

## Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft

Berlin, 01.10.2024

Bericht zum Vorhaben Wissenschaftliche Unterstützung Klimapolitik und Maßnahmenprogramm (14-BE-2203)

### **Ansprechpartner / Autorinnen und Autoren**

Dr. Jochen Hoffmeister (Prognos)

Dr. Bärbel Birnstengel (Prognos)

Patrick Bechhaus (Prognos)

Heike Winter-Hamerla (Prognos)

Florian Knappe (ifeu)

Joachim Reinhardt (ifeu)

Johannes Haller (IREES)

Jana Deurer (IREES)

Dr. Nele Friedrichsen (IREES)

Siddharth Prakash (Öko-Institut)

Günter Dehoust (Öko-Institut)

Lucía Gascón Castillero (Öko-Institut)

**Prognos AG Berlin**  
Goethestraße 85  
10623 Berlin

**IREES GmbH**  
Durlacher Allee 77  
76131 Karlsruhe

**Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg  
gGmbH**  
Wilckensstraße 3  
69120 Heidelberg

**Öko-Institut**  
Merzhauser Str. 173  
79100 Freiburg

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>1. Kurzfassung</b>	<b>9</b>
<b>Abstract</b>	<b>27</b>
<b>2. Anlass, Aufgabenstellung und Untersuchungsrahmen der Studie</b>	<b>44</b>
<b>2.1. Herausforderungen des Transformationsprozesses</b>	<b>45</b>
2.1.1. Zielbild einer Circular Economy	45
2.1.2. Status quo der Kreislaufwirtschaft	47
2.1.3. Transformationsansätze	48
<b>2.2. Ausgangssituation für die Ermittlung und Zuordnung der Klimaschutzpotenziale</b>	<b>49</b>
<b>3. Inhaltliche und methodische Vorgehensweise</b>	<b>51</b>
<b>3.1. Definition des Untersuchungsrahmens</b>	<b>51</b>
3.1.1. Berücksichtigte Stoffströme	52
3.1.2. Nicht berücksichtigte Stoffströme	53
<b>3.2. Überblick über die vorhandenen Studien und Datengrundlagen</b>	<b>57</b>
<b>3.3. Berechnung der CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale</b>	<b>57</b>
<b>4. Klimaschutzpotenziale der Circular Economy</b>	<b>59</b>
<b>4.1. Abgrenzung der Maßnahmenebenen</b>	<b>59</b>
<b>4.2. Ergebnisse auf der Ebene der rahmensetzenden Maßnahmen</b>	<b>60</b>
4.2.1. Überblick	61
4.2.2. Akteursgruppe Bau- und Wohnungswirtschaft	65
4.2.3. Akteursgruppe Verbraucher	68
4.2.4. Akteursgruppe Industrie und Gewerbe	70
<b>4.3. Ergebnisse auf der Ebene der prozessbezogenen Maßnahmen</b>	<b>73</b>
4.3.1. Überblick	73
4.3.2. Sammlung und Transport	74
4.3.3. Sortierung, Aufbereitung und stoffliche Verwertung	75
4.3.4. Energetische Verwertung	76
4.3.5. Beseitigung auf Deponien	78
<b>4.4. Ergebnisse für die Ebene der stoffstrombezogenen Maßnahmen</b>	<b>80</b>
4.4.1. Überblick über die wesentlichen Stoffströme	80
4.4.2. Zuordnung der Ergebnisse zu den CRF-Sektoren	86

<b>5.</b>	<b>Analyse bestehender Defizite für die Realisierung von Klimaschutzpotenzialen einer Circular Economy</b>	<b>88</b>
<b>5.1.</b>	<b>Überblick</b>	<b>88</b>
<b>5.2.</b>	<b>Defizitanalyse nach unterschiedlichen Akteursgruppen</b>	<b>91</b>
5.2.1.	Gesetzgeber	91
5.2.2.	Öffentliche Verwaltung	91
5.2.3.	Forschung und Entwicklung	92
5.2.4.	Produzenten	92
5.2.5.	Bau- und Wohnungswirtschaft	93
5.2.6.	Händler	93
5.2.7.	Entsorger	93
5.2.8.	Konsumenten	94
<b>6.</b>	<b>Verbesserung bestehender und Entwicklung neuer Instrumente zur Realisierung der Klimaschutzpotenziale</b>	<b>95</b>
<b>6.1.</b>	<b>Inhaltliche und methodische Vorgehensweise</b>	<b>95</b>
<b>6.2.</b>	<b>Rahmensetzende Maßnahmen nach Handlungsfeldern/ Herkunftsbereichen</b>	<b>95</b>
6.2.1.	Industrie und Gewerbe	95
6.2.2.	Bauen und Wohnen	98
6.2.3.	Verkehr und Fahrzeuge	98
6.2.4.	Kommunalwirtschaft	99
<b>6.3.</b>	<b>Stoffstrombezogene Maßnahmen nach Hauptabfall- und Hauptwertstoffströmen</b>	<b>99</b>
6.3.1.	Altfahrzeuge	101
6.3.2.	Altholz	106
6.3.3.	Aluminium	108
6.3.4.	Batterien	111
6.3.5.	Bau- und Abbruchabfälle	115
6.3.6.	Bioabfall	120
6.3.7.	Elektro- und Elektronik-Altgeräte	124
6.3.8.	Fe-Metalle	130
6.3.9.	Glas	133
6.3.10.	Grünabfälle	136
6.3.11.	Kunststoffe	140
6.3.12.	Kupfer	143
6.3.13.	Papier, Pappe, Kartonagen	146
6.3.14.	Textilien	149
6.3.15.	Verpackungen	153

<b>6.4.</b>	<b>Ergebnisse der stoffstrombezogenen Maßnahmen</b>	<b>158</b>
<b>7.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>159</b>
<b>8.</b>	<b>Abfallschlüsselnummern nach Stoffströmen</b>	<b>161</b>
<b>9.</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>165</b>
<b>9.1.</b>	<b>Studien</b>	<b>165</b>
<b>9.2.</b>	<b>Gesetze / Verordnungen / Richtlinien</b>	<b>173</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	THG-relevante Wertschöpfungsstufen in der Circular Economy	12
Abbildung 1-2:	Übersicht ausgewählter rahmensetzender Maßnahmen zur Erreichung einer Circular Economy	14
Abbildung 1-3:	Entwicklung der THG im Sektor „Abfallwirtschaft und Sonstiges“ des Klimaschutzgesetzes	16
Abbildung 1-4:	Zusammenfassender Überblick über die CO <sub>2</sub> e-Minderungspotenziale in den drei Maßnahmenebenen	17
Abbildung 1-5:	Entwicklung der THG bis zum Jahr 2030 unter Berücksichtigung der zusätzlichen CO <sub>2</sub> e-Minderungspotenziale der Circular Economy	17
Abbildung 2-1:	Kreislaufwirtschaft als Bestandteil der Circular Economy	44
Abbildung 2-2:	Grobstruktur einer Circular Economy	46
Abbildung 2-3:	Wertschöpfungsstufen der Kreislaufwirtschaft	47
Abbildung 2-4:	Erweiterte Abfallhierarchie gemäß Vorschlag des SRU	49
Abbildung 2-5:	Entwicklung der THG im Sektor „Abfallwirtschaft und Sonstiges“ des Klimaschutzgesetzes	50
Abbildung 2-6:	CRF-Sektoren für die Zuordnung der Beiträge der Circular Economy zum Klimaschutz	51
Abbildung 3-1:	Überblick Datengrundlagen	57
Abbildung 4-1:	THG-relevante Wertschöpfungsstufen in der Circular Economy	59
Abbildung 4-2:	Übersicht ausgewählter vorsorgender/steuernder Maßnahmen zur Erreichung einer zirkulären Wirtschaft	63
Abbildung 4-3:	CO <sub>2</sub> e-Minderungspotenziale ausgewählter vorsorgender/steuernder Maßnahmen für das Jahr 2030	64
Abbildung 4-4:	Potenzialabschätzung „Emissionsfreie Antriebe“	75
Abbildung 4-5:	Potenzialabschätzung „Reduzierung der CO <sub>2</sub> -Emissionen der TAB“	78
Abbildung 4-6:	Exkurs: Potenzialabschätzung „Schlacken aus TAB“	78
Abbildung 4-7:	Potenzialabschätzung Deponiebelüftung und Gaserfassung	79
Abbildung 4-8:	Potenzialabschätzung PV-Anlagen auf Deponien	79
Abbildung 4-9:	Aktuelle und zusätzlich erreichbare Recyclinganteile	85
Abbildung 4-10:	CO <sub>2</sub> e-Vermeidungspotenziale der Stoffströme in Mio. t CO <sub>2</sub> e	85
Abbildung 4-11:	CO <sub>2</sub> e-Vermeidungspotenziale der Stoffströme in Mio. t CO <sub>2</sub> e	88
Abbildung 5-1:	Anzahl der identifizierten Defizite nach Stoffströmen	89
Abbildung 5-2:	Identifizierte Defizite nach Wirkungsbereichen	89
Abbildung 5-3:	Anzahl der identifizierten Defizite nach Akteursgruppen	90
Abbildung 6-1:	Anzahl der vorgeschlagenen Maßnahmen nach Stoffströmen	100
Abbildung 6-2:	Anzahl der vorgeschlagenen Maßnahmen nach Handlungsfeldern (Mehrfachnennung möglich)	100
Abbildung 6-3:	Anzahl der vorgeschlagenen Maßnahmen nach Zielgruppen	101
Abbildung 6-4:	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Altfahrzeuge	104

Abbildung 6-5	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Altholz	107
Abbildung 6-6	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Aluminium	110
Abbildung 6-7	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Batterien	113
Abbildung 6-8	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Bau- und Abbruchabfälle	118
Abbildung 6-9	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Bioabfall	122
Abbildung 6-10	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Elektro- und Elektronik-Altgeräte	128
Abbildung 6-11	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Fe-Metalle	132
Abbildung 6-12	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Glas	135
Abbildung 6-13	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Grünabfälle	138
Abbildung 6-14	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Kunststoffe	141
Abbildung 6-15	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Kupfer	145
Abbildung 6-16	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Papier, Pappe, Kartonagen	148
Abbildung 6-17	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Textilien	151
Abbildung 6-18	Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Verpackungen	156

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Überblick über die in der Studie berücksichtigten Stoffströme	11
Tabelle 1-2:	Relevante rahmensetzende Maßnahmen nach Handlungsfeldern	19
Tabelle 3-1:	Überblick über die in der Studie berücksichtigten Stoffströme	53
Tabelle 4-1:	Recyclingquoten und CO <sub>2</sub> e-Minderungspotenziale nach Stoffströmen	83
Tabelle 4-2:	CO <sub>2</sub> e-Minderungspotenziale nach Sektoren	86
Tabelle 6-1	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Altfahrzeuge	102
Tabelle 6-2	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Altholz	106
Tabelle 6-3	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Aluminium	109
Tabelle 6-4	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Batterien	112
Tabelle 6-5	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen – Bau- und Abbruchabfälle	115
Tabelle 6-6	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Bioabfall	121
Tabelle 6-7	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen – Elektro- und Elektronik-Altgeräte	125
Tabelle 6-8	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen – Fe-Metalle	130
Tabelle 6-9	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Glas	134
Tabelle 6-10	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Grünabfälle	137
Tabelle 6-11	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Kunststoffe	140
Tabelle 6-12	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Kupfer	143
Tabelle 6-13	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen – Papier, Pappe, Kartonagen	147
Tabelle 6-14	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Textilien	150
Tabelle 6-15	Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Verpackungen	154



## 1. Kurzfassung

### Anlass und Aufgabenstellung

Die vorliegende Studie „**Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft**“ wurde im Dezember 2022 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) an die Projektpartner ifeu, IREES, Öko-Institut und Prognos vergeben. Konsortialführer für den Rahmenvertrag, innerhalb dessen die Studie beauftragt wurde, ist das Öko-Institut, die inhaltliche Federführung für dieses Projekt hat die Prognos übernommen.

Das BMWK verfolgt mit der Durchführung dieser Studie das Ziel, einen **zusammenfassenden** und gleichzeitig **übergreifenden Blick** auf die Klimaschutzpotenziale zu erhalten, die durch die Kreislaufwirtschaft bis zum Jahr 2030 noch **zusätzlich** zu den aktuell bestehenden Beiträgen zur CO<sub>2</sub>e-Minderung realisiert werden können.

In der vorliegenden Studie werden die **Minderungspotenziale** an CO<sub>2</sub>e auf verschiedenen Ebenen quantifiziert und ferner die bisherigen **Defizite** für die Umsetzung der notwendigen **Maßnahmen** analysiert. Auf Grundlage der Ergebnisse werden unterschiedliche **Instrumente** vorgeschlagen, die zu einer Realisierung der dargestellten **Klimaschutzpotenziale** der Kreislaufwirtschaft führen (können). Der zusätzliche Beitrag **aller Akteure** der Circular Economy ist notwendig, damit Deutschland bis zum Jahr 2045 klimaneutral werden kann.

In der THG-Inventarisierung gemäß dem UNFCCC wird über die Emissionen eines sehr kleinen Teils der Kreislaufwirtschaft bzw. der Circular Economy in der **Quellkategorie** (Common Reporting Format - CRF) **5 „Abfall und Sonstiges“** berichtet. Um eine Doppelberichterstattung zu vermeiden, werden in diesem Sektor nur direkte, nicht energetische Emissionen aus Abfalldeponien, der mechanisch-biologischen Behandlung, der Kompostierung und der Abwasserbehandlung erfasst. Mit diesem Zuschnitt wird das gesamte Spektrum der Leistungen und Potenziale der Kreislaufwirtschaft zur CO<sub>2</sub>e-Minderung allerdings nur **unzureichend** abgebildet. Gleichwohl die Akteure der Kreislaufwirtschaft die gesamte Wertschöpfungskette von der Erfassung der Abfälle und Wertstoffe bis hin zum Wiedereinsatz der Sekundärrohstoffe und der Deponierung organisieren und verantworten, werden die klimarelevanten Effekte der Branchentätigkeit fast ausschließlich anderen CRF-Sektoren gutgeschrieben, beispielsweise dem Verkehr, der Industrie oder der Energieerzeugung.

Vor diesem Hintergrund dieser Praxis geht naturgemäß der Blick für die **Gesamtleistung der Branche** verloren und auch der Überblick, an wen die breit diskutierten **Maßnahmen** zur besseren Kreislaufführung von Rohstoffen bis hin zu einer **Circular Economy** eigentlich zu **adressieren** sind. Das BMWK möchte mit der **vorliegenden Studie** Antworten auf die Fragen geben,

- an welchen Stellen der Kreislaufwirtschaft **Potenziale** zur CO<sub>2</sub>e-Minderung in welcher **Größenordnung** bestehen,
- welche **Hemmnisse** bislang einer Umsetzung entgegengestanden haben und
- welche **Maßnahmen** notwendig sind, um diese Potenziale nach Möglichkeit bis zum Jahr 2030 zu realisieren.

Um diese Fragen umfassend beantworten zu können, wurde von den Projektpartnern ein differenziertes Untersuchungsprogramm erarbeitet. Dabei galt es zu berücksichtigen, dass Maßnahmen zur Reduzierung bzw. Vermeidung von CO<sub>2</sub>e -Emissionen auch den **Transformationsprozess** zu einer **Circular Economy** unterstützen müssen, in dem sich die Kreislauf-

wirtschaft derzeit befindet. Die Einsicht in die Notwendigkeit, künftig zirkulär zu wirtschaften, wächst auf Seiten aller Akteure. Die Kreislaufwirtschaft spielt in dem Transformationsprozess von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaft eine zentrale Rolle.

### Definitionen für die Bilanzierung von Maßnahmen

Seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts hat sich die Abfallwirtschaft kontinuierlich weiterentwickelt. Im ersten Umweltbericht der Bundesregierung aus dem Jahr 1970 wurde die Anzahl der wilden Müllkippen noch auf 50.000 geschätzt, die Emissionen insbesondere an Methan waren beträchtlich. Mit dem „Gesetz über die Beseitigung von Abfall“ (AbfG) wurde 1972 die erste bundeseinheitliche Regelung des Abfallrechtes geschaffen, 1986 folgte das „Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (AbfG)“, in dem zum ersten Mal die Abfallhierarchie: Vermeiden – vermindern – verwerten für die Entsorgung festgelegt wurde. Die Schonung der natürlichen Ressourcen und die Förderung der stofflichen Verwertung lag im Fokus des „Gesetzes zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (KrWG), welches 1996 in Kraft trat.

Weitere Meilensteine wurden von der EU u. a. mit der Abfallrahmenrichtlinie (2008), der „Closing the Loop – An EU Action Plan for the Circular Economy“ (2015) und dem „EU Green Deal: EU-Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft II“ (2020) gesetzt, letztere mit dem Ziel, Maßnahmen, Initiativen, Strategien, Rechts- oder Politikrahmen zu setzen, die den gesamten Lebenszyklus von Produkten betreffen, die Wirtschaft transformieren und zugleich die Umwelt schützen sollen.

Die Abfallwirtschaft befindet sich in einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess. Vor diesem Hintergrund ist es für die Bilanzierung der CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale wichtig, eine **begriffliche Klarheit** darüber zu erzielen, über welchen **Stand** bzw. welche **Phase der Abfallwirtschaft** gesprochen wird, da damit jeweils unterschiedliche Wirkungsbereiche, Zielsetzungen und Instrumente verbunden sind:

- Die **Abfallwirtschaft** verfolgte bis etwa Anfang der 2000er Jahre das Ziel einer Bewirtschaftung von Abfällen und folgte dem linearen Wirtschaftsmodell. Klimaschutz stand nicht im Focus der Entsorgung, CO<sub>2</sub>e-Minderungseffekte waren daher sehr gering und bezogen sich nur auf die rudimentäre Erfassung von Glas, Papier und Metallen.
- Die **kreislauforientierte Abfallwirtschaft** zielte als nächste Entwicklungsstufe auf eine Kreislaufführung von mengenrelevanten Wertstoffen aus dem Siedlungsabfall ab und folgt dem linearen Wirtschaftsmodell mit einer partiellen Kreislaufführung. Die CO<sub>2</sub>e-Minderungseffekte waren durch die größeren Mengen an erfassten Wertstoffen bereits höher, die Tiefe der stofflichen Verwertung und der Wiedereinsatz von Recyclingrohstoffen war aber insgesamt noch gering.
- Mit der **Kreislaufwirtschaft** beginnt etwa ab dem Jahr 2008 der Einstieg in ein zirkuläres Wirtschaftsmodell mit dem Ziel der Kreislaufführung relevanter Rohstoffe aus den Siedlungs-, Bau- und Gewerbeabfällen. Flankiert von erweiterten gesetzlichen Rahmenbedingungen entsteht ein hohes Klimaschutzpotenzial aus der umfassenderen stofflichen Verwertung und dem Wiedereinsatz von Recyclingrohstoffen. CO<sub>2</sub>e-Minderungspotentiale entstehen im Wirkungs- bzw. Verantwortungsbereich der Kreislaufwirtschaft: Sammlung, Transport, stoffliche und energetische Verwertung sowie Beseitigung.
- Die **Circular Economy** ist als umfassendes zirkuläres Wirtschaftsmodell angelegt mit dem Ziel, die Kreislaufführung von Rohstoffen über alle Wertschöpfungsstufen der Produktion sowie der Nutzung von Produkten zu organisieren. Damit wird die Kreislaufwirtschaft zu

einem (wesentlichen) Teil der Circular Economy, welcher die letzte Phase der Kreislauf-führung verantwortet. Die CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale der Circular Economy sind sehr hoch, da sie anders als die Kreislaufwirtschaft auch Einfluss auf das Design von Produk-ten, die Produktionsweise und die Nutzungsart und -dauer von Produkten hat.

### Inhaltliche und methodische Vorgehensweise

Die Betrachtung der Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft erfolgt in dieser Studie in erster Linie **stoffstrombezogen** für ausgewählte Stoffströme. Das bedeutet, dass die für eine Kreislaufführung relevanten Stoffströme im Hinblick auf ihre noch **zusätzlich möglichen Re-cyclingmengen** und **Wiedereinsatzquoten** analysiert und bewertet wurden, um anschlie-ßend anhand der zugehörigen **CO<sub>2</sub>e-Emissionsfaktoren** die **CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale** zu berechnen.

Dafür wurden die folgenden **Hauptstoffströme** (mit weiteren Teilströmen) untersucht:

**Tabelle 1-1: Überblick über die in der Studie berücksichtigten Stoffströme**

Stoffstrom	Teilfraktion	Stoffstrom	Teilfraktion	
Altfahrzeuge	Gesamt	Kunststoffe	Gesamt	
Altholz	Gesamt	Kupfer	Gesamt	
Batterien	Gesamt	Aluminium	Gesamt	
Bau- und Abbruch-abfälle	Beton	Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)	Gesamt	
	Boden und Steine		Textilien	Gesamt
	Dämmstoffe		Verpackungen	Altholz
Bioabfälle	Gesamt		Aluminium	
		Marktabfälle	Flüssigkartons	
			Glas	
Elektro- und Elekt-ronik-Altgeräte	IKT-Geräte		Kunststoffe	
	Leuchtmittel		Papier, Pappe, Karton	
	Weiße Ware		Stahl	
Fe-Metalle	Gesamt		Weißblech	
Glas	Gesamt			
Grünabfälle	Gesamt			
	Garten- und Parkabfälle			

Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Teilströme aus gemischten Hauptstoffströmen anteilig auch in den stoffstrombezogenen Hauptstoffströmen enthalten sind, was zu einer anteiligen Doppelzählung führt bzw. führen kann.

Nach eingehender **Prüfung** wurden die Stoffströme Lebensmittelabfälle, Öle und Fette, Straßenkehricht, pechhaltiger Straßenaufbruch sowie kommunale Klärschlämme nicht detailliert betrachtet (Begründung siehe Kapitel 3.1.2.).

Um die Effekte der rund 150 identifizierten Maßnahmen einschätzen bzw. berechnen zu können, wurden die Maßnahmen zunächst nach ihren **unterschiedlichen Wirkungen** im **Prozess der Circular Economy** und im Hinblick auf ihre Quantifizierbarkeit unterschieden. Die nachfolgende Abbildung zeigt die wesentlichen **Prozessschritte** der **Circular Economy** vom Produktdesign über den Konsum, das Recycling bis zur schlussendlichen Abfallbehandlung und liefert die Grundlage für die nachfolgende Einordnung von Maßnahmen.

Für die weitere Darstellung der Wirkung von Maßnahmen in der Circular Economy werden die folgenden Ebenen unterschieden:

• **Rahmensetzende Maßnahmen**

Unter „rahmensetzende“ Maßnahmen werden Maßnahmen verstanden, die darauf abzielen, den Kreislauf von Stoffströmen zu beeinflussen bzw. zu steuern. Dies beginnt beim Produktdesign, bedeutet aber auch, bestimmte **emissionsintensive Produkte** nicht entstehen zu lassen oder die **Inverkehrbringung** dieser Produkte zu minimieren bzw. zu substituieren. Zu dieser Ebene gehören auch Maßnahmen, die eine Steuerungswirkung auf das Konsum- bzw. Nutzungsverhalten (Sharing/Leasing), die Wiederverwendung von Produkten oder den Einsatz von Primär- und Sekundärrohstoffen (Abgaben) haben. Rahmensetzende Maßnahmen können wegen ihres teilweise sehr breit angelegten Einfluss- und/oder Regelungsbereiches gleichzeitig auch auf die Erfassung und Verwertung unterschiedlicher Stoffströme wirken. Die Wirkungen der rahmensetzenden Maßnahmen enden, wenn die Produkte ihren Lebenszyklus beendet haben und die Phase der Erfassung und Verwertung beginnt.

**Abbildung 1-1: THG-relevante Wertschöpfungsstufen in der Circular Economy**



Quelle: [BAM 2023], eigene Ergänzungen

- **Prozessbezogene Maßnahmen**

Hier schließen die „prozessbezogenen“ Maßnahmen an, die im Rahmen des operativen Recyclings von Wertstoffen (Erfassung bis zum Wiedereinsatz) zu THG-Minderungen führen können, wie beispielsweise die Festlegung von Sortierquoten. Diese Maßnahmen umfassen die Leistungserbringung in den „klassischen“ Wertschöpfungsstufen der Kreislaufwirtschaft, wie Erfassung, Sammlung und Transport, die Sortierung, die stoffliche und energetische Verwertung sowie die Beseitigung von Schadstoffen und betrachten dabei auch die technischen Optimierungspotenziale. Prozessbezogene Maßnahmen ergänzen in ihrer Zielrichtung häufig die Wirkungen stoffstrombezogener Maßnahmen.

- **Stoffstrombezogene Maßnahmen**

Unter „stoffstrombezogenen“ Maßnahmen werden Maßnahmen verstanden, die i. d. R. nur für die verbesserte Erfassung oder Verwertung eines Stoffstroms sorgen, beispielsweise die Bioabfallverordnung oder die Elektroaltgeräteverordnung. Um das Recycling und den Wiedereinsatz eines Stoffstroms unter THG-Gesichtspunkten zu optimieren, sind i. d. R. Maßnahmen aus allen drei Ebenen in jeweils unterschiedlichen (Wirkungs-)Anteilen notwendig.

### **Ergebnisse der Potenzialbetrachtungen – Rahmensetzende Maßnahmen**

Eine erste Betrachtung der **Klimaschutzpotenziale** der Circular Economy erfolgt auf der Ebene der **rahmensetzenden Maßnahmen**. Diese setzen nicht bei den Wertschöpfungsstufen der Kreislaufwirtschaft an, sondern betreffen den gesamten **Lebenszyklus von Produkten** und **Grundstoffen** sowie der **Produktion** in den vorgelagerten Prozessen. Bei den in dieser Studie dargestellten rahmensetzenden Maßnahmen handelt es sich um eine **Auswahl**, die auf der Grundlage der Maßnahmen getroffen wurde, für die in verschiedenen Studien Einsparpotenziale für CO<sub>2e</sub> quantifiziert wurden. Die ausgewählten Maßnahmen werden drei verschiedenen **Handlungsfeldern** zugeordnet: Bau- und Wohnungswirtschaft, Verbraucher sowie Industrie und Gewerbe.

Berücksichtigt man bei dieser Auswahl den Mittelwert der aufgeführten Maßnahmen sowie verschiedene Einsparpotenziale, die ebenfalls der Circular Economy zugeordnet werden können [Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin 2023a] ergibt sich im Jahr 2030 - ohne Anspruch auf Vollständigkeit – bei einer Bandbreite zwischen 35 Mio. t CO<sub>2e</sub> und 45 Mio. t CO<sub>2e</sub> ein **mittleres Einsparpotenzial** von rund **40 Mio. t CO<sub>2e</sub>**.

**Hinzu** kommen noch weitere Einsparungen in Höhe von rund **5 Mio. t CO<sub>2e</sub>**, die aus Konsum- und Suffizienz basierten Maßnahmen resultieren, die aber überwiegend in anderen Ländern wirksam werden und Deutschland nur zu Teilen angerechnet werden können [Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin 2023a]. Beispiele wären die Lebens- und Nutzungsdauerverlängerung von Elektro- und Elektronikgeräten, Reduktion des Textilkonsums oder eine starke pflanzenbasierte Ernährung.

Abbildung 1-2: Übersicht ausgewählter rahmensetzender Maßnahmen zur Erreichung einer Circular Economy

		Vermeidung/ Minimierung	Lebensdauererlängerung/ Nutzungsintensivierung	Substitution	Recycling
Handlungsfelder / Herkunftsbereiche Abfälle	 <b>Bauen &amp; Wohnen</b>	<b>Reduktion grauer Emissionen:</b> rechtliche Anforderungen zum Lebenszyklus von Gebäuden (bspw. GEG)	<b>Verringerter Neubau durch vorsorgende Instandhaltung:</b> Förderung von Sanierung, Sanktionierung von Abriss	<b>Nutzung von Sekundärmaterialien:</b> Normung und Gewährleistung, Standards für die öffentliche Beschaffung	<b>Gebäuderessourcenpass:</b> Erweiterung des Energieausweises um die Herstellungs- und Entsorgungsphase
		<b>Materialeffizienz im Neubau:</b> Förderung von materialeffizienter Bauplanung (bspw. BEG)		<b>Förderung von Holzbaustoffen als Substitut für Stahl &amp; Beton:</b> Senkung MWSt., Primärbaustoffsteuer	<b>Recyclinggerechter Abbruch:</b> Materialkataster, Design 4 Deconstruction, Schaffung von Recyclingmärkten
		<b>Reduktion der Wohnfläche:</b> Fit for Sharing: Flexibles Bauen fördern, Kommunale Wohnungs(tausch)börsen		<b>Gewerbeabfallverordnung:</b> Pflicht zur Getrennterfassung von Bau- und Abbruchabfällen	
	 <b>Verbraucher</b>	<b>Reduktion Verpackungen E-Commerce:</b> Pflicht zum separaten Ausweisen von Versandkosten	<b>Recht auf Reparatur:</b> Mindeststandards ins ElektroG, Stärkung/ Ausweitung der Ökodesign-Verordnungen	<b>Biobasierte Materialien:</b> Verpackungen aus Papier und Biomaterialien fördern	<b>Pfandsystem für Elektro-Altgeräte:</b> zur Erhöhung der Sammelquote für Recycling und Wiederaufbereitung
		<b>Mehr Mehrwegverpackungen:</b> Angebots-/ Rücknahmepflicht, Senkung MWSt., Anreize für Poolsysteme	<b>Car-Sharing stärken:</b> Abschaffung Dienstwagenprivileg, Parkgebühren, Verknüpfung mit ÖPNV		<b>Recyclinggerechtes Design:</b> Standards für sortenreine Verpackungen, mehr Ökodesignwissen in Ausbildungen
		<b>Reduktion von Verbraucherverpackungen:</b> Leitlinien zu unnötigen Verpackungen	<b>Miet- und Leasingmodelle:</b> Senkung MWSt. auf „Product-as-a-Service“-Modelle, Rechtssicherheit		<b>Digitaler Produktpass:</b> Erfassung von Materialien & Informationen zu Reparierbarkeit, Entsorgung, etc.
	 <b>Industrie &amp; Gewerbe</b>	<b>Materialeffizienz steigern:</b> Digitale Steuerungen und additive Fertigung fördern, Leichtbau bei PKW	<b>Förderung Reparatur &amp; Instandhaltung:</b> Bspw. Senkung MWSt. auf Ersatzteile & Reparaturdienstleistungen	<b>Fairer Wettbewerb ggü. Beton:</b> für Materialeffizienz & Recyclingbeton durch weniger kostenlose Zertifikate im ETS	<b>Neugestaltung der Beteiligungsentgelte:</b> Anpassung VerpackG §21 für Recyclingfähigkeit, Rezyklatsatz & Mehrweg
		<b>Reduktion von B2B-Verpackungen:</b> Anreize für Mehrwegsysteme		<b>Substitution durch Sekundärmetalle:</b> Trennung nach Legierungen Normieren und neue Verfahren fördern	<b>Signalwirkung:</b> durch CO <sub>2</sub> -Bepreisung von TAB im BEHG
					<b>Höhere Rezyklatquoten:</b> Vorgabe von verbindlichen Quoten je Produktgruppe in VerpackG

Quelle: IREES 2023

## Ergebnisse der Potenzialbetrachtungen – Prozessbezogene Maßnahmen

Die Minderungspotenziale in den einzelnen **Wertschöpfungsstufen** der Kreislaufwirtschaft entstehen aus **prozessbezogenen Betrachtungen** und beziehen sich auf bestimmte, operative Leistungen, die im Rahmen der Kreislaufwirtschaft erbracht werden, beispielsweise die Sammlung und den Transport, die energetische Verwertung oder das Recycling von Schlacken. Diese Potenziale können **weder vollständig** noch **redundanzfrei** zu den stoffstrombezogenen Analysen berechnet werden. Verbesserungen in der Sortiertechnik und eine Erhöhung der Quoten führen zu einer erhöhten Menge an Rezyklaten, die aber bereits über die stoffstrombezogenen Berechnungen abgebildet werden. **Nennenswerte Potenziale** werden sich in der Zukunft in den Bereichen Sammlung und Transport durch emissionsfreie Antriebe, in der energetischen Verwertung durch CCU/S Projekte (im Wesentlichen aber erst nach 2030), der Metallrückgewinnung aus Schlacken und der Errichtung von PV-Anlagen auf früher abfallwirtschaftlich genutzten Flächen erschließen lassen. Die beispielhaft dargestellten Maßnahmen und Projekte stehen für ein Emissionsminderungspotenzial von etwa **5,0 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

## Ergebnisse der Potenzialbetrachtungen – Stoffstrombezogene Maßnahmen

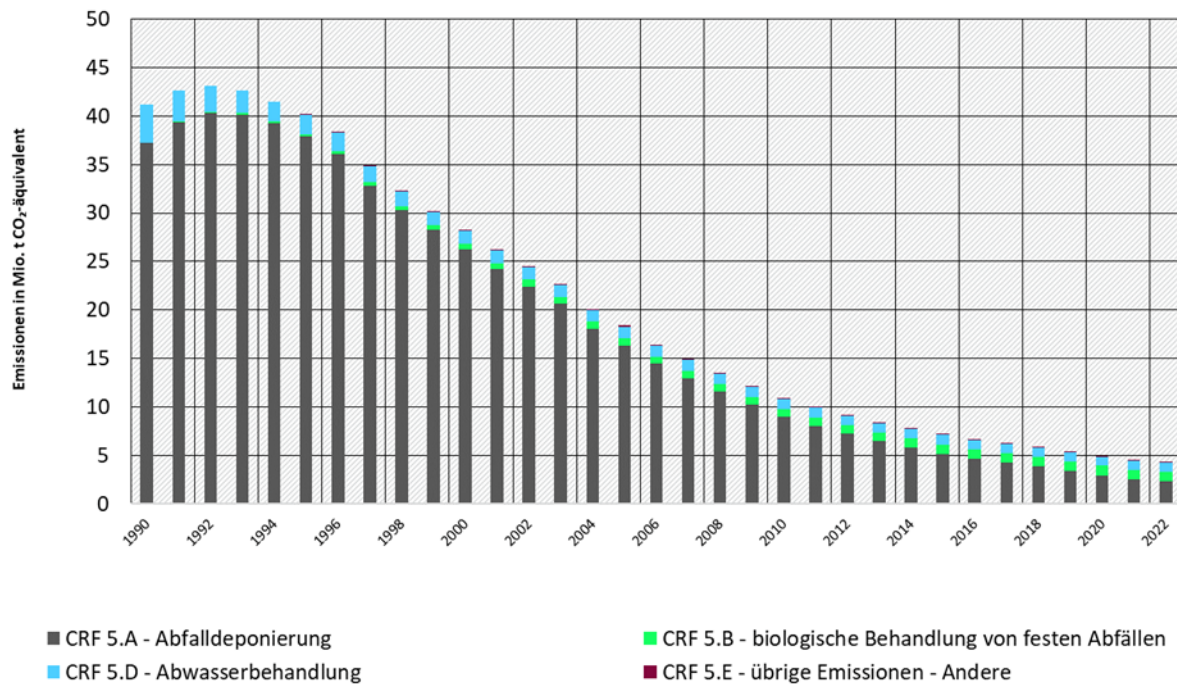
Die differenzierte Analyse der betrachteten **Stoffströme** zeigt, dass bereits heute durch das Recycling dieser Fraktionen **eine jährliche Einsparung von rund 60 Mio. t. CO<sub>2</sub>e** erzielt wird. Zählt man hierzu die rund 35 Mio. t. CO<sub>2</sub>e, die aus der Schließung der Deponien für unvorbehandelte Siedlungsabfälle resultieren, sowie die rund 7 Mio. t. CO<sub>2</sub>e, die aktuell aus den Energie- und Recyclinggutschriften<sup>1</sup> der thermischen Abfallbehandlung entstehen, kann unter Berücksichtigung von weiteren, aber deutlich kleineren Potenzialen, **aktuell** von einer **jährlichen Größenordnung** von mindestens **100 Mio. t. CO<sub>2</sub>e** ausgegangen werden, die die Kreislaufwirtschaft im Vergleich zum Basisjahr 1990 zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>e-Emissionen in Deutschland liefert.

Das **stoffstrombezogene CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial**, welches u. a. durch weitere Anstrengungen zur Erfüllung der Recyclingquoten und Optimierungen im Bereich Erfassung und Verwertung im Jahr 2030 zusätzlich zu realisieren ist, wird in der **unteren Bandbreite** auf **rd. 15 Mio. t. CO<sub>2</sub>e** geschätzt. Bei einem deutlich höheren Engagement in allen dargestellten Maßnahmenbereichen sehen wir das **maximal erreichbare Potenzial** bei diesen Stoffströmen bei **rd. 45 Mio. t. CO<sub>2</sub>e** im Jahr 2030 gegenüber dem Ausgangsjahr 2020.<sup>2</sup> Die wesentlichen Potenziale ergeben sich hier aus einer verbesserten Erfassung und Verwertung von Fe- und NE-Metallen, von Bau- und Abbruchabfällen sowie von Kunststoffen.

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>e-Gutschriften entstehen aus der Substitution fossiler Energieträger durch die Stromerzeugung aus Abfall, Recyclinggutschriften resultieren aus der Wiedergewinnung der in den Schlacken enthaltenen Metalle

<sup>2</sup> Eine eindeutige Abgrenzung der hier betrachteten Teilfraktionen ist aufgrund unterschiedlicher Datenquellen und Datenverfügbarkeit nicht immer möglich, daher können anteilige Doppelzählungen nicht vermieden werden. Die genannten Größenordnungen werden dadurch aber nicht substantiell verändert.

**Abbildung 1-3: Entwicklung der THG im Sektor „Abfallwirtschaft und Sonstiges“ des Klimaschutzgesetzes**



Quelle: [Umweltbundesamt 2023a]; eigene Darstellung

Von dem **maximal erreichbaren Potenzial** von rd. 45,5 Mio. t. CO<sub>2</sub>e entfallen etwa 36,8 Mio. t. CO<sub>2</sub>e (81 %) auf drei Hauptsektoren:

- rd. 19,5 Mio. t. CO<sub>2</sub>e (= 43 %) auf den Sektor 2.C Industrie: Metallproduktion,
- rd. 9,1 Mio. t. CO<sub>2</sub>e (= 20 %) auf den Sektor 2.B Industrie: Chemische Industrie und
- rd. 8,3 Mio. t. CO<sub>2</sub>e (= 18 %) auf den Sektor 2.A.1 Industrie: Zementproduktion.

Die verbleibenden rd. 8,7 Mio. t CO<sub>2</sub>e (= 19 %) verteilen sich in einer Größenordnung zwischen 1 % bis 5 % auf weitere CRF-Sektoren.

**Insgesamt** lassen sich auf der Grundlage der **Ergebnisse**

- der rahmensetzenden Maßnahmen (rund 40 Mio. bis 50 Mio. t CO<sub>2</sub>e Einsparung, **Mittelwert**: rd. 45 Mio. t CO<sub>2</sub>e),
- der prozessbezogenen Maßnahmen (rund 5 Mio. t CO<sub>2</sub>e Einsparung) und
- der stoffstrombezogenen Maßnahmen (rund 15 Mio. bis 45 Mio. t CO<sub>2</sub>e Einsparung, **Mittelwert**: rd. 30 Mio. t CO<sub>2</sub>e)

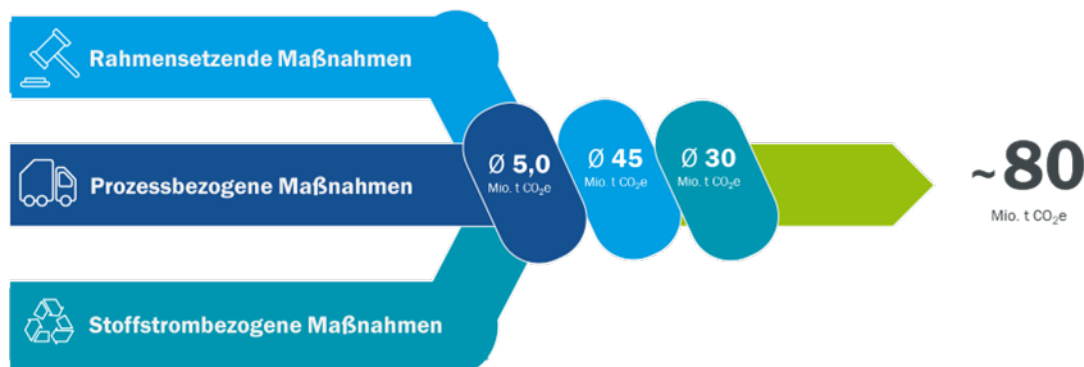
die **zusätzlichen Beiträge der Kreislaufwirtschaft** bis zum Jahr 2030 auf **etwa rund 80 Mio. t CO<sub>2</sub>e** schätzen.

Diese Summe umfasst, wie bereits dargestellt, nicht alle denkbaren und möglichen Potenziale der Circular Economy und setzt zusätzlich auch ein hohes Engagement der Akteure bei der Organisation und Realisierung der **Maßnahmen** sowie der Schaffung von **Absatz-Märkten** für



die Rezyklate voraus. Zur Ausschöpfung der Potenziale im Jahr 2030 müssen die dargestellten Maßnahmen zügig und möglichst umfassend umgesetzt werden.

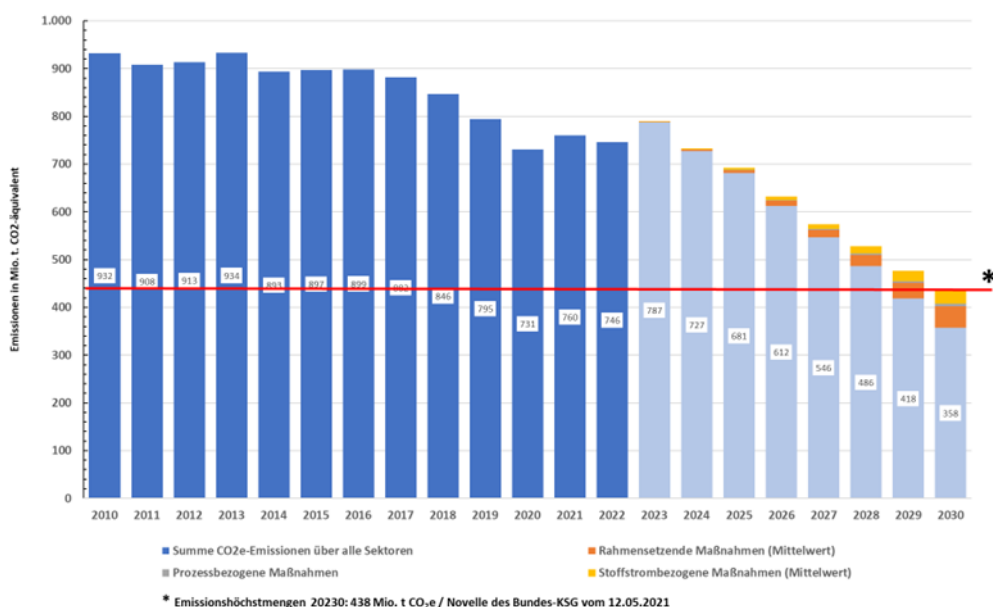
**Abbildung 1-4: Zusammenfassender Überblick über die CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale in den drei Maßnahmenebenen**



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung

Die ermittelten CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale beruhen auf der unterstellten Umsetzung einer **Vielzahl von Maßnahmen** aus den unterschiedlichsten Bereichen. Während die Maßnahmen auf den Ebenen der prozessbezogenen und der stoffstrombezogenen Maßnahmen **vergleichsweise eindeutig** in den Inhalten, Adressaten und Wirkungen sind, ist dies bei den **rahmensetzenden Maßnahmen** vielfach **nicht so eindeutig** gegeben.

**Abbildung 1-5: Entwicklung der THG bis zum Jahr 2030 unter Berücksichtigung der zusätzlichen CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale der Circular Economy**



Quelle: Inventar [Umweltbundesamt 2023a]; Projektion: Öko-Institut et al. MWMS-Szenario, eigene Berechnungen und Darstellung

Da wir aber davon ausgehen, dass auf dieser Ebene - mit dem Ziel einer Circular Economy - künftig die **wesentlichen Veränderungen** stattfinden müssen, um geschätzte Gesamtpotenziale von beispielsweise rund 186 Mio. t CO<sub>2</sub>e in 2045 [Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin 2023a] realisieren zu können, haben wir die aus unserer Sicht **relevanten Maßnahmen** zu insgesamt sechs Handlungsfeldern zusammengefasst:

### 1. Design for Recycling / Produktpass

- Ein intelligentes Produktdesign entscheidet über den (Sekundär-)Rohstoffeinsatz und die spätere Recyclingfähigkeit. Ein Produktpass liefert den Sortieranlagen die notwendigen Informationen über die verwendeten Stoffe.

### 2. Reparaturfähigkeit / Lebensdauer / Leasing

- a) Eine längere Lebensdauer von Produkten reduziert den Ressourceneinsatz für die Neuproduktion, dies kann auch über Leasing und Sharing von Produkten erreicht werden.

### 3. Getrennthaltung / Kreislaufführung

- a) Die saubere und konsequente Getrennthaltung von Wertstoffen verbessert die Recyclingfähigkeit und damit die Kreislaufführung von Wertstoffen erheblich. Wichtig ist dafür u. a. der Vollzug der GewAbfV.

### 4. Bau- und Wohnungswirtschaft / Förderung Recycling

- a) Im Bereich des Neubaus und des Abrisses von Gebäuden sowie im Recycling der Baustoffe bestehen noch hohe CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale, die bislang noch nicht konsequent adressiert worden sind.

### 5. Förderung Mehrwegverpackungen / Mehrwegsysteme

- a) Die Förderung von Mehrwegverpackungen und von Mehrwegsystemen bedarf neuer Impulse und auch neuer Rücknahmesysteme außerhalb des Verpackungsbereichs.

### 6. Hochwertige stoffliche Verwertung / Minimal Content

- a) Eine Erhöhung der Recyclingquoten und technische Verbesserungen bei der Sortierung führen zu mehr Rezyklatmengen. Hierfür muss über Substitutionsquoten bzw. Minimal Content Vorgaben ein Nachfragemarkt geschaffen werden, da die Kreislaufführung der Wertstoffe ansonsten unterbrochen wird.

Die relevanten Maßnahmen werden nachfolgend im Einzelnen dargestellt.

**Tabelle 1-2: Relevante rahmensetzende Maßnahmen nach Handlungsfeldern**

ID	Maßnahmen/Instrumente	Beschreibung
<b>1. Design for Recycling / Produktpass</b>		
MN_07_23	Vorgaben zum Design for Recycling	Die EU ist in diesem Bereich bereits aktiv und legte mit der „Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)“ die Überarbeitung der <b>Ökodesign-Richtlinie</b> auch für nicht-energieverbrauchsrelevante Produkte vor. Diese Politik sollte von Deutschland auf Basis von ganzheitlichen Bewertungsmethoden unterstützt und weitergeführt werden. Dabei handelt es sich auf Grund der langen Lebensdauer mancher Produkte um eine auf lange Frist hin wirksame Maßnahme. Ein auf Recyclingfähigkeit ausgelegtes Produktdesign ab heute wirkt sich daher frühestens in 10 Jahren signifikant auf die Recyclingströme aus.
MN_18_2	Produktdesign	Es muss bereits beim Produktdesign auf <b>Recyclingfähigkeit</b> geachtet werden. Das schließt beispielsweise die einfache Demontage ein, so dass Produkte nach ihrer Nutzungsdauer (EoL) gut in ihre Einzelteile zerlegbar sind. Dazu gehört auch, dass mittelfristig die Legierungsarten reduziert und Verbundmaterialien vermieden oder recyclingfreundlich gestaltet werden. Das vereinfacht die sortenreine Trennung und vermindert die Verluste an Begleitelementen im pyrometallurgischen Prozess.
MN_07_7	Recyclinggerechte Konstruktion	Mindeststandards für Recyclinggerechte Konstruktion der Geräte ins ElektroG aufnehmen.
MN_15_1	Einführung eines digitalen Produktpasses	Die Einführung eines <b>Produktpasses</b> ist seit längerem in der Diskussion jedoch bisher nicht umgesetzt. Aktuell ist er für Elektronik, Batterien sowie eine weitere noch zu bestimmende Produktgruppe Teil des Vorschlags der EU-Kommission zur „Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)“ (European Commission, 2022). Die fortschreitende Digitalisierung bietet neue Möglichkeiten in der technischen Umsetzung. Ein digitaler Produktpass soll Informationen wie Herkunft, Materialzusammensetzung (insbesondere zu Kunststoffarten und Metalllegierungen), Herstellungsverfahren, Umweltauswirkungen, Wartungs- und Reparaturhinweise und Recyclingmöglichkeiten enthalten. Zur Einführung ist eine Standardisierung durch den Gesetzgeber oder branchenübergreifende Organisationen notwendig. Zusätzlich können Labels für den Rezyklatanteil und die Recyclingfähigkeit von Produkten und Verpackungen, die sich auf die Angaben im Produktpass beziehen, Transparenz für Verbraucher schaffen.
MN_05_9	Recyclinggerechtes Verpackungsdesign	Das <b>recyclinggerechte Verpackungsdesign</b> bildet eine wichtige Voraussetzung für ein hochwertiges Recycling. Designrichtlinien für Verpackungen müssen nach Möglichkeit EU-weit harmonisiert sowie regelmäßig überprüft und an die fortentwickelte Recyclinginfrastruktur angepasst werden. Eine gute Basis dafür bildet der „Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen“ der Zentralen Stelle Verpackungsregister, der die gesamte Wertschöpfungskette in die Entwicklung mit einbezieht. Recyclinggerechtes Design sollte zudem finanziell begünstigt werden bzw. das Inverkehrbringen von nicht recyclinggerechten Verpackungen mit einer Abgabe versehen werden, etwa im Rahmen der Überarbeitung von § 21 VerpackG.

ID	Maßnahmen/Instrumente	Beschreibung
MN_07_4	Substitution durch biobasierte Materialien fördern	Kunststoffverpackungen können durch <b>Papier und biobasierte Materialien</b> ersetzt werden, soweit dies recyclingfähig und über den gesamten Lebensweg ökologisch vorteilhaft ist; die Substitution kann durch Fördermaßnahmen und Anpassung des Verpackungsgesetzes für die Möglichkeit der Entsorgung von speziell gekennzeichneten Verpackungen über den Restmüll unterstützt werden.
MN_07_8	Neugestaltung der Beteiligungsentgelte (§21 VerpackG)	Das Verpackungsgesetz setzt in <b>§21 mit der ökologischen Gestaltung der Beteiligungsentgelte</b> Anreize für die Recyclingfähigkeit und die Verwendung emissionsarmer Alternativen zu Kunststoffen. Um ökonomisch wirksame Anreize zu setzen, sind klare Mindeststandards zur Reduzierung der Vielfalt an Verpackungsmaterialien sowie die Einbindung von Vermeidungsstrategien wie Mehrwegsysteme über ein Bonus-System sinnvoll. Prämienanreize könnten aus einem gesonderten privaten bzw. öffentlichen Fonds gefördert werden. [acatec 2021b] Die <b>Höhe der Beteiligungsentgelte</b> soll nach den Umweltauswirkungen verschiedener Verpackungsmaterialien und nach deren Recyclingfähigkeit gestaffelt werden. Dazu wird eine Abgabe auf <b>nicht recyclingfähige</b> Verpackungen vorgeschlagen, die in einem Fonds von der Zentralen Stelle Verpackungsregister verwaltet werden sollte. Die Fondsgelder sollen zur Förderung des Ausbaus der Recyclinginfrastruktur und des Einsatzes von Rezyklaten aus Verpackungsmaterialien eingesetzt werden.
<b>2. Reparaturfähigkeit / Lebensdauer /Leasing</b>		
MN_07_11	Lebens- und Nutzungsdauer- verlängerung von Geräten	Die momentanen Lebens- und Nutzungsdauern von Produkten sind kürzer, als sie es sein könnten. Daher müssen Maßnahmen ergriffen werden, die es für Verbraucher*innen möglich und attraktiv machen, Geräte möglichst lange zu nutzen und ggf. auch zu reparieren. Dazu gehören: - Ökodesign-Mindeststandards umsetzen (Mindestlebensdauernanforderungen, Recht auf Reparatur, verpflichtender Haltbarkeits- und Reparierbarkeitsindex) - Stärkung von Verbraucherrechten (Gewährleistung, Beweislast, Garantien) - Fiskalische Anreize (Reduzierung oder Befreiung von der MwSt. für Reparaturen, Reparaturdienstleistungen, Second-Hand- und Remanufacturing-Unternehmen; Subventionen für Personalkosten, Reparaturmaterialien, Miete etc.; Steuergutschriften für Verbraucher*innen bei Reparaturen) - Erweiterte Herstellerverantwortung (EPR) mit Ökomodulation in das ElektroG aufnehmen - Nutzungen intensivieren durch Förderung von Produce-as-a-Service-Modellen - Lange Nutzung von IKT-Geräten und Kauf von "Reburbished IKT" in der öffentlichen Verwaltung"
MN_16_3	Förderung von ökologisch sinnvollen Miet- und Leasingmodellen	Die Förderung von <b>"Product-as-a-Service"-Modellen</b> (Leasing- oder Mietmodelle), die erwiesenermaßen zu einer Reduktion des Ressourcenverbrauchs führen, kann einerseits durch finanzielle Anreize wie Steuervergünstigungen oder Zuschüsse erfolgen. Andererseits sorgen regulatorische Maßnahmen wie die Vereinfachung von Vertragsbedingungen oder die Schaffung von Rechtssicherheit für die Rückgabe und Wiederverwendung von Produkten für die Voraussetzungen einer Etablierung solcher Geschäftsmodelle. Begleitend ist eine Sensibilisierung und Aufklärung wichtig, um die Vorteile von Miet- und Leasingmodellen zu kommunizieren. Zusätzlich dazu können kommunale und gemeinnützige Mietangebote gefördert werden, um attraktive Mietangebote und Anreize für eine Nutzungsänderung zu schaffen.

3. Getrennthaltung / Kreislaufführung		
MN_02_7	Erhöhung getrennt erfasster Bioabfallmengen in Haushalten	<p>Maßnahmen zur Erhöhung der getrennt erfassten Mengen an <b>Bioabfällen</b> in Haushalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anschluss- und Benutzungszwang Biotonne - Jedes bebaute Grundstück wird ausnahmslos an das System Biotonne angeschlossen (auch bei Eigenkompostierung)</li> <li>- System Biotonne kostenfrei ausgestalten, ergänzt um Beistellsäcke (Papier), die im örtlichen Handel gegen kleinen Obolus erworben werden können</li> <li>- Mindestens 14-tägige Sammlung</li> <li>- Öffentlichkeitsarbeit: Abfallberater mit proaktiver / offensiver Beratung gerade in schwierigen Strukturen (bspw. Geschosswohnungsbau) und Umweltbildung in Schulen / Kindergärten"</li> </ul>
MN_07_25	Optimierung getrennte Erfassung Bauabfälle	<p>Die Optimierung der getrennten Erfassung von <b>Bauabfällen</b> ist Voraussetzung dafür, dass größere Mengen optimal verwertet werden können:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rückbau- und Bauabfallkonzept für Sanierung und Rückbau als Teil der Antragsunterlagen bei Bauämtern</li> <li>- Definition des Begriffs „Selektiver Rückbau“ und verpflichtende Einführung über die Musterbauordnung oder die Landesbauordnungen</li> <li>- Getrennte Bereitstellung aller Materialien, die in größeren Mengen anfallen - einschließlich Gipsabfälle und Porenbeton - in Containern entsprechend GewAbfV</li> </ul>
MN_16_5	Förderung der Trennung von Metalllegierungen	<p>Zwar sind die Sammelraten bei <b>Aluminium, Kupfer und Stahl</b> in Deutschland hoch, jedoch wird die Gesamtproduktion teilweise aufgrund von langen Produktlebensdauern, unterschiedlicher Legierungen und durch Exporte (v.a. Kupfer in Elektroschrott), nur zu einem Teil aus Altschrotten gedeckt (Al: ca. 50%, Cu: ca. 40%, Stahl: ca. 30%). Um die Sekundärrohstoffquote zu erhöhen, müssen legierungsspezifische Materialströme mit einer möglichst hohen Trennungstiefe in Bezug auf Begleitelemente voneinander getrennt werden. Dies ist mit den derzeit verfügbaren Sortier- und Trennverfahren nur eingeschränkt möglich. Eine stärkere legierungsspezifische Trennung aller Metalle (v.a. Alu, Stahl, Kupfer) über die Wertschöpfungsketten sowohl bei Pre- als auch Post-Consumer-Schrotten kann durch Forschungsförderung für neue Trennverfahren und Regularien zur Getrennthaltung (bspw. über einen digitalen Produktpass oder die Ökodesign-Richtlinie) unterstützt werden.</p>
MN_10_1	Vollzug der GewAbfV	<p>Um die <b>GewAbfV</b> konsequent vollziehen und Verstöße sanktionieren zu können, bedarf es nicht nur eines Ausbaus des Monitorings, sondern auch einer weiteren Überarbeitung und Vereinfachung der GewAbfV. Das bezieht sich insbesondere (nicht abschließend) auf eine klare definitorische Abgrenzung der Abfälle, die unter die GewAbfV fallen im Vergleich zu weiteren Gesetzen und Verordnungen, wie insbesondere VerpackG, AltholzV, TierNebV, aber auch in Bezug auf die erweiterte Siedlungsabfalldefinition. Bisher ist es nicht möglich, die Zuordnung allein nach dem Abfallschlüssel gemäß AVV durchzuführen, sondern weitere Bewertungskriterien müssen herangezogen werden. Das hält Interpretationsspielräume offen. Darüber hinaus sind die Datengrundlagen sowohl zur Zusammensetzung insbesondere gemischter Gewerbeabfälle zu verbessern, um die verbleibenden Potenziale für ein hochwertiges Recycling und damit den tatsächlichen Umsetzungsstand besser bewerten zu können. Ferner sind Informationen zu den Gewerbeabfallsortieranlagen gemäß GewAbfV (einzeln oder in Kaskade) noch besser und systematischer zu erfassen und länderübergreifend den jeweiligen Vollzugsbehörden verfügbar zu machen.</p>

4. Bau- und Wohnungswirtschaft / Förderung Recycling		
MN_04_9	Förderung flexibles und modulares Bauen und Wohnraumeffizienz	Die <b>Nutzungsintensität</b> von Gebäuden kann durch eine Förderung von flexiblem Bauen und der baulichen Teilung von Gebäuden bei Sanierungen und ordnungsrechtliche Anforderungen an die Ausweisung von Bauland gefördert werden. Das Ziel solcher Maßnahmen ist es, Gebäude flexibel an die Bedürfnisse der Bewohner*innen anzupassen, z.B. bei Auszug der Kinder oder Änderung anderer Lebensumstände und somit dem Trend zu immer größeren Pro-Kopf-Wohnflächen entgegenzuwirken. Darüber hinaus kann die Wohnraumeffizienz bspw. durch Förderung von Wohnungs-(tausch)börsen und gemeinschaftlichem Wohnen unterstützt werden.
MN_04_2	Berücksichtigung von Lebenszyklusemissionen in GEG und BEG	Ordnungsrechtliche Anforderungen an den Ausstoß von Treibhausgasemissionen über den gesamten <b>Lebenszyklus von Gebäuden</b> sollten bspw. durch <b>verbindliche Quoten</b> für den Einsatz von Recyclingmaterialien und Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im GEG verankert werden. Da die Nutzungsphase bspw. bei Einfamilienhäusern in zweischaliger Massivbauweise mit Energiestandard nach der aktuellen GEG-Novelle 2023 noch immer den Großteil der Lebenszyklusemissionen ausmacht (ca. 70%) und erst ab EH40-Standard ähnlich groß sind wie die Emissionen durch Errichtung und Abriss, sollte der Energiestandard wieder verschärft werden [IREES 2023]. Der Einfluss des Energiestandards auf die Lebenszyklusemissionen ist damit aktuell noch weitaus größer als die Bauweise (Holz- oder Massivbauweise). Der Einsatz von Baumaterialien mit geringen Lebenszyklusemissionen sollte als Bedingung oder Bonus in die Förderung im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) für Sanierungen und Neubauten aufgenommen werden. Zusätzlich sollte über die BEG eine material-effiziente Bauplanung mit optimierter Statik und einfacher, materialsparender Geometrie, bspw. mithilfe von software-aided design gesondert gefördert werden.
MN_08_3	Recyclingmärkte im Gebäudereich unterstützen	Um die Entwicklung von <b>Märkten für gebrauchte Gebäudebauteile</b> zu unterstützen, können einerseits Plattformen oder Netzwerke zur Vernetzung von Käufern und Verkäufern unterstützt werden. Andererseits ist die Entwicklung von <b>Qualitätsstandards und Zertifizierungen</b> für gebrauchte Bauteile notwendig. Vor Abbruch sollte zudem auch eine obligatorische Begutachtung auf Wiederverwendbarkeit und entsprechende Entnahme von Gebäudebauteilen und Baustoffen erfolgen. Flankiert werden sollten solche Maßnahmen durch die Förderung von Bewusstsein und Akzeptanz für den Einsatz recycelter oder wiederverwendeter Materialien im Bauwesen. Die Nutzung von Recycling- bzw. Sekundärmaterialien in der öffentlichen Beschaffung schafft eine erste Nachfrage, die helfen kann, Märkte anzuschieben. Die Übernahme der Gewährleistung und Rücknahme durch Hersteller/Verkäufer muss adressiert werden.
MN_18_1	Gebäuderessourcenpass und Materialkataster	Ein <b>Gebäuderessourcenpass</b> ähnlich dem Energieausweis, wie von der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) vorgeschlagen, ermöglicht die Erfassung von Materialien, Lebenszyklus-Emissionen, Anpassungsfähigkeit und Materialverwertungspotenzial von Gebäuden. Eine Verpflichtung zur Erstellung eines Gebäuderessourcenpasses kann eine Inventur des Materialbestands in Gebäuden auf lokaler und nationaler Ebene ermöglichen und die Erstellung von umfassenden Materialkatastern unterstützen. Solche Materialkataster können die Gewinnung von mehr und hochwertigeren direktrecycelten und Sekundärbaustoffen maßgeblich unterstützen.

5. Förderung Mehrwegverpackungen / Mehrwegsysteme		
MN_07_12	Verpackungssteuer	In Abhängigkeit der Masse der in den Verpackungen verarbeiteten Materialien werden <b>Verpackungssteuern</b> bei den Inverkehrbringern erhoben. Der Steuersatz je Verpackungsmaterial soll so hoch festgesetzt werden, dass daraus merkliche Mehrkosten bei den Verbrauchern und insbesondere bei den Inverkehrbringern selbst resultieren, die einen <b>Umstieg</b> auf materialschonende Verpackungssysteme wirkungsvoll anreizen. Die Relation der Höhe der Steuersätze der einzelnen Verpackungsmaterialien untereinander soll sich an deren Emissionsfaktoren für CO <sub>2</sub> e orientieren. Dadurch soll der Umstieg auf Unverpackt- und Mehrwegsysteme angereizt werden. Die generierten Steuereinnahmen sollten der Förderung von materialschonenden Verpackungssystemen und ggf. dem Ausgleich bei sozialen Härten zugutekommen.
MN_06_1	Finanzielle Förderung von Mehrwegverpackungen	Für alle Produktbereiche sollte der Einsatz von ökologisch vorteilhaften, standardisierten <b>Pool-Mehrwegverpackungen</b> finanziell gefördert werden, um die Etablierung neuer Mehrwegangebote und Konsumgewohnheiten unterstützen. Beispielsweise kann die Mehrwertsteuer auf Produkte in Mehrwegverpackungen reduziert werden oder entfallen.
MN_06_2	Mehrwegangebotspflicht	Ausweitung der bestehenden <b>Mehrwegangebotspflicht</b> bei angebotenen Speisen und Getränken auf alle Produktgruppen, für die es <b>etablierte Mehrwegsysteme</b> gibt.
MN_06_3	Rücknahmepflicht für Mehrweggetränkeverpackungen	Der Anteil von <b>Mehrweggetränkeverpackungen</b> ist seit etlichen Jahren rückläufig. Eine <b>Rücknahmepflicht</b> für Mehrweggetränkeverpackungen für alle Händler, insbesondere Discounter, würde auch die Hürden abbauen, diese anzubieten.
MN_07_10	Mehrwegquoten für Verpackungen im B2B-Bereich	Durch wiederverwendbare <b>Transportverpackungen</b> im B2B-Bereich können erhebliche Mengen an Abfall vermieden werden (Verpackungen: 104 000 t, Folien: 35 000 t) [Halfman 2021]. Die Einführung von Mehrwegverpackungen im B2B-Bereich kann durch verbindliche <b>Mehrwegquoten</b> unterstützt werden. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Etablierung ist das Swedish Return System mit wiederverwendbaren Verpackungen, welches inzwischen bei der Mehrzahl an Frischegütern in Schweden zum Einsatz kommt.
MN_02_4	Pfandsystem für Elektronik- und Elektrogeräte	Ein <b>Pfandsystem</b> für Elektronik- und Elektrogeräte sowie Batterien (wie jetzt schon bei Fahrzeugbatterien) kann helfen, die Sammelquote für Altgeräte des ElektroG zu erfüllen. Die Vorgabe von 65% ab 2019 (nach WEEE-Richtlinie) wurde im Berichtsjahr 2020 mit 44,1% weit untertroffen [BMUV 2020]. Die Sammelquote für Gerätebatterien lag im Jahr 2020 bei 45,6%.
6. Hochwertige stoffliche Verwertung / Minimal Content		
MN_08_1	Marktdurchdringung von Kunststoffzyklen erhöhen	Die Nachfrage nach Kunststoffzyklen muss erhöht werden, indem <b>Produkte mit hohen Rezyklatanteilen</b> über Labelling, Marketing oder diesbezügliche Anforderungen in der Ausschreibung / Vergabe sowie über Zertifizierungssysteme gefördert werden
MN_16_1	Investition Bodenaufbereitung	Förderung von <b>nassen Bodenaufbereitungsanlagen</b> in Kieswerken und bei Bauschuttrecyclern sowie bei reinen Bodenklassieranlagen, die neben den Hauptprodukten Kies und Sand eine schluffige Fraktion als Filterkuchen aus der Bodenwäsche als Nebenprodukt produzieren. Diese schluffige Fraktion kann in Zementwerken thermisch behandelt werden und dann als Zementhauptbestandteil Zementklinker substituieren. Investition und ggf. höhere Betriebskosten durch Annahmepreise für Bodenentsorgung und den Verkaufspreis für den Schluff an die Zementindustrie kompensieren.

MN_14_6	Verbesserung der Kunststoff-Aufbereitung	Verbesserung der <b>Kunststoff-Aufbereitung</b> : Wäsche, Kombination von Laser- und Flakesortierung nach Farbe sowie Windsichtung. Die Umsetzung bzw. der Einsatz innovativer Technologien muss breit gefördert werden.
MN_09_1	Vorgabe von höheren Rezyklatquoten in Verpackungen	In der Novelle des Verpackungsgesetzes (VerpackG) von 2021 sind <b>Mindestmengen an Rezyklaten für PET-Flaschen</b> vorgesehen (25% ab 2025, 30% ab 2030). Ähnliche Rezyklatquoten lassen sich auch auf <b>andere Produktgruppen anwenden</b> und könnten auch für PET-Flaschen erhöht werden, da hier die Sortenreinheit besonders hoch ist. Sogenannte „Post-Industrial-Materialien“, also Materialien, die nie in Gebrauch waren, müssen in der Rezyklatdefinition ausgeschlossen werden, um einen Anreiz für die Gewinnung von Post-Consumer-Materialien zu setzen.
MN_07_26	Substitutionsquoten / Minimal Content	<p>Die Ressourcenkommission am Umweltbundesamt hat die Einführung einer sogenannten „Substitutionsquote“ vorgeschlagen. Diese gibt das Verhältnis von eingesetzten Sekundärrohstoffen bezogen auf den insgesamt genutzten Materialaufwand (Primärrohstoffe und Sekundärrohstoffe) an. In ihrem 2019 veröffentlichten Positionspapier präzisierte die Ressourcenkommission diesen vorgeschlagenen Indikator. Der Indikator "Substitutionsquote" sollte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- die Material- bzw. Rohstoffmenge messen, die als Sekundärmaterial bzw. Sekundärrohstoff in die Produktion oder die Verarbeitung rückgeführt wird und dort Primärrohstoffe ersetzt.</li> <li>- auf Ebene der einzelnen Materialien/Elemente ausgewiesen werden, kurzfristig auf nationaler Ebene, langfristig auf produkt(gruppen)spezifischer Ebene.</li> <li>- die Qualität des Recyclings berücksichtigen, so dass eine Aussage darüber getroffen werden kann, welches Primärmaterial mit welcher Funktion ersetzt wird.</li> </ul> <p>Mit der Einführung von verbindlichen Substitutionsquoten bzw. Minimal Content Regelungen wird ein verpflichtender Rezyklatanteil in bestimmten Produkten vorgegeben. Damit entsteht nachfrageseitig ein deutlich größerer Markt für Sekundärrohstoffe.</p>



Die Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen, dass zusätzlich zu der eigentlichen Umsetzung der Maßnahmen und Instrumente ein **konsequenter Vollzug der gesetzlichen Vorgaben** erforderlich ist, der heute oft an der schlechter Personalausstattung in den Vollzugsbehörden der Länder scheitert. Als Beispiel sei auf den fast bundesweit fehlenden Vollzug bzw. die Kontrolle der Gewerbeabfallverordnung hingewiesen.

#### Fazit:

Die Abfallwirtschaft hat in Vorbereitung des **Deponierungsverbotes** für unvorbehandelte Siedlungsabfälle im Jahr 2005 eine funktionierende Infrastruktur zur getrennten Erfassung von Wertstoffen aufgebaut. Vorgaben der **EU** und der **nationalen Gesetzgebung** haben zu einem **hohen Niveau** der Erfassung, Sortierung und Verwertung von Abfällen in Deutschland geführt. Die klimarelevanten Effekte dieser Anstrengungen führen in Kombination mit dem kontinuierlichen Rückgang der CO<sub>2</sub>e-Emissionen der Deponien zu einem aktuellen Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Klimaentlastung von **rund 100 Mio. t CO<sub>2</sub>e** im Vergleich zum Basisjahr 1990.

Um diesen Beitrag jetzt im Hinblick auf die Klimaziele des Jahres 2030 noch **einmal signifikant** zu erhöhen, bedarf es abermals großer Anstrengungen und entsprechender Investitionen. Wie diese Untersuchung verdeutlicht, kommt erschwerend hinzu, dass für die Realisierung der dargestellten Maßnahmen und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale eine Vielzahl von Akteuren verantwortlich sind, die nur zum Teil der Kreislaufwirtschaft zugeordnet werden können. Es braucht also **gemeinsame Initiativen** und **Anstöße** aus einer übergreifenden Zusammenarbeit der zuständigen Ministerien, Verbände und Unternehmen.

Hinderlich für den anstehenden Prozess sind nicht nur **fehlende Standardisierungen** und die **mangelnde Umsetzung von Verordnungen**. Die Entwicklung von hochwertigeren Recyclingtechnologien ist zu fördern und im Markt zu implementieren, flankierend können fiskalische Instrumente auf die Entwicklung von Stoffströmen und den Einsatz von Sekundärrohstoffen wirken. Eine **CO<sub>2</sub>e-Offensive 2030** der Kreislaufwirtschaft bzw. der Unternehmen der relevanten CRF-Sektoren kann sich nicht nur auf die Optimierung der Stoffkreisläufe beschränken, sondern muss auch den Blick auf das Design von Produkten, die Produktionsverfahren und das künftige Besitz- und Nutzungsverhalten der Konsumenten lenken.

Es ist abzusehen, dass die Optimierung der stoffstrombezogenen Maßnahmen in den nächsten Jahren zu einer **weitgehenden Realisierung** der Minderungspotenziale führen wird und die großen Potenziale dann in der **Umsetzung der rahmensetzenden Maßnahmen** mit dem Ziel einer Circular Economy liegen werden. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, frühzeitig die Umsetzung dieser Maßnahmen vorzubereiten und zu flankieren.

Die quantifizierbaren Beiträge der Circular Economy zur Erreichung der Klimaziele 2030 werden allerdings maßgeblich durch die weitere Entwicklung des Strommixes in Deutschland beeinflusst. Durch den weiter zunehmenden Anteil der Erneuerbaren Energien sinken erfreulicherweise die Emissionen im CRF Sektor 1 „Energie“, allerdings **sinken** dadurch auch die **Beiträge der Kreislaufwirtschaft bzw. der Circular Economy**. Dieser Effekt resultiert im Wesentlichen daraus, dass durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen der Energieeinsatz für die Produktion von Primärrohstoffen vermieden wird, der heute noch zu etwa 54 % aus fossilen Energieträgern [Umweltbundesamt 2023e] erzeugt wird. In dem Maße, in dem also der Anteil der Erneuerbaren Energien steigt, sinken die Gutschriften für CO<sub>2</sub>e-Emissionen durch das Recycling bzw. den Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen für die klimarelevanten Aktivitäten der Kreislaufwirtschaft.

Auch wenn die quantifizierbaren Beiträge der Kreislaufwirtschaft (Stoffstrombezogene Maßnahmen) im Rahmen einer **CO<sub>2</sub>e-Offensive** nach dem Jahr 2030 abnehmen werden (bis dahin ist die erwartbare Veränderung des Strommixes weitgehend berücksichtigt), werden die Beiträge der Circular Economy (Rahmensetzende Maßnahmen) zur Kreislaufführung von Rohstoffen und der damit verbundenen Verringerung von Importabhängigkeiten und Lieferketten-schwierigkeiten immer wichtiger werden. Darüber hinaus wird der Beitrag der Circular Economy zur Energieeffizienz auch in einem zunehmend treibhausgasneutralen Energiesystem sehr wichtig sein.

Die Bedeutung der **Circular Economy** für die Umsetzung der großen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen der Abfallvermeidung, der Energiewende, der Rohstoffsicherung für verschiedene Wirtschaftsbranchen und des Klimaschutzes hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen und unterscheidet sich damit wesentlich von der Wahrnehmung und den Aufgaben der Abfallwirtschaft in der Vergangenheit.

Vor diesem Hintergrund wird mit den Ergebnissen dieser Studie eine **qualifizierte Grundlage** für die Beurteilung der **Relevanz der Circular Economy** zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030 vorgelegt und aufgezeigt, welche Maßnahmen dafür **von besonderer Relevanz** sind.

## Abstract

### Reason and task

In December 2022, the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, BMWK) commissioned the project partners ifeu, IREES, Öko-Institut and Prognos to carry out this study entitled '**The Potential of the Circular Economy for Climate Action**'. Öko-Institut is the consortium leader for the framework agreement within which the study was commissioned, while Prognos has assumed the lead responsibility for the content of this project.

By conducting this study, BMWK is pursuing the goal of obtaining a **summarised** and at the same time **comprehensive view** of the climate action potential that can be harnessed by the circular economy by 2030 **in addition to** the current contributions to CO<sub>2</sub>e reduction.

This study quantifies the **potential for reducing CO<sub>2</sub>e** at various levels and also analyses the **shortcomings** in implementing the necessary **measures** to date. Based on the results, various **instruments** are proposed that (can) lead to harnessing the **climate action potential** of the circular economy described. The additional contribution of **all stakeholders** in the circular economy is necessary for Germany to become climate-neutral by 2045.

In the GHG inventory according to the UNFCCC, the emissions of a very small part of the circular economy are reported in the **source category** (Common Reporting Format - CRF) **5 'Waste and Other'**. In order to avoid double reporting, only direct, non-energy emissions from landfills, mechanical-biological treatment, composting and wastewater treatment are recorded in this sector. However, this approach does **not adequately** reflect the entire range of services and potential of the circular economy for CO<sub>2</sub>e reduction. Although the stakeholders in the circular economy organise and are responsible for the entire value chain, from the collection of waste and recyclable materials to the reuse of secondary raw materials and landfilling, the climate-relevant effects of the sector's activities are almost exclusively credited to other CRF sectors, such as transport, industry or energy generation.

Against the background of this practice, it is natural to lose sight of **the sector's overall performance** and also the overview of who the widely discussed **measures** for a better closed-loop recycling of raw materials through to a **circular economy** should actually be addressed to. With **this study**, BMWK aims to provide answers to the following questions

- in which parts of the circular economy and to what **extent** there is **potential** for reducing CO<sub>2</sub>e,
- what **obstacles** have so far stood in the way of implementation and
- what **measures** are necessary to harness this potential by 2030 if possible.

In order to be able to answer these questions comprehensively, the project partners developed a differentiated research programme. It had to be taken into account that measures to reduce or avoid CO<sub>2</sub>e emissions must also support the **transformation process** towards a **circular economy** it is currently undergoing. All stakeholders are increasingly recognising the need for a circular economy in the future. The circular economy plays a central role in the transformation process from a linear to a circular system.

## Definitions for the assessment of measures

Waste management has developed continuously since the 1980s. In the German government's first environmental report from 1970, the number of uncontrolled landfills was estimated at 50,000, and emissions, particularly of methane, were considerable. In 1972, the Federal 'Waste Removal Act' ("Gesetz über die Beseitigung von Abfall", AbfG) created the first standardised federal regulation of waste law, followed in 1986 by the Federal 'Act on the Avoidance and Disposal of Waste (Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen, AbfG)', in which the waste hierarchy: reduce, reuse and recycle was established for disposal for the first time. The protection of natural resources and the promotion of material utilisation were the focus of the Federal 'Act to Promote the Circular Economy and Ensure the Environmentally Sound Management of Waste ("Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen", KrWG)', which came into force in 1996.

Further milestones were set by the EU, including the Waste Framework Directive (2008), the 'Closing the Loop - An EU Action Plan for the Circular Economy' (2015) and the 'EU Green Deal: EU Action Plan for the Circular Economy II' (2020), the latter with the aim of setting measures, initiatives, strategies, legal or policy frameworks that affect the entire life cycle of products, transform the economy and protect the environment at the same time.

Waste management is in a continuous process of development. Against this background, it is important for assessing the potential reducing CO<sub>2e</sub> to achieve **conceptual clarity** as to which **stage** or **phase of waste management** is being discussed, since different areas of impact, objectives and instruments are associated with each:

- Until around the beginning of the 2000s, **waste management** pursued the goal of managing waste and followed the linear economic model. Climate action was not the focus of waste disposal, CO<sub>2e</sub> reduction effects were therefore very low and only related to the rudimentary collection of glass, paper and metals.
- As the next stage of development, **recycling-friendly waste management** aimed to recycle volume-relevant materials from municipal waste in a closed loop and follows the linear economic model with partial closed-loop recycling. The CO<sub>2e</sub> reduction effects were already higher due to the larger quantities of recyclable materials collected, but the depth of material utilisation and the reuse of recycled raw materials was still low overall.
- From around 2008, the **circular economy** in its original narrower meaning covering only waste and recycling management marks the start of a circular economic model with the aim of recycling relevant raw materials from municipal, construction and commercial waste in a closed loop. Accompanied by extended legal framework conditions, a high potential for climate action is arising from the more comprehensive material utilisation and reuse of recycled raw materials. CO<sub>2e</sub> reduction potential is arising in the sphere of action and responsibility of the circular economy: collection, transport, material utilisation, energy recovery and disposal.
- The **circular economy** is designed as a comprehensive circular economic model with the aim of organising the recycling of raw materials in a closed loop across all value creation stages of production and the utilisation of products. This makes the circular economy in its original meaning covering only waste and recycling management an (essential) part of the circular economy, which is responsible for the final phase of closed-loop recycling. The CO<sub>2e</sub> reduction potential of the circular economy is very high because, unlike waste and

recycling management, it also has an influence on the design of products, the production method and the type and duration of the utilisation of products.

### Content and methodological approach

In this study, the potential of the circular economy for climate action is primarily analysed **in terms of material flows** for selected material flows. This means that the material flows relevant for closed-loop recycling were analysed and evaluated with regard to their **possible additional recycling quantities** and **reuse rates** in order to subsequently calculate the **CO<sub>2</sub>e reduction potential** based on the associated **CO<sub>2</sub>e emission factors**.

The following **main material flows** (with further partial flows) were analysed for this purpose:

**Table 1 1: Overview of the material flows considered in the study**

Material flow	Partial fraction	Material flow	Partial fraction	
old vehicles	total	plastics	total	
waste wood	total	copper	total	
batteries	total	aluminium	total	
construction and deconstruction waste	concrete	paper, paperboard and cardboard	total	
	flooring and stones		textiles	total
	insulation materials		packaging	waste wood
	bricks			aluminium
biowaste	total		beverage containers	
	market waste		glass	
waste from electrical and electronic equipment	ICT equipment		plastics	
	illuminants		paper, paperboard and cardboard	
	white goods		steel	
ferrous metals	total		tinplate	
glass	total			
green waste	total			
	garden and park waste			

Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

It should be noted here that partial flows from mixed main material flows are also proportionately included in the material flow-related main material flows, which leads or can lead to proportionate double counting.

After a detailed **examination**, the material flows of food waste, oils and fats, road sweepings, road deconstruction waste containing pitch and municipal sewage sludge were not considered in detail (for reasons, see Chapter 3.1.2.).

In order to be able to estimate or calculate the effects of the approximately 150 identified measures, the measures were first categorised according to their **different effects** in the **circular economy process** and with regard to their quantifiability. The following figure shows the key **process steps** of the **circular economy**, from product design to consumption, recycling and final waste treatment, and provides the basis for the subsequent categorisation of measures.

A distinction is made between the following levels to further illustrate the impact of measures in the circular economy:

- **Frame-setting measures**

Framework-setting measures are measures that aim to influence or control the cycle of material flows. This starts with product design, but also means preventing the production of certain **emission-intensive products** or minimising or substituting the **marketing** of these products. This level also includes measures that have a steering effect on consumption or usage behaviour (sharing/leasing), the reuse of products or the utilisation of primary and secondary raw materials (levies). Due to their sometimes very broad scope of influence and/or regulation, frame-setting measures can also have an impact on the collection and utilisation of different material flows. The effects of the frame-setting measures end when the products have completed their life cycle and the collection, utilisation and recovery phase begins.

- **Process-related measures**

This is followed by 'process-related' measures that can lead to GHG reductions as part of the operational recycling of recyclable materials (collection through to reuse), such as the definition of sorting rates. These measures encompass the provision of services in the 'classic' value creation stages of the circular economy, such as collection and transport, sorting, material utilisation, energy recovery and pollutant removal, and also consider the potential for technical optimisation. The objectives of process-related measures often complement the effects of material flow-related measures.

- **Material flow-related measures**

'Material flow-related' measures are measures that generally only ensure the improved collection or utilisation of a material flow, for example the Federal Biowaste Ordinance or the EU Directive on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) In order to optimise the recycling and reuse of a material flow from a GHG perspective, measures from all three levels are usually necessary, each with different (impact) proportions.

**Figure 1 1: GHG relevant value-creation stages in the circular economy**


Quelle: [BAM 2023], own additions




### Results of the potential analyses – frame-setting measures

An initial analysis of the **potential** of the circular economy for **climate action** is carried out at the level of the **frame-setting measures**. These do not start with the value creation stages of the circular economy in its original meaning, but concern the entire **life cycle of products and raw materials** as well as **production** in the upstream processes. The frame-setting measures presented in this study are a **selection** made on the basis of measures for which potential for CO<sub>2</sub>e savings has been quantified in various studies. The selected measures are allocated to three different **fields of action**: construction and housing industry, consumers and industry and trade.

If the average value of the listed measures and the potential for various savings that can also be assigned to the circular economy are taken into account in this selection [Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin 2023a], this results in an **average savings potential** of around **40 million tonnes of CO<sub>2</sub>e** in 2030 - without claiming to be exhaustive - with a range between 35 million and 45 million tonnes of CO<sub>2</sub>e.

**In addition**, there are further savings of around **5 million tonnes of CO<sub>2</sub>e** resulting from consumption- and sufficiency-based measures, most of which, however, are effective in other countries and can only be partially attributed to Germany [Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin 2023a]. Examples would be extending the life cycles and useful lives of electrical and electronic equipment, reducing textile consumption or favouring a predominantly plant-based diet.

Figure 1-2: Overview of selected frame-setting measures for achieving a circular economy

		Avoidance / minimisation	Extending Life cycles / Intensifying utilisation	Substitution	Recycling
Fields of action / areas of origin for waste	 <b>Construction &amp; housing</b>	<b>Reducing grey emissions:</b> Legal requirements for the life cycle of buildings (e.g. GEG)	<b>Reducing new constructions through preventive maintenance:</b> Promoting renovation, sanctioning demolition	<b>Utilising secondary materials:</b> standardisation and warranty, standards for public procurement	<b>Building resources passport:</b> Extending energy performance certificate to include production and disposal phase
		<b>Material efficiency in new buildings:</b> Promoting material-efficient construction planning (e.g. BEG)		<b>Promoting timber building materials as a substitute for steel &amp; concrete:</b> Reducing VAT, introducing tax on primary building materials	<b>Recycling-friendly demolition:</b> Material catalogue, Design 4 Deconstruction, creating recycling markets
		<b>Reducing living space:</b> „Fit for Sharing“: Promoting flexible building, municipal housing exchange schemes		<b>Commercial Waste Ordinance:</b> Obligation to collect construction and deconstruction waste separately	
	 <b>Consumers</b>	<b>Reducing packaging from E-commerce:</b> Obligation to show shipping costs separately	<b>Right to repair:</b> Including min. standards in ElectrG, strengthen/expand ecodesign regulations	<b>Bio-based materials:</b> Promoting packaging made from paper and biomaterials	<b>Deposit return system for waste from electrical equipment:</b> For increasing the collection rate for recycling and reprocessing
		<b>More reusable packaging</b> obligation to offer / take back reusable packaging, reducing VAT, offering incentives for pool systems	<b>Strengthening car sharing:</b> abolishing company car privilege; parking fees, linking with public transport		<b>Recycling-friendly design:</b> Standards for unmixed packaging, more eco-design knowledge in training schemes
		<b>Reducing consumer packaging:</b> Guidelines on unnecessary packaging	<b>Rental and leasing models:</b> Reducing VAT on 'product-as-a-service' models, legal certainty		<b>Digital product passport:</b> Recording materials & information on reparability, disposal, etc.
	 <b>Industry &amp; trade</b>	<b>Increasing material efficiency:</b> Promoting digital control systems and additive manufacturing, lightweight construction for cars	<b>Promoting repair &amp; maintenance:</b> E.g. reducing VAT on spare parts & repair services	<b>Fair competition on concrete:</b> For material efficiency & recycled concrete through fewer free certificates in the ETS	<b>Reorganising participation fees:</b> Adapting Packaging Act Sect. 21 for recyclability, use of recyclates & reusability
		<b>Reducing B2B packaging;</b> Incentives for reusable systems		<b>Substitution with secondary metals:</b> Separation by alloys, promoting standardisation and new processes	<b>Signalling effect:</b> Trough CO <sub>2</sub> pricing of TWT in the Fuel Emissions Trading Act
				<b>Higher recyclate rates:</b> Specifying binding rates per product group in the Packaging Act	<b>Research into chemical recycling:</b> Clarifying ecological advantages compared to TWT+CCS

Source: IREES 2023



## Results of the potential analyses - process-related measures

The potential for reducing CO<sub>2</sub>e in the individual **value creation stages** of the circular economy in its original meaning arises from **process-related considerations** and relates to specific operational services that are provided as part of the circular economy in its original narrower meaning, for example collection and transport, energy recovery or recycling of slag. This potential cannot be calculated **completely** or **without redundancy** to the material flow-related analyses. Improvements in sorting technology and an increase in rates lead to an increased quantity of recyclates, which are, however, already mapped via the material flow-related calculations. **Significant potential** will be tapped in the future in the areas of collection and transport through emission-free drives, energy recovery through CCU/S projects (but essentially not until 2030), metal recovery from slag and the construction of PV systems on areas previously used for waste management. The measures and projects presented as examples represent an emissions reduction potential of around **5.0 million tonnes of CO<sub>2</sub>e**.

## Results of the potential analyses - material flow-related measures

— The differentiated analysis of the **material flows** under consideration shows that recycling these fractions already achieves **annual savings of around 60 million tonnes of CO<sub>2</sub>e**. If the approximately 35 million tonnes of CO<sub>2</sub>e resulting from the closure of landfills for unpretreated municipal waste and the approximately 7 million tonnes of CO<sub>2</sub>e that currently arise from the energy and recycling credits<sup>3</sup> from thermal waste treatment, taking into account further, but significantly smaller potential, we can **currently** assume an **annual amount** of at least **100 million tonnes** of CO<sub>2</sub>e that the circular economy in its original meaning contributes to the reduction of CO<sub>2</sub>e emissions in Germany compared to the base year 1990.

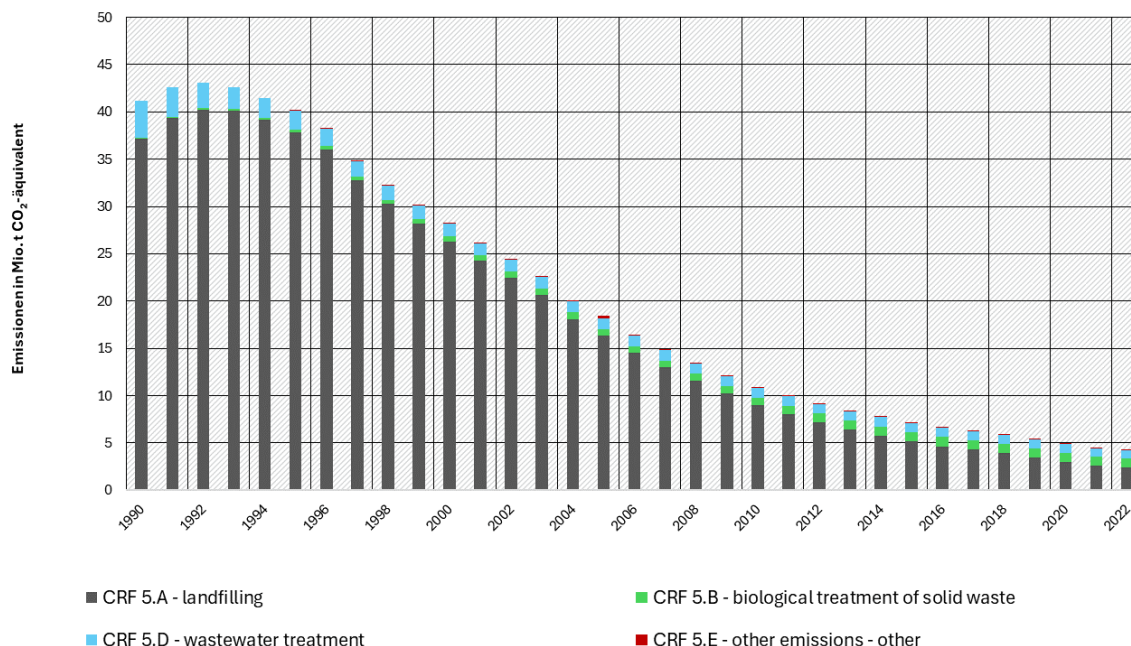
— The **material flow-related CO<sub>2</sub>e reduction potential**, which can be additionally harnessed in 2030 through further efforts to meet recycling rates and optimisations in the area of collection and recovery, is estimated **in the lower range** at **around 15 million tonnes of CO<sub>2</sub>e**. With a significantly higher commitment in all of the areas of action presented, we see the **maximum achievable potential** for these material flows at **around 45 million tonnes of CO<sub>2</sub>e** in 2030 compared to the base year 2020<sup>4</sup>. The main potential here comes from improved collection and utilisation of ferrous and non-ferrous metals, construction and deconstruction waste and plastics.

---

<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>e credits arise from the substitution of fossil energy sources by electricity generation from waste, while recycling credits result from the recovery of metals contained in the slag.

<sup>4</sup> It is not always possible to clearly delineate the subfractions analysed here due to different data sources and data availability, which is why proportionate double counting cannot be avoided. However, this does not substantially change the stated amounts.

**Figure 1-3: Development of GHG in the „Waste Management and Other“ sector of the Federal Climate Change Act**



Source: [Umweltbundesamt 2023a]; own presentation

Of the **maximum achievable potential** of approx. 45.5 million tonnes of CO<sub>2</sub>e, around 36.8 million tonnes of CO<sub>2</sub>e (81 %) are accounted for by three main sectors:

- approx. 19.5 million tonnes of CO<sub>2</sub>e (= 43 %) to sector 2.C Industry: Metal Production,
- approx. 9.1 million tonnes of CO<sub>2</sub>e (= 20 %) to sector 2.B Industry: Chemical Industry and
- approx. 8.3 million tonnes of CO<sub>2</sub>e (= 18 %) to sector 2.A.1 Industry: Cement Production.

The remaining approx. 8.7 million tonnes of CO<sub>2</sub>e (= 19 %) are distributed across other CRF sectors in a range between 1 % and 5 %.

**Overall**, on the basis of the **results**,

- the frame-setting measures (approx. 40 million to 50 million tonnes of CO<sub>2</sub>e saved, **average value**: approx. 45 million tonnes of CO<sub>2</sub>e),
- the process-related measures (approx. 5 million tonnes of CO<sub>2</sub>e saved) and
- the material flow-related measures (approx. 15 million to 45 million tonnes of CO<sub>2</sub>e saved, **average value**: approx. 30 million tonnes of CO<sub>2</sub>e)

estimate the **additional contributions of the circular economy at approx. 80 million tonnes of CO<sub>2</sub>e** by 2030.

As already mentioned, this sum does not include the entire conceivable and possible potential of the circular economy and also requires a high level of commitment from the stakeholders in the organisation and implementation of the **measures** and the creation of **sales markets** for

recycles. In order to harness the potential in 2030, the measures described must be implemented quickly and as comprehensively as possible.

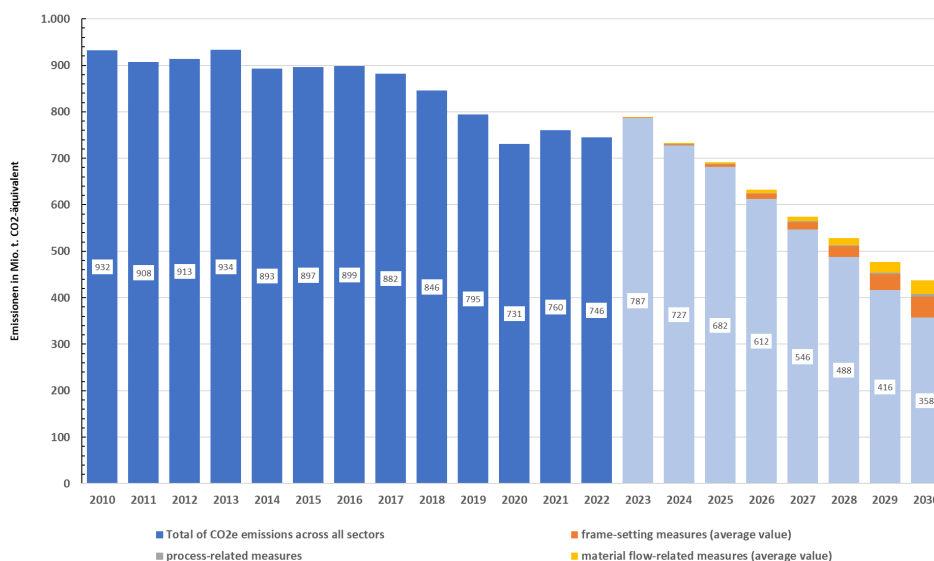
**Figure 1-4: Summarised overview of the potential for reducing CO<sub>2</sub>e at the three levels of measures**



Source: own calculations and representation

The determined potential for reducing CO<sub>2</sub>e is based on the assumed implementation of a **large number of measures** from a wide variety of areas. While the measures at the levels of process-related and material flow-related measures are **comparatively clear** in terms of content, addressees and effects, this is often **not so clear** in the case of the **frame-setting measures**.

**Figure 1-5: GHG development until 2030, taking into account the additional potential of the circular economy for reducing CO<sub>2</sub>e**



\* Emission ceilings in 2030: 438 million tonnes of CO<sub>2</sub>e / amendment to the Federal Climate Change Act from 12 May 2021

Sources: Inventory [Umweltbundesamt 2023a]; Projection: Öko-Institut et al. MWMS-Szenario (scenario including further measures), own calculations and representation

However, as we assume that the **main changes** will have to take place at this level in the future - with the aim of a circular economy - in order to harness the estimated total potential of approx. 186 million tonnes of CO<sub>2</sub>e in 2045 [Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin 2023a], we have summarised the **measures that we believe are relevant** in a total of six fields of action:

### 1. Design for recycling / product passport

- Intelligent product design determines the use of (secondary) raw materials and subsequent recyclability. A product passport provides the sorting plants with the necessary information about the materials used.

### 2. Reparability / life cycle / leasing

- A longer life cycle of products reduces the use of resources for new production; this can also be achieved by leasing and sharing products.

### 3. Separation / closed-loop recycling

- The clean and consistent separation of recyclable materials significantly improves recyclability and thus the closed-loop recycling of recyclable materials. Enforcement of the Federal Commercial Waste Ordinance (Gewerbeabfallverordnung, GewAbfV) is important for this.

### 4. Construction and housing industry / promotion of recycling

- In the area of new construction and the demolition of buildings, as well as in the recycling of building materials, there is still high potential for reducing CO<sub>2</sub>e that has not yet been consistently addressed.

### 5. Promoting reusable packaging / reusable systems

- Promoting reusable packaging and reusable systems requires new impetus and also new return schemes outside the packaging sector.

### 6. high-quality material utilisation / minimal content

- An increase in recycling rates and technical improvements in sorting lead to higher amounts of recyclates. A demand market must be created for this via substitution rates or minimum content requirements, as otherwise the closed-loop recycling of recyclable materials will be interrupted.

The relevant measures are described in detail in the following.

**Table 1-2: Relevant frame-setting measures according to fields of action**

ID	Measures / instruments	Description
<b>1. Design for Recycling / product passport</b>		
MN_07_23	Design requirements for Recycling	The EU is already active in this area and, with the 'Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)', has presented the revision of the <b>Eco-design Directive</b> also for products which are not relevant for energy consumption. This policy should be supported and continued by Germany on the basis of holistic assessment methods. Due to the long life cycles of some products, this is an effective measure for the long term. A product design based on recyclability from today will therefore have a significant impact on recycling flows in 10 years at the earliest.
MN_18_2	Product design	Attention must be paid to <b>recyclability</b> right from the product design stage. This includes, for example, easy disassembly so that products can be easily dismantled into their individual parts at the end of their life (EoL). In the medium term, this also means reducing the types of alloys and avoiding composite materials or making them more recycling-friendly. This simplifies separation by type and reduces the loss of by-elements in the pyrometallurgical process.
MN_07_7	Recycling-friendly construction	Including minimum standards for the recycling-friendly construction of equipment in the Federal Electrical and Electronic Equipment Act (Elektro- und Elektronikgerätegesetz, ElektroG).
MN_15_1	Introducing a digital product passport	Introducing a <b>product passport</b> has been under discussion for some time but has not yet been implemented. It is currently part of the European Commission's proposal for the 'Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)' (European Commission, 2022) for electronics, batteries and another product group yet to be determined. Advancing digitalisation offers new possibilities for technical implementation. A digital product passport aims to contain information such as origin, material composition (in particular on types of plastic and metal alloys), manufacturing processes, environmental impact, maintenance and repair instructions and recycling options. Standardisation by the legislator or cross-industry organisations is necessary for the introduction. In addition, labels for the recycle content and recyclability of products and packaging, which refer to the information in the product passport, can create transparency for consumers.
MN_05_9	Recycling-friendly packaging design	<b>Recycling-friendly packaging design</b> is an important prerequisite for high-quality recycling. Where possible, design guidelines for packaging must be harmonised across the EU, regularly reviewed and adapted to the ongoing development of the recycling infrastructure. A good basis for this is the 'Minimum standard for determining the recyclability of packaging subject to system participation' of the Central Agency Packaging Register, which includes the entire value chain in its development. Recycling-friendly design should also be funded, or placing non-recyclable packaging on the market should be subject to a levy, for example as part of the revision of Section 21. Federal Packaging Act (Verpackungsgesetz, VerpackG),
MN_07_4	Promoting substitution with bio-based materials	Plastic packaging can be replaced by <b>paper and bio-based materials</b> , provided this is recyclable and ecologically beneficial over the entire life cycle; substitution can be supported by funding measures and adaptation of the Packaging Act to allow specially labelled packaging to be disposed of with residual waste.
MN_07_8	Reorganising participation fees (Section 21 Packaging Act)	<b>Section 21</b> of the Packaging Act incentivises recyclability <b>through the ecological design of participation fees</b> and the use of low-emission alternatives to plastics. In order to set economically effective incentives, clear minimum standards for reducing the variety of packaging materials and the integration of avoidance strategies such as reusable systems via a bonus system make sense. Bonus incentives could be subsidised from a separate private or public fund. [acatec 2021b] It is intended to differentiate the <b>level of participation fees</b> according to the environmental impact of different packaging materials and their recyclability. To this end, a levy on <b>non-recyclable</b> packaging is proposed, which should be administered in a fund by the Central Agency Packaging Register. The funds aim to promote the expansion of the recycling infrastructure and the use of recyclates from packaging materials.

ID	Measures / instruments	Description
<b>2. Repairability / life cycle / leasing</b>		
MN_07_11	Extending life cycles and useful lives of equipment	<p>The current life cycles and useful lives of products are shorter than they could be. Measures must therefore be taken to make it possible and attractive for consumers to use and, if necessary, repair equipment for as long as possible. This includes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementing minimum ecodesign standards (minimum life cycle requirements, right to repair, mandatory durability and reparability index)</li> <li>- Strengthening consumer rights (warranty, burden of proof, guarantees)</li> <li>- Fiscal incentives (reduction or exemption from VAT for repairs, repair services, second-hand and remanufacturing companies; subsidies for labour costs, repair materials, rent, etc.; tax credits for consumers for repairs)</li> <li>- Including extended producer responsibility (EPR) with eco-modulation in the Federal Electrical and Electronic Equipment Act</li> <li>- Intensifying utilisation by promoting produce-as-a-service models</li> <li>- Long-term use of ICT equipment and purchase of "reborn ICT" in public administration"</li> </ul>
MN_16_3	Promoting ecologically sound rental and leasing models	<p>Promoting '<b>product-as-a-service</b>' models (leasing or rental models), which demonstrably lead to a reduction in resource consumption, can be achieved on the one hand through financial incentives such as tax breaks or subsidies. On the other hand, regulatory measures such as the simplification of contractual terms or the creation of legal certainty for the return and reuse of products create the conditions for the establishment of such business models. On the other hand, regulatory measures such as the simplification of contractual terms and conditions or the creation of legal certainty for the return and reuse of products create the conditions for establishing such business models. At the same time, it is important to raise awareness and provide information in order to communicate the advantages of rental and leasing models. In addition, municipal and non-profit rental offers can be promoted in order to create attractive rental offers and incentives for a change of use.</p>
<b>3. Separation / closed-loop recycling</b>		
MN_02_7	Increasing separately collected bio waste quantities in households	<p>Measures to increase the separately collected quantities of <b>biowaste</b> in households:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compulsory linking and use of organic waste bins - Every developed property is linked to the organic waste bin system without exception (even if you compost your own waste)</li> <li>- Organising the organic waste bin system free of charge, supplemented by additional bags (paper), which can be purchased in local shops for a small fee</li> <li>- At least fortnightly collection</li> <li>- Public relations work: waste consultants giving proactive / offensive advice, especially in difficult structures (e.g. multi-storey residential buildings) and environmental education in schools / daycare centres.</li> </ul>
MN_07_25	Optimising separately collected construction waste	<p>Optimising the separate collection of <b>construction waste</b> is a prerequisite for ensuring that larger quantities can be optimally utilised:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deconstruction and construction waste concept for renovation and deconstruction as part of the application documents for building authorities</li> <li>- Definition of the term "selective deconstruction" and mandatory introduction via the model building regulations or the Laender building regulations</li> <li>- Separate provision of all materials that accumulate in large quantities - including gypsum waste and aerated concrete - in containers in accordance with the Federal Commercial Waste Ordinance.</li> </ul>
MN_16_5	Promoting the separation of metal alloys	<p>Although the collection rates for <b>aluminium, copper and steel</b> are high in Germany, the total production is only partly covered by old scrap (aluminium: approx. 50%, copper: approx. 40%, steel: approx. 30%), partly due to long product life cycles, different alloys and exports (especially copper in electronic scrap). In order to increase the secondary raw material rate, alloy-specific material streams must be separated from each other with the greatest possible depth of separation with regard to accompanying elements. This is only possible to a limited extent with the sorting and separation processes currently available. Greater alloy-specific separation of all metals (especially aluminium, steel, copper) across the value chains for both pre- and post-consumer scrap can be supported by research funding for new separation processes and regulations for separation (e.g. via a digital product passport or the Ecodesign Directive).</p>

ID	Measures / instruments	Description
MN_10_1	Enforcement of the Federal Commercial Waste Ordinance	In order to consistently enforce the <b>Federal Commercial Waste Ordinance</b> and sanction violations, it is not only necessary to expand monitoring, but also to continue to revise and simplify the Federal Commercial Waste Ordinance. This relates in particular (but not conclusively) to a clear definition of the waste that falls under the Federal Commercial Waste Ordinance in comparison to other laws and regulations, such as the VerpackG, Federal Waste Wood Ordinance (Altholzverordnung, AltholzV), Federal Disposal of Animal By-Products Ordinance (Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung, TierNebV) in particular, but also with regard to the extended definition of municipal waste. To date, it has not been possible to categorise waste solely according to the waste code in accordance with the Federal Waste Disposal Ordinance (Abfallverzeichnisverordnung, AVV); other assessment criteria must also be used. This leaves room for interpretation. In addition, the data base for the composition of mixed commercial waste in particular must be improved in order to better assess the remaining potential for high-quality recycling and thus the actual implementation status. Furthermore, information on commercial waste sorting facilities in accordance with the Federal Commercial Waste Ordinance (individually or in cascades) must be recorded even better and more systematically and made available to the respective enforcement authorities across the Laender.
<b>4. Construction and housing industry / Promoting recycling</b>		
MN_04_9	Promoting flexible and modular construction and housing efficiency	The <b>utilisation intensity</b> of buildings can be promoted by encouraging flexible construction and the structural division of buildings during renovations and regulatory requirements for the designation of building land. The aim of such measures is to adapt buildings flexibly to the needs of residents, e.g. when children move out or other living circumstances change, and thus counteract the trend towards ever larger per capita living spaces. In addition, housing efficiency can be supported, for example, by promoting housing exchange schemes and communal living.
MN_04_2	Considering life cycle emissions in the Federal Buildings Energy Act (Gebäudeenergiegesetz, GEG) and the Federal Funding for Efficient Buildings Bundesförderung für effiziente Gebäude, BEG)	Regulatory requirements for greenhouse gas emissions over the <b>entire life cycle of buildings</b> should be imposed in the Federal Buildings Energy Act, for example, through <b>binding rates</b> for the use of recycled materials and building materials made from renewable raw materials. As the utilisation phase, for example, still accounts for the majority of life cycle emissions (approx. 70%) for single-family houses in double-skin solid construction with energy standard according to the current 2023 GEG amendment and only from EH40 standard onwards are similar in size to the emissions from construction and demolition, the energy standard should be tightened again [IREES 2023]. The impact of the energy standard on life cycle emissions is therefore currently far greater than the construction method (timber or solid construction). The use of building materials with low life cycle emissions should be included as a requirement or bonus in the federal funding scheme for efficient buildings for renovations and new buildings. In addition, material-efficient construction planning with optimised statics and simple, material-saving geometry, e.g. with the help of software-aided design, should be specially funded via the BEG.
MN_08_3	Promoting recycling markets in the building sector	In order to support the development of <b>markets for used building components</b> , platforms or networks for networking buyers and sellers can be supported on the one hand. On the other hand, the development of <b>quality standards and certifications</b> for used building components is necessary. Before deconstruction, there should also be a mandatory assessment of the reusability and corresponding removal of building components and building materials. Such measures should be flanked by raising awareness and acceptance of the use of recycled or reused materials in the construction industry. The use of recycled or secondary materials in public procurement creates an initial demand that can help to stimulate markets. The assumption of warranty and take-back by manufacturers/sellers must be addressed.
MN_18_1	Building resources passport and material catalogue	A <b>building resources passport</b> similar to the energy performance certificate, as proposed by the German Sustainable Building Council (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, DGNB), enables the recording of materials, life cycle emissions, adaptability and material utilisation potential of buildings. An obligation to issue a building resources passport can give rise to an inventory of the material stock in buildings at local and national level and support the set-up of comprehensive material catalogues. Such material catalogues can significantly support the extraction of more and higher quality directly recycled and secondary building materials.
<b>5. Promoting reusable packaging / reusable systems</b>		

ID	Measures / instruments	Description
MN_07_12	Packaging tax	Depending on the mass of the materials used in the packaging, <b>packaging taxes</b> are levied on the distributors. The tax rate per packaging material is to be set at a level that results in noticeable additional costs for consumers and, in particular, for the distributors themselves, which effectively incentivises a <b>switch</b> to material-saving packaging systems. The relationship between the tax rates of the individual packaging materials is to be based on their CO <sub>2</sub> e emission factors, thus incentivising the switch to unpackaged and reusable systems. The tax revenue generated should be used to support material-saving packaging systems and, if necessary, to compensate for social hardship.
MN_06_1	Funding for reusable packaging	The use of ecologically favourable, standardised <b>pool reusable packaging</b> should be funded for all product areas in order to support the establishment of new offers for reusable products and a change in consumption habits. For example, VAT on products in reusable packaging can be reduced or cancelled.
MN_06_2	Obligation to offer reusable packaging	Extension of the existing <b>obligation to offer reusable packaging</b> for food and drinks to all product groups for which there are <b>established reusable systems</b> .
MN_06_3	Obligation to take-back reusable beverage containers	The proportion of <b>reusable beverage containers</b> has been declining for many years. A <b>take-back obligation</b> for reusable beverage containers for all retailers, especially discounters, would also reduce the barriers to offering such take-back service.
MN_07_10	Packaging reuse rates in the B2B sector	Reusable <b>transport packaging</b> in the B2B sector can avoid considerable amounts of waste (packaging: 104,000 tonnes, film: 35,000 tonnes) [Halfman 2021]. The introduction of reusable packaging in the B2B sector can be supported by binding <b>rates for reusable packaging</b> . One example of a successful establishment is the Swedish Return System with reusable packaging, which is now used for the majority of fresh produce in Sweden.
MN_02_4	Deposit return scheme for electrical and electronic equipment	A <b>deposit return</b> system for electrical and electronic equipment and batteries (as is already the case for vehicle batteries) can help to fulfil the collection rate for waste from old equipment under the Federal Electrical and Electronic Equipment Act. Amounting 44%, the target of 65% from 2019 (in accordance with the WEEE Directive) was not met by a wide margin in the 2020 reporting year [BMUV 2020]. The collection rate for portable batteries was 45.6% in 2020.
<b>6. High-quality material utilisation / minimal content</b>		
MN_08_1	Increasing the market penetration of recycled plastics	The demand for recycled plastics must be increased by promoting products with a <b>high proportion of recyclates</b> through labelling, marketing or related requirements in the tender/award process and through certification systems
MN_16_1	Investing in soil treatment	Promoting <b>wet soil processing plants</b> in gravel works and construction waste recyclers as well as pure soil classification plants that produce a silty fraction as a filter cake from soil washing as a by-product in addition to the main products gravel and sand. This silty fraction can be thermally treated in cement plants and then used as a substitute for cement clinker as the main cement component. Investment and possibly higher operating costs can be compensated by acceptance prices for soil disposal and the selling price for silt to the cement industry.
MN_14_6	Improving plastics processing	Improving <b>plastics processing</b> : washing, combining laser and flake sorting by colour and air separation. The implementation and use of innovative technologies must be widely promoted.
MN_09_1	Specifying higher recyclate rates in packaging	The 2021 amendment to the Packaging Act provides for <b>minimum quantities of recyclates for PET bottles</b> (25% from 2025, 30% from 2030). Similar recyclate rates can also be <b>applied to other product groups</b> and could also be increased for PET bottles, as the purity of type is particularly high here. So-called "post-industrial materials", i.e. materials that have never been used, must be excluded from the recyclate definition in order to incentivise the recovery of post-consumer materials.
MN_07_26	Substitution rates / minimal content	The Resources Commission at the Federal Environment Agency has proposed the introduction of a so-called "substitution rate". This indicates the ratio of secondary raw materials used in relation to the total material input used (primary raw materials and secondary raw materials). In its position paper published in 2019, the Resources Commission specified this proposed indicator. The "substitution rate" indicator should <ul style="list-style-type: none"> <li>- measure the amount of material or raw material that is returned to production or processing as secondary material or secondary raw material and replaces primary raw materials;</li> <li>- be reported at the level of individual materials/elements, in the short term at national level, in the long term at product (group) specific level;</li> <li>- take into account the quality of recycling, so that a statement can be made about which primary material is replaced with which function;</li> </ul>



<b>ID</b>	<b>Measures / instruments</b>	<b>Description</b>
		With the introduction of binding substitution rates or minimum content regulations, a mandatory proportion of recycled material is specified in certain products. This will create a significantly larger market for secondary raw materials on the demand side.

Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

Past experience shows that in addition to the actual implementation of the measures and instruments, **consistent enforcement of the legal requirements** is necessary, which today often fails due to poor staffing levels in the enforcement authorities of the laender. One example of this is the almost nationwide lack of enforcement or monitoring of the Commercial Waste Ordinance.

### Conclusion:

In preparation for the landfill ban on unpretreated municipal solid waste in 2005, the waste management industry has established a functioning infrastructure for the separate collection of recyclable materials. EU and national legislative requirements have led to a high level of waste collection, sorting and recycling in Germany. The climate-relevant effects of these efforts, combined with the continuous reduction in CO<sub>2</sub>e emissions from landfill sites, mean that the circular economy is currently contributing around 100 million tonnes of CO<sub>2</sub>e to climate action compared to the base year 1990.

However, in order to significantly increase this contribution once again in view of the climate targets for 2030, major efforts and corresponding investments are once again required. As this study makes clear, an additional complicating factor is that a large number of players are responsible for implementing the measures outlined and the associated CO<sub>2</sub>e reduction potential, only some of which can be attributed to the circular economy. Joint initiatives and impetus from overarching cooperation between the responsible ministries, associations and enterprises are therefore required.

It is not only the lack of standardisation and the lack of implementation of regulations that is hindering the upcoming process. The development of higher-quality recycling technologies must be promoted and implemented on the market, and fiscal instruments can also have a flanking effect on the development of material flows and the use of secondary raw materials. A CO<sub>2</sub>e 2030 campaign for the circular economy and enterprises in the relevant CRF sectors cannot be limited to optimising material cycles, but must also focus on the design of products, production processes and the future ownership and usage behaviour of consumers.

It is foreseeable that the optimisation of material flow-related measures will lead to the extensive realisation of the reduction potential in the coming years and that the great potential will then lie in the implementation of the frame-setting measures with the aim of a circular economy. Against this backdrop, it is important to prepare and support the implementation of these measures at an early stage.

However, the quantifiable contributions of the circular economy to achieving the 2030 climate action targets will be significantly influenced by the further development of the electricity mix in Germany. The further increase in the share of renewable energies will fortunately reduce emissions in CRF sector 1 'Energy', but this will also reduce the contributions of the circular economy. This effect is mainly due to the fact that the use of secondary raw materials avoids the use of energy for the production of primary raw materials, around 54% of which is still generated from fossil fuels [German Environment Agency 2023e]. To the extent that the share of renewable energies increases, the credits for CO<sub>2</sub>e emissions from the recycling or reuse of secondary raw materials for the climate-relevant activities of the circular economy decrease.

Even if the quantifiable contributions of the circular economy (material flow-related measures) will decrease as part of a CO<sub>2</sub>e campaign after 2030 (the expected change in the electricity mix will have been largely taken into account by then), the contributions of the circular economy (frame-setting measures) to the recycling of raw materials and the associated reduction of

import dependencies and supply chain difficulties will become increasingly important. In addition, the contribution of the circular economy to energy efficiency will also be very important in an increasingly greenhouse gas-neutral energy system.

The importance of the circular economy for tackling the major societal and economic challenges of waste prevention, the energy transition, securing raw materials for various economic sectors and climate action has increased significantly in recent years and thus differs substantially from the perception and tasks of the waste management industry in the past.

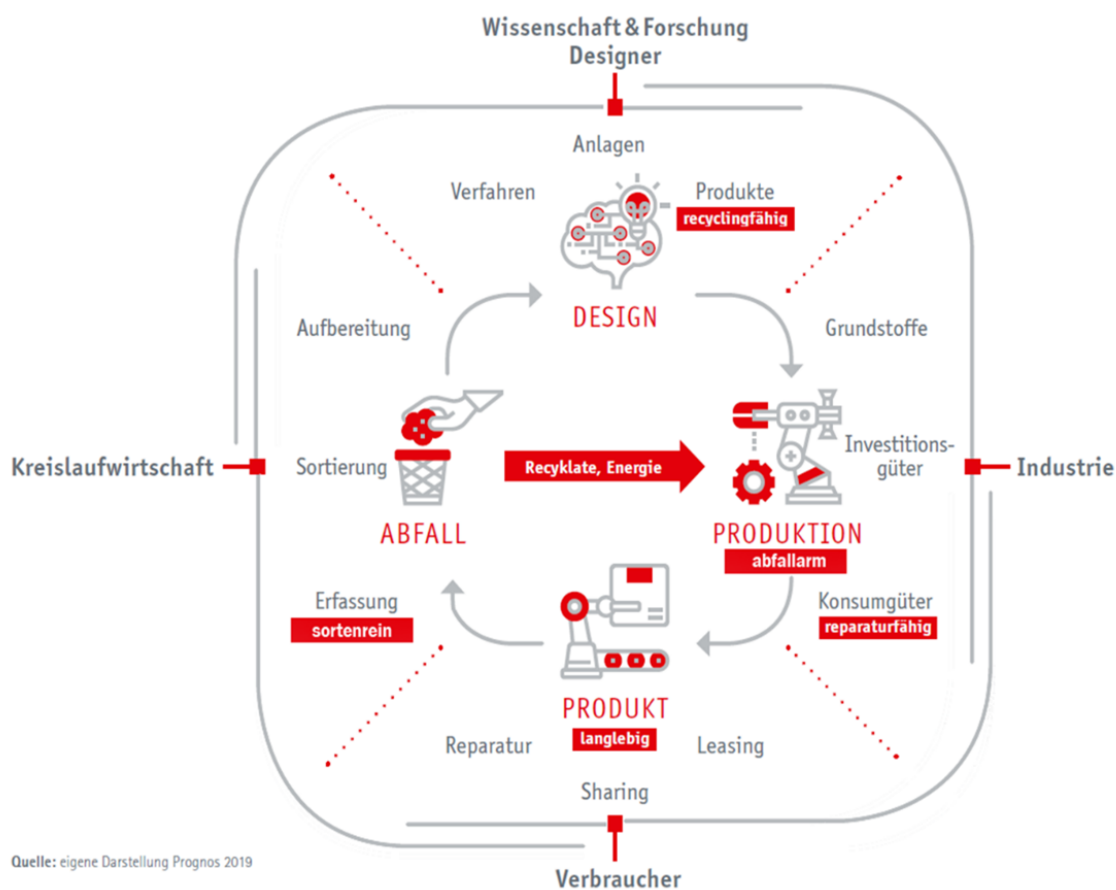
Against this background, the results of this study provide a qualified basis for assessing the relevance of the circular economy for achieving the 2030 climate action targets and show which measures are particularly relevant for this.

## 2. Anlass, Aufgabenstellung und Untersuchungsrahmen der Studie

Innerhalb des Rahmenvertrages „Wissenschaftliche Unterstützung Klimapolitik und Maßnahmenprogramm“ wurde im Dezember 2022 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) das Öko-Institut gebeten, „eine Studie zu Potenzialen der Kreislaufwirtschaft für den Klimaschutz“ zu erstellen. Der Bedarf für diese Studie wird darin gesehen, dass in einer Vielzahl von Studien Maßnahmen zum Ressourcenschutz und zur Kreislaufwirtschaft, teilweise auch mit Bezug zum Klimaschutz, entwickelt worden seien, diese aber in den klimarelevanten Plänen und Programmen von Bund und Ländern nur unzureichend berücksichtigt werden.

Daher werden in der vorliegenden Studie „Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft“ die Minderungspotenziale von Treibhausgasen (THG) quantifiziert und die bisherigen Defizite für die Umsetzung der notwendigen Maßnahmen analysiert. Auf Grundlage der Ergebnisse werden unterschiedliche Politikinstrumente vorgeschlagen, die zu einer Realisierung der Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft führen (können). Der zusätzliche Beitrag aller Akteure der Circular Economy ist notwendig, damit Deutschland bis zum Jahr 2045 klimaneutral sein kann.

Abbildung 2-1: Kreislaufwirtschaft als Bestandteil der Circular Economy



Quelle: [Prognos 2020]

Der Begriff der **Circular Economy**, wie er von der EU-Kommission verwendet wird, ist nach unserer Auffassung nicht direkt gleichzusetzen mit der häufig verwendeten deutschen Übersetzung „Kreislaufwirtschaft“. Die Kreislaufwirtschaft nach deutschem Verständnis beinhaltet bereits wichtige Elemente einer zirkulären Wirtschaft – etwa die Abfallvermeidung oder die Vorbereitung zur Wiederverwendung von Produkten. Die **Kreislaufwirtschaft** ist aber letztlich nur ein **Teilbereich** des Gesamtsystems „Circular Economy“. Der Kreislaufwirtschaft fehlen sowohl die Zuständigkeiten als auch die Instrumente, um unter anderem

- Einfluss auf die Produktgestaltung (Recyclingfähigkeit, Einsparung von Ressourcen) zu nehmen,
- für abfallarme Produktionsweisen und den Einsatz von Sekundärrohstoffen in den Unternehmen zu sorgen,
- die gesellschaftlichen Wertvorstellungen und das Konsumverhalten zu verändern oder
- Sharing- oder Leasingkonzepte zu fördern.

Für die Veränderungen, die notwendig sind, um eine weitgehend vollständige Kreislaufführung von Rohstoffen sicherzustellen, bedarf es einer intensiven Zusammenarbeit der Entsorgungswirtschaft mit der Politik, der Gesellschaft und der produzierenden Wirtschaft.

Die Strategie der Circular Economy verfolgt das Ziel von **geschlossenen Rohstoffkreisläufen**, dafür ist sowohl die Erzeugung als auch der Wiedereinsatz von **Sekundärrohstoffen** notwendig. Die **Substitution von Primärrohstoffen**, die innerhalb einer Circular Economy auch durch viele weitere Maßnahmen gefördert werden kann, wird durch die damit verbundene Energieeinsparung in der Zukunft zu deutlich niedrigeren THG-Emissionen führen. Das Umweltbundesamt geht davon aus, dass "etwa auf die Entnahme und Verarbeitung von Rohstoffen in Deutschland zurückzuführen sind." [Umweltbundesamt 2022h].

Die Kreislaufwirtschaft spielt in einer Circular Economy eine zentrale Rolle, da sie die Rückführung der Stoffströme in den Produktionsprozess organisiert. Das Gesamtsystem der Circular Economy hat darüber hinaus u. a. sicherzustellen, dass möglichst wenige Produkte und Verpackungen entstehen bzw. konsumiert werden, gebrauchte Produkte in Rücknahmesystemen wieder zum Hersteller gelangen und die nicht mehr verwendbaren Produkte recyclingfähig sind.

## 2.1. Herausforderungen des Transformationsprozesses

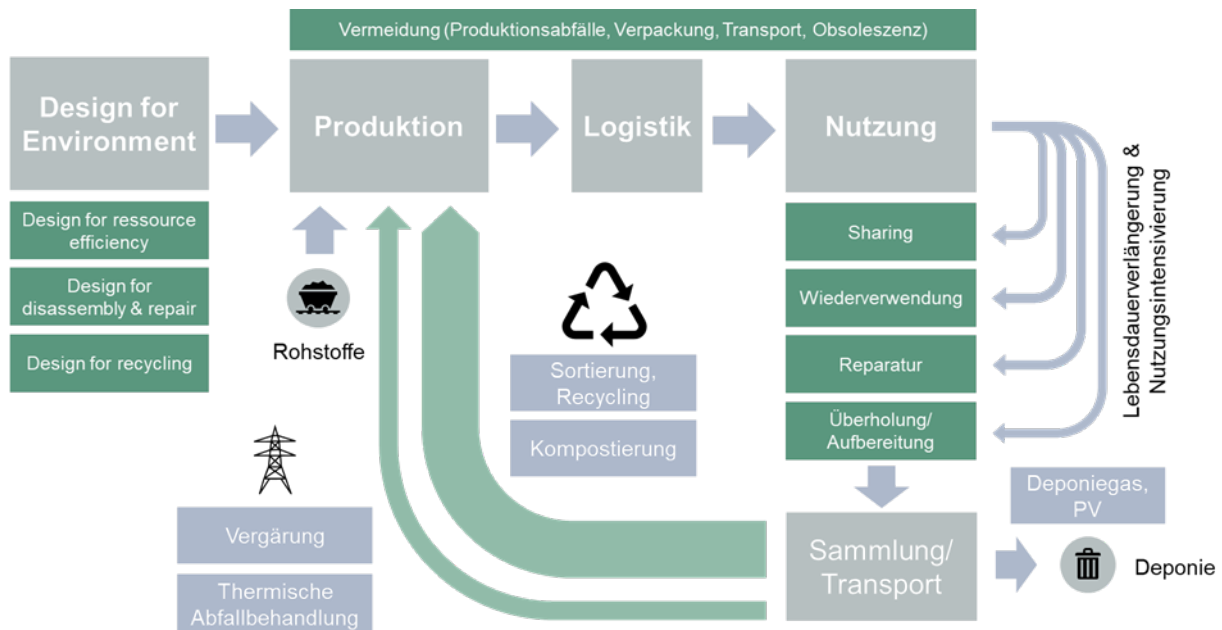
### 2.1.1. Zielbild einer Circular Economy

Der Begriff der Circular Economy steht in diesem Bericht für ein wirtschaftliches Modell, das der linearen Logik von Extraktion, Produktion und Entsorgung entgegensteht und stattdessen umfassende und geschlossene Stoffkreisläufe in allen Wirtschaftsbereichen anstrebt.

Dieses Begriffsverständnis geht über die Konzepte der Abfallwirtschaft hinaus und beschreibt einen Transformationsprozess in Richtung des Zielbildes einer *Circular Economy*, in dem durch eine bessere Kreislaufführung von Materialien, Komponenten und Produkten der Ressourcenverbrauch, die THG-Emissionen und das Abfallaufkommen insgesamt reduziert werden sollen. In der Kreislaufwirtschaft werden Geschäftsmodelle so konzipiert, dass Produkte am Ende ihrer Lebensdauer wiederverwendet, repariert, recycelt oder in biologischen Kreisläufen abgebaut werden können. So werden ihr Nutzen maximiert und die Umweltauswirkungen minimiert. Zu diesem Zweck müssen vor der eigentlichen Produktion das Lebensende

eines Produkts bereits geplant werden und Materialeffizienz, Langlebigkeit, intensive Nutzung, Reparier- und Austauschbarkeit sowie Recyclingfähigkeit in das Design von Produkten einfließen (vgl. Abbildung 2-1 Circular Economy).

**Abbildung 2-2: Grobstruktur einer Circular Economy**



Quelle: IREES 2023

Während der Produktion, Verteilung und Nutzung von Gütern können Abfälle, Verpackungen und Transportwege durch Produktionskreisläufe, eine Logistik der kurzen Wege und eine Minimierung von Obsoleszenz deutlich reduziert werden. Die Nutzung und Lebensdauer von Produkten kann durch Sharing-Ansätze und Wiederverwendung, Reparatur und Überholung deutlich intensiviert und verlängert werden. Erst nach Durchlaufen dieser Nutzungskaskade, wenn eine Aufbereitung nicht mehr möglich ist, erreichen Produkte in einer Kreislaufwirtschaft ihr eigentliches Lebensende und werden als Abfall den bisherigen Verwertungswegen zugeführt.

Diese Verwertung muss zukünftig noch stärker als jetzt eine stoffliche Rückführung der Produktkomponenten ermöglichen und über Sortierung und Recycling bzw. Kompostierung neue Sekundärrohstoffe für die Produktion zur Verfügung stellen. Dazu müssen die Erfassung sowie die Sortierung von Materialien und die eingesetzten Recyclingverfahren weiter verbessert und die Nachfrage nach Rezyklaten erhöht werden. Erst wenn ein Recycling technisch nicht möglich ist, sollte Abfall durch Verbrennung oder Vergärung energetisch verwertet werden und so möglichst andere Energieträger ersetzen.

Weil wir knapper werdende Rohstoffe, aus denen Produkte und Abfall bestehen, für die Produktion brauchen, muss die Deponierung von Abfällen auf ein Minimum reduziert werden. Dadurch kann auch die Extraktion neuer Rohstoffe aus der Umwelt deutlich reduziert werden. Das größte Abfallaufkommen in Deutschland wird mit Bau- und Abbruchabfällen von der Bauindustrie verursacht. Hier muss ein Umdenken dahingehend stattfinden, den Materialbestand in Gebäuden als Rohstoff- und Bauteilquelle zu begreifen. Mittelfristig müssen Märkte für eine direkte Wiederverwendung von Sekundärbaustoffen und höherwertiges Recycling geschaffen werden. Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, den Wert von Abfällen als Ressource zu erkennen und ihre prioritär stoffliche und in letzter Stufe energetische Nutzung zu maximieren.

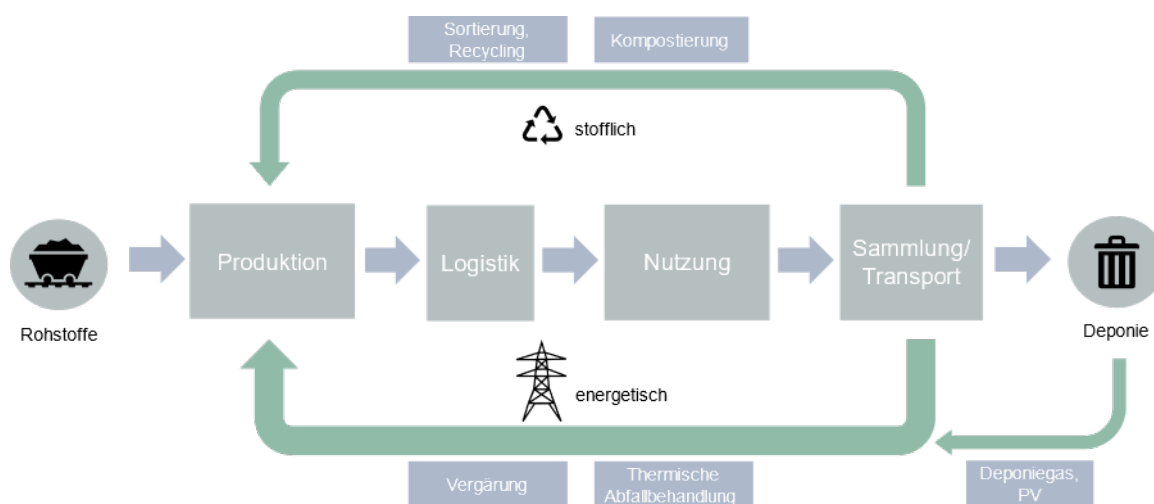
Die Kreislaufwirtschaft kann zur Schaffung neuer Arbeitsplätze in den Bereichen Reparatur, Recycling, Ressourcenmanagement und ressourcensparendes Design beitragen. Eine Studie im Auftrag des BDI schätzt, dass bis 2030 eine zusätzliche Bruttowertschöpfung von 12 Mrd. € pro Jahr erreichbar ist sowie ein Beschäftigungszuwachs von 177.000 Arbeitsplätzen [Deloitte und BDI 2021]. Das Konzept hat in den letzten Jahren weltweit an Bedeutung gewonnen und wird als Lösung für die Probleme des ressourcenintensiven linearen Wirtschaftsmodells betrachtet.

Eine konsequente Umsetzung der Kreislaufwirtschaft kann den Verbrauch natürlicher Ressourcen vom Wirtschaftswachstum entkoppeln und bietet ein übergeordnetes Narrativ, welches die Wirtschafts- und Umweltpolitik verbinden kann und dabei hilft, die Ziele des European Green Deal zu erreichen. Die Rolle der Regierungen dabei ist, die Verzahnung verschiedener Stoffströme aus unterschiedlichen Wirtschaftsbereichen zu unterstützen und die richtigen Rahmenbedingungen zu schaffen, um die Transformation hin zu geschlossenen Kreisläufen zu begünstigen und kreislaufwirtschaftsfähige Geschäftsmodelle gegenüber linearen Geschäftsmodellen attraktiver zu machen.

### 2.1.2. Status quo der Kreislaufwirtschaft

In Deutschland findet bisher (noch) keine vollständige Entkopplung des Ressourcenverbrauchs vom Wirtschaftswachstum statt. Obwohl Deutschland Vorreiter in Bezug auf Recyclingquoten ist und eine hervorragende abfallwirtschaftliche Infrastruktur besitzt, werden zentrale Aspekte einer systemischen Kreislaufwirtschaft noch nicht ausreichend berücksichtigt: Der Fokus liegt hauptsächlich auf der Vermeidung, dem Recycling und der Entsorgung von Abfällen, während die Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten und eine bessere Bestandsnutzung bisher vernachlässigt werden.

**Abbildung 2-3: Wertschöpfungsstufen der Kreislaufwirtschaft**



Quelle: IREES 2023

Obwohl der Anteil der stofflich und energetisch verwerteten Abfälle in Deutschland seit 2006 kontinuierlich gestiegen ist und etwa 82 % des Abfallaufkommens ausmacht, hat zeitgleich das Gesamtaufkommen an Abfall zugenommen, insbesondere im Bereich der Siedlungsabfälle [Umweltbundesamt 2022d]. Der Anteil der stofflich verwerteten Abfälle hat sich indes kaum verändert. Bei der Verwertung von Kunststoffen decken Post-Consumer-Rezyklate

lediglich etwa 7 % der verarbeiteten Menge ab [Conversio 2019]. Abbildung 2-3 gibt eine grobe Übersicht über die bestehende Struktur der kreislaforientierten Abfallwirtschaft.

Deutschland konnte zwischen 2011 und 2021 mit der *Circular Material Use Rate* den Anteil recycelter Rohstoffe in der Industrie von 10,8 auf 12,7 % steigern. Jedoch weisen andere Länder deutlich höhere Werte auf, bspw. die Niederlande mit rund 34 % und Frankreich mit etwa 20 % im Jahr 2021 [Eurostat 2023]. Um die Entkopplung von Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum zu erreichen, hat die deutsche Bundesregierung im Jahr 2012 das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) eingeführt. Dieses Programm zielt darauf ab, den Ressourceneinsatz zu reduzieren und eine verstärkte Kreislaufführung der verwendeten Ressourcen zu fördern.

Die Entkopplung des Ressourcenverbrauchs vom Wirtschaftswachstum hat nicht nur eine ökologische, sondern auch eine ökonomische Relevanz, da die deutsche Industrie von bestimmten Materialien und Rohstoffen abhängig ist, insbesondere bei Metallrohstoffen. Metallerze und -konzentrate müssen zu fast 100 % des Bedarfs importiert werden [BGR 2022]. Diese Importabhängigkeit der deutschen Industrie ist in den letzten Jahren mit steigenden Risiken verbunden gewesen, wie die Lieferkettenprobleme zu Beginn des Ukraine-Krieges verdeutlicht haben.

### 2.1.3. Transformationsansätze

Um die bestehenden Defizite der deutschen Abfallwirtschaft zu adressieren, schlägt der SRU vor, die fünfstufige Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes um zwei „Produktstufen“ zu ergänzen, an denen sich Maßnahmen und Instrumente orientieren sollen. Die nachfolgende Abbildung 2-4 zeigt das vorgeschlagene erweiterte Zielsystem in Anlehnung an die Abfallhierarchiepyramide. Zur Erreichung der obersten Stufe sind Effizienz- und Suffizienz-Maßnahmen notwendig, die einerseits produktionsseitig wirken und andererseits bestehende Konsumprinzipien ändern müssen. Die Circular Economy stellt daher einen gesamtgesellschaftlichen Wandel der Wirtschaftsweise dar, der den Nutzen von Produkten in den Vordergrund stellt. Hierfür sind die politischen Konzepte des Ökodesign und der erweiterten Herstellerverantwortung zentral.

Die zweite Stufe erfordert eine Produktpolitik, die auf kreislaufwirtschaftsfähige Produkte abzielt und damit die Grundlage für langlebige Produkte, Abfallvermeidung und Recycling schafft. Die darunterliegenden Stufen entsprechen weitestgehend den Stufen der Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes mit dem Zusatz des hochwertigen Recyclings, der insbesondere auf die Sortenreinheit von Kunststoffen und Metallen sowie das Recycling von Bau- und Abbruchabfällen abzielt. [SRU 2020]

Neben einer veränderten Abfallhierarchie kann der technologische Wandel die Kreislaufwirtschaft vorantreiben. Technologien wie Künstliche Intelligenz, additive Fertigung und das Internet der Dinge ermöglichen eine hohe Datentransparenz und verbesserte Fertigungsmethoden. Die Digitalisierung bietet zahlreiche Chancen auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft. Wie sich diese neuen Technologien auf den Klimawandel auswirken, hängt jedoch von ihrer Umsetzung sowie von indirekten Rebound-Effekten ab. Bspw. kann eine gesteigerte Nachfrage nach Diensten der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) aufgrund ihrer verbesserten Qualität und neuer Leistungen den Energieverbrauch beeinflussen. Diese Effekte sind zu berücksichtigen und die Digitalisierung ist in einer Weise einzusetzen, die zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft beiträgt.



**Abbildung 2-4: Erweiterte Abfallhierarchie gemäß Vorschlag des SRU**


Quelle: [SRU 2020]

Um die Transformation unserer Gesellschaft hin zu einer Circular Economy voranzutreiben, sind übergeordnete Ziele wie in der Energie- oder Verkehrswende notwendig. Ein Beispiel für solche gesamtgesellschaftlichen Zielsetzungen bietet die im letzten Jahr beschlossene österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie, in der messbare Ziele zum Materialverbrauch, Ressourcenproduktivität, Zirkularitätsrate und Konsum festgelegt wurden. Die übergeordneten Ziele einer zu entwickelnden deutschen Kreislaufwirtschaftsstrategie könnten sich hieran orientieren.

Auch auf europäischer Ebene wurde mit dem *Circular Economy Monitoring Framework* im *Circular Economy Action Plan* als Teil des *European Green Deal* ein Rahmen geschaffen, der die einheitliche und vergleichbare Quantifizierung von Fortschritten in Richtung einer Circular Economy erlaubt. Dieser wurde in diesem Jahr überarbeitet und um die Indikatoren für den Materialfußabdruck und den Verbrauchsfußabdruck erweitert.

## 2.2. Ausgangssituation für die Ermittlung und Zuordnung der Klimaschutzpotenziale

Um die Klimaschutzziele bis zum Jahr 2045 zu erreichen, ist es notwendig, weitere Potenziale des Klimaschutzes zu erschließen, auch die der Kreislaufwirtschaft. Einer der Quellsektoren der internationalen THG-Inventarisierung nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) ist der Bereich „Abfallwirtschaft und Sonstiges“ (CRF-Sektor 5).

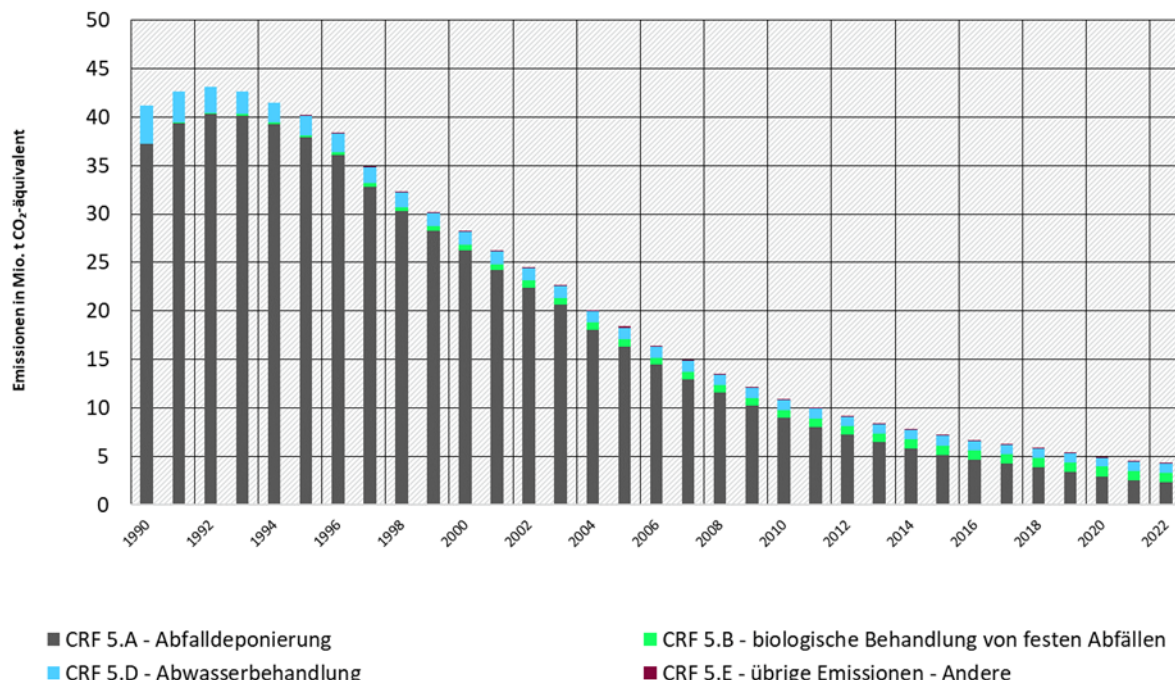
In diesem Sektor werden im Wesentlichen aber nur die Emissionen

- aus Abfalldeponien,
- der mechanisch-biologischen Behandlung,
- der Kompostierung und
- der Abwasserbehandlung

erfasst. Im Vergleich zu allen übrigen Quellsektoren konnten die THG-Emissionen seit 1990 im CRF-Sektor 5 am stärksten reduziert werden. Die Emissionen sanken in Deutschland von

rund 41,2 Millionen (Mio.) Tonnen (t) CO<sub>2</sub>e im Jahr 1990 auf 4,3 Mio. t CO<sub>2</sub>e im Jahr 2022 (= rund -90 %) [Umweltbundesamt 2023a]. Der Anteil des Sektors an der gesamten **Emissionsminderung** in Deutschland liegt bei **rund 7,3 %**. Der CRF-Sektor 5 hat aktuell noch einen **Anteil von etwa 0,6 %** an den Gesamtemissionen Deutschlands. [Umweltbundesamt 2023a] Innerhalb des Sektors dominiert mit 55 % der Emissionen die Abfalldeponierung. Weitere Emissionsquellen sind die biologische Abfallbehandlung (23 %) sowie die Abwasserbehandlung (21 %) [Umweltbundesamt 2023a].

**Abbildung 2-5: Entwicklung der THG im Sektor „Abfallwirtschaft und Sonstiges“ des Klimaschutzgesetzes**



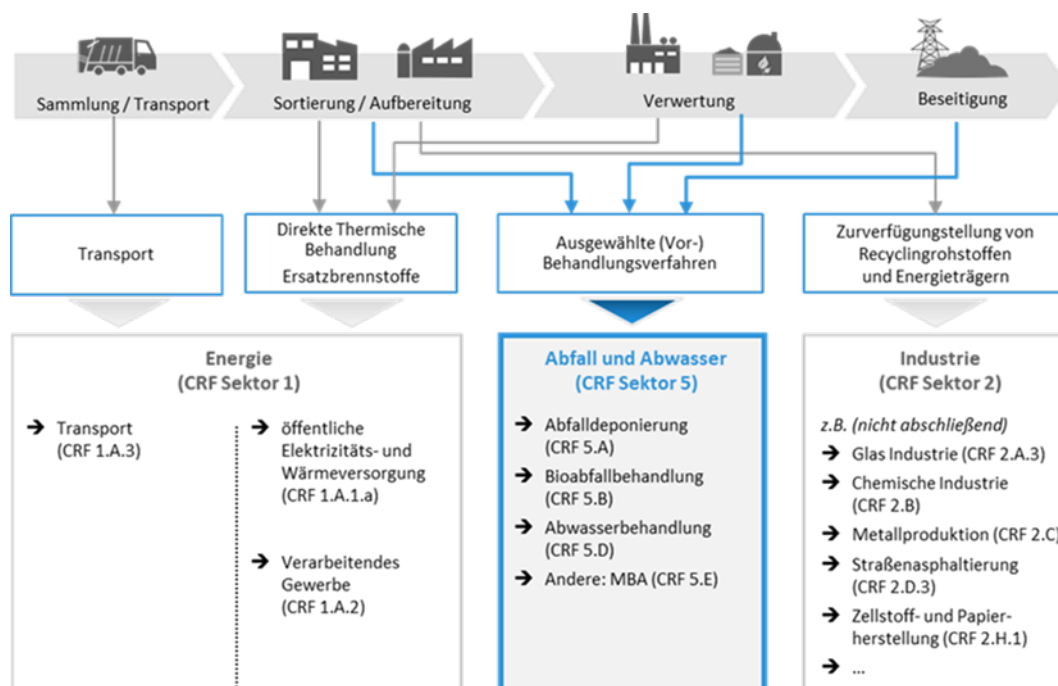
Quelle: [Umweltbundesamt 2023a]; eigene Darstellung

Die deutliche Reduzierung der THG-Emissionen im Bereich des CRF-Sektors 5 ist fast ausschließlich auf das **Verbot zur Ablagerung von nicht vorbehandelten Abfällen** auf den Deponien seit dem Jahr 2005 zurückzuführen. Dies hat die Freisetzung von Methan aus den Abfalldeponien deutlich reduziert. Die konsequente Umsetzung nur **einer Maßnahme** hat also einen Effekt von rd. 35 Mio. t. CO<sub>2</sub>e gehabt. Aus der Darstellung geht ebenfalls hervor, dass der Sektor sein Klimaschutzziel von 4 Mio. t CO<sub>2</sub>e-Emissionen im Jahr 2030 aller Voraussicht nach unterschreiten wird.

Die Struktur der nationalen THG-Inventarisierung beschreibt mit der Abgrenzung des Sektors 5 die Leistungen der Kreislaufwirtschaft bzw. der Circular Economy für den Klimaschutz nur für einen **sehr kleinen Bereich**. Um eine **Doppelberichterstattung** zu vermeiden, werden in dem Sektor 5 nur **direkte, nicht-energetische Emissionen** aus Abfalldeponien (beispielsweise Methan), der mechanisch-biologischen Behandlung, der Kompostierung und der Abwasserbehandlung erfasst.

Emissionsminderungen, die beispielsweise beim Transport von Abfällen oder bei der energetischen Verwertung von Abfällen entstehen, werden beispielsweise den CRF-Sektoren 1.A.3 „Transport“ oder 1.A.1.a. „öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung“ gutgeschrieben. Die Effekte eines geringeren Primärrohstoffverbrauchs durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen werden den unterschiedlichen Branchen im Industrie-Sektor 2 angerechnet.

**Abbildung 2-6: CRF-Sektoren für die Zuordnung der Beiträge der Circular Economy zum Klimaschutz**



Quelle: [Prognos 2020]

Die im Kapitel 4.2 beschriebenen rahmensetzenden Maßnahmen, welche im Wesentlichen dem Einflussbereich der Circular Economy zugeschrieben werden können, betreffen u. a. Verbesserungen des Produktdesigns im Hinblick auf die Recyclingfähigkeit, die Verlängerung der Lebensdauer oder auch die Reparaturfähigkeit von Produkten. Die aus diesen Maßnahmen in einem großen Umfang entstehenden Emissionsreduzierungen werden ebenfalls nicht in dem Sektor Abfallwirtschaft wirksam, sondern überwiegend im Industriesektor. Eine genauere Zuordnung ist allerdings nicht möglich.

Eine **umfassende bzw. querschnittsorientierte Bilanzierung** der Beiträge der Kreislaufwirtschaft bzw. der Circular Economy zum Klimaschutz liegt bislang nicht vor. Daher ist das Ziel der vorliegenden Studie, die Klimaschutzpotenziale über den Sektor 5 hinaus auf verschiedenen Ebenen zu analysieren, um die identifizierten Potenziale abschließend den einzelnen CRF-Sektoren zuordnen zu können.

### 3. Inhaltliche und methodische Vorgehensweise

#### 3.1. Definition des Untersuchungsrahmens

Die Betrachtung der Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft erfolgte i. d. R. stoffstrombezogen. Das bedeutet, dass die für eine Kreislaufführung relevanten Stoffströme im Hinblick auf ihre noch zusätzlich möglichen Recyclingmengen und Wiedereinsatzquoten zunächst analysiert und prognostiziert wurden, um anschließend anhand der zugehörigen CO<sub>2</sub>e-Faktoren die CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale zu berechnen.

Die Kreislaufwirtschaft besteht, wie bereits dargestellt, aus einer Vielzahl von Wertschöpfungsstufen, auf denen ebenfalls CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale identifiziert werden können:

angefangen bei der Erfassung der Abfälle über die Sammlung und den Transport, die mechanische (mechanisch-biologische, mechanisch-physikalische) und chemisch-physikalische (Vor-)Behandlung bis hin zur stofflichen und energetischen Verwertung, der thermischen Beseitigung und der Deponierung von nicht mehr verwertbaren Abfällen.

Es ist darauf zu achten, dass bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale keine Doppelzählungen von unterschiedlichen Effekten ein und derselben Maßnahme vorgenommen werden. Das bedeutet, dass bspw. eine Ausweitung der Eigenkompostierung nicht gleichzeitig der Mengenentwicklung für getrennt erfasste Bioabfälle und der Abfallvermeidung zugerechnet werden kann.

Um solche Doppelzählungen zu vermeiden, wurden bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale diese primär den relevanten Stoffströmen zugeordnet. Wenn dies nicht möglich war, bspw. bei dem Transport von Abfällen oder der Schlackeverwertung, erfolgte eine Betrachtung der Minderungspotenziale der jeweils zugehörigen Wertschöpfungsstufen.

### **3.1.1. Berücksichtigte Stoffströme**

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die nachfolgend genannten Stoffströme und Teilfraktionen berücksichtigt, die über ein hohes Ressourcensubstitutionspotenzial verfügen und durch eine weitere stoffliche oder energetische Nutzung als Recyclingrohstoffe wieder in den Stoffkreislauf zurückfließen können. Sie besitzen folglich das Potenzial, sowohl dem Energie- und Ressourceneinsatz als auch dem Klimaschutz zu dienen.

Es gelang nicht immer, anhand der verfügbaren Daten die jeweiligen Teilfraktionen eindeutig abzugrenzen; Überschneidungen konnten nicht vollständig vermieden werden. So sind Kunststoffe, die im Stoffstrom Kunststoffe insgesamt dargestellt wurden, anteilig auch in den Stoffströmen Verpackungen, Altfahrzeugen, Elektro- und Elektronik-Altgeräte sowie Bau- und Abbruchabfälle enthalten.

**Tabelle 3-1: Überblick über die in der Studie berücksichtigten Stoffströme**

Stoffstrom	Teilfraktion	Stoffstrom	Teilfraktion		
Altfahrzeuge	Gesamt	Kunststoffe	Gesamt		
Altholz	Gesamt	Kupfer	Gesamt		
Batterien	Gesamt	Aluminium	Gesamt		
Bau- und Abbruchabfälle	Beton	Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)	Gesamt		
	Boden und Steine			Textilien	Gesamt
	Dämmstoffe			Verpackungen	Altholz
Bioabfälle	Gesamt		Aluminium		
		Marktabfälle	Flüssigkartons		
			Glas		
Elektro- und Elektronik-Altgeräte	IKT-Geräte		Kunststoffe		
		Leuchtmittel	Papier, Pappe, Karton		
		Weißware	Stahl		
Fe-Metalle	Gesamt		Weißblech		
Glas	Gesamt				
Grünabfälle	Gesamt				
		Garten- und Parkabfälle			

Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

### 3.1.2. Nicht berücksichtigte Stoffströme

Aufgrund der Überschneidungen der Daten zum Aufkommen sowohl bei materialspezifischen Stoffströmen sowie gemischten Stoffströmen wurde auf eine separate Bewertung der gemischten Stoffströme Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Sperrmüll sowie gemischte Bau- und Abbruchabfälle verzichtet. Die sich aus einer optimierten Erfassung und Behandlung ergebenden Klimaschutzpotenziale sind den jeweiligen Abfallarten-spezifischen Stoffströmen zugeordnet.

Ferner wurden nach Prüfung die nachfolgend skizzierten Stoffströme Lebensmittelabfälle, Öle und Fette, Straßenkehrschutt, pechhaltiger Straßenaufbruch sowie kommunale Klärschlämme nicht weiter betrachtet. Für diese Stoffströme sind über die klassische Kreislaufwirtschaft, für die die THG-Minderungspotenziale bilanziert wurden, kaum zusätzliche Potenziale zu heben. Bei Mitbetrachtung der Vermeidung (außerhalb der klassischen Kreislaufwirtschaft) ist die Situation bei den Lebensmittelabfällen allerdings eine andere.

#### Lebensmittelabfälle

Lebensmittelabfälle fallen in der Lebensmittelindustrie, d. h. in der Verarbeitung landwirtschaftlicher Güter, im Groß- und Einzelhandel, in der Gastronomie und in Haushalten zur Entsorgung an. In den Haushalten sind sie Teil der über die Biotonne erfassbaren Bioabfälle, in der

Gastronomie werden sie als Speiseabfälle entsorgt und die entsprechenden Abfallmassen aus dem Groß- und Einzelhandel gelten als Marktabfälle.

Die Herstellung von Lebensmitteln – und hier nicht zuletzt die landwirtschaftliche Produktion – sowie die Distribution sind mit hohen Umweltlasten verbunden und klimaschädlich. Eine Zusammenstellung der entsprechenden spezifischen Kennzahlen für eine Vielzahl von Produkten ist der ifeu-Studie zu Lebensmitteln zu entnehmen [ifeu 2020]. Durchschnittlich fallen 131 Kilogramm pro Einwohner und Jahr (kg/E\*a) über alle Stufen von der Produktion über den Verbraucher bis hin zur Entsorgung an [Umweltbundesamt 2020a], mit einem deutlichen Mengenschwerpunkt bei den privaten Haushalten. Diese Zahl weist auf die hohe ökologische Relevanz dieses Sektors hin.

Nach der Deutschen Nationalen Strategie zur Reduzierung von Lebensmittelabfällen soll das Abfallaufkommen dieses Sektors bis zum Jahr 2030 um 50 % reduziert werden, entsprechend dem Ziel 12.3 der Vereinten Nationen für Nachhaltige Entwicklung, zu dem sich die EU-Länder verpflichtet haben. Diese Reduzierung zugrunde gelegt, ergeben sich THG-Einsparungsbeiträge, die diejenigen der klassischen Abfallwirtschaft bzw. der Verwertung von Bioabfallmassen deutlich übersteigen, wie in einer Untersuchung für das Umweltbundesamt (UBA) dargestellt [Umweltbundesamt 2023d]. In der Studie für das UBA wird für 2030 eine damit verbundene Einsparung in Höhe von ca. 2 Mio. t CO<sub>2</sub>e prognostiziert.<sup>5</sup>

## Fette und Öle

Fette und Öle fallen an unterschiedlichen Stellen als Abfallmassenstrom zur Entsorgung an. In Tierkörperbeseitigungsanlagen werden Tierkörper und Schlachtnebenprodukte zu Tiermehl (ca. 25 %) und Tierfett (ca. 15 %) aufbereitet. Das Tierfett wird gereinigt und entweder zur Herstellung von Fett-Methylester (FME) bzw. Biodiesel verwendet oder als Rohstoff an die chemische Industrie verkauft.

Es ist notwendig und gesetzlich vorgeschrieben, in verschiedene Prozesse bspw. in Großküchen Fettabscheider zu integrieren, um aus dem Abwasser Fette abzutrennen. Dies dient dem Schutz von Abwasserrohren und Leitungssystemen, weil so Fettablagerungen (Verringerung von Rohrquerschnitten) und unerwünschte chemische Reaktionen der Fettsäuren (Geruch) vermieden werden. Die Fettabscheider-Inhalte werden aufbereitet und ebenfalls zu FME/Biodiesel verarbeitet oder direkt in Biogasanlagen energetisch genutzt.

Auch in privaten Haushalten und der Gastronomie fallen Fette und Öle bspw. aus Fritteusen an. Werden größere Mengen davon oder kleinere Mengen über einen längeren Zeitraum über das Abwasser entsorgt, kann dies zu den oben geschilderten Problemen führen. Öle und Fette sind zudem Abfallmassen und dürfen daher nicht gezielt über das Abwasser entsorgt werden. Da sich Fette und Öle gut aufbereiten und verwerten lassen, hat sich für die Gastronomiebetriebe eine Entsorgungsstruktur etabliert. Von Spezialbetrieben werden gesonderte Abfallbehälter zur Verfügung gestellt. Auch hier erfolgt die Verwertung über Biogasanlagen oder über eine Aufbereitung zu FME/Biodiesel.

Ausgehend von umfangreichen Erfahrungen in Österreich haben sich in vielen Regionen Deutschlands ebenfalls Sammel- und Verwertungsstrukturen für Öle und Fette aus Haushalten etabliert, bspw. in Bayern [Öli 2023]. Gesammelt in gesonderten kleinen Behältern können diese i. d. R. an Recyclinghöfen oder anderen Sammelpunkten abgegeben und gegen ein

<sup>5</sup> Falls ab 2026 damit begonnen würde, die Einsparung linear von 0 auf 50 % bis 2030 hochzufahren, würde 2026 etwa 20 % der 2 Mio. t CO<sub>2</sub>e erreicht werden, 2027 etwa 40 %, 2028 etwa 60 %, 2029 etwa 80 % und 2030 dann 100 %. Kumuliert könnten von 2026 bis 2030 6 Mio. t CO<sub>2</sub>e eingespart werden.

entsprechendes leeres Gebinde getauscht werden. Auch hier ist die Verwertung auf die Nutzung in Biogasanlagen oder die Herstellung von FME/Biodiesel ausgerichtet.

Es gibt folglich eine etablierte Sammelstruktur für die separate Erfassung von Fetten und Ölen, die bereits heute aus Sicht des Klimaschutzes sinnvoll verwertet werden. Bei Bedarf ließen sich FME zusätzlich als Grundstoff für die chemische Industrie nutzen. Nennenswerte weitere Potenziale lassen sich nicht erkennen.

### **Straßenkehrriecht**

Straßenkehrriecht fällt bei der Reinigung von Straßen zur Entsorgung an. Mit Kehrmaschinen werden Laub, unterschiedlichste kleine (Verpackungs-)Abfälle/Littering und mineralische Bestandteile aufgesammelt und anschließend als Abfallmassenstrom entsorgt. In den Gebietskörperschaften, in denen der Winterdienst Splitt einsetzt, besteht der Straßenkehrriecht zu einem erheblichen Anteil aus diesem Steinmaterial. In diesen Fällen ist es üblich, den Straßenkehrriecht zunächst aufzubereiten und den Splitt rückzugewinnen. In beiden Fällen verbleiben v. a. organische Bestandteile als Gemisch aus Biomasse und Kunststoffen, Papier, Pappe und Kartonagen (PPK) sowie Metallen zur Entsorgung.

Diese Abfallmassen werden energetisch genutzt bzw. thermisch behandelt. Eine stoffliche Verwertung ist aufgrund der Schadstoffbelastung, die aus der Nutzung der Verkehrsflächen resultiert, und der hohen Anteile an Fremd- und Störstoffen ausgeschlossen.

Auch die stoffliche Verwertung/Kompostierung von Laub ist schwierig, da welches Laub kaum abbaubare Biomasse und Pflanzennährstoffe enthält. Nicht selten werden die Laubmassen im Herbst getrennt auf befestigten Flächen zwischengelagert, um ihnen Wasser zu entziehen und sie besser und kostengünstiger entsorgen zu können.

Dieser Abfallmassenstrom kann hinsichtlich seiner THG-Minderungspotenziale nicht optimiert werden.

### **Pechhaltiger Straßenaufbruch**

Bis vor einigen Jahrzehnten wurden in Deutschland im Straßenasphalt Kohlenteere als Bindemittel eingesetzt. Diese Teere sind mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) belastet, von welchen einige kanzerogen sind. Mittlerweile wird im Asphalt ausschließlich das Bindemittel Bitumen verwendet. Die alten Deckschichten sind aber vielfach noch im Straßenkörper vorhanden.

Lange wurden die Straßenkörper als Straßenunterbau weiter genutzt (Hocheinbau) oder vor Ort zu einer hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT) aufbereitet und gezielt wieder in den Straßenkörper eingesetzt. Von diesem Vorgehen wird zunehmend Abstand genommen, da dadurch die Aufgabe der Ausschleusung von Schadstoffen (PAK) aus der Biosphäre und dem Materialkreislauf auf zukünftige Generationen verschoben wird. Pechhaltiger Straßenaufbruch fällt demnach zukünftig vermehrt zur Entsorgung an.

Vor einigen Jahren wurde eine umfassende Studie zur Entsorgung dieser Abfallmassen erstellt [ifeu 2017]. Es wurden Optionen der Ablagerung auf Deponien einer Entsorgungslösung gegenübergestellt, die bis dato nur in den Niederlanden in einer großen Entsorgungsanlage der Firma REKO besteht. Hier erfolgt eine thermische Behandlung mittels einem Drehrohr und anschließender Rückgewinnung der mineralischen Bestandteile, die im Wesentlichen als Rohstoff für die Zementproduktion sowie als Splitt im Straßenbau verwendet werden können. Das

Bindemittel Teer wird dabei verbrannt und vollständig in Form von CO<sub>2</sub> als Abgasbestandteil an die Atmosphäre abgegeben.

Dieser Verwertungsansatz ist aus ökologischer Sicht durchweg sinnvoll und vorteilhaft. Die Schadstoffzerstörung geht einher mit einer Rückführung von Materialien in den Wirtschaftskreislauf. Allerdings trägt der Ansatz nicht zur THG-Minderung bei. Die materialspezifischen Lasten aus der Verbrennung des Bindemittels lassen sich nur dann auffangen, wenn die Verwertungsanlage die anfallende Wärmeenergie mit hohen Wirkungsgraden effizient nutzt und die verbleibende Restwärme in ein entsprechendes Wärmenetz eingespeist werden kann.

Im Ergebnis hat die Entsorgung pechhaltigen Straßenaufbruchs kein bedeutendes THG-Minderungspotenzial.

### **Kommunale Klärschlämme**

Aufgrund ihrer hohen Schadstoffbelastung – Klärschlämme sind die zentrale Schadstoffsенke der Abwasserwirtschaft – werden Klärschlämme heute nicht mehr stofflich bspw. als Düngemittel in der Landwirtschaft verwendet. Dieser so entsorgte Anteil dürfte zukünftig weiter sinken. Kommunale Klärschlämme werden vor allem thermisch behandelt bzw. energetisch genutzt.

Bis dato werden Klärschlämme mit anderen Massen mitverbrannt, bspw. in Zementwerken, Kohlekraftwerken oder in klassischen Müllverbrennungsanlagen. Die Klärschlämme haben in diesen Fällen immer nur einen kleineren Anteil an den Inputmassen. Nicht zuletzt aufgrund des zunehmenden Bemühens, Phosphorkreisläufe zu schließen, kommt der Monoverbrennung von Klärschlämmen eine immer größere Bedeutung zu. Nur bei diesem Verfahren sind in den Verbrennungsrückständen für eine Rückgewinnung ausreichend hohe Konzentrationen an Phosphor enthalten. Noch sind die Rückgewinnungsverfahren in der Entwicklung und Erprobung. Die zukünftige Rückgewinnung von Phosphor ist allerdings gesetzliche Pflicht.

Bezüglich der THG-Minderungspotenziale von kommunalen Klärschlämmen lässt sich Folgendes feststellen: In Kohlekraftwerken und einigen industriellen Anlagen werden Klärschlämme anstelle von Kohle verbrannt und tragen daher entscheidend zur THG-Minderung bei. Dies gilt auch für die Zufeuerung in Zementwerken. Die unterschiedlichen Ersatzbrennstoffe werden auch hier u. a. zum Ersatz von Kohle eingesetzt. Da die Kohleverfeuerung in allen Fällen in Kürze eingestellt werden wird bzw. wenn Kohle nicht mehr als Brennstoff zur Verfügung steht, entfallen diese rechnerischen Substitutionserfolge.

Die THG-Minderungspotenziale von Klärschlämmen, die der Mono- oder Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen zugeführt werden, hängen zum einen von den technischen Wirkungsgraden der Anlagen ab. Zum anderen ist es für eine erfolgreiche THG-Minderung entscheidend, dass die bei der Verbrennung entstehende überschüssige Wärme effizient in (Fern-)Wärmenetze eingespeist wird. Dies ist allerdings abhängig von einzelnen Anlagen und Standortverhältnissen.

Die Monoverbrennung kommunaler Klärschlämme erfolgt i. d. R. über Wirbelschichtfeuerungen. Diese sind hinsichtlich der THG-Minderung problematisch, da sie vergleichsweise hohe klimaschädliche Lachgasemissionen verursachen [Umweltbundesamt 2018]. Hier sind alle Möglichkeiten der technischen Optimierung auszuschöpfen, die Entsorgung des Abfallmassenstroms kommunaler Klärschlamm birgt darüber hinaus keine nennenswerten Potenziale zur weiteren Einsparung von THG-Emissionen mehr.



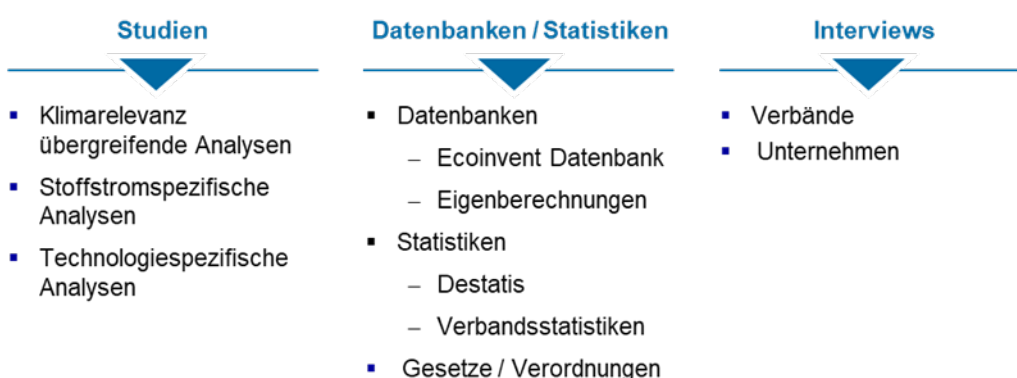
### 3.2. Überblick über die vorhandenen Studien und Datengrundlagen

Unter Berücksichtigung inhaltlicher, zeitlicher und finanzieller Aspekte wurden keine komplexen modellbasierten Berechnungen der Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft durchgeführt, sondern primär verfügbare **eigene Studien** und **Berechnungen** der Projektpartner sowie **externe Studien** im Hinblick auf die Ergebnisse zu Klimaschutzpotenzialen einzelner **Stoffströme** bzw. **Wertschöpfungsstufen** ausgewertet. Dabei wurden sowohl übergreifende Studien zu allgemeinen Aspekten des Klima- und Ressourcenschutzes als auch stoffstromspezifische Analysen ausgewertet.

Die Grundlage für die statistischen Daten zum stoffstromspezifischen Aufkommenspotenzial sowie den derzeitigen Recyclinganteile (Input-basiert) wurden auf der Grundlage der abfallwirtschaftlichen Daten des Statistischen Bundesamtes bzw. Umweltbundesamtes sowie ergänzenden Verbandsstatistiken ermittelt. In diesem Zusammenhang musste festgestellt werden, dass die verfügbaren Daten teilweise nur aggregiert vorliegen und so eine Teilstoffstromspezifische Differenzierung nicht ermöglichen. Da sich die unterschiedlichen Datenquellen in Bezug auf die Erhebungsmethodik, die Aktualität und Grundgesamtheiten z. T. deutlich unterscheiden, konnten Doppelzählungen nicht vollständig vermieden werden. Die betrifft beispielsweise beim Stoffstrom Aluminium die jeweiligen Anteile von Aluminium in Verpackungen, in Altfahrzeugen sowie im Baubereich. Auf die entsprechenden Abgrenzungsproblematiken wird in den Stoffstrom-Profilen (siehe Anlage 10.1) verwiesen.

Für die Bewertung der zukünftigen theoretischen sowie bis 2030 realisierbaren Recyclingpotenziale wurden darüber hinaus auch Entwicklungsoptionen in Bezug auf die technologischen Weiterentwicklungen sowie gesetzliche Rahmenbedingungen zu abfallwirtschaftlichen Zielen und Vorgaben ausgewertet. Ergänzt wurden die Datengrundlagen zudem durch Interviews mit ausgewählten Marktteilnehmern.

#### Abbildung 3-1: Überblick Datengrundlagen



Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

Insgesamt wurden mehr als 220 Studien identifiziert, von denen 183 intensiver für diese Studie ausgewertet wurden.

### 3.3. Berechnung der CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale

Die Ermittlung der spezifischen CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale der betrachteten Verwertungswege erfolgte auf Basis der **Ökobilanzmethode** der Abfallwirtschaft. Auf der einen Seite der Bilanz stehen die Lasten aus der Abfallbehandlung, die mit der Beseitigung bzw. Verwertung

der jeweiligen Abfälle verbunden sind. Dabei werden mit der Zielsetzung der Verwertungs-fähigkeit Produkte erzeugt, die andere, konventionell hergestellte Produkte substituieren können. Die dadurch einsparbaren Herstellungslasten werden auf der anderen Seite der Bilanz als Gutschrift verbucht. Wichtig ist, dass es sich bei den einsparbaren Herstellungslasten um potenzielle Einsparungen handelt, weil im Voraus nicht sicher ist, dass in der Praxis tatsächlich weniger konventionelle Produkte hergestellt werden, wenn aus dem Abfall erzeugte Substitute verfügbar sind. Die Summe aus Lasten und Gutschriften ist das ausgewiesene spezifische CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial der jeweiligen Abfallbehandlung bzw. -verwertung.

Falls ein Abfall bereits erfasst, aber nicht wie vorgeschlagen verwertet wird, wurden die CO<sub>2</sub>e-Potenziale der tatsächlichen Abfallbehandlung vom CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial der vorgeschlagenen Verwertung abgezogen, sofern dies von Relevanz war. Dadurch wird sichergestellt, dass die durch eine Umstellung der Abfallbehandlung hin zur vorgeschlagenen Verwertung wegfallenden Entlastungspotenziale nicht als zusätzliches Minderungspotenzial ausgewiesen werden. Nicht klimarelevante Verwertungswege von Abfällen wurden nicht betrachtet.

Die CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale werden als Bandbreite angegeben. Grund für die Schwankungen können verschiedene Behandlungsoptionen/Verwertungswege für die betrachteten Stoffströme sein (bspw. bei biogenen Abfällen Kompostierung vs. Vergärung). Die jeweiligen Verwertungswege lassen sich häufig noch optimieren, sowohl bezüglich der Lasten als auch der Gutschriften. Weiterhin können sich Emissionsniveau und Betriebsmittelbedarf verschiedener Behandlungsanlagen unterscheiden, da die Anlagen mehr oder weniger optimiert sind (Optimierung des Anlagenbestands). Auch die Art und Menge der erzeugten Produkte, die die Höhe der Gutschriften bestimmen, variiert zwischen verschiedenen Anlagen. In der Literatur werden u. a. aus diesen Gründen oft Schwankungsbreiten angegeben. Teilweise sind in den Bandbreiten auch Vermeidungspotenziale berücksichtigt. Da die Vermeidung von Herstellungslasten mit besonders großen Einsparungen verbunden ist, vergrößern sich durch sie die Bandbreiten.

Zusätzlich werden die CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale für das Jahr 2030 unter Berücksichtigung der zukünftig reduzierten CO<sub>2</sub>e-Lasten des Energiemixes aufgeführt. Bis 2030 wird eine Tei-loptimierung der Verwertungswege und des Anlagenbestands erfolgen, so dass sich der Mittelwert 2030 gegenüber dem Mittelwert 2020 tendenziell verbessert. Überlagert wird dieser Effekt aber von den Veränderungen der CO<sub>2</sub>e-Lasten, die zukünftig mit der Bereitstellung der von den Verwertungswegen benötigten oder substituierten Energie verbunden sind. Diese Veränderungen beeinflussen die prognostizierte Schwankungsbreite im Jahr 2030. Energieintensive Verwertungsprozesse, die gleichzeitig wenig Energie erzeugen, verbessern sich, wohingegen sich Verwertungsprozesse, die mehr Energie erzeugen als sie benötigen, 2030 gegenüber den Ausgangswerten von 2020 durch die Veränderung des Energiemixes verschlechtern.

Weiterhin werden die über die betrachteten Verwertungswege derzeit, potenziell und 2030 jeweils behandelbaren Abfallmengen ausgewiesen.

Über die Multiplikation der Bandbreiten der spezifischen CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale der betrachteten Verwertungswege und der so behandelbaren Abfallmengen lassen sich Bandbreiten für absolute CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale berechnen. Möglicherweise zusätzlich erschließbare Minderungspotenziale ergeben sich als Differenz zur aktuellen Minderung.

## 4. Klimaschutzpotenziale der Circular Economy

### 4.1. Abgrenzung der Maßnahmenebenen

Der gesamte Produktprozess vom Design über die Produktion, den Konsum, die Erfassung und Sortierung bis hin zur stofflichen und energetischen Verwertung ist geprägt durch eine Vielzahl von Akteuren, Entscheidungen und Einflussfaktoren, die im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Emissionsminderung von Relevanz sind. Um die Effekte der rund 150 identifizierten Maßnahmen einschätzen bzw. berechnen zu können, werden die Maßnahmen zunächst nach ihren unterschiedlichen **Wirkungen** im **Prozess der Circular Economy** differenziert.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die wesentlichen **Prozessschritte** der **Circular Economy** vom Produktdesign über den Konsum, das Recycling bis zur schlussendlichen Abfallbehandlung:

**Abbildung 4-1: THG-relevante Wertschöpfungsstufen in der Circular Economy**



Quelle: [BAM 2023], eigene Ergänzungen

Für die weitere Darstellung der Klimaschutzpotenziale wird unterschieden in:

- **Rahmensetzende Maßnahmen**

Unter „rahmensetzende“ Maßnahmen werden Maßnahmen verstanden, die darauf abzielen, den Kreislauf von Stoffströmen zu beeinflussen bzw. zu steuern. Dies beginnt beim Produktdesign, bedeutet aber auch, bestimmte **emissionsintensive Produkte** nicht entstehen zu lassen oder die **Inverkehrbringung** dieser Produkte zu minimieren bzw. zu substituieren. Zu dieser Ebene gehören auch Maßnahmen, die eine Steuerungswirkung auf das Konsum- bzw. Nutzungsverhalten (Sharing/Leasing), die Wiederverwendung von Produkten oder den Einsatz von Primär- und Sekundärrohstoffen (Abgaben) haben. Rahmensetzende Maßnahmen können wegen ihres teilweise sehr breit angelegten Einfluss-

und/oder Regelungsbereiches gleichzeitig auch auf die Erfassung und Verwertung unterschiedlicher Stoffströme wirken. Der Wirkungsbereich der rahmensetzenden Maßnahmen endet, wenn ein Produkt seinen Lebenszyklus beendet.

- **Prozessbezogene Maßnahmen**

Hier schließen die „prozessbezogenen“ Maßnahmen an, die im Rahmen des operativen Recyclings von Wertstoffen (Erfassung bis zum Wiedereinsatz) zu THG-Minderungen führen können, wie beispielsweise die Festlegung von Sortierquoten. Diese Maßnahmen umfassen die Leistungserbringung in den „klassischen“ Wertschöpfungsstufen der Kreislaufwirtschaft, wie Erfassung, Sammlung und Transport, die Sortierung, die stoffliche und energetische Verwertung sowie die Beseitigung von Schadstoffen und betrachten dabei auch die technischen Optimierungspotenziale. Prozessbezogene Maßnahmen ergänzen in ihrer Zielrichtung häufig die Wirkungen stoffstrombezogener Maßnahmen.

- **Stoffstrombezogene Maßnahmen**

Unter „stoffstrombezogenen“ Maßnahmen werden Maßnahmen verstanden, die i. d. R. nur für die verbesserte Erfassung oder Verwertung eines Stoffstroms sorgen, beispielsweise die Bioabfallverordnung oder die Elektroaltgeräteverordnung. Um das Recycling und den Wiedereinsatz eines Stoffstroms unter THG-Gesichtspunkten zu optimieren, sind i. d. Maßnahmen aus allen drei Ebenen in jeweils unterschiedlichen (Wirkungs-)Anteilen notwendig.

Die drei skizzierten Maßnahmenkategorien werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben und in Wirkungen – soweit möglich – quantifiziert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Maßnahmen jeweils einen sehr unterschiedlichen Charakter haben: Vorschläge zur Verhaltensänderungen sind in ihren Effekten nicht oder nur ansatzweise zu quantifizieren, während Verbote in ihren Wirkungen i. d. R. gut zu beurteilen und zu quantifizieren sind.

## 4.2. Ergebnisse auf der Ebene der rahmensetzenden Maßnahmen

Der erfolgreiche Weg zu einer funktionierenden **Circular Economy** kann nur über die Optimierung aller Stufen der Wertschöpfungskette – beginnend beim Produktdesign, über den Produktionsprozess und die Nutzung des Produktes bis zum abschließenden Recyclingprozess – führen. Dies impliziert neben technischen, regulatorischen und organisatorischen Maßnahmen auch die Notwendigkeit, dass die Konsumierenden ihre Verhaltensweisen ändern. Das übergeordnete Ziel dieser Maßnahmen und der Circular Economy als Ganzes ist es, keine Abfälle mehr zu produzieren, sondern den Nutzen von Produkten in den Vordergrund zu stellen und sie nach Erreichen ihres Lebensendes als Ressourcenquelle zu begreifen.

Die höchsten THG-Einsparpotenziale bestehen bei den betrachteten **Suffizienz-basierten Ansätzen**, welche bis 2030 zusammen jährlich mehr als **18 Mio. t CO<sub>2</sub>e** ausmachen. Dazu gehören Maßnahmen zur Vermeidung von Neuanschaffungen sowie Lebens- und Nutzungsdauerverlängerung von Produkten. Das Produktdesign spielt bei der Lebens- und Nutzungsdauerverlängerung eine entscheidende Rolle. Denn die Auslegung des Produktdesigns beeinflusst die Haltbarkeit, Reparaturfähigkeit und Wiederverwendung von Produkten. Entsprechende THG-Entlastungspotenziale lassen sich realisieren, wenn die Politik, Wirtschaft und Konsumierende am Anfang der Abfallhierarchie ansetzen.

Die entscheidende Voraussetzung für einen erfolgreichen Recyclingprozess ist die **Recyclingfähigkeit** der Produkte und Verpackungen. Nur Rohstoffe aus Produkten, die sich wieder in ihre Komponenten und Materialien zerlegen lassen, können adäquat recycelt und wiedereingesetzt werden. Durch das „Design for Recycling“ können ressourcenschonende Produkte

entwickelt werden, die sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bieten. Dafür muss die Zusammenarbeit von Designern, Produzenten und Unternehmen der Recyclingwirtschaft verbindlich und nachhaltig implementiert werden. So entsteht das Problem, dass die durch die Materialzusammensetzung von Produkten verursachten Probleme, die am Anfang des Produktkreislaufes hätten vermieden werden können, am Ende nicht mit einem großen technischen Aufwand gelöst werden müssen – wenn es denn für bestimmte Materialien (Verbundfolien) überhaupt gelingt. Trotz aller Richtlinien und Diskussionen entscheiden über das Produktdesign im Wesentlichen immer noch Fragen der Optik und des Marketings im Hinblick auf die Kaufanreize, die gesetzt werden.

Alle Phasen des Lebenszyklus von Produkten müssen in der Circular Economy bereits im **Design der Produkte** berücksichtigt werden. Dies gilt sowohl für die Aspekte der Vermeidung und der Nutzungsmaximierung, welche die Nutzungsphase betreffen, als auch für die Aspekte der Wiederverwendung, des Refurbishments und des Recyclings, welche das Produktlebensende betreffen. Die Berücksichtigung der Lebensphasen im Produktplanungsprozess spiegelt sich in den Prinzipien des „Design for Recycling“, „Design for Deconstruction“ und „Design for Disassembly and Repair“ in verschiedenen Aspekten wider. Diese Prinzipien und die daraus abgeleiteten rahmensetzenden Maßnahmen machen den Unterschied zum bisherigen Verständnis der Kreislaufwirtschaft als erweiterte Abfallwirtschaft aus.

Die vielen Perspektiven und das umfassende Umdenken auf dem Weg zur Circular Economy führen naturgemäß dazu, dass der Begriff sich **nicht in einer geschlossenen Definition** greifen lässt. Zudem sind die Maßnahmen für eine Wende hin zur Circular Economy notwendigerweise mit Maßnahmen zur Ressourcensicherung oder zur Dekarbonisierung von Industrieprozessen ineinander und lassen sich daher nicht immer eindeutig von diesen abgrenzen. Daher werden in diesem Kapitel nur die **wichtigsten Maßnahmen** in Bezug auf die Klimaschutzpotenziale der zirkulären Wirtschaft betrachtet.

Die Kreislaufwirtschaft hat in den letzten Jahrzehnten einen deutlichen Wandel erlebt und hat bereits die ersten Schritte in Richtung einer Circular Economy beschritten. Wie in Kapitel 2.2 gezeigt, haben sich die THG-Emissionen in dem Sektor bereits deutlich reduziert und die weiteren Klimaschutzpotenziale aus Stoffstrom- oder Wertschöpfungsbetrachtungen sind in vielen Fällen bald ausgereizt. Daher müssen die Anstrengungen bereits heute verlagert werden, um den tiefgreifenden Wandel zu einem neuen Produktverständnis und die damit verbundenen langwierigen Prozesse anzugehen.

#### 4.2.1. Überblick

Vor einer Betrachtung der stoffstromspezifischer Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft werden an dieser Stelle Maßnahmen dargestellt, die im Rahmen der Circular Economy durch Akteursgruppen auch außerhalb der Kreislaufwirtschaft erbracht werden können. Diese betreffen den gesamten Lebenszyklus von Produkten und Grundstoffen sowie der Produktion in den vorgelagerten Prozessen. Sie lassen sich teilweise nur schwer von industrie-, und infrastrukturpolitischen sowie gesamtwirtschaftlichen Maßnahmen abgrenzen. Die in diesem Kapitel dargestellten rahmensetzenden Maßnahmen können daher nur eine Auswahl darstellen, für die unterschiedliche Studien Einsparpotenziale THG-Emissionen quantifiziert und die einen Bezug zur Circular Economy haben.

Die Abbildung 4-2 gibt eine Übersicht über die ausgewählten Maßnahmen nach den **Akteursgruppen**

- Bau- und Wohnungswirtschaft

- Konsumenten
- und Industrie und Gewerbe,

strukturiert nach den **Handlungsfeldern**:

- Vermeidung bzw. Minimierung von Abfällen,
- Lebensdauererlängerung von Produkten,
- Substitution von Primärrohstoffen und
- Recycling von Wertstoffen.

In der Abbildung 4-3 sind für diese Maßnahmen relevante und aus Literaturquellen und statistischen Daten **quantifizierbare CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale** in der gleichen Struktur farblich nach der Größe ihrer Einsparpotenziale dargestellt. Aufgrund der bereits erwähnten Unmöglichkeit einer umfassenden Quantifizierung der THG-Minderungspotenziale rahmensetzender Maßnahmen und der teilweise schwierigen Abgrenzung zu anderen Maßnahmenbereichen, können an dieser Stelle nur **exemplarische Potenziale** genannt werden.

Abbildung 4-2: Übersicht ausgewählter vorsorgender/steuernder Maßnahmen zur Erreichung einer zirkulären Wirtschaft

		Vermeidung/ Minimierung	Lebensdauererlängerung/ Nutzungsintensivierung	Substitution	Recycling
Handlungsfelder / Herkunftsbereiche Abfälle	 <b>Bauen &amp; Wohnen</b>	<b>Reduktion grauer Emissionen:</b> rechtliche Anforderungen zum Lebenszyklus von Gebäuden (bspw. GEG)	<b>Verringerter Neubau durch vorsorgende Instandhaltung:</b> Förderung von Sanierung, Sanktionierung von Abriss	<b>Nutzung von Sekundärmaterialien:</b> Normung und Gewährleistung, Standards für die öffentliche Beschaffung	<b>Gebäuderessourcenpass:</b> Erweiterung des Energieausweises um die Herstellungs- und Entsorgungsphase
		<b>Materialeffizienz im Neubau:</b> Förderung von materialeffizienter Bauplanung (bspw. BEG)		<b>Förderung von Holzbaustoffen als Substitut für Stahl &amp; Beton:</b> Senkung MWSt., Primärbaustoffsteuer	<b>Recyclinggerechter Abbruch:</b> Materialkataster, Design 4 Deconstruction, Schaffung von Recyclingmärkten
		<b>Reduktion der Wohnfläche:</b> Fit for Sharing: Flexibles Bauen fördern, Kommunale Wohnungs(tausch)börsen		<b>Gewerbeabfallverordnung:</b> Pflicht zur Getrennterfassung von Bau- und Abbruchabfällen	
	 <b>Verbraucher</b>	<b>Reduktion Verpackungen E-Commerce:</b> Pflicht zum separaten Ausweisen von Versandkosten	<b>Recht auf Reparatur:</b> Mindeststandards ins ElektroG, Stärkung/ Ausweitung der Ökodesign-Verordnungen	<b>Biobasierte Materialien:</b> Verpackungen aus Papier und Biomaterialien fördern	<b>Pfandsystem für Elektro-Altgeräte:</b> zur Erhöhung der Sammelquote für Recycling und Wiederaufbereitung
		<b>Mehr Mehrwegverpackungen:</b> Angebots-/ Rücknahmepflicht, Senkung MWSt., Anreize für Poolssysteme	<b>Car-Sharing stärken:</b> Abschaffung Dienstwagenprivileg, Parkgebühren, Verknüpfung mit ÖPNV		<b>Recyclinggerechtes Design:</b> Standards für sortenreine Verpackungen, mehr Ökodesignwissen in Ausbildungen
		<b>Reduktion von Verbraucherverpackungen:</b> Leitlinien zu unnötigen Verpackungen	<b>Miet- und Leasingmodelle:</b> Senkung MWSt. auf „Product-as-a-Service“-Modelle, Rechtssicherheit		<b>Digitaler Produktpass:</b> Erfassung von Materialien & Informationen zu Reparierbarkeit, Entsorgung, etc.
	 <b>Industrie &amp; Gewerbe</b>	<b>Materialeffizienz steigern:</b> Digitale Steuerungen und additive Fertigung fördern, Leichtbau bei PKW	<b>Förderung Reparatur &amp; Instandhaltung:</b> Bspw. Senkung MWSt. auf Ersatzteile & Reparaturdienstleistungen	<b>Fairer Wettbewerb ggü. Beton:</b> für Materialeffizienz & Recyclingbeton durch weniger kostenlose Zertifikate im ETS	<b>Neugestaltung der Beteiligungsentgelte:</b> Anpassung VerpackG §21 für Recyclingfähigkeit, Rezyklateinsatz & Mehrweg
		<b>Reduktion von B2B-Verpackungen:</b> Anreize für Mehrwegsysteme		<b>Substitution durch Sekundärmetalle:</b> Trennung nach Legierungen Normieren und neue Verfahren fördern	<b>Signalwirkung:</b> durch CO <sub>2</sub> -Bepreisung von TAB im BEHG
					<b>Höhere Rezyklatquoten:</b> Vorgabe von verbindlichen Quoten je Produktgruppe in VerpackG

Quelle: IREES 2023

Abbildung 4-3: CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale ausgewählter vorsorgender/steuernder Maßnahmen für das Jahr 2030

		Vermeidung/ Minimierung	Lebensdauererlängerung/ Nutzungsintensivierung	Substitution	Recycling
Handlungsfelder / Herkunftsbereiche Abfälle	 Bauen & Wohnen	Materialeffizienz Stahl durch software-aided design: 8,4 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [Dunant et al. 2018], [dena 2019]	Sanierung anstelle von Abriss und Neubau (alle Abrisse 2022): 0,02 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [DGNB 2020], [Destatis 2023]	Alle neuen 1-2FH (KfW55) in Massivholz-anstelle Betonbauweise: 0,09 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [LfU Bayern 2018], [Destatis 2023]	Wiederverwendung von 50% aller beim Abriss anfallenden Tonziegel: 0,86 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [BBSR 2017], [Ökoinstitut 2003]
		Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche: 4,8 bis 13,8 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [Umweltbundesamt 2019c]		25% aller PVC-Fensterprofile werden durch Holz substituiert: 0,2 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [IREES 2018]	Wiederverwendung von 50% des rückgebauten Bau- und Konstruktionsholzes: 0,7 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [BBSR 2017], [Ökoinstitut 2003]
	 Verbraucher	Alle alkoholfreien Getränke in Mehrwegverpackungen: 1,26 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [DUH 2018]	20% der Potenziale für Ausbau Car-Sharing, Ride-Pooling & ÖPV in 2045: 9 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [Fraunhofer ISI, FU Berlin & Öko-Institut 2023a]	Substitution von 324 000 t Kunststoffverpackungen durch Papier: 0,58 – 0,75 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [Halfman 2021], [Handelsblatt 2021]	25% der verbrannten Kunststoffe werden zu Sekundärkunststoffen recycelt: 0,1 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [IREES 2018], [Conversio 2020]
		Reduktion von übermäßigen Verpackungen: 0,04 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [ifeu 2021]			
	 Industrie & Gewerbe	Leichtbau bei allen produzierten PKW: 0,6 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [IREES 2018]	Lebensdauererlängerung von Elektro- und Elektronikgeräten: 2,3 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [EEB 2019]	Erhöhte Substitution von Primär- durch Sekundärstahl (plus 3 Mio. t): 5 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [Dialogplattform 2023]	Karbonatisierung aller kalk- und zementhaltigen Abfälle: 0,4 bis 2,25 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [Tiefenthaler et al. 2021], [Dialogplattform 2023b]
					5% Rezyklatanteil aus chemischem Recycling (1/4 des Potenzials 2050): 0,3 Mio. t CO <sub>2</sub> äq/a [acatech 2021b]

Quelle: IREES 2023



#### 4.2.2. Akteursgruppe Bau- und Wohnungswirtschaft

Gemäß Klimaschutzgesetz (KSG) umfasst der Gebäudesektor ausschließlich die THG-Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser sowie von Geräten und Prozessen, die mit dem Bau- und Gebäudebereich zusammenhängen. Die THG-Emissionen aus der Herstellung von Bauprodukten, der Errichtung von Gebäuden sowie aus deren Rückbau und das Recycling von Bauprodukten werden in anderen Sektoren bilanziert. In der Kurzstudie zum Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland [BBSR 2020] wurde ermittelt, dass die Herstellung, Errichtung, die Modernisierung sowie die Nutzung und der Betrieb von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Bau- und Gebäudebereich) im Jahr 2014 insgesamt 362 Mio. t an CO<sub>2</sub>e verursachten. Dies entspricht 40 % der gesamten CO<sub>2</sub>e-Emissionen in Deutschland.

In Bezug auf das KSG umfasst diese Summe neben den THG-Emissionen aus dem Gebäudesektor auch anteilig THG-Emissionen aus den Sektoren Industrie (11 %) und Energie (54 %). Aufgrund des Quellenprinzips werden die durch die Produktion der eingesetzten Bauprodukte verursachten THG-Emissionen dem Industriesektor und die für Herstellung von Bauprodukten sowie für den Gebäudebetrieb benötigte (elektrische) Energie dem Energiesektor zugerechnet.

Neben dem Energieaufwand und den daraus resultierenden THG-Emissionen ist der Bau- und Gebäudebereich für einen großen Anteil des Abfallaufkommens in Deutschland verantwortlich. Mit rund 54 % sind Bau- und Abbruchabfälle (222 Mio. t in 2022) die größte Abfallfraktion [Statistisches Bundesamt (Destatis) 2023]. Zwar wird diese zu annähernd 90 % verwertet. Ein Großteil wird jedoch im Berg- und Straßenbau eingesetzt und nicht hochwertig zu neuen Baustoffen recycelt [Kreislaufwirtschaft Bau 2020]. Der Abfallhierarchie folgend, sollte in erster Linie die Lebensdauer von Gebäuden verlängert werden, bevor durch einen recyclinggerechten Abbruch die Wiederverwendung von einzelnen Bauelementen möglich ist. Erst nachdem diese Möglichkeiten ausgeschöpft sind, sollte ein Recycling zu Baustoffen möglichst gleicher Funktionalität erfolgen. Wenn das ausgeschlossen ist, sind die Bau- und Abbruchabfälle einer sonstigen Verwendung zur Verfüllung oder zur thermischen Verwertung zuzuführen.

Der Gebäudebereich ist einer der größten Nachfrager nach energieintensiven Materialien wie Stahl und Beton (einschließlich der Vorprodukte Zement und Klinker), die für einen großen Teil der Kohlenstoffemissionen im Industriesektor verantwortlich sind [Lotz 2022]. Folgerichtig kommen mehrere Studien zu dem Schluss, dass eine Kreislaufwirtschaft erheblich dazu beitragen kann, die Nachfrage nach Baumaterialien zu reduzieren [bspw. Hertwich et al. 2019; Material-Economics 2018]. Im Folgenden werden die Potenziale verschiedener Maßnahmen bezüglich der THG-Reduktion diskutiert.

Die **größten Einsparpotenziale** in der Akteursgruppe finden sich im Bereich der Vermeidung und Minimierung durch **Erhöhung der Materialeffizienz** und **Reduktion der Wohnfläche** und im Bereich der **direkten Wiederverwendung von Bauteilen und Materialien**. Die Karbonatisierung von kalk- und zementhaltigen Bau- und Abrissabfällen ist in Abbildung 4-3 der Akteursgruppe Industrie und Gewerbe zugeordnet, da diese aktuell auch von der Zementindustrie erforscht wird. **Trockene Verfahren der Karbonatisierung** lassen sich jedoch auch von Akteuren der Bauwirtschaft umsetzen und würden hier große Einsparpotenziale bieten.

## Vermeidung und Minimierung

Ein effizientes Baustatikdesign ist entscheidend, um die im Zuge der Herstellung und Verarbeitung von Bauteilen emittierten sogenannten grauen Emissionen von Gebäuden zu verringern. Häufig sind Bauelemente überdimensioniert. Dies führt zu einem erhöhten Bedarf vor allem an THG-intensiven Baumaterialien wie Stahl und Zement. Dunant et al. [2018] zeigen, dass über 36 % der Stahlrahmen von Gebäuden unnötig und durch softwaregestütztes Design optimiert werden können. In Deutschland wurden durch die Stahlherstellung 2018 rund 67 Mio. t CO<sub>2e</sub> ausgestoßen [dena 2019]. Etwa ein Drittel des Stahls wurden für den Bausektor verwendet. Durch eine effizientere, softwaregestützte Bauteilauslegung können mit bis zu 8,4 Mio. t CO<sub>2e</sub>/a erhebliche THG-Mengen eingespart werden. Eine effiziente Bauplanung und materialsparende Bauweisen sollten daher gesondert gefördert werden. Dies kann bspw. in der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) berücksichtigt werden.

Eine weitere effektive Maßnahme zur Minimierung der Lebenszyklusemissionen von Gebäuden ist die Reduktion der Wohnfläche pro Kopf. Dieser Wert ist im Laufe der letzten Jahre stetig angestiegen und liegt mittlerweile bei 47,7 m<sup>2</sup> pro Kopf [Destatis 2022]. Die spezifische Wohnfläche wird laut der BBSR-Wohnungsmarktprognose [BBSR 2015] sowohl in den neuen als auch in den alten Bundesländern bis 2030 weiter stetig steigen. In einer Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes [Umweltbundesamt 2019c] wurden die Potenziale für die THG-Minderung durch Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche ermittelt. Die Studie beziffert das Einsparpotenzial für das Jahr 2030 bei einer moderaten Verringerung der spezifischen Wohnfläche um 0,5 % jährlich auf 4,8 Mio. t CO<sub>2e</sub>/a und bei einer ambitionierten Reduktion um 3 % jährlich auf 13,8 Mio. t CO<sub>2e</sub>/a. Maßnahmen zur Reduktion der Wohnfläche umfassen u. a. die bauliche Teilung von Gebäuden und kommunale Aktionsstellen für effiziente Wohnraumnutzung.

## Lebensdauererlängerung und Nutzungsintensivierung

Zwar ist die Energieeffizienz des Betriebs von Neubauten deutlich höher als die unsanierter Bestandsbauten. Jedoch macht die graue Energie bei einem KfW55-Neubau etwa 50 % des Energieverbrauchs im Lebenszyklus aus [LfU Bayern 2018]. Dagegen kann die Förderung bestandserhaltender (energetischer) Sanierung von Gebäuden deren Nutzungsdauer erhöhen und den wesentlich höheren Energie- und Ressourcenaufwand bei Abriss und Neubau von Gebäuden vermeiden. Laut einer Studie der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen [DGNB 2020] können mit dem gleichen Aufwand an grauen Emissionen entweder zehn neue Gebäude gebaut oder 23 bestehende Gebäude saniert werden. Die Lebenszyklusemissionen für Herstellung, Instandhaltung und Lebensende von Gebäuden liegen gemäß der Studie im Durchschnitt bei 4,5 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>NF\*a (NF=Nutzfläche) für Sanierungen und bei 8,8 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>NF\*a bei Neubauten. Die für den Wohnungsneubau abgerissene Wohn- und Nutzfläche lag im Jahr 2022 bei 3.77 Mio. m<sup>2</sup> [Destatis 2023]. Daraus ergäbe sich bei erhaltender Sanierung aller abgerissenen Gebäude ein Einsparpotenzial von rund 0,02 Mio. t CO<sub>2e</sub>/a. Ramboll [2020] geht auf europäischer Ebene davon aus, dass eine Sanierungsrate von 1 % den Bedarf an Neubauten um 7,5 % reduziert. Die erhaltende Sanierung kann politisch gefördert und der Abriss von Gebäuden bspw. durch die Vorschrift von Abrissgenehmigungen reguliert werden.

## Substitution von Primärrohstoffen

Die Wahl der Baumaterialien für Neubauten kann das THG-Potenzial für deren Errichtung deutlich beeinflussen. In einer vergleichenden Lebenszyklusanalyse verschiedener Wohngebäudeneubauten des Bayerischen Landesamts für Umwelt [LfU Bayern 2018] wurden die THG-Emissionen der Errichtung und des Betriebs von Neubauten verschiedener Bauweisen gegenübergestellt. Für Neubauten mit 55 kWh/m<sup>2</sup> (kWh – Kilowattstunde) unterscheiden sich

die THG-Potenziale für Gebäude aus Ziegel, Kalksandstein und Porenbeton kaum und liegen bei rund 29 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>NF\*a. Für Neubauten in Massivholzbauweise liegen die Emissionen dagegen bei rund 23 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>NF\*a. Wären alle 2022 neugebauten Ein- und Zweifamilienhäuser mit einer Gesamtfläche von 14,46 Mio. m<sup>2</sup> [Destatis 2023] nach KfW55-Standard in Massivholzbauweise anstelle von Beton- oder Ziegelbauweise gebaut worden, hätten 0,09 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a eingespart werden können.

Etwa 41 % der für den Bau eingesetzten Kunststoffe sind aus Polyvinylchlorid (PVC), welches größtenteils für Fenster- und Türprofile verwendet wird. Holzfenster haben jedoch im Lebenszyklus eine wesentlich bessere THG-Bilanz. Würden 25 % der jährlichen Produktion von PVC-Fensterprofilen durch Holz substituiert, ließen sich 0,1 Mio. t PVC/a und somit etwa 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a einsparen [IREES 2018].

Bei der Modernisierung/Sanierung von Gebäuden fallen ebenfalls graue Emissionen an. Allerdings ist der Primärenergieaufwand bei der Herstellung von zur Sanierung verwendeten Dämmstoffen im Vergleich zu dem reduzierten Endenergiebedarf von sanierten Gebäuden vernachlässigbar [Reinhardt et al. 2019]. Zur Minimierung der grauen Emissionen, die bei der Modernisierung anfallen, kann außerdem darauf geachtet werden, Materialien mit geringem Energieaufwand in der Herstellung bzw. Dämmstoffe auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen zu verwenden. Aus der Annahme eines Anteils von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen von 35 % am Absatzmarkt resultiert eine potenzielle Minderungswirkung von 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a. Ausgehend vom aktuellen Dämmstoffmarkt werden in dieser Berechnung jedoch ausschließlich Holzfasern und Zellulose betrachtet. Werden weitere Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wie Hanf, Flachs und Stroh verwendet, fällt die Reduktion ggf. höher aus. Zudem sind bei der Bewertung von Dämmstoffen neben dem Energieaufwand in der Herstellung auch der biogene Kohlenstoffgehalt und das Recyclingpotenzial zu beachten. Weitere Untersuchungen sind daher notwendig. [Deurer et al. 2023, bislang unveröffentlicht]

### **Wiederverwendung und Recycling**

Werden Gebäude bei Abbruch recyclinggerecht zurückgebaut, können einige Bauteile theoretisch mit gleichem Nutzen nach Reinigung direkt wiederverwendet werden. Tatsächlich geschieht dies jedoch selten. Meist finden eine sortenreine Zerkleinerung und ein Recycling der Baustoffe zu höherwertigen Baustoffen, in vielen Fällen jedoch eher ein Downcycling zu Baustoffen im Erdbau statt. Insbesondere tonhaltige Dach- und Mauerziegel haben in der Primärproduktion aufgrund des Brennprozesses ein hohes THG-Potenzial. In einer Studie des Öko-Instituts zu THG-Reduktionspotenzialen durch Wiederverwendung von Bauteilen [Öko-Institut 2003] wird das Einsparpotenzial für Falzziegel aus Ton mit 22,17 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> angegeben. Bezogen auf die spezifische Masse von 45 kg/m<sup>2</sup> und eine beim Abriss anfallende Menge an Ziegeln von etwa 3,5 Mio. t/a [BBSR 2017] ergibt sich unter der Annahme, dass 50 % der anfallenden Ziegel wiederverwendet werden können, ein Einsparpotenzial von 0,86 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a.

Ebenso ergibt sich bei einer direkten Wiederverwendung des beim Abbruch anfallenden Konstruktionsholzes ein THG-Einsparpotenzial von durchschnittlich etwa 800 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> [Öko-Institut 2003]. Bei einer mittleren Dichte von etwa 640 kg/m<sup>3</sup> und einer jährlich anfallenden Menge von etwa 2,7 Mio. t [BBSR 2017] ergibt sich bei Wiederverwendung von 50 % des Bau- und Konstruktionsholzes ein Reduktionspotenzial von 0,7 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a.

Um in Zukunft einen recyclinggerechten Abbruch zu ermöglichen, ist das Design von Neubauten auf eine möglichst hohe direkte Wiederverwendungsrate auszulegen. Derzeit existiert nur ein sehr kleiner Markt für die direkte Wiederverwendung von Gebäudebauteilen. Die

Etablierung eines solchen Marktes und die Schaffung von Internet-Plattformen können über Zertifizierungen und Qualitätsstandards für die Bauteile sowie eine entsprechende Beschaffung im Zuge von öffentlichen Bauvorhaben unterstützt werden. Ein Gebäuderessourcenpass kann helfen, die verbauten Materialien zu erfassen und in Materialkatastern zu kartieren.

### 4.2.3. Akteursgruppe Verbraucher

In das Handlungsfeld Verbraucher fallen THG-Potenziale und Maßnahmen zu deren Reduzierung, die das Konsumverhalten in Privathaushalten betreffen. Dieses Konsumverhalten bezieht sich auf eine Vielzahl an Produkten, darunter Verpackungen, Elektro- und Elektronikgeräte, Möbel, Kleidung und Fahrzeuge.

Einen großen Anteil an den in Privathaushalten anfallenden Siedlungsabfällen haben Verpackungen (Wertstoffe: 11,4 %, PPK: 14,9 %) [Statistisches Bundesamt (Destatis) 2023]. Insbesondere die Menge der Kunststoffabfälle aus dem Post-Consumer-Bereich steigt stetig und hat sich in den letzten 25 Jahren etwa verdoppelt. Von diesen Kunststoffabfällen werden etwa 33 % recycelt und rund 66 % energetisch verwertet [Conversio 2021]. Die vermeintlichen THG-Einsparungen, die sich durch die Substitution fossiler Energieträger durch die energetische Verwertung von Kunststoffabfällen ergeben, stellen sich in einer Gesamtbilanz jedoch nicht als solche dar, weil die verbrannten Abfälle zu einem großen Teil aus fossilen Rohstoffen bestehen.

Hochrechnungen von Material Economics ergeben, dass europaweit nur etwa 10 % des Bedarfs an Kunststoffen durch Rezyklate gedeckt wird und dass sich im Bereich der Kunststoffverpackungen durch vermehrtes Recycling in der Europäischen Union (EU) bis zu 32 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a zu vergleichsweise geringen Kosten vermeiden lassen [Material-Economics 2018].

Die **größten Einsparpotenziale** in der Akteursgruppe finden sich im Bereich der Nutzungsintensivierung durch **Stärkung von Car-Sharing, Ride-Pooling und ÖPV** und im Bereich Vermeidung durch die **Ausweitung von Mehrwegverpackungen**.

#### Vermeidung und Minimierung

Um das Abfallaufkommen an Verpackungen zu minimieren, sind Mehrwegverpackungen die wirkungsstärkste Lösung. Im To-Go-Bereich wurde durch die letzte Novelle des Verpackungsgesetzes (VerpackG) bereits eine Mehrwegangebotspflicht für Lebensmittel zum Sofortverzehr eingeführt. Durch den stetig steigenden Anteil des Onlinehandels am Einzelhandel (2022 etwa 16 %) steigt auch das Transport- und Verpackungsaufkommen [IW 2022]. Versandverpackungen bestehen heute zum Großteil aus Wellpappe. Für geringe bis mittlere Transportdistanzen (unter 1.000 km) können laut Untersuchung von Zero Waste Europe [Reloop 2020] Mehrwegverpackungen aus Kunststoff zu deutlichen THG-Einsparungen gegenüber Verpackungen aus Pappe führen. Während die spezifischen THG-Emissionen bei Mehrwegversandtaschen pro Nutzung (Umlauf) mit steigender Umlaufzahl sinken, bleiben die Emissionen bei Einwegverpackungen pro Nutzung (Sendung) konstant.

Im Bereich der Getränkeverpackungen gibt es bereits ein etabliertes Mehrwegsystem. Die Mehrwegquote in diesem Bereich ist jedoch seit 2003 rückläufig [Umweltbundesamt 2021]. Vor allem Discounter sind bisher nicht bereit, die notwendige Logistik bereitzustellen. Eine Aufstellung der Deutschen Umwelthilfe kommt zu dem Schluss, dass eine Umstellung aller Verpackungen alkoholfreier Getränke in Deutschland auf Mehrwegverpackungen zu einer THG-Einsparung von 1,26 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a führen würde [DUH 2018].

Viele Verpackungen im Consumer-Bereich sind zudem unnötig groß, da sie marketingbedingt füllungsfreien Raum beinhalten, oder sie haben zusätzliche Umhüllungen, die nicht dem Transport dienen. Eine Reduktion von übermäßigen Verpackungsgrößen kann zu einer THG-Einsparung von rund 0,04 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a führen [ifeu 2021]. Eine solche Reduktion kann durch Regulierungen und Leitlinien zu erlaubtem Luftraum in Verpackungen und zum Einsatz nicht notwendiger Zusatzverpackungen unterstützt werden.

### **Lebensdauererlängerung und Nutzungsintensivierung**

Die Lebensdauer von Produkten wird nicht nur durch die physischen Eigenschaften der Produkte bestimmt, sondern auch durch die Verbraucher. Um die Produktlebensdauer zu verlängern, gibt es verschiedene Ansätze, die das Design der Produkte betreffen: eine längere Nutzung eines Produkts (durch physische und emotionale Langlebigkeit), eine verlängerte Lebensfähigkeit eines Produkts (durch Wartung und Reparatur) und eine Wiederherstellung des Produkts einschließlich seiner Komponenten (durch Wiederaufbereitung) [Den Hollander 2017].

Sharing-Modelle führen zur Nutzungsintensivierung von Produkten. Insbesondere Car-Sharing und Ride-Pooling bieten hohe Emissionsminderungspotenziale und finden in urbanen Räumen immer mehr Verbreitung. Voraussetzung für die Einsparung von THG-Emissionen ist, dass Sharing-Modelle zu einer Reduktion der Anzahl an PKW führen. Je nach Form des Car-Sharings liegen die Klimaschutzpotenziale laut Umweltbundesamt [2016] je nach Szenario zwischen 0,09 und 6,3 Mio. t CO<sub>2</sub>e pro Jahr. In der Studie „Modell Deutschland Circular Economy“ [Fraunhofer ISI, FU Berlin & Öko-Institut 2023a] wurden die THG-Einsparpotenziale durch eine Ausweitung von ÖPV, Car-Sharing und Ride-Pooling bis 2045 auf rund 45 Mio. t CO<sub>2</sub>e pro Jahr geschätzt. Wenn sich davon 20% bis 2030 realisieren lassen, liegen die Potenziale bei rund 9 Mio. t CO<sub>2</sub>e pro Jahr in 2030.

### **Substitution von Primärrohstoffen**

Einwegverpackungen aus Kunststoff können in vielen Anwendungsfällen durch (ggf. beschichtetes) Papier substituiert werden. Dies verbessert das Recycling von Verpackungen, da in Deutschland die Recyclingquote von Papier bereits hoch ist. Laut einer Studie im Auftrag des WWF können bis zu 0,3 Mio. t Kunststoffverpackungen durch Papier ersetzt werden [Halfman 2021]. Ein Großteil der betreffenden Verpackungen besteht aus Polyethylen (PE), das je nach Abfallverwertung ein THG-Potenzial zwischen 2,2 und 3,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg aufweist. Werden diese durch Papier mit einem THG-Potenzial zwischen 0,4 und 0,8 kg CO<sub>2</sub>e/kg substituiert, können zwischen 0,58 und 0,75 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a eingespart werden [Handelsblatt 2021].

## Wiederverwendung und Recycling

Werkstoffliches Recycling verursacht weniger als 20 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die mit der Herstellung neuer Kunststoffe verbunden sind – selbst wenn Transport, Wärmebereitstellung und Stromverbrauch noch nicht dekarbonisiert sind [Material-Economics 2018]. Wenn das Recycling jedoch die Kunststoffqualität verschlechtert, sind die Nettoemissionen höher, da das Rezyklat neue Primärkunststoffe nicht vollständig ersetzen kann.

Die durch das VerpackG vorgegebenen Recyclingquoten für 2030 werden für Verpackungen aus Glas, Papier, Aluminium und Eisenmetalle bereits zum Teil deutlich übertroffen. Im Bereich der Verpackungen aus Kunststoff und Holz besteht jedoch ein deutliches Defizit, auch gegenüber den Zielen des VerpackG für 2025. Aktuell werden etwa 51 % der Kunststoffverpackungen verbrannt, 18 % exportiert und etwa 30 % einem Recycling zugeführt [Halfmann 2021]. Der Anteil von Rezyklaten in Kunststoffverpackungen liegt nur bei rund 11 % und stammt größtenteils aus Industrieabfällen [Halfmann 2021].

Im Jahr 2019 wurden 2,12 Mio. t Post-Consumer-Kunststoffe energetisch verwertet [Conversio 2020]. Gemessen an den Produktionsmengen kann angenommen werden, dass die größten Fraktionen dieses Stoffstroms aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyvinylchlorid (PVC) bestehen [Conversio 2020]. Nimmt man an, dass von den verbrannten Mengen 25 % zu Sekundärkunststoffen mit gleichem Nutzen recycelt werden können, können in Summe 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a eingespart werden. Dieser Berechnung liegen spezifische THG-Substitutionsfaktoren der Kunststoffe (PE: 14 %, PP: 14 %, PVC: 28 %) [IREES 2018] zugrunde, welche mit den Produktionsmengen gewichtet wurden.

### 4.2.4. Akteursgruppe Industrie und Gewerbe

Die Gesamtemissionen von Industrieprozessen und des verarbeitenden Gewerbes (ohne Strombezug) beliefen sich im Jahr 2022 auf insgesamt 164 Mio. t CO<sub>2</sub>e [Umweltbundesamt 2023a]. Aufgrund der hohen Emissionen im Bereich der industriellen Produktion, sind auch die Einsparpotenziale in dieser Akteursgruppe höher als in anderen Gruppen, jedoch lassen sich Maßnahmen, die zirkuläre Ansätze der Materialeffizienz stärken, nur schwer von industriepolitischen Maßnahmen trennen. Die Gesamtemissionen der Akteursgruppe sind in den letzten 20 Jahren vor allem im verarbeitenden Gewerbe nur geringfügig gesunken und es sind im Wesentlichen nur konjunkturbedingte Schwankungen zu beobachten.

Zwar hat sich die Ressourceneffizienz damit aufgrund der steigenden Bruttowertschöpfung erhöht, jedoch sind die Gesamtemissionen nach wie vor auf hohem Niveau. Bei etwa einem Drittel der Industrieemissionen handelte es sich um Prozessemissionen, von denen etwa 60 % auf metallverarbeitende und Zementindustrie entfielen [IREES 2018]. Aufgrund dieses hohen Anteils an prozessbedingten Emissionen sind Ansätze zur Verbesserung der Materialeffizienz in diesem Bereich von besonderer Bedeutung, um Klimaschutzpotenziale zu heben und Abfallmengen zu reduzieren. Entscheidungen zur Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und zum erhöhten Einsatz von Sekundärmaterialien werden insbesondere beim Design von Produkten in Industrie und verarbeitendem Gewerbe getroffen, wobei die THG-Einsparungen meist nicht allein dem deutschen Industriesektor zugeschrieben werden können, sondern sektorübergreifend und aufgrund von Exporten teilweise weltweit stattfinden.

Die **größten der hier betrachteten Einsparpotenziale** in der Akteursgruppe finden sich im Bereich der **Lebensdauererlängerung von emissionsintensiven Produkten** wie Elektro- und Elektronikprodukten und PKW durch bessere Reparaturfähigkeit und langlebiges Design. Ökologisch sinnvolle Miet- und Leasingmodelle können für die produzierende Industrie Anreize zur Lebensdauererlängerung schaffen. Eine **erhöhte Produktion von Sekundärmetallen**

hat unter der Voraussetzung der Verfügbarkeit geeigneter Altschrotte ebenfalls besonders hohe Einsparpotenziale. Die **Karbonatisierung von kalk- und zementhaltigen Bau- und Abbruchabfällen** und die dadurch mögliche Substitution von Zementleim bieten ebenfalls hohe Potenziale, deren Realisierbarkeit durch weitere Forschung geklärt werden muss.

### **Vermeidung und Minimierung**

In einer Analyse des VDI-Zentrums für Ressourceneffizienz [VDI ZRE 2016] wurden Leichtbaupotenziale von Massivumformtechniken an einem Mittelklassekombi untersucht. Von 3.500 Bauteilen mit insgesamt 838 kg Gewicht wurden vor allem Antriebsstrang und Fahrwerk analysiert, die rund die Hälfte des Gesamtgewichts ausmachen. Daraus entstanden 399 Ansätze bzw. Maßnahmen für einen verbesserten Leichtbau, die eine potenzielle Masseersparnis von 42 kg (ca. 5 %) ermöglichen. Hochgerechnet auf die gesamte deutsche Fahrzeugproduktion (10,9 Mio. t Stahl/a) könnte dies 0,5 Mio. t Material und 0,6 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a einsparen [IREES 2018].

Die Materialeffizienz in der Produktion, insbesondere in der Metallverarbeitung, lässt sich zudem noch durch Maßnahmen der Verschnittreduzierung und Ausschussminimierung steigern. Beide Ansätze werden durch digitale Planung und Steuerung ermöglicht.

### **Lebensdauererlängerung und Nutzungsintensivierung**

In der Studie „Modell Deutschland Circular Economy“ wurde der Einfluss der Lebens- und Nutzungsdauererlängerung von neuen Elektro- und Elektronikgeräten untersucht [Prakash et al. 2023a]. Betrachtet wurden Waschmaschinen, Geschirrspüler, Wäschetrockner, Kühl- und Gefriergeräte, Smartphones, Tablets, Notebooks, Desktop-PCs und TV-Geräte. Die Ergebnisse zeigen ein THG-Einsparpotenzial von 5,5 Mio. t CO<sub>2</sub>e im Jahr 2045 im Vergleich zu einem „Weiter-So-Szenario“.

In einer anderen Studie des European Environmental Bureau [EEB 2019] wurde in einer Lebenszyklusanalyse der Einfluss der Nutzungsdauer auf die THG-Emissionen verschiedener, häufig genutzter Elektro- und Elektronikgeräte untersucht. Die Ergebnisse für die EU wurden anhand der Bevölkerungszahl auf Deutschland heruntergebrochen. Bei einer Lebensdauererlängerung von fünf Jahren für Waschmaschinen, Staubsauger, Laptops und Handys ergibt sich demnach in Summe eine THG-Einsparung von etwa 2,3 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a.

Ein Recht auf Reparatur, die Förderung von Reparaturdienstleistungen und „Product as a Service“-Modellen sowie Transparenzinstrumente wie der digitale Produktpass können die Lebensdauererlängerung von ressourcenintensiven Elektro- und Elektronikgeräten unterstützen.

### **Substitution von Primärrohstoffen**

Theoretisch eignen sich Metalle für eine verlustfreie Rückführung als Sekundärmaterialien und können zu Produkten gleicher Funktion recycelt werden. Für das Recycling von Aluminium und Stahl werden jeweils nur etwa 3 bzw. 26 % der Energie herkömmlicher Primärprozesse benötigt [DIW 2021]. Laut einer Studie der Boston Consulting Group im Auftrag des BDI könnte eine erhöhte Substitution von Primärstahl durch Sekundärstahl um zusätzliche 3 Mio. t/a bis 2030 zu einer THG-Reduktion von 5 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a führen [Dialogplattform 2023]. Um diese Einsparungen zu realisieren, muss der Anteil von Sekundärstahl an der gesamten deutschen Stahlproduktion um etwa 10 Prozentpunkte erhöht werden, wobei die Verfügbarkeit von Stahlschrotten stark limitierend wirkt und bereits heute an Grenzen stößt. Die Sekundärstahlroute steht nicht in Konkurrenz zur Umstellung der Primärproduktion auf Direktreduktionsverfahren.

Den theoretischen Potenzialen der Substitution von Metallen durch Sekundärmaterialien stehen verschiedene Herausforderungen entgegen und die Produktion wird derzeit nur zu einem Teil durch Altschrotte gedeckt. Um die Verfügbarkeit von Metallschrotten zu erhöhen, sollten die Erfassungsstrukturen weiter verbessert werden. Im Fall von Aluminium würde sich das Recycling aufgrund des geringen Energieeinsatzes der Sekundärroute gegenüber der Primärroute besonders lohnen. Allerdings führt die Verwendung einer Vielzahl an Legierungen und die geringe Trennungstiefe der Sorten hier in den meisten Fällen zu einem deutlichen Qualitätsverlust. Mithilfe eines digitalen Produktpasses kann Transparenz bezüglich der eingesetzten Legierungen geschaffen und eine legierungsspezifische Sammlung unterstützt werden.

### **Wiederverwendung und Recycling**

Betonabfälle können durch Karbonatisierung theoretisch das gesamte, beim Brennen freigesetzte  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre wieder aufnehmen. Dabei findet die langfristige Fixierung des  $\text{CO}_2$  in Form von Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) statt. Bei der Karbonatisierung von recycelten Betonaggregaten unter Einsatz von  $\text{CO}_2$  biogenen Ursprungs kann diese Technologie zu negativen Emissionen führen. Aus der cradle-to-gate Perspektive berechnet sich die Effizienz der Kohlenstofffixierung zu 93,6 %, somit werden für 1.000 kg an gespeichertem  $\text{CO}_2$  64 kg  $\text{CO}_2\text{e}$  emittiert. [Tiefenthaler et al. 2021]

Unter bestimmten Bedingungen kann ein  $\text{m}^3$  Beton bis zu 150 kg  $\text{CO}_2$  wieder aufnehmen, was bei einem Abfallaufkommen von jährlich rund 40 Mio. t kalk- und zementhaltiger Bau- und Abbruchabfälle zu einem theoretischen Potenzial der THG-Minderung von etwa 2,5 Mio. t  $\text{CO}_2\text{e/a}$  führt [Dialogplattform 2023b]. Die technische Realisierbarkeit mit unterschiedlichen nassen und trockenen Verfahren wird derzeit intensiv erforscht. Mithilfe nasser Verfahren konnten im Labormaßstab bei vorheriger Trennung von Zementleim und Gestein bisher über 90% des theoretischen Potenzials innerhalb von zwei Stunden realisiert werden [Zajac et al. 2021]. Trockene Verfahren der Karbonatisierung ohne vorherige Trennung von Zementleim und Gestein lassen sich leichter in bestehende Aufbereitungsprozesse von Bau- und Abbruchabfällen integrieren und erlauben auf industriellem Maßstab ein Speichern von etwa 10 kg  $\text{CO}_2\text{e/t}$  [Tiefenthaler et al. 2021], was bei Nutzung aller kalk- und zementhaltiger Abfälle zu einem Einsparpotenzial von 0,4 Mio. t  $\text{CO}_2\text{e/a}$  führt.

Mithilfe von chemischem Recycling können Kunststoffe in ihre Monomere zerlegt und so als Grundstoffe für die chemische Industrie und (Wieder-)Polymerisation zur Verfügung gestellt werden. Unter dem Sammelbegriff werden verschiedene, bisher nicht etablierte Verfahren zusammengefasst, darunter Pyrolyse, Vergasung und Verflüssigung. Besonders vermischte und verschmutzte Kunststoffabfälle, die derzeit energetisch verwertet werden, könnten für das chemische Recycling genutzt werden.

So kann laut einer Untersuchung der Circular Economy Initiative Deutschland [acatec 2021b] im ambitionierten „Zirkularitätsszenario“ bis 2050 ein Rezyklateinsatz von 20% an der deutschen Kunststoffproduktion aus dem chemischen Recycling realisiert werden. Dies würde im Jahr 2050 zu einer durchschnittlichen Ersparnis von 1,2 Mio. t  $\text{CO}_2\text{e/a}$  führen. Die verschiedenen Verfahren des chemischen Recyclings sind bisher nur in Pilotprojekten realisiert worden, in einigen Ländern sind jedoch vor allem Verfahren zur Pyrolyse bereits erprobt, sodass hier angenommen wird, dass für das Jahr 2030 rund ein Viertel des genannten Potenzials für 2050 realisiert werden kann. Das führt zu einer möglichen THG-Ersparnis von 0,3 Mio. t  $\text{CO}_2\text{e/a}$ . Eine abschließende ökologische Bewertung des chemischen Recyclings erfordert allerdings zusätzlichen Forschungsaufwand.



### 4.3. Ergebnisse auf der Ebene der prozessbezogenen Maßnahmen

#### 4.3.1. Überblick

Die Kreislaufwirtschaft als Teil der Circular Economy erfüllt eine Reihe von zentralen gesellschaftlichen Aufgaben. Das kontinuierliche Wachstum in den Kernbereichen Sammlung/Transport, Sortierung und Aufbereitung sowie Verwertung und Beseitigung und die zunehmende Diversifizierung der Kreislaufführung von Stoffströmen gehen einher mit einer stabilen Wertschöpfung. Steigende umweltpolitische Anforderungen und neue technologische Möglichkeiten lassen für die Zukunft erwarten, dass sich über eine erweiterte und intensivere Kreislaufführung von unterschiedlichen Stoffströmen zusätzliche Klimaschutzpotenziale erschließen lassen.

Dabei umfasst die Kreislaufwirtschaft als „Branche“ weit mehr als das Sammeln, Transportieren und Entsorgen von Abfällen. Analysen des „Statusbericht[es] der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020“ [Prognos 2020] zeigen, welche wirtschaftliche Bedeutung die vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen der Technik und des Handels für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft haben.

Von den rund 10.000 öffentlichen und privaten Unternehmen, die in der Kreislaufwirtschaft tätig sind, entfallen ca. 5.800 Betriebe auf die klassischen Marktsegmente Abfallsammlung, -transport und Straßenreinigung sowie Abfallbehandlung und -verwertung. Etwas mehr als 1.200 Unternehmen zählt das Marktsegment Technik für die Abfallwirtschaft. Etwa 3.000 Unternehmen sorgen mit dem Großhandel mit Altmaterialien für den wichtigen Kreislauf der erfassten und recycelten Wertstoffe aus der Abfallwirtschaft. Der Gesamtumsatz der Kreislaufwirtschaft nach dieser Marktdefinition beträgt rund 105 Milliarden (Mrd.) Euro, die Bruttowertschöpfung der Branche rund 33 Mrd. Euro.

Insbesondere das Marktsegment Abfallbehandlung und -verwertung hat sich in den letzten Jahren durch die Differenzierung der Leistungen in den Bereichen Sortierung und Recycling besonders positiv entwickelt: Der Umsatz lag im Jahr 2021 mit rund 45 Mrd. Euro um 56 % höher als im Jahr 2010. Dies entspricht einer jährlichen Steigerung von 4,2 %.

Der kurze ökonomische Blick auf die Kreislaufwirtschaft zeigt, dass es über die Leistungen hinaus, die im Zusammenhang mit der Erschließung der Recyclingpotenziale der nachfolgend im Einzelnen betrachteten Stoffströme stehen, auch noch weitere Leistungen erbracht werden, die ebenfalls Klimaschutzpotenziale beinhalten. Diese werden nachfolgend für die **verschiedenen Wertschöpfungsstufen** anhand von **Beispielen** aufgezeigt. Ein Versuch einer **umfassenden und abschließenden Bilanzierung** dieser Potenziale ist aus unserer Sicht weder sinnvoll noch leistbar, da zum einen für Abschätzung dieser Potenziale, beispielsweise im Bereich Sammlung und Transport, nur wenige Informationen vorliegen. Die wesentlichen Minderungs-Potentiale liegen bei der prozessbezogenen Betrachtung im Bereich der Sortierung und Aufbereitung, diese werden aber jeweils bereits über die stoffstrombezogenen Berechnungen einzeln abgebildet.

In Kapitel 4.4 werden die konkreten und stoffstrombezogenen Minderungspotenziale für die Stoffströme zusammenfassend dargestellt. Detailangaben finden sich in den Steckbriefen im Anhang dieser Studie. Für die verschiedenen Wertschöpfungsstufen werden nachfolgend einzelne Maßnahmen exemplarisch betrachtet, um die Gesamtbewertung der stoffstrombezogenen Minderungspotenziale und den Adressatenkreis für die erforderlichen Maßnahmen zu vervollständigen.

Die Betrachtung der CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale nach Wertschöpfungsstufen der zirkulären Abfallwirtschaft gliedert sich in die folgenden Bereiche:

- Sammlung und Transport
- Sortierung, Aufbereitung und stoffliche Verwertung
- energetische Verwertung
- Beseitigung bzw. Deponierung

Die Minderungspotenziale werden beispielhaft anhand von Einzelmaßnahmen dargestellt. Es wurden zu diesem Zweck jeweils spezifische Recherchen und Fachgespräche durchgeführt, bspw. mit

- FAUN Umwelttechnik GmbH & Co. KG,
- Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH (INFA),
- Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Müllverbrennungsschlacken (IGAM),
- Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e. V. (ITAD),
- Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e. V. (InwesD),
- ReFood GmbH & Co. KG und
- Remondis Sustainable Services GmbH.

In diesen Fachgesprächen wurde erörtert, welche CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale aus Sicht der befragten Akteure bestehen und welche Maßnahmen für deren Realisierung erforderlich sind.

#### 4.3.2. Sammlung und Transport

Bevor Abfälle und Wertstoffe behandelt und recycelt werden können, müssen sie von den Entstehungsorten zu den Sortier- und Verwertungsanlagen gelangen. Dahinter stehen umfassende Logistikprozesse und -dienstleistungen für die Sammlung und den Transport von Abfällen und getrennt erfassten Wertstoffen aus privaten Haushalten, dem Gewerbe und der Industrie. CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen durch den Aufwand für die Erfassung und den anschließenden Transport zu den Sortieranlagen und den Anlagen zur stofflichen und energetischen Verwertung der Abfälle und Wertstoffe.

Bereits auf der Ebene der Erfassung der unterschiedlichen Abfall- bzw. Wertstofffraktionen führen mit digitalen Füllstandsmessern ausgestattete Unterflurbehälter zu einer Zunahme der erfassten Wertstoffmengen und zu einer Optimierung der Sammelrouten. Beide Effekte führen zu einer Energieeinsparung und damit zu einer Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Eine umfassende Optimierung der Routenplanung könnte nach Auffassung von Experten des INFA zu einer fünfprozentigen Reduzierung der zurückzulegenden Wege führen. Legt man für die Abschätzung der Effekte die unten aufgeführten Angaben der Firma FAUN Umwelttechnik zugrunde, entstehen aktuell durch 15.100 Abfallsammelfahrzeuge mit einer jährlichen durchschnittlichen Emission von 55 t CO<sub>2</sub>e Gesamtemissionen der Abfalllogistik von rund 830.000 t CO<sub>2</sub>e/a. Eine fünfprozentige Einsparung durch eine Optimierung der Routenplanung würde zu einer Einsparung von rund 41.000 CO<sub>2</sub>e/a führen. Dieses Potenzial relativiert sich allerdings in den kommenden Jahren, da von einem kontinuierlichen Ersatz der dieseltreibenden Abfallsammelfahrzeuge durch emissionsärmere Modelle ausgegangen werden kann.

Für den Transport von Abfällen laufen derzeit in vielen kommunalen und privaten Unternehmen Pilotprojekte für den Einsatz von batterie- und neuerdings auch wasserstoffbetriebenen Müllfahrzeugen. Zusätzlich wird der Einsatz von Treibstoffen auf der Basis von Biomasse an vielen Orten bereits erprobt und umgesetzt.

#### Abbildung 4-4: Potenzialabschätzung „Emissionsfreie Antriebe“

##### Entwicklung von emissionsfreien Antrieben bei Abfallsammelfahrzeugen

###### Potenziale

- Bestand an Abfallsammelfahrzeugen: rd. 15.100
- Ersatzbedarf 10 % p.a.
- **Zusätzliches Vermeidungspotenzial an CO<sub>2e</sub>-Emissionen :**
  - 2025 Anteil am Bestand: 7 % = rd. 1.050 Fahrzeuge x 55 t CO<sub>2e</sub> = rd. 0,06 Mio. t CO<sub>2e</sub>
  - 2030 Anteil am Bestand: 37 % = rd. 5.600 Fahrzeuge x 55 t CO<sub>2e</sub> = rd. 0,31 Mio. t CO<sub>2e</sub>

###### Defizite und Maßnahmen

- Vorgaben der **Clean Vehicle Directive** von 10% werden nicht erreicht
- Rahmenbedingungen sind so zu setzen, dass der **Wasserstoffpreis** bei 5 € liegt
- **Fördermodalitäten** sind auf diese spezielle Art von **Sonderfahrzeugen** anzupassen, Laufleistung bei Müllfahrzeugen nicht relevant, sondern der Kraftstoffverbrauch
- **Rahmenbedingungen** für Förderung sind über das Jahr 2026 hinaus zu verlängern

Quelle: Informationen von FAUN Umwelttechnik GmbH & Co. KG 2023

Insgesamt liegen die Potenziale im Bereich Sammlung und Transport noch deutlich höher als die der zuvor genannten Beispiele. Auch die industrielle Entsorgung sowie der Bereich der Straßenreinigung, welcher i. d. R. (organisatorisch) der Abfallentsorgung zugeordnet wird, besitzen Minderungspotenziale.

#### 4.3.3. Sortierung, Aufbereitung und stoffliche Verwertung

Im Jahr 2020 wurden in den unterschiedlichen Abfallbehandlungsanlagen rund 410 Mio. t Abfälle behandelt. Dies entspricht dem langjährigen Gesamtaufkommen in Deutschland, welches sich i. d. R. um 400 Mio. t bewegt. Die Abfälle setzen sich wie folgt zusammen [Statistisches Bundesamt (Destatis) 2022b]:

- 228 Mio. t Bau- und Abbruchabfälle,
- 29 Mio. t aus der Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen,
- 46 Mio. t übrige Abfälle, insbesondere aus Industrie und Gewerbe,
- 51 Mio. t Siedlungsabfälle, darunter nahezu 40 Mio. t Abfälle aus privaten Haushalten und
- 56 Mio. t Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen (Sekundärabfälle).

Für den gesamten Prozess der Verwertung und Beseitigung dieser Abfälle verfügt Deutschland über ein flächendeckendes Netz an Vorbehandlungs-, Sortier- und Aufbereitungsanlagen. Laut Statistischem Bundesamt [Statistisches Bundesamt (Destatis) 2022b] wurden im Jahr 2020

- 24,6 Mio. t Abfälle in 970 Sortieranlagen,
- 15,9 Mio. t Abfälle in 739 Schredderanlagen und Schrottscheren,
- mehr als 1,0 Mio. t Elektro- und Elektronikaltgeräte in 312 Zerlege-Einrichtungen und
- knapp 0,5 Mio. t in 1.167 Demontagebetrieben für Altfahrzeuge

vorbehandelt.

Das Ziel dieser Anlagen ist es, die in den Abfällen enthaltenen Wertstoffe wieder in den Kreislauf zurückzuführen bzw. aus den nicht mehr verwertbaren Anteilen Ersatzbrennstoffe zu produzieren. Die in den Anlagen eingesetzten Technologien sind sehr unterschiedlich. In den vergangenen Jahren wurden zunehmend hochmoderne vollautomatische Sortieranlagen in Betrieb genommen. Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau besitzt hierbei aufgrund langjähriger Erfahrungen europaweit die Technologieführerschaft. Mit Nahinfrarot-Technologien können die Anlagen unterschiedliche Materialarten erkennen, Kamerasysteme ermöglichen die Sortierung des jeweiligen Stoffstromes nach Form und Farbe, effiziente sensorgestützte Technologien leisten einen wertvollen Beitrag bei der Fremdkörperdetektion. So wird es möglich, immer sortenreinere Ausgangsmaterialien zu liefern und schadstoffbelastete Stoffe aus dem Wertstoffkreislauf auszuschleusen. Das erhöht die Anteile für die Sekundärrohstoffmärkte.

Spezifische Anforderungen an die Mindestausstattung von Vorbehandlungsanlagen wurden mit der im August 2017 in Kraft getretenen Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV), §§ 6 und 10, definiert, um ein ordnungsgemäßes, schadloses und hochwertiges Recycling der aussortierten Fraktionen zu gewährleisten. Hierzu zählen bspw.

- Aggregate zum Zerkleinern bzw. zur Separierung verschiedener Materialien, Korngrößen, Kornformen und Korndichten,
- Aggregate zur maschinell unterstützten manuellen Sortierung,
- Aggregate zur Ausbringung von Eisen und Nichteisenmetallen mit einer Metallausbringung von mindestens 95 % und
- Aggregate zur Ausbringung von Kunststoff mit einer Kunststoffausbringung von mindestens 85 %.

Das Beispiel der Quoten aus der Gewerbeabfallsortierung zeigt, dass auf dieser Wertschöpfungsstufe insgesamt die wesentlichen technischen und wirtschaftlichen Grundlagen für die Möglichkeiten zur Kreislaufführung der einzelnen Rohstoffe gelegt werden. Die Menge und die Qualität der Sortiererergebnisse ist zum einen abhängig von den technischen Möglichkeiten der Anlagen, zum anderen auch maßgeblich von der Qualität des Inputs. Um die Quoten der GewAbfV sowie die Quoten des VerpackG einhalten zu können, ist es notwendig, die Qualität der getrennt erfassten Wertstoffe deutlich zu verbessern.

Auf eine gesonderte Hochrechnung der Mengen- und Klimaeffekte durch eine verbesserte Sortierung und Quotenerfüllung wird an dieser Stelle verzichtet, da die Effekte bereits im Zusammenhang mit den erforderlichen Maßnahmen in den einzelnen Stoffstromergebnissen abgebildet werden.

#### 4.3.4. Energetische Verwertung

Gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) soll die Abfallbewirtschaftung der fünfstufigen Abfallhierarchie, beginnend mit der Abfallvermeidung über die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling bis hin zu sonstigen Verwertungs- und letztendlich den Beseitigungsverfahren folgen. Bundesweit nehmen die unterschiedlichsten Anlagen zur Verwertung bzw. Beseitigung von Abfällen arbeitsteilig ihre Aufgaben wahr. Die thermische Abfallbehandlung ist dabei eine wichtige Säule und wird in Mono- und Mitverbrennung unterschieden.

Zu den Monoverbrennungsanlagen gehören die „klassischen“ Müllverbrennungsanlagen (MVA, Müllheizkraftwerke – MHKW) und die Ersatzbrennstoffkraftwerke (EBS-Kraftwerke).

Unter dem Oberbegriff thermische Abfallbehandlungsanlagen (TAB) werden heute die mehr als 90 MVA und EBS-Kraftwerke zusammengefasst. Die genehmigte Gesamtkapazität der TAB liegt bei rund 27,5 Mio. t/a, wobei die regionale Verteilung der TAB in Deutschland deutliche Unterschiede aufweist.

Vor dem Hintergrund weiter zunehmender Anstrengungen im Bereich Recycling, die sich u. a. aus den rechtlichen Vorgaben aus dem VerpackG, der GewAbfV, der Pflicht zur Getrennterfassung von Bio- und Grünabfällen aus Haushalten sowie den Recyclingzielen aus dem KrWG und dem EU-Kreislaufwirtschaftspaket ergeben, wird das Aufkommen „traditioneller“ Abfallarten, die thermisch zu behandeln sind, weiter sinken. Gleichzeitig sind jedoch auch Entwicklungen zu berücksichtigen, die potenziell zu einem Anstieg der thermisch zu behandelnden Abfälle aus Gründen des Umweltschutzes führen.

Hierzu zählen beispielsweise die Umsetzung der Verordnung über persistente organische Schadstoffe (POP-Verordnung), die Anforderungen an die Ablagerung der Feinfraktion aus der Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen in Bezug auf die Ablagerungskriterien für die Deponieklassen I und II, die Umsetzung der Klärschlammverordnung und Sortierreste aus Recyclingmaßnahmen. Die TAB übernehmen in diesem Zusammenhang eine wichtige Funktion als Schadstoffsенke, ohne die ein effizientes Recycling nicht möglich ist.

Vor diesem Hintergrund gehen wir davon aus, dass die TAB auch nach dem Jahr 2030 ausgelastet sein und bestimmte Abfallströme auch weiterhin energetisch verwerten werden. Im Jahr 2021 entsorgten die in der Interessengemeinschaft des ITAD organisierten TAB rund 24,3 Mio. t Abfälle. Dabei entstanden nach Rechnung der ITAD, Emissionen in einer Größenordnung von rund 10,05 Mio. t CO<sub>2</sub>e. Über die Auskopplung von Strom, Prozessdampf und Fernwärme sowie die Metallverwertung aus der MVA-Schlacke resultiert aktuell eine Gutschrift von rund 17,45 Mio. t., was zu einer Gesamtentlastung von rund 7,40 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a führt [ITAD 2022, S. 54]. Die Gutschriften werden aber in dem Maße sinken, in dem der Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix steigt. D. h., es ist absehbar, dass die TAB in einigen Jahren zu reinen CO<sub>2</sub>-Emittenten werden.

Insofern ist es notwendig, dass im Bereich der energetischen Verwertung grundsätzliche Maßnahmen zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen umgesetzt werden. In diesem Zusammenhang gibt es bei den Betreibern der TAB vielfältige und konkrete Überlegungen zu Projekten [ITAD 2022] in den Bereichen Carbon Capture and Utilization (CCU) und Carbon Capture and Storage (CCS).<sup>6</sup> Zu den wichtigsten Projekten gehört die Integration der TAB in die aktuelle Carbon-Management-Strategie der Bundesregierung.

---

<sup>6</sup> Carbon Capture and Utilization / Carbon Capture and Storage: Abscheidung, Nutzung und/oder Speicherung von CO<sub>2</sub>

### Abbildung 4-5: Potenzialabschätzung „Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der TAB“

**Carbon Capture and Utilization / Carbon Capture and Storage bei der Thermischen Abfallbehandlung (TAB)**

**Potenziale**

- Kapazität der TAB 2021: rd. 27 Mio. t/a
- Mengendurchsatz 2021: rd. 24,3 Mio. t
- **Zusätzliches Vermeidungspotenzial an CO<sub>2</sub>e-Emissionen:** **rd. 13,7 Mio. t (fossil, erst ab 2030)**

**Defizite und Maßnahmen**

- Bislang ergeben sich für die TAB durch die Energieproduktion **Gutschriften**, die (noch) zu einer negativen CO<sub>2</sub>e-Bilanz führen.
- **Einzelne Projekte** zur Produktion von **Wasserstoff** oder **Methanol** sind in der Planung bzw. Umsetzung, dies ist jedoch mit einer Reduzierung der Energieauskopplung von bis zu 50 % verbunden – Problem: Fernwärme im Winter.
- Die **Carbon Management Strategie (CMS)** der Bundesregierung plant den Aufbau einer **Pipelineinfrastruktur** zur Erfassung von CO<sub>2</sub>e aus **Punktquellen**, wie beispielsweise der TAB. Mit einer Realisierung der notwendigen Infrastruktur ist frühestens 2028 zu rechnen, mit dem **Hochlauf** der Erfassung der CO<sub>2</sub>e-Emissionen kann erst **ab dem Jahr 2030** gerechnet werden.
- Bis dahin werden an einzelnen Standorten verschiedene Projekte realisiert werden, die **Abfrage der ITAD** dazu läuft aktuell.
- Problematisch ist die noch **fehlende Planungssicherheit**, beispielsweise im Hinblick auf die Einstufung als „unvermeidliche Emission“, die Genehmigungszeiträume und die Fördermodalitäten.

Quelle: Fachgespräch ITAD 2023; eigene Recherchen 2023

Durch die energetische Verwertung der Restabfälle, Sortierreste und ansonsten nicht hochwertig stofflich verwertbaren Abfälle lassen sich in hohem Maße Primärenergieträger ersetzen und damit CO<sub>2</sub> vermeiden. Zudem werden aus den in den TAB anfallenden Aschen Metalle zurückgewonnen, die wieder in den Metallkreislauf zurückgeführt werden.

### Abbildung 4-6: Exkurs: Potenzialabschätzung „Schlacken aus TAB“

**Verbesserung der Verwertung von Schlacken aus der Thermischen Abfallbehandlung (TAB)**

**Potenziale**

- Aufkommen an Rohschlacke: rd. 5,80 Mio. t/a
- Aufkommen an Fertigschlacke: rd. 4,70 Mio. t/a
- Aufkommen an recycelten Metallen: rd. 0,60 Mio. t/a
- Aktuell eingesparte CO<sub>2</sub>e-Emissionen: rd. 1,60 Mio. t/a
- Zusätzliches Recyclingpotenzial: rd. 0,03 Mio. t/a
- **Zusätzliches Vermeidungspotenzial an CO<sub>2</sub>e-Emissionen :** **rd. 0,30 Mio. t CO<sub>2</sub>e/a**

**Defizite und Maßnahmen**

- Die **Qualität** der Vorbehandlung für die Schlackeaufbereitung ist sehr unterschiedlich.
- Entscheidend insbesondere das **Kornspektrum von 0-4 mm**, welches u. a. Kupfer, Gold, Silber Platin und Palladium enthält und häufig nicht spezifisch induktiv erfasst wird.
- Um dem Ziel der effizienten Ressourcennutzung näher zu kommen, ist auch die Aufnahme von **(Wert)Metallgrenzen** in die **DeponieVO** analog der **VersatzVO** (enthält Grenzwerte für Zink, Kupfer etc.) vorstellbar.
- Zusätzlich: Die **Akzeptanz** zur Verwertung von MVA-Schlacken als **Ersatzbaustoff** muss sich deutlich verbessern

Quelle: Fachgespräch IGAM 2023; IGAM 2021

In Summe verfügt die energetische Verwertung von Abfällen noch über ein hohes Maß an weiterem CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial. Neben den hier genannten Potenzialen der TAB und der Verwertung von Schlacken kommen bspw. noch Potenziale aus der energetischen Verwertung von Bioabfällen in Vergärungsanlagen hinzu. Auch diese zusätzlichen Potenziale sind bereits über die stoffstrombezogene Betrachtung erfasst.

#### 4.3.5. Beseitigung auf Deponien

Das seit 2005 geltende Ablagerungsverbot für nicht vorbehandelte Siedlungsabfälle sowie die verbesserte getrennte Erfassung und Verwertung von Wertstoffen haben zu einem starken Rückgang der zu deponierenden Restabfälle geführt. Zusammen mit der Erfassung und der

energetischen Nutzung des Deponiegases sind damit die Deponiegasemissionen kontinuierlich reduziert worden.

Diese Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen, es ist durch die zurückgehende Gasbildung und der gleichzeitigen Erfassung der Deponiegase in den nächsten Jahren mit einem Ende der der CO<sub>2</sub>e-Emissionen zu rechnen. Die im Rahmen des KSG erfolgte freiwillige Selbstverpflichtung der Deponiebetreiber zur zusätzlichen Reduzierung der CO<sub>2</sub>e-Emissionen wird bis zum Jahr 2028 zu einer zusätzlichen Reduzierung der Emissionen in Höhe von etwa 1,0 Mio. t führen. Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz für den Sektor 5 Abfall und Sonstiges bis zum Jahr 2030 ein Reduktionsziel von rund 4 Mio. t CO<sub>2</sub> auf rund 5 Mio. t CO<sub>2</sub> (= -46 %) formuliert. Aktuell liegt der Sektor 5 mit Emissionen von rund 4,3 Mio. t bereits deutlich unter den Zielvorgaben des KSG von 8,5 Mio. t CO<sub>2</sub> für das Jahr 2022 [Umweltbundesamt 2023a].

### Abbildung 4-7: Potenzialabschätzung Deponiebelüftung und Gaserfassung

#### Selbstverpflichtung der Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e. V. (InwesD)

##### Potenziale

- Die deutschen Deponiebetreiber haben sich im Jahr 2019 im Rahmen einer **Selbstverpflichtung** dazu bereit erklärt, durch weitere Maßnahmen im Bereich der Deponiebelüftung und der optimierten Gaserfassung zusätzlich 1 Mio. t CO<sub>2</sub>e bis zum Jahr 2027 einzusparen.
- Mit Stand Juni 2022 lagen im Rahmen der Selbstverpflichtung **148 Anträge zur Förderung von Maßnahmen** in den Bereichen Deponiebelüftung und Gaserfassung vor, von denen 109 zu diesem Zeitpunkt bewilligt worden waren.
- Über **diese und seitdem weiter eingegangene Anträge** kann bereits, so die Schätzung von InwesD, eine Einsparung von rund **0,9 Mio. t CO<sub>2</sub>e** realisiert werden.
- Da die Maßnahmen zum überwiegenden Teil **noch nicht hochgelaufen** sind, wird die Umsetzung in den kommenden Jahren dazu führen, dass das Sektorziel von 5 Mio. t CO<sub>2</sub>e für das Jahr 2030 **vorussichtlich deutlich unterschritten** werden kann.

##### Defizite und Maßnahmen

- ./.

Quelle: Fachgespräch Interessensgemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e.V., InwesD 2023

Neben den dargestellten Potenzialen durch eine weitere Ausgasung bzw. eine verbesserte Deponiebelüftung und Gaserfassung bieten die Deponieflächen auch Möglichkeiten für die Errichtung von Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen).

### Abbildung 4-8: Potenzialabschätzung PV-Anlagen auf Deponien

#### Nutzung von Deponieflächen für die Errichtung von PV- und Windkraftanlagen

##### Potenziale

- Nach einer Hochrechnung [Appelt 2023] wird der Anteil der Flächen auf Deponien und Altablagerungen, die für eine **PV-Anlage geeignet** sind, auf **4.200 ha** geschätzt.
- Für ein Megawatt Peak (MWp) werden etwa 1,2 ha Fläche benötigt, daraus ergibt sich ein **Potenzial** von **etwa 3.500 MWp**.
- Daraus ließe sich gemäß dem UBA-Emissionsfaktor von 432g/kWh (2022) eine **Einsparung** von rund **1,52 Mio. t CO<sub>2</sub>e** ableiten.
- Laut den aktuellen Ergebnissen der **Mitgliederumfrage der InwesD** sind PV-Anlagen in einer Größenordnung von 38,5 MWp in Betrieb und von 83,5 MWp in Planung bzw. im Bau. Bei Windrädern sind es 9 MWp, die sich in Planung bzw. Bau befinden.

##### Defizite und Maßnahmen

- Dass die Deponiebetreiber momentan für die Laufzeit der Anlagen **nicht aus der Nachsorge** entlassen werden, hemmt die Errichtung von PV- und Windkraftanlagen.
- Diese Situation soll sich durch die Veröffentlichung der **LAGA BQS** „Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-4a - Technische Anforderungen an die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 01.12.2022 ändern. Erwartet wird von der InwesD durch die **Regeländerung** eine **verstärkte Projektierung von PV-Anlagen**.

Quelle: Hochrechnung nach: Appelt [2023]

Die Errichtung von Windrädern auf stillgelegten Deponieflächen wird auf Grund des überwiegend weichen Untergrundes nur vereinzelt möglich sein und zu keinen nennenswerten Potenzialen führen.

#### 4.4. Ergebnisse für die Ebene der stoffstrombezogenen Maßnahmen

##### 4.4.1. Überblick über die wesentlichen Stoffströme

Für alle Abfälle, deren stoffliche Verwertung mit einem nennenswerten CO<sub>2</sub>e-Effekt einhergeht, werden die Ergebnisse und die zugehörigen Maßnahmen im Kapitel 6.3 sowie in **stoffstromspezifischen Steckbriefen** (Anlage 10.1) dargestellt. Die nachfolgenden Tabellen geben einen zusammenfassenden Überblick über die **wesentlichen Stoffströme** und die **Ergebnisse** der jeweiligen **Potenzialberechnungen**, die sich im Wesentlichen aus der Verbesserung des Recyclings ergeben:

- Die Verwertung von **Altfahrzeugen**, die bislang größtenteils exportiert werden, hat insbesondere durch die Wiedergewinnung der Metalle ein CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial, welches allerdings, bezogen auf die in Deutschland verwerteten Fahrzeuge, nur noch geringfügig erhöht werden kann.
  - *zusätzliches Potenzial: rd. 0,01 Mio. CO<sub>2</sub>e*
- Die stoffliche **Altholzverwertung** in Form einer Kaskadennutzung (die durch Reinigung erweitert werden kann) beschränkt sich auf Altholz mit geringen Schadstoffgehalten. Bislang wird **nur die Hälfte** der möglichen Menge verwertet.
  - *zusätzliches Potenzial: rd. 0,50 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 1,50 Mio. CO<sub>2</sub>e*
- Bei **Aluminium**, das aus Verpackungen, Fahrzeugen, Elektrogeräten und dem Bau stammt, kann in Deutschland noch deutlich mehr aus Elektro- und Elektronik-Altgeräten sowie aus bislang exportierten Stoffströmen gewonnen werden. Da die Herstellung von Aluminium sehr energieintensiv ist, entstehen hier durch das Recycling sehr hohe Einsparpotentiale, die aber mit der Veränderung des Strommixes in den nächsten Jahren abnehmen werden.
  - *zusätzliches Potenzial: rd. 1,45 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 11,50 Mio. CO<sub>2</sub>e*
- Die standardmäßige Entsorgung und Verwertung **mineralischer Abfälle** ist nur mit geringen CO<sub>2</sub>e-Effekten verbunden. Beim Betonbruch lassen sich aber CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale über Karbonatisierung erschließen. Für hochwertigen Brechsand aus Ziegelbruch sowie getemperten Ton aus Bodenaushub ist der Einsatz in der Zementindustrie als Zementklinkersubstitut möglich. Altbeton wird derzeit zu 85 % Bauschutttaufbereitungsanlagen und damit dem Recycling zugeführt, bei Ziegeln sind es 74 % [Statistisches Bundesamt (Destatis) 2022a und 2023]. Da darüber aber bislang die o. g. CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale noch nicht erschlossen sind, wurde die derzeitige Zuführung zum Recycling in der vorliegenden Studie auf 0 % gesetzt. Für Beton wurde von maximal 80 % karbonisierbarer und für Ziegel von maximal 40 % zu Brechsand aufbereiter Menge mit ausreichender Qualität ausgegangen.

Auch für **synthetische Bauabfälle** ist das CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial optimierbar: Betrachtet wurde für die vorliegende Studie die potenzielle stoffliche Verwertung der Kunststoffe aus der gemischten Bauabfallfraktion (optimiert) sowie der EPS-Dämmstoffe im Vergleich zur bisherigen Entsorgung.

- *zusätzliches Potenzial: rd. 1,40 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 9,15 Mio. CO<sub>2</sub>e*



- Für **organische Abfälle** lassen sich die stofflich verwerteten Mengen erhöhen, indem Bioabfälle weiter separiert statt über die Restmülltonne mitentsorgt und damit einer thermischen Entsorgung zugeführt werden. Die stoffliche Verwertung sollte über optimierte Vergärungsanlagen, nicht über Kompostierungsanlagen erfolgen, sodass die spezifischen CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale steigen. Bislang ist die stoffliche Verwertung von Bioabfällen in Kompostierungsanlagen im Vergleich zu ihrer Beseitigung in der Müllverbrennungsanlage sogar mit einer CO<sub>2</sub>e-Belastung verbunden. Um die stofflich verwerteten Mengen von Grünabfällen zu erhöhen, muss deren Erfassung ausgebaut werden. Die Verwertung sollte über optimierte Kompostierungsanlagen erfolgen. Der Kompost kann anschließend im Bereich Substrate und Erden genutzt werden.
  - *zusätzliches Potenzial: rd. 1,05 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 1,30 Mio. CO<sub>2</sub>e*
- Die Verwertung von **Elektro- und Elektronik-Artgeräten** hat, wie die von Altfahrzeugen, insbesondere durch das Metallrecycling ein CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial. Die recycelten Mengen können noch deutlich erhöht werden, insbesondere im Bereich der Weißen Ware. Der Wiedereinsatz der Eisenmetallschrottmengen vermeidet bzw. verringert den Primärrohstoffbedarf und hat so ein hohes CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial. Eisenmetallschrott fällt hauptsächlich in der Industrie, im Gewerbe und im Baubereich an. Die wiedereinsatzbaren Mengen lassen sich durch die optimierte Verwertung von Altfahrzeugen steigern.
  - *zusätzliches Potenzial: rd. 0,95 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 2,50 Mio. CO<sub>2</sub>e*
- Bei **Glas** (Behälterglas, Bau- und Abbruchabfälle, Industrie, Altfahrzeuge) besteht zusätzliches Recyclingpotenzial hauptsächlich bei Flachglasabfällen aus dem Baubereich. Hier sind noch entsprechende Erfassungs- bzw. Rücknahmesysteme aufzubauen.
  - *zusätzliches Potenzial: von rd. 0,15 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 0,54 Mio. CO<sub>2</sub>e*
- Für **Kunststoffe** ergibt sich je nach Kunststoffart ein anderes CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial. Die dem Recycling zugeführten Mengen können zwar erhöht werden. Doch die in Fahrzeugen verbauten Kunststoffmengen werden weiter steigen. Das jeweilige Abfallaufkommen hängt wesentlich davon ab, ob es sich um kurz- (Verpackungsbereich, Großteil des Abfallaufkommens) oder langlebige Kunststoffprodukte (Baubereich, Fahrzeuge) handelt. Im Verpackungsbereich kann der Recyclinganteil u. a. durch recyclingfähiges Produktdesign, Weiterentwicklungen der Recyclingtechnologien und Bepfandung von Kunststoff-Einwegflaschen deutlich gesteigert werden.
  - *zusätzliches Potenzial: von rd. 2,61 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 6,47 Mio. CO<sub>2</sub>e*
- Die erfassten (Gewichts-)Mengen an **Papier, Pappe, Karton** (außerhalb der Dualen Systeme) sinken seit Jahren kontinuierlich, da immer weniger Zeitungen und Kataloge produziert werden. Diese „Fehlmengen“ werden durch leichtere Kartonagen ersetzt (Amazon-Effekt). Die Recyclingquote kann jedoch noch erhöht werden, indem PPK aus Gemischen wie Hausmüll oder Bau- und Abbruchabfällen separiert wird.
  - *zusätzliches Potenzial: von rd. 0,91 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 1,79 Mio. CO<sub>2</sub>e*
- Bei **Alttextilien** ergibt sich das CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial durch ein zukünftiges Faserrecycling der Baumwolltextilien (20 % Anteil an Textilien), wodurch die Bereitstellungslasten von Baumwollfasern und die Verbrennungslasten der bisher erfolgenden thermischen Entsorgung eingespart werden.
  - *zusätzliches Potenzial: von rd. 0,02 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 0,10 Mio. CO<sub>2</sub>e*

- Im Bereich der **Verpackungen** (Altholz, Aluminium, Flüssigkartons, Glas, Kunststoffe, PPK und Weißblech) können über das Produktdesign, ein verbessertes Trennverhalten der Konsumenten sowie durch verbesserte Aufbereitungstechnologien noch weitere Potenziale gehoben werden.
  - *zusätzliches Potenzial: von rd. 2,19 Mio. CO<sub>2</sub>e bis zu rd. 2,50 Mio. CO<sub>2</sub>e*

Die berechneten Bandbreiten resultieren aus unterschiedlichen Annahmen für die Intensität der Realisierung der noch bestehenden Recyclingpotenziale:

- Das „**wahrscheinlich zu realisierende CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial**“ beschreibt das Ergebnis der Status quo Entwicklung bei der Verbesserung der getrennten Erfassung von Wertstoffen, der weiteren Entwicklung der Recyclingtechnologien sowie der Umsetzung bestehender und absehbarer abfallwirtschaftlicher Zielvorgaben. Dieses Mengenpotenzial beschreibt die untere Bandbreite und wird sich bis zum Jahr 2030 mit einem weiter engagierten Verhalten der Akteure erschließen lassen.
- Das „**maximal zu realisierende CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial**“ geht von dem stofflich/technisch möglichen Recyclingpotential aus, welches bei nahezu 100 % liegen kann, aber auch deutlich darunter. Um das theoretisch mögliche Einsparpotential auch tatsächlich realisieren zu können, sind erhebliche Anstrengungen in den Bereichen Erfassung, Recyclingtechnik, Gesetzgebung, Märkte für Recyclingrohstoffe und auch Abfallberatung notwendig. Das maximale Minderungspotenzial beschreibt die obere Bandbreite der möglichen Entwicklung und wird sich nur mit einem äußerst engagierten Verhalten der zuständigen Akteure und voraussichtlich auch an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit realisieren lassen.

**Tabelle 4-1: Recyclingquoten und CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale nach Stoffströmen**

Stoffstrom	Teilfraktion	Aufkommen (Mio. t/2020) und Recyclinganteile (%)				CO <sub>2</sub> e-Minderungspotenziale (Mio. t CO <sub>2</sub> e)			
		Aufkommen	davon Recyc- ling	Recycling- Quote	Theor. Rec.- Potenzial	IST CO <sub>2</sub> e Ein- sparung 2020	wahrscheinli- che CO <sub>2</sub> e Ein- sparung bis 2030	maximale CO <sub>2</sub> e Einspa- rung bis 2030	Differenz 2030 zu 2020
		[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]	[G] – [E]
Altfahrzeuge*	Gesamt	0,46	0,38	83%	0,39	-0,91	-1,09	-1,09	-0,18
Altholz	Gesamt	9,82	2,10	21%	3,93	-1,58	-2,03	-2,95	-1,37
Aluminium**	Gesamt	2,20	0,57	26%	1,98	-5,34	-6,80	-16,83	-11,49
Batterien	Gesamt	0,56	0,26	46%	0,45	-0,45	-0,51	-0,78	-0,33
Bau- und Abbruchab- fälle	Beton	40,98	0,00	0%	32,78	0,00	-0,10	-0,33	-0,33
	Boden und Steine	120,09	0,00	0%	40,03	0,00	-0,60	-4,01	-4,01
	Dämmstoffe	0,08	0,00	0%	0,06	0,00	-0,17	-0,33	-0,33
	Kunststoffhaltig	0,35	0,00	0%	0,35	0,00	-0,09	-0,18	-0,18
	Ziegel	11,88	0,00	0%	4,72	0,00	-0,43	-4,30	-4,30
Bioabfälle	Gesamt	10,12	5,06	50%	8,10	0,48	-0,12	-0,13	-0,61
	Marktabfälle	0,13	0,08	62%	0,13	0,01	0,00	0,00	-0,01
Elektro- und Elektroni- kaltgeräte	IKT-Geräte	0,26	0,17	65%	0,22	-0,46	-0,46	-0,60	-0,14
	Leuchtmittel	0,04	0,01	21%	0,04	-0,02	-0,04	-0,08	-0,06
	Weißer Ware	2,23	0,78	35%	1,90	-1,60	-2,52	-3,89	-2,29
Fe-Metalle	Gesamt	25,50	19,76	77%	23,97	-25,89	-29,99	-33,32	-7,43
Glas	Gesamt	4,29	3,09	72%	3,81	-1,39	-1,45	-1,72	-0,32
Grünabfälle	Gesamt	13,57	5,14	38%	10,28	0,10	-0,32	-0,42	-0,52

Stoffstrom	Teilfraktion	Aufkommen (Mio. t/2020) und Recyclinganteile (%)				CO <sub>2</sub> e-Minderungspotenziale (Mio. t CO <sub>2</sub> e)			
		Aufkommen	davon Recyc- ling	Recycling- Quote	Theor. Rec.- Potenzial	IST CO <sub>2</sub> e Ein- sparung 2020	wahrscheinli- che CO <sub>2</sub> e Ein- sparung bis 2030	maximale CO <sub>2</sub> e Einspa- rung bis 2030	Differenz 2030 zu 2020
		[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]	[G] – [E]
Kunststoffe	Gesamt	6,71	2,65	39%	4,03	-6,09	-8,56	-12,08	-5,99
Kupfer	Gesamt	1,50	0,70	46%	1,35	-0,58	-0,72	-1,08	-0,50
Papier, Pappe, Karton	Gesamt	17,49	14,49	83%	15,39	-6,52	-7,43	-7,69	-1,18
Textilien	Gesamt	1,63	0,20	12%	0,33	-0,24	-0,26	-0,33	-0,10
Verpackungen	Altholz	3,29	0,80	24%	1,32	-0,10	-0,12	-0,16	-0,06
	Aluminium	0,14	0,13	94%	0,13	-1,22	-1,11	-1,11	0,10
<b>Summe**</b>		<b>288,42</b>	<b>68,63</b>	<b>24%</b>	<b>168,80</b>	<b>-61,39</b>	<b>-76,87</b>	<b>-105,71</b>	<b>-44,32</b>

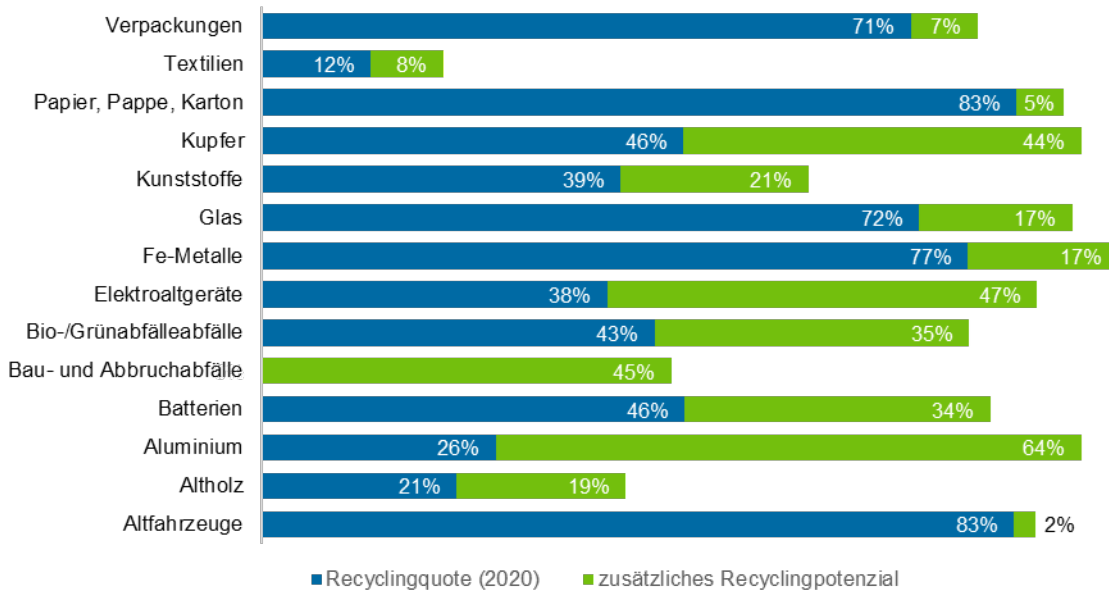
\* nur im Inland entsorgte Menge berücksichtigt

\*\* Recyclingmenge bezieht sich nur auf die im Inland dem Recycling zugeführte Menge (ohne Exporte)

\* Die Summen enthalten teilweise unvermeidbare Doppelzählungen, die aber die genannten Größenordnungen nicht substantiell verändern.

Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

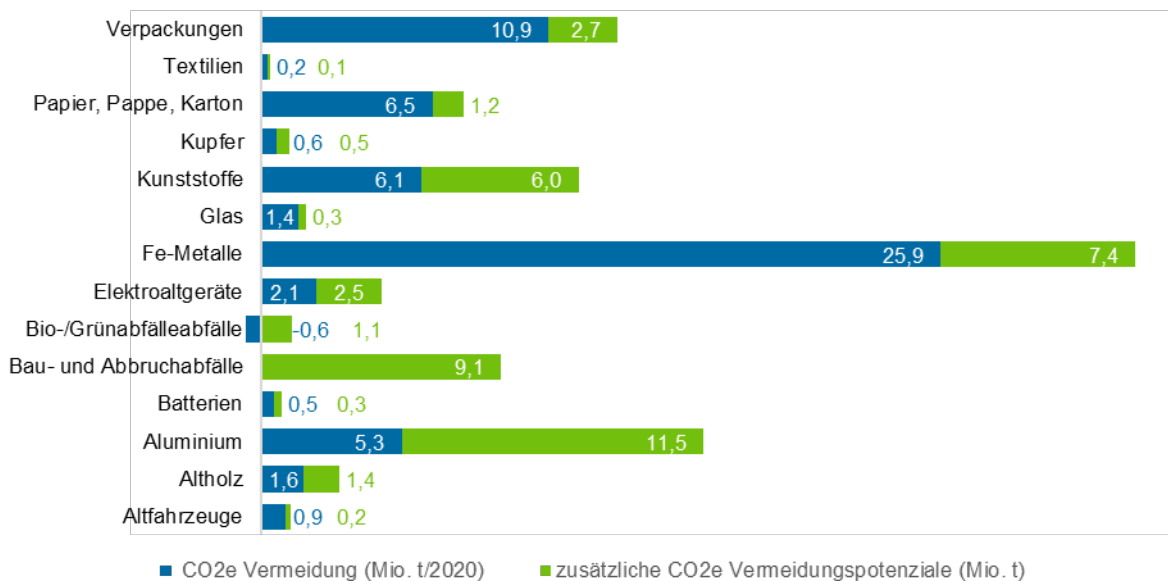
Abbildung 4-9: Aktuelle und zusätzlich erreichbare Recyclinganteile



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung

Aktuell wird der Input der analysierten Fraktionen ins Recycling auf rund 55 - 70 Mio. t geschätzt, was etwa 1/5 bis zu 1/4 des Aufkommens dieser Fraktionen entspricht. Die Bandbreiten resultieren aus Überschneidungen bei den Teilfraktionen, insbesondere bei den Verpackungsmaterialien wie z. B. Aluminium. Aus der Abbildung 4-9 folgt ein zusätzlich erreichbares **maximales Recyclingpotenzial** von rund 105 Mio. t im Jahr 2030.

Abbildung 4-10: CO2e-Vermeidungspotenziale der Stoffströme in Mio. t CO2e



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung

Die CO<sub>2</sub>e-Vermeidung durch die aktuellen Recyclingmengen liegt etwa zwischen 52 Mio. t bis 62 Mio. t CO<sub>2</sub>e. Das zusätzliche Vermeidungspotenzial (Mittelwert aus den Szenarien „wahrscheinlich“ und „maximal“) liegt unter Berücksichtigung von Doppelzählungen bei rund 28 Mio. t bis 30 Mio. t CO<sub>2</sub>e. Die Summe der erreichbaren CO<sub>2</sub>e- Vermeidung im Jahr 2030 liegt auf Basis der Mittelwertberechnung bei rund 80 Mio. t bis 92 Mio. t CO<sub>2</sub>e.

#### 4.4.2. Zuordnung der Ergebnisse zu den CRF-Sektoren

Die Aufteilung der Einsparpotenziale auf die einzelnen CRF-Sektoren erfolgt auf der Grundlage der Angaben in den Steckbriefen (siehe Anhang) zu den einzelnen Stoffströmen.

Von dem maximal erreichbaren Potenzial von rd. 45,5 Mio. t. CO<sub>2</sub>e entfallen etwa 36,8 Mio. t. CO<sub>2</sub>e (81 %) auf drei Hauptsektoren, darunter

- rd. 19,4 Mio. t. CO<sub>2</sub>e (= 44 %) auf den Sektor 2.C Industrie: Metallproduktion,
- rd. 8,9 Mio. t. CO<sub>2</sub>e (= 20 %) auf den Sektor 2.B Industrie: Chemische Industrie und
- rd. 8,3 Mio. t. CO<sub>2</sub>e (= 19 %) auf den Sektor 2.A.1 Industrie: Zementproduktion.

Die verbleibenden rd. 7,7 Mio. t CO<sub>2</sub>e (= 17 %) verteilen sich in einer Größenordnung zwischen 1 % bis 5 % auf weitere CRF-Sektoren.

**Tabelle 4-2: CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenziale nach Sektoren**

CRF-Sektor	CO <sub>2</sub> e-Einsparung IST-2020 <i>Mio. t CO<sub>2</sub>e</i>	wahrscheinliches zusätzliches CO <sub>2</sub> e- Minderungspotenzial 2030 <i>(Mio. t CO<sub>2</sub>e) (%)</i>		maximales zusätzliches CO <sub>2</sub> e- Minderungspotenzial 2030 <i>(Mio. t CO<sub>2</sub>e) (%)</i>	
<b>1.A.1</b> Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung	<b>Energie:</b> -1,25	-0,94	6%	-1,89	4%
<b>1.A.2</b> Verarbeitendes Gewerbe	<b>Energie:</b> -4,41	-1,03	7%	-2,05	5%
<b>1.A.3</b> Transport	<b>Energie:</b> -1,29	-0,32	2%	-0,89	2%
<b>2.A</b> Mineralverarbeitende Industrie	<b>Industrie:</b> 0,00	-0,10	1%	-0,33	1%
<b>2.A.1</b> Zementproduktion	<b>Industrie:</b> 0,00	-1,03	7%	-8,31	19%
<b>2.A.3</b> Glasindustrie	<b>Industrie:</b> -2,56	0,00	0%	-0,27	1%
<b>2.B</b> Chemische Industrie	<b>Industrie:</b> -10,41	-4,90	32%	-8,94	20%

<b>CRF-Sektor</b>		<b>CO<sub>2</sub>e-Einsparung IST-2020</b>	<b>wahrscheinliches zusätzliches CO<sub>2</sub>e- Minderung- potenzial 2030</b>		<b>maximales zusätzliches CO<sub>2</sub>e- Minderung- potenzial 2030</b>	
		<i>Mio. t CO<sub>2</sub>e</i>	<i>(Mio. t CO<sub>2</sub>e)</i>	<i>(%)</i>	<i>(Mio. t CO<sub>2</sub>e)</i>	<i>(%)</i>
<b>2.C</b>	<b>Industrie:</b>	-33,97	-5,66	37%	-19,39	44%
Metallproduktion						
<b>2.H.1</b>	<b>Industrie:</b>	-7,00	-0,55	4%	-0,72	2%
Zellstoff- und Papierherstellung						
<b>2.H.x</b>	<b>Industrie:</b>	-0,84	-0,24	2%	-0,72	2%
Sonstige						
<b>3.B</b>	<b>Landwirtschaft:</b>	0,34	-0,72	5%	-0,83	2%
Düngerwirtschaft						
<b>Summe *</b>		<b>-61,39</b>	<b>-15,48</b>	<b>100%</b>	<b>-44,32</b>	<b>100 %</b>

\* Die Summen enthalten teilweise unvermeidbare Doppelzählungen, die aber die genannten Größenordnungen nicht substantiell verändern.

Quelle: Hochrechnung nach: Appelt [2023]

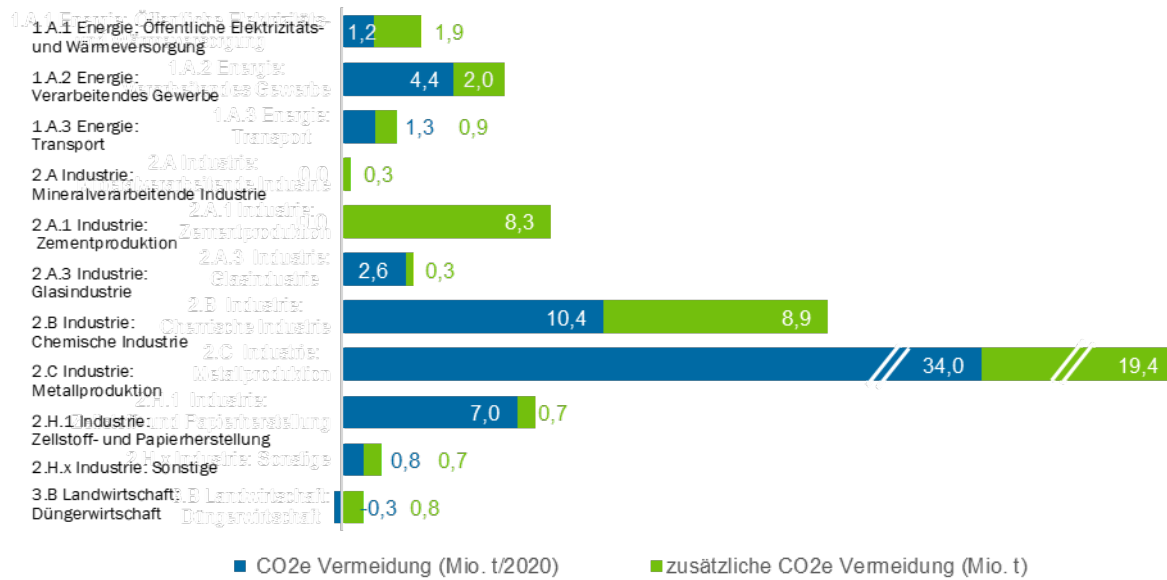
Die Annahmen für die Zuordnung zu den einzelnen CRF-Sektoren können den **Stoffstrom-Steckbriefen** im Kapitel 6 entnommen werden.

Im CRF-Sektor 5 „Abfall“ entstehen durch die CO<sub>2</sub>e-relevanten Maßnahmen bei den Stoffströmen keine Veränderungen. Die Effekte höherer Recyclingquoten, die durch die Kreislaufwirtschaft organisiert und verantwortet werden, werden im Wesentlichen in den folgenden CRF-Sektoren wirksam:

- 2.C Industrie: Metallproduktion
- 2.B Industrie: Chemische Industrie
- 2.A.1 Industrie: Zementproduktion

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um Orientierungsgrößen, eine absolut genaue Zuordnung ist durch die zumeist unterschiedlichen Herkunftsbereiche der Stoffströme nicht möglich.

Abbildung 4-11: CO<sub>2</sub>e-Vermeidungspotenziale der Stoffströme in Mio. t CO<sub>2</sub>e



Quelle: Eigene Berechnungen und Darstellung

## 5. Analyse bestehender Defizite für die Realisierung von Klimaschutzpotenzialen einer Circular Economy

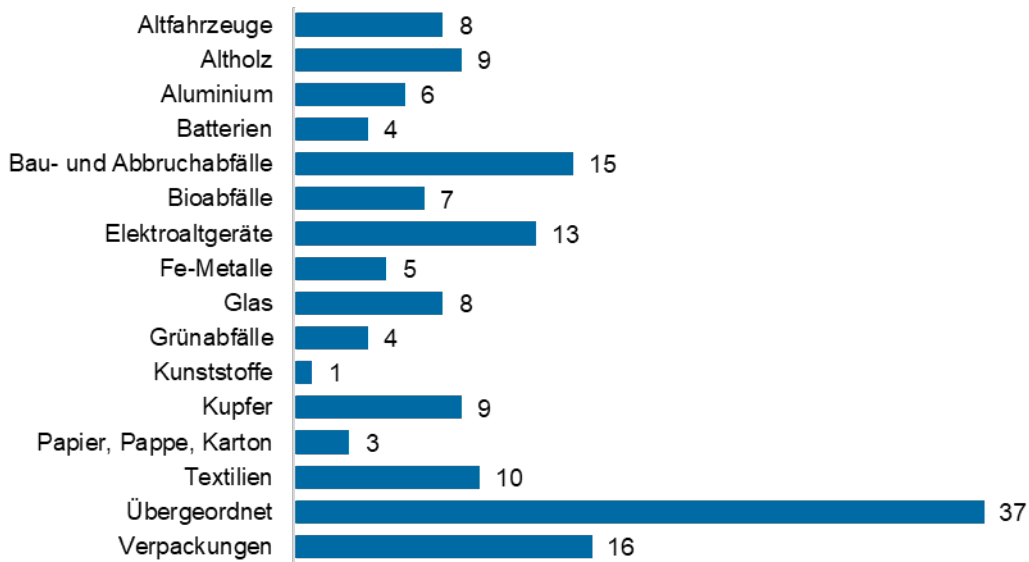
### 5.1. Überblick

In Bezug auf die bislang dargestellten Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft und der Circular Economy bestehen verschiedene Defizite bzw. Hemmnisse, die deren Abruf behindern, wie bspw. fehlende Normen und Richtlinien, unzureichende Umsetzungen bestehender Verordnungen und mangelnde Akzeptanz von Maßnahmen.

Im Ergebnis wurden 105 Defizite identifiziert und analysiert. Aufgrund der Möglichkeit, ein Defizit mehreren Stoffströmen zuzuordnen, beträgt die Grundgesamtheit in der folgenden Abbildung 5-1 in Summe 155 Defizite, darunter 37 Defizite von übergeordnetem Charakter, die nicht zwingend einem oder mehreren separaten Stoffströmen zuzuordnen sind.



**Abbildung 5-1: Anzahl der identifizierten Defizite nach Stoffströmen**

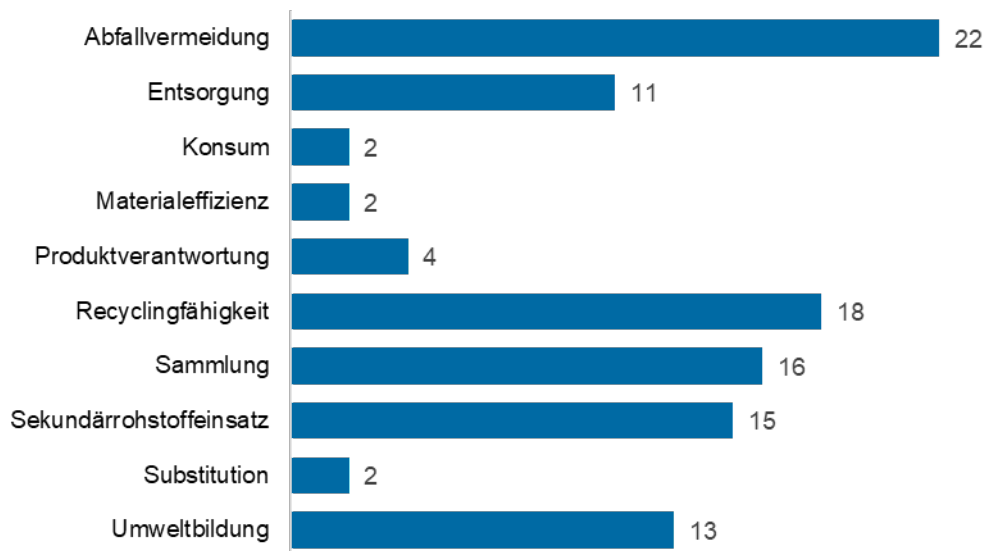


Hinweis: Rahmensetzende Maßnahmen sind Maßnahmen, die nicht einem spezifischen Stoffstrom zugeordnet wurden, sondern eher allgemeiner Natur sind

Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

Die identifizierten Defizite wurden nach unterschiedlichen Kategorien gruppiert. Abbildung 5-2 zeigt die Anzahl der Defizite in den zehn Defizitkategorien.

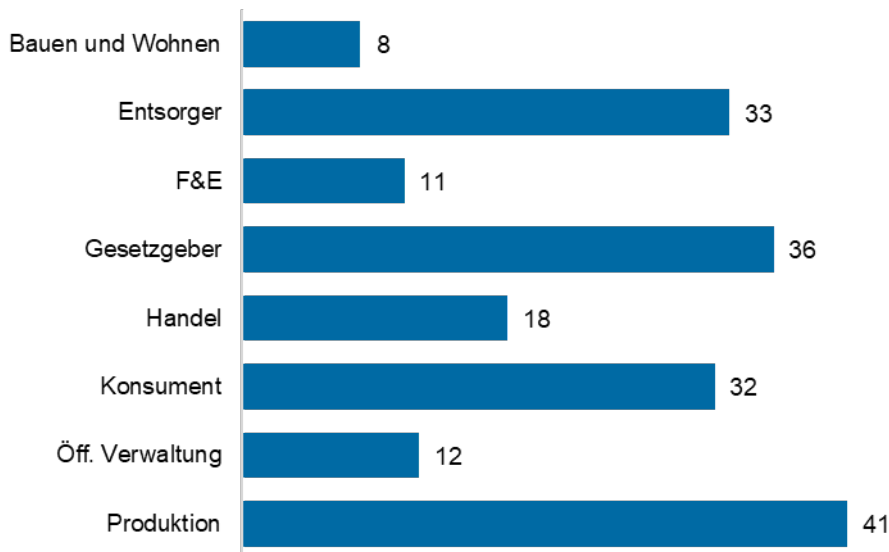
**Abbildung 5-2: Identifizierte Defizite nach Wirkungsbereichen**



Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

Außerdem wurden die Defizite Akteursgruppen zugeordnet. Auch hier war eine Mehrfachnennung bezogen auf die Stoffströme sowie Akteursgruppen möglich, sodass die Grundgesamtheit in der nachfolgenden Abbildung 5-3 insgesamt 191 Maßnahmen beträgt.

**Abbildung 5-3: Anzahl der identifizierten Defizite nach Akteursgruppen**



Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

Ein zentrales Hemmnis für einen Vermehrten Einsatz von Sekundärmaterialien und -produkten besteht in der fehlenden Vorbildfunktion bei der Beschaffungsstrategie der öffentlichen Hand. Hierbei erfüllt die **öffentliche Hand** oft nicht ihre Rolle **als Vorreiter bei der bevorzugten Beschaffung von gebrauchten oder recycelten Produkten**, was den Markt für solche Produkte nicht ausreichend stimuliert. Wichtige Defizite bestehen bei der **Normung von Rezyklatqualitäten**. Es fehlen klare Normen für die Qualität von Recyclingmaterialien, was den Einsatz von Sekundärrohstoffen in Produkten erschwert und Unsicherheit für Hersteller und Konsumenten schafft. Die **mangelhafte Umsetzung der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV)** durch fehlende Kontrollen führt zu einer vermehrten Verbrennung von Wertstoffen, die somit nicht dem Recycling zugeführt werden können. Für den Vollzug der GewAbfV sind die Bundesländer zuständig, wobei es organisatorische Unterschiede in der Zuständigkeit (Umweltämter bzw. Abfallbehörden der Landkreise und kreisfreien Städte) gibt und somit auch Details bei der Umsetzung und Überwachung variieren. Die Bundesländer können beispielsweise auch zusätzliche Regelungen und Vorgaben erlassen, die über die Anforderungen der GewAbfV hinausgehen, um spezifische Umweltziele zu erreichen.

Zusätzlich erschweren hohe Preise und **fehlende Anreize** den **Kauf langlebiger Produkte**. Produkte, die zurückgegeben werden, werden oft nicht ausreichend wiederverwendet oder weiterverkauft, was die Ressourceneffizienz mindert.

Die **fehlende Normung**, was als **unnötige Verpackung** gilt und die **unzureichende Standardisierung von Mehrweggebinden** führen zu einem erhöhten Verpackungsmüllaufkommen. Weiterhin fehlen klare **Normen für Gewährleistungsregelungen bei gebrauchten Produkten**, was Hemmnisse für den Kauf und Verkauf von Gebrauchsgütern schafft. Verbraucher\*innen verfügen oft nicht über ausreichende Informationen zur Lebensdauer von Produkten und ihren Rechten im Falle von Garantie- und Gewährleistungsansprüchen.

Die Gestaltung von Produkten orientiert sich oft noch **nicht ausreichend an den Prinzipien des Design-for-Recycling und der Reparierbarkeit**, da Marketing-Aspekte im Vordergrund stehen. Dies behindert ein effektives Recycling von Materialien und lange Produktlebensdauern.

Im besonders ressourcenintensiven Bereich des Bauens und Wohnens führt die **steigende Wohnfläche pro Person** zu vermehrtem Ressourcenbedarf durch Neubauten und Energiebedarf zum Heizen. Zudem werden **Abbruchmaterialien häufig nicht effizient getrennt**, wiederverwendet und recycelt, sondern vor allem mit minderwertigem Nutzen downgecycelt. Bei Sanierungs- und Abbrucharbeiten fehlt oft das **Wissen über die genauen Materialien**, die in Gebäuden verbaut wurden. **Baurechtliche Vorschriften** im Geschosswohnungsbau können den vermehrten **Einsatz von emissionsarmen Dämmstoffen** und nachhaltigen Baustoffen behindern. Schließlich gibt es **mangelnde Informationen zu Entsorgungs- und Rückgabemöglichkeiten für bestimmte Abfallarten**, was die ordnungsgemäße Entsorgung erschwert.

Nachfolgend werden die bestehenden Defizite, die der Umsetzung der Klimaschutzpotenziale entgegenstehen, nach Akteursgruppen zusammengefasst dargestellt. Eine umfassendere Beschreibung und Auflistung aller identifizierten Defizite sind den **Steckbriefen** in der Anlage zu entnehmen.

## 5.2. Defizitanalyse nach unterschiedlichen Akteursgruppen

### 5.2.1. Gesetzgeber

Defizite aufseiten des Gesetzgebers betreffen insbesondere Verordnungen, Normen, Labels und Produktdeklarationen sowie Genehmigungsverfahren.

Im Bereich der Abfallvermeidung verhindern die geplante oder in Kauf genommene werkstoffliche, funktionale und psychologische Obsoleszenz von Produkten und insbesondere von Elektrogeräten die Langlebigkeit der Produkte. Es fehlt bisher noch am Angebot und an der Bereitschaft der Nutzer für ökologische Miet- und Leasingmodelle. Zudem führt die fehlende oder lückenhafte Normung der Lebensdauer von Produkten dazu, dass kurzlebige Produkte im Anschaffungspreis günstiger und somit für Konsumenten attraktiver sind.

Die mangelhafte Umsetzung der GewAbfV in Bezug auf die Vorbehandlung und den Rückbau, die fehlende Investitionssicherheit für die Anlagenbetreiber und aufwendige Genehmigungen für den Aufbau von Entsorgungs- und Recyclinganlagen sowie fehlende rechtliche Einordnungen von Abfallfraktionen wie bspw. Holz-Polymer-Verbundstoffen sind Hindernisse für eine Erhöhung der Recyclingquoten. Die unzureichende Umsetzung der GewAbfV macht die Abfallsammlung zum Hindernis für die Getrennthaltung von Abfallsorten. Auch die Landes- und Musterbauordnung und die bestehende Vergabepaxis verhindern den sortenreinen Rückbau.

Eine Reihe von Defiziten ergeben sich in der Kategorie Sekundärrohstoffeinsatz. Die Deklaration der Sekundärrohstoffe als Abfall und nicht als Rohstoffquelle verhindert deren vermehrten Einsatz. Weiterhin sind eine fehlende Normung der Rezyklatqualitäten, fehlende Label für Recyclingprodukte und mangelhafte Produktnormen, die für Kaufentscheidungen eine Rolle spielen können, als Defizite zu nennen. Wertvolle Rohstoffe können zudem legal als Abfälle zur kostengünstigen Entsorgung exportiert werden, insbesondere Altfahrzeuge und Elektro- und Elektronik-Altgeräte.

### 5.2.2. Öffentliche Verwaltung

Hemmnisse in der öffentlichen Verwaltung sind die lückenhafte Infrastruktur für Recycling, die unzureichende Umweltbildung und die mangelhafte Organisation eigener Strukturen. So ist der Aufbau

von Recyclinginfrastrukturen mit hohen Kosten und einem komplexen Logistiksystem verbunden (Kategorie Entsorgung). Weiterhin fehlen Rücknahmesysteme für Elektro- und Elektronik-Altgeräte an gut erreichbaren Standorten (Kategorie Produktverantwortung). In der Kategorie Umweltbildung ist das fehlende Bewusstsein für alternative Mobilitätsmodelle, insbesondere der öffentliche Nahverkehr, zu nennen.

Weiteres Hindernis ist die mangelnde Vorbildfunktion der öffentlichen Hand in Bezug auf die eigene Sammlung und Getrennterfassung von Abfällen.

Die Beschaffungsstrategie der öffentlichen Hand bevorzugt derzeit nicht die Nutzung von Sekundärrohstoffen und wird so ihrer Vorbildfunktion für eine ressourceneffiziente Beschaffung nicht gerecht wird.

### **5.2.3.     Forschung und Entwicklung**

In der Kategorie Forschung und Entwicklung (FuE) sind die Forschung an Recyclingtechnologien sowie die Anwendung bestehender Technologien defizitär.

In der Kategorie Entsorgung sind die mangelhafte Anwendung von Best-Practice-Techniken aufgrund des höheren Aufwands und höherer Kosten dieser Techniken sowie die unzureichende Trennung und das Recycling von Elektro- und Elektronik-Altgeräten als Defizite zu nennen. Die Ausbeute an Metallen in Behandlungsanlagen von Elektrogeräten kann deutlich verbessert werden, ebenso wie die Rückgewinnung von FCKW in Kühlschränken und die Verwertung von Bildschirmgeräten.

In der Kategorie Recyclingfähigkeit behindern die fehlende Technologie für Elektrofahrzeuge, Batterien sowie im Bereich des Textilrecyclings die Umsetzung der Klimaschutzpotenziale.

### **5.2.4.     Produzenten**

In der Kategorie Produzenten ergeben sich Einschränkungen der Klimaschutzpotenziale durch bestehende Produktionsprozesse und -strukturen, die sich i.d.R. nicht kurzfristig verändern lassen.

Eine geringe Haltbarkeit von Produkten und Textilien verkürzen deren jeweilige Nutzungsdauer. Dies steht zusammen mit der unzureichenden Weiternutzung von Rückläuferprodukten einer wirksamen Abfallvermeidung entgegen. Weitere Defizite ergeben sich durch unnötige Verpackungen und die fehlende Standardisierung bzw. den unzureichenden Einsatz von Mehrweggebinden. Weiterhin verhindert die mangelnde Berücksichtigung von abfallarmen Materialien bzw. Produktionsprozessen, dass Klimaschutzpotenziale voll ausgeschöpft werden.

Eine geringe Materialeffizienz im Allgemeinen bedingt, dass der Einsatz von Primärrohstoffen nicht reduziert werden kann.

Weitere Hemmnisse liegen im Bereich der Produktverantwortung. Unklare Gewährleistungsregelungen bei gebrauchten Produkten, die seltene Rücknahme gebrauchter Produkte sowie generell fehlende Rücknahmestellen sind Hindernisse für die Weiter- und Wiederverwendung von Produkten im Sinne einer Servicewirtschaft, in der Dienstleistungen ebenfalls Produkte sind.

Die Recyclingfähigkeit von Produkten ist zentral für eine Kreislaufwirtschaft in der Produktion. Mangelnde Recyclingfähigkeit von Verpackungen und Textilien, die Verwendung von Verbundstoffen bei Verpackungen, Metallen und Elektrogeräten sowie problematische Zusatzstoffe verhindern die Erhöhung der Recyclingquote. Darüber hinaus könnten bereits auf der Stufe des Produktdesigns die Anforderungen an ein späteres Recycling erfüllt werden. Ein solches „Design for Recycling“ wird allerdings nicht umgesetzt. Auch der Einsatz von Sekundärrohstoffen ist bedeutend für das Gelingen

einer Kreislaufwirtschaft. Umsetzungshemmnisse entstehen durch hohe Kosten für die Rohstoffe, die notwendige Umgestaltung von Produktionsprozessen sowie aus (vermeintlichen) Anforderungen der Kunden.

### **5.2.5. Bau- und Wohnungswirtschaft**

Defizite im Bereich Bau- und Wohnungswirtschaft bestehen im Wesentlichen in Bezug auf die Reduktion und die Weiterverwendung bzw. das Recycling von Bau- und Abbruchabfällen.

Die stetig steigende Wohnfläche, die zu Wohnungsmangel und damit verbunden zu Neubauten führt sowie das Downcycling von Abbruchabfällen verhindern die Abfallvermeidung. Abbruchabfälle werden nicht wieder in Gebäuden eingesetzt bzw. zu Sekundärrohstoffen verarbeitet, sondern vor allem im Straßenbau verwendet.

Dass Bau- und Abbruchabfälle nicht bzw. schwer recycelt werden können, liegt an der mangelnden Kenntnis von in Gebäuden eingebauten Materialien. Bereits verbaute Materialien werden nach Ende ihrer Lebenszeit meist thermisch verwertet bzw. deponiert und nicht als Sekundärrohstoffe verwendet. Dies liegt sowohl an fehlenden Strukturen und Standards, aber auch an der noch mangelnden Akzeptanz dieser Stoffe bei den Auftraggebern von Bauleistungen und der Bauindustrie.

Weiterhin werden Materialien in Gebäuden, insbesondere Stahlträger, häufig nicht effizient ausgelegt und nur anhand von Erfahrungswerten dimensioniert. Darüber hinaus werden oftmals Baustoffe mit einem hohen kumulierten Energieaufwand verwendet. Dem vermehrten Einsatz von emissionsarmen Dämmstoffen stehen häufig Einschränkungen durch baurechtliche Vorschriften im Geschosswohnungsbau entgegen. Beispielsweise werden Dämmstoffe, die auf erneuerbaren Rohstoffen basieren, in der Muster-Holzbaurichtlinie der Baustoffklasse B2 (normalentflammbar) zugewiesen, was in einigen Bundesländern den Einsatz in Mehrfamilienhäusern mit mehr als drei Stockwerken verhindert. Fehlende Bekanntheit von alternativen Dämmstoffen und fehlende planerische und handwerkliche Kompetenzen stellen ein Hemmnis für die Verbreitung von nicht-fossilen Dämmstoffen dar. Dem kann beispielsweise durch kommunale Förderprogramme entgegengewirkt werden [co2online 2018].

### **5.2.6. Händler**

Defizite im Bereich Handel und Vertrieb von Produkten bestehen im Aufkommen von Abfällen aus Lebensmitteln, Verpackungen und Textilien. Eine Reduktion der Bioabfälle wird durch den Anspruch einer ständigen Verfügbarkeit von Waren sowie eine Priorisierung der Kundenbindung vor der Abfallreduzierung verhindert. Weiterhin gibt es Defizite im Bereich Verpackung und Transport, wie die Bevorzugung von Einwegverpackungen sowie das erhöhte Verpackungs- und Transportaufkommen durch E-Commerce.

### **5.2.7. Entsorger**

Materialien zu recyceln, ist kostenintensiv und stellt hohe Anforderungen an die Prozesse in Bezug auf im Material enthaltene Unreinheiten und Fremdstoffe sowie Beschichtungen bzw. Materialverbunde. Kosten und Anforderungen verhindern daher effektives Recycling.

Defizite bestehen in der Kategorie Entsorger darüber hinaus bei der Sammlung von Abfällen. Es fehlen nicht nur Strukturen zur Sammlung von Bio- und Grünabfällen, sondern auch hinsichtlich der Getrenntfassung verschiedener Wertstoffe, Dämmstoffe und Kunststoffe sowie der sortenreinen

Erfassung von Flachglas auf Baustellen. Daneben sind auch überdimensionierte Abfallbehälter ungeeignet, das Abfallvolumen zu verringern.

Ein weiteres Hindernis für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft sind mangelnde Informationen hinsichtlich Entsorgungs- und Rückgabemöglichkeiten für bestimmte Abfallarten.

### **5.2.8. Konsumenten**

Defizite bei dem Konsum von Produkten sind zum einen die fehlende Akzeptanz von Produkten, die Rezyklate enthalten, und zum anderen das Verhältnis zu den Produkten: Der Besitz wird von den Kunden häufig höher geschätzt als Leasing- oder Sharing-Modelle. Aufgrund dieses Einzelbesitzverhaltens haben Produkte meist eine geringe Nutzungsintensität. Insbesondere mangelfreie Waren, neu produzierte Produkte bzw. Produkte aus primären Rohstoffen werden von der Mehrzahl der Konsumenten akzeptiert. Zudem besteht eine geringe Zahlungsbereitschaft für längere Lebensdauern von Produkten.

Eine Umfrage der Verbraucherzentralen aus dem Jahr 2023 [Verbraucherzentrale.de 2023] zeigt, dass die überwiegende Mehrheit der Käufer von gebrauchten Elektronikprodukten gute bis sehr gute Erfahrungen mit dem Gebrauchtmakrt gemacht hat. Jedoch wird dieser nur von unter 20% der Befragten genutzt, überwiegend von Menschen unter 30 und über 60 Jahre. Am häufigsten wurden Smartphones (65%) Notebooks (32%) und Tablets (27%) und überwiegend von gewerblichen Händlern erworben. Als Gründe für den Gebrauchtkauf wurden vorwiegend der geringe Preis und die Ressourcenschonung genannt. Die Umfrage zeigt, dass es vor allem Informationshemmnisse gibt, die dem Erwerb von gebrauchten Elektronikgeräten entgegenstehen. Befürchtet werden einerseits Unklarheiten zum Zustand und zur Restlebenszeit der Produkte und andererseits fehlende Garantien und Gewährleistungsrechte.

## 6. Verbesserung bestehender und Entwicklung neuer Instrumente zur Realisierung der Klimaschutzpotenziale

Basierend auf den hergeleiteten Klimaschutzpotenzialen (vgl. Kapitel 4) und unter Berücksichtigung der beschriebenen Defizite (vgl. Kapitel 5) in unterschiedlichen Bereichen der Kreislaufwirtschaft, werden in diesem Kapitel die wichtigsten Instrumente und Maßnahmen zusammenfassend beschrieben, mit denen die Defizite angegangen und die THG-Minderungspotenziale ausgeschöpft werden können. Eine umfassendere Beschreibung und Einordnung aller vorgeschlagenen Maßnahmen ist dem Datenblatt „Maßnahmen“ im Excel-Workbook zu entnehmen.

### 6.1. Inhaltliche und methodische Vorgehensweise

Bei der Beurteilung und Auswahl von Instrumenten, die geeignet sind, die der Kreislaufwirtschaft zu realisieren, ist grundsätzlich zu beachten, dass nicht einzelne Instrumente und Maßnahmen zum Erfolg führen, sondern Instrumenten- und Maßnahmenbündel. Die einzelnen Maßnahmen greifen im Optimalfall unterstützend ineinander. Erreichbare CO<sub>2</sub>-Einsparungen können für rahmensetzende Instrumente nicht vollständig quantifiziert werden. Auch bei stoffstrombezogenen Instrumenten und Maßnahmen können CO<sub>2</sub>-Einsparungen nur für die Summe der Instrumente und Maßnahmen bilanziert werden. Die Potenziale, die mit der Summe der Maßnahmen und Instrumente gehoben werden können, entsprechen den in Kapitel 4 ausgewiesenen und werden in diesem Kapitel deshalb nur im Ausnahmefall erneut dargestellt.

### 6.2. Rahmensetzende Maßnahmen nach Handlungsfeldern/ Herkunftsbereichen

Grundsätzlich sind die vorgeschlagenen Instrumente und Maßnahmen darauf ausgerichtet, vorrangig dazu beizutragen, Potenziale der Kreislaufwirtschaft in den Bereichen Klimaschutz und Ressourcenschonung auszuschöpfen. Entsprechend der Abfallhierarchie wird mit den Instrumenten und Maßnahmen insbesondere die Abfallvermeidung adressiert, indem sie Rahmenbedingungen schaffen, die eine lange und intensive Nutzung von Ressourcen, Produkten und Verpackungen begünstigen. Damit dies gelingt, sind Produkte und Verpackungen entsprechend zu designen und zu nutzen.

Durch die Kreislaufführung von nicht vermeidbaren Abfällen werden Sekundärrohstoffe bereitgestellt, die Neuware qualitativ möglichst hochwertig ersetzen sollen. Um dies zu realisieren, ist das Design von recyclinggerechten Produkten und Verpackungen, die getrennte Erfassung von Wertstofffraktionen, der Ausbau der für deren Sortierung, Aufarbeitung und Recycling erforderlichen Infrastruktur sowie der Einsatz der Rezyklate in der Produktion anzureizen.

Rahmensetzende Maßnahmen helfen dabei, Umwelt- und Klimakosten zu internalisieren und dadurch Rahmenbedingungen zu schaffen, die Industrie und Verbraucher belohnen, wenn sie auf eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft umstellen bzw. diese unterstützen.

#### 6.2.1. Industrie und Gewerbe

##### Förderung von Miet- und Leasing-Modellen

Produkte sollten während ihrer Nutzungsphase Eigentum der **Hersteller** bleiben, damit diese ein hohes Eigeninteresse haben, die Produkte **langlebig** und **reparaturfreundlich** zu designen (Product as a Service; Nutzung von Waschmaschinen, Fahrzeugen, Beleuchtung u. Ä. als Dienstleistung, Vermietung und Leasing von Produkten und Chemikalien etc.). Zusätzlich müssen die

**finanziellen Rahmenbedingungen** für Leih- und Leasing-Modelle gegenüber denen für den Kauf von Neugeräten verbessert werden. Erforderlich sind dahingehende Programme zur finanziellen **Förderung** dieser Geschäftsmodelle, wie direkte Zuschüsse und Steuerermäßigungen.

Die **Nutzungsintensität von Produkten** kann auch durch Plattformen der sogenannten „Sharing-Economy“ erhöht werden, allerdings hat dies keinen direkten Einfluss auf das Design von Produkten. Zudem stehen solche Modelle zunehmend in der Kritik, da diese Geschäftsmodelle zuvor private Bereiche des Lebens kommerzialisieren und nicht zu einer Reduktion des Konsums führen. Prinzipiell sind geteilte Produkte ressourcenschonender als ein Neuerwerb, oftmals führen Dienstleistungen der „Sharing Economy“ zu Rebound-Effekten, da kein bisheriger Nutzen ersetzt wird, sondern zusätzlich geschaffen wird. Daher ist bei der Förderung von „**Nutzen statt Besitzen**“-Dienstleistungen darauf zu achten, dass diese sich entweder auch auf ein langlebiges Produktdesign auswirken oder gemeinnützigen Zwecken dienen. Dies kann durch die gezielte Förderung von bspw. kommunalen Mietangeboten erreicht werden.

Unterstützend ist ein **rechtlicher Rahmen** zu schaffen, mit dem **Rechtssicherheit** für Anbieter und Verbraucher in Bezug auf Wartung, Rückgabe und Wiederverwendung geschaffen wird. Diese Normung wird als entscheidend angesehen, um mehr Vertrauen für „Nutzen statt Besitzen“-Dienstleistungen zu schaffen und deren Verbreitung zu unterstützen. Vorstellbar wären beispielsweise einheitliche Gewährleistungs- und Haftungsrichtlinien, Unterstützung bei der Vertragsgestaltung durch entsprechende Empfehlungen und die Entwicklung von Standard- bzw. Musterverträgen sowie die Unterstützung bei der Klärung versicherungs-, gewerbe- und steuerrechtlicher Fragen.

Die Durchsetzung dieser Geschäftsmodelle muss durch **Sensibilisierung** und **Aufklärung der Industrie** und der **Verbraucher** begleitend unterstützt werden. Für eine nennenswerte Ausweitung von „Nutzen statt Besitzen“-Dienstleistungen müssen sich die Konsumgewohnheiten ändern und eine Fokussierung auf den Anschaffungspreis durch eine Sensibilisierung für die Lebenszykluskosten von Produkten ersetzt werden. Hierfür kann die Politik Informationskampagnen gemeinsam mit anderen Akteuren wie bspw. Verbraucherzentralen, Öko-Test oder Stiftung Warentest lancieren oder fördern. Zudem kann die öffentliche Hand auch hier ihre Vorbