzung der im Abfall enthaltenen Wertstoffe beziehungsweise des Energiegehalts und inkludiert dementsprechend ebenso die energetische Verwertung, beispielsweise zur Strom- und Wärmeerzeugung.
2. Die **Recyclingquote** gibt den Anteil der Abfälle an, die stofflich genutzt und wieder einem Materialkreislauf zugeführt werden. Die Recyclingquote ist folglich ein Teil der Verwertungsquote.

Die deutsche Abfallbilanz definiert jedes Verfahren, welches keine Verwertung ist, als Beseitigung, „auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurückgewonnen werden“

(Statistisches Bundesamt, 2020b). Die Ausführungen zu den Berechnungen der Verwertungs- und Recyclingquoten verdeutlichen, dass die Input-Mengen in die Prozesse als Grundlage zur Berechnung herangezogen werden – ein Punkt, der ebenfalls Teil der Debatte zu den Quoten ist. Ebenso ist im Einklang mit der Abfallrahmenrichtlinie das Verwertungsverfahren „Verfüllung“ Teil der Recyclingquote, wenngleich die genaue Definition dieses Verfahren nicht als Recycling einstuft.

Anhand der beiden prozentualen Quoten lassen sich keine Aussagen zur Entwicklung der absoluten Menge recycelter Abfälle ableiten. So hat sich der Pro-Kopf-Jahresgesamtverbrauch von Plastikverpackungen in Deutschland in den letzten 20 Jahren beispielsweise von 20,5 kg (1991) auf 39 kg (2018) fast verdoppelt. Das Wachstum des Jahresverbrauchs von Plastikverpackungen betrug zwischen 2010 und 2018 knapp 19 Prozent. Im gleichen Zeitraum stieg die Quote der werkstofflichen Verwertung von 45,1 Prozent auf 46,4 Prozent, während der Quote der stofflichen Verwertung von 49,4 Prozent auf 47,1 Prozent abnahm. Bei Einbezug der energetischen Verwertung steigt die Gesamtquote für Kunststoff auf 99,6 Prozent im Jahr 2018 (UBA, 2020a). Dennoch stieg wie bereits erwähnt das BIP in Deutschland in diesem Zeitraum ebenfalls erheblich an, sodass die Quoten entsprechend auf einem ähnlichen Niveau bleiben.

3.3 Status Quo

Von 2000 bis 2018 stieg die Verwertungsquote der Gesamtabfallmenge in Deutschland von 68 auf 81,1 Prozent (Statistisches Bundesamt, 2021), was Abbildung 7 verdeutlicht. Die Recyclingquote blieb im betrachteten Zeitraum (ab 2006) auf einem etwa konstanten Niveau von circa 70 Prozent. Dies zeigt, dass die wesentlichen Steigerungen in der Verwertung von Abfällen in der energetischen Verwertung liegen, die verglichen mit der stofflichen Verwertung auf einer niedrigeren Stufe in der Abfallhierarchie liegt.

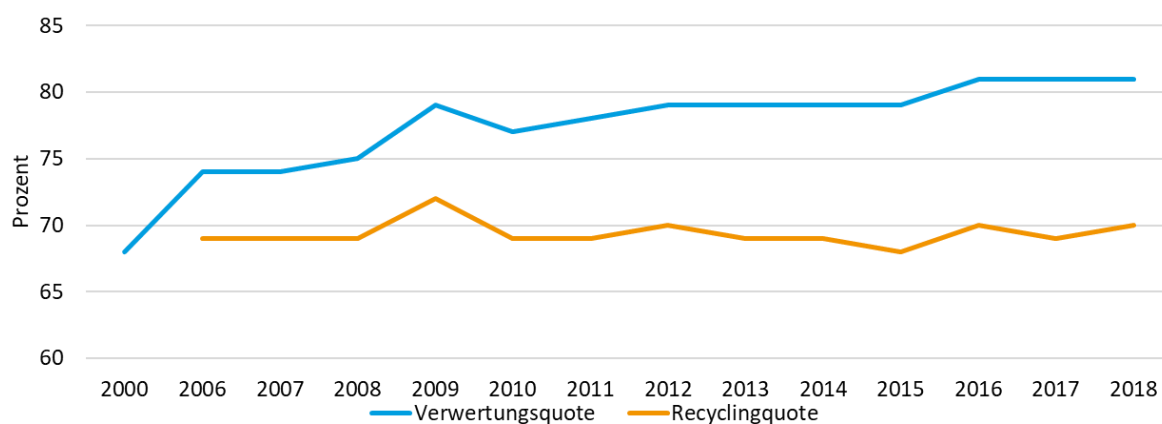


Abbildung 7: Verwertungs- und Recyclingquote in Deutschland von 2000 bis 2018 (Statistisches Bundesamt, 2020b)

3.4 Maßnahmen

Im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm ProgRess III werden verschiedene Maßnahmen für die Verwertung von Abfällen genannt. Dazu gehören unter anderem:

- Produktverantwortung nachjustieren und weiterentwickeln mit dem Ziel der Erhöhung von Sammelquoten (zum Beispiel von Elektroaltgeräten und Altbatterien)

- Kunststoffrecycling stärken und weiterentwickeln, das heißt die stoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen im Allgemeinen und die werkstoffliche Verwertung von Kunststoffverpackungen im Speziellen
- Standardisierungs- und Zertifizierungssysteme für Rezyklate entwickeln, was unter anderem die Ausweisung physikalischer, chemischer und biologischer Eigenschaften zur Qualitätssicherung hinsichtlich wichtiger Schad- und Störstoffe impliziert
- Qualität von Rezyklaten erhöhen, die aus Elektroaltgeräten und Altfahrzeugen gewonnen werden
- Handlungsansätze zur Verbesserung der Erfassungs- und Verwertungsstrukturen der Abfallströme Alttextilien und Altreifen entwickeln
- Techniken zur Rückgewinnung von Wertstoffen aus kommunalen und industriellen Abwässern/Klärschlämmen/Klärschlammverbrennungsräucherungen fördern

3.5 Forschung und Förderung

Tabelle 5 gibt eine Auswahl an Fördermöglichkeiten im Bereich der Abfallverwertung aus der EU und Deutschland, welche vorrangig Unternehmen adressiert.

Ebene	Name	Inhalt
EU & NRW	Europäischer Fond für nachhaltige Entwicklung (EFRE): Umsetzung in NRW „Ressource.NRW - Innovative ressourceneffiziente Investitionen“	Innovative, ressourceneffiziente Investitionen von KMUs; Unterstützung von Recyclingmaßnahmen in mittelständischen Unternehmen Status: Konsultationsverfahren für neue Förderperiode 2021-2027 (EFRE.NRW, 2020)
DE	Umweltinnovationsprogramm (BMU)	Die KfW fördert innovative Umweltschutzmaßnahmen in Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen. Abfallvermeidung, -verwertung und -beseitigung zählen zu den förderungswürdigen Bereichen (BMU et al., o. J.)
DE	Exportinitiative Umwelttechnologien (BMU)	Verbreitung von Umwelttechnologien, um damit in anderen Ländern einen konkreten Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung und zu besseren Lebensbedingungen zu leisten. Förderung der Schaffung positiver Voraussetzungen und Strukturen (BMU, 2018).

Tabelle 5 Auswahl Förderprojekte zur Abfallverwertung

4 Beseitigung

Deutschland ist bestrebt, die am wenigsten bevorzugte Option der Beseitigung zu reduzieren und mehr Abfälle mithilfe von bevorzugteren Ansätzen der Abfallbehandlung zu bearbeiten. Ein Auszug der verschiedenen Beseitigungsverfahren gibt das KrWG (2012):

- Ablagerungen in oder auf dem Boden (zum Beispiel Deponien)
- Dauerlagerung (zum Beispiel Lagerung von Behältern in einem Bergwerk)

- Behandlung im Boden (zum Beispiel biologischer Abbau von flüssigen oder schlammigen Abfällen im Erdreich)
- Verpressung (zum Beispiel Verpressung pumpfähiger Abfälle in Bohrlöcher, Salzdome oder natürliche Hohlräume)
- Oberflächenaufbringung (zum Beispiel Ableitung flüssiger oder schlammiger Abfälle in Gruben, Teiche oder Lagunen)
- Speziell angelegte Deponien (zum Beispiel Ablagerung in abgedichteten, getrennten Räumen, die gegeneinander und gegen die Umwelt verschlossen und isoliert werden)
- Einleitung in ein Gewässer mit Ausnahme von Meeren und Ozeanen
- Einleitung in Meere und Ozeane einschließlich Einbringung in den Meeresboden
- Verbrennung an Land
- Vermengung oder Vermischung vor Anwendung eines der aufgeführten Verfahren
- Neuverpacken vor Anwendung eines der aufgeführten Verfahren
- Lagerung bis zur Anwendung eines der aufgeführten Verfahren (ausgenommen zeitweilige Lagerung bis zur Sammlung auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle)

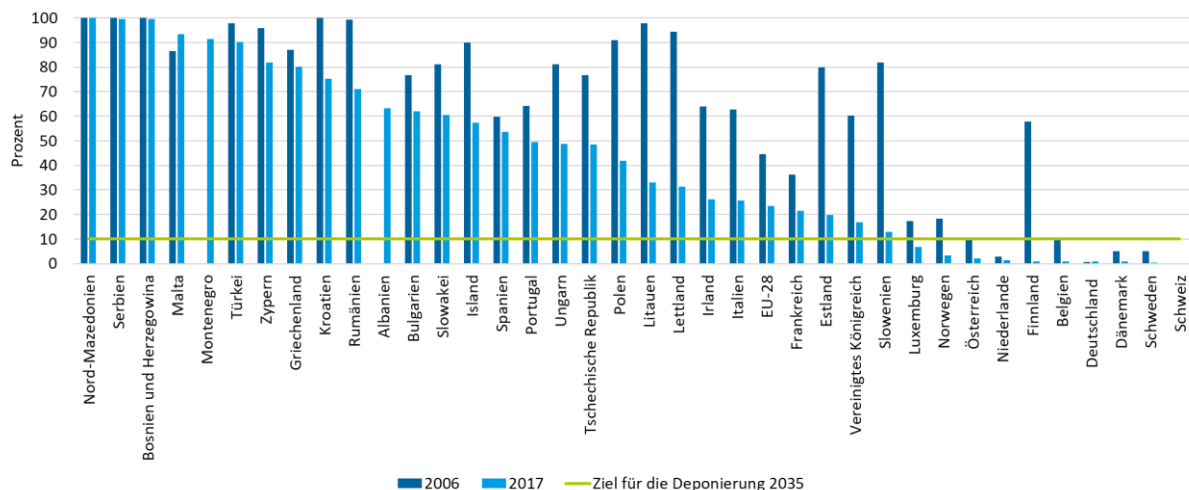


Abbildung 8 Deponieraten und Ziele in der EU (Eurostat, 2021)

Ein erster Schritt in Richtung einer Reduzierung der Abfallbeseitigung war das Deponieverbot für eine unbehandelte Deponierung von biologisch abbaubaren Siedlungsabfällen, welches seit 2005 in Kraft ist. Es gilt jedoch nur für Siedlungsabfälle und beispielsweise nicht für Bauabfälle, die den größten Anteil am Gesamtabfallaufkommen in Deutschland ausmachen. Nichtsdestotrotz konnte der Deponierungsanteil signifikant reduziert werden. Sowohl der Recyclinganteil als auch der Verbrennungsanteil am Abfallaufkommen sind in Deutschland infolgedessen gestiegen. Die Deponieverordnung regelt die wesentlichen Punkte im Rahmen der Abfallbeseitigung auf Deponien. Im Jahr 2018 wurden noch circa 18,4 Prozent aller behandelten Abfälle³ (0,86 Tonnen pro Kopf) in Deutschland auf Deponien verbracht (Eurostat, 2020). Dies zeigt, dass die Deponierung nach wie vor eine Herausforderung ist, die sowohl in Deutschland als auch innerhalb der Europäischen Union angegangen werden muss, was Abbildung 8 verdeutlicht. **Viele Länder, darunter auch Deutschland, sind bisher weit von der Erreichung des vorgeschlagenen Ziels entfernt, bis 2030 höchstens 10 Prozent aller Abfälle zu deponieren.**

³ Inklusive dominant mineralische Abfälle, das heißt mineralische Bau- und Abbruchabfälle, andere mineralische Abfälle, Böden und Baggergut.

Literaturverzeichnis

- Biebeler, H.; Lang, T. (2014): Ressourceneffizienzindikatoren – Darstellung und Bewertung; Aktueller Überblick über den nationalen und internationalen Stand der Diskussion zum Thema Ressourceneffizienz – industrie- und wirtschaftspolitische Bewertung von Ressourceneffizienzindikatoren. Studie für das BMWI. Köln. Online verfügbar unter <https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2015/206466/REI-Abschlussbericht.pdf>.
- BMBF (2019): KMU-innovativ: Ressourceneffizienz und Klimaschutz. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/kmu-innovativ-ressourcen-und-energieeffizienz-612.html>.
- BMU (2004): Verbot der Mülldeponierung tritt pünktlich in Kraft. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/pressemitteilung/verbot-der-muelldeponierung-tritt-puenktlich-in-kraft/>.
- BMU (2009): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen. Abfallablagerungsverordnung. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/gesetz/verordnung-ueber-die-umweltvertraegliche-ablagerung-von-siedlungsabfaellen-und-ueber-biologische-abfallb/>.
- BMU (2013): Abfallvermeidungsprogramm des Bundes unter Beteiligung der Länder. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/abfallvermeidungsprogramm_bf.pdf.
- BMU (2018): Exportinitiative Umwelttechnologien. Online verfügbar unter <https://www.exportinitiative-umweltschutz.de/de/exportinitiative-umwelttechnologien>.
- BMU (2020): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III. 2020 - 2023. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Ressourceneffizienz/progress_iii_programm_bf.pdf.
- BMU; UBA; KfW (o. J.): Umweltinnovationsprogramm. Online verfügbar unter <https://www.umweltinnovationsprogramm.de/>.
- BMWI (2018): 7. Energieforschungsprogramm. Innovationen für die Energiewende der Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/7-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=14.
- BMWI (2021): Förderdatenbank. Online verfügbar unter <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/KfW/umweltprogramm-kfw-bund.html>.
- Bocken, N. M. P.; Pauw, I. de; Bakker, C.; van der Grinten, B. (2016): Product design and business model strategies for a circular economy. In: *Journal of Industrial and Production Engineering* (33), S. 308–320.
- DNR (2018): DAS NEUE EU-ABFALLPAKET – AUF DEM WEG IN EINE KREISLAUFWIRTSCHAFT? Online verfügbar unter https://www.dnr.de/fileadmin/Publikationen/Steckbriefe_Factsheets/18_06_07_EUK_Steckbrief_Kreislaufwirtschaftspaket_2018.pdf.
- EFA NRW (o. J.): Beratung mit Mehrwert. Online verfügbar unter <https://www.ressourceneffizienz.de/leistung/ressourceneffizienz-beratung>.

- EFRE.NRW (2020): Konsultationsverfahren zum EFRE.NRW 2021-2027. Online verfügbar unter <https://www.efre.nrw.de/europaeische-kohaesionspolitik-ab-2021/efrenrw-2021-2027/>.
- EIB (2019): Europäischer Fonds zur Förderung der Kreislaufwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.eib.org/de/press/all/2019-328-a-european-fund-to-support-the-circular-bioeconomy>.
- EU (2008): RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ%3AL%3A2008%3A312%3A0003%3A0030%3Ade%3APDF>.
- EU (2018): RICHTLINIE (EU) 2018/852 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0852&from=DE>.
- Eurostat (2016): Waste statistics. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics.
- Eurostat (2020): Material flows in the circular economy. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Material_flows_in_the_circular_economy#S.
- Eurostat (2021): Municipal waste by waste management operations. Online verfügbar unter http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun.
- KrWG (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/krwg/index.html>.
- Neligan, A. (2016): Moving towards a Circular Economy. Europe between Ambitions and Reality. Online verfügbar unter https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2016/289257/IW-Policy_Paper_2016-09_Circular_Economy.pdf.
- Neligan, A. (2018a): 2025 recycling target: only 10 EU countries on track. Online verfügbar unter https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2018/IW-Kurzbericht_2018_28_Circular_Economy.pdf.
- Neligan, A. (2018b): Two years later: The EU Circular Economy Package. An Update. Online verfügbar unter https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/policy_papers/PDF/2018/IW-Policy-Paper_2018_9_The_Circular_Economy_Package.pdf.
- Ökoprofit NRW (2020): Erweiterte Fördermöglichkeiten durch neue ÖKOPROFIT-Richtlinie. Online verfügbar unter <http://www.oekoprofit-nrw.de/default.asp?ShowNews=ON&ID=508&Menu=4>.
- Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E.; Hanemaaijer, A. (2017): Circular Economy: Measuring innovation in the product chain. Policy Report. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. The Hague (2544).

- Stahel, W. R. (1994): The utilization focused service economy: Resource efficiency. In: The Greening of Industrial Ecosystems. Unter Mitarbeit von Allenby B. R. und D. J. Richards. Washington, DC: National Academy Press, S. 178–190.
- Statistisches Bundesamt (2020a): 91111-0002: Indikatoren zur nachhaltigen Entwicklung: Deutschland, Jahre. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=2&levelid=1617891453440&levelid=1617891437855&step=1#ab-readcrumb>.
- Statistisches Bundesamt (2020b): Abfallbilanz - 2018. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.html>.
- Statistisches Bundesamt (2021): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Was sind Rohstoffäquivalente? Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/>.
- UBA (2012): Glossar zum Ressourcenschutz. Unter Mitarbeit von J. Kosmol, J. Kanthak, F. Herrmann, M. Golde, C. Alsleben, G. Penn-Bressel et al. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/glossar-ressourcenschutz>.
- UBA (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE: Langfassung. Unter Mitarbeit von K. Purr, J. Günther, H. Lehmann und P. Nuss. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/rescue>.
- UBA (2020a): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2018. Abschlussbericht. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_166-2020_aufkommen_und_verwertung_von_verpackungsabfaellen_in_deutschland_im_jahr_2018.pdf.
- UBA (2020b): Rohstoffproduktivität. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/rohstoffe-als-ressource/rohstoffproduktivitaet#indikator-quotrohstoffproduktivitaetquot>,
- UBA (2021a): Daten zur Umwelt. Umweltmonitor 2020. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/daten-zur-umwelt_umweltmonitor-2020_webfassung_bf.pdf.
- UBA (2021b): Innovationen für die Circular Economy - Aktueller Stand und Perspektiven. Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen Umweltinnovationspolitik. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_01_11_uib_01-2021_innovationen_circular_economy.pdf.
- UBA (2021c): Klimaverträgliche Abfallwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/klimavertraegliche-abfallwirtschaft#abfallbehandlung-schutzt-heute-das-klima>.
- UN Environment Programme (2019): Resource Efficiency and Climate Change. Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Summary for Policy Makers. Nairobi.
- Werland, S.; Graaf, L.; Jacob, K.; et al. (2014): Nexus Ressourceneffizienz und Energiewende. Eine Analyse der Wechselwirkungen. Berlin. Online verfügbar unter www.ressourcenpolitik.de.

Wilts, H.; Galinski, L.; Gries, N. von; Saurat, M.; Schinkel, J.; Steger, S. et al. (2019): Geeignete Maßstäbe und Indikatoren zur Erfolgskontrolle von Abfallvermeidungsmaßnahmen. Hg. v. UBA. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/geeignete-massstaebe-indikatoren-zur>.

Zanker, C.; Kinkel, S.; Maloča, S. (2013): Globale Produktion von einer starken Heimatbasis aus: Verlagerungsaktivitäten deutscher Unternehmen auf dem Tiefstand. Hg. v. Fraunhofer ISI. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/handle/10419/71285>.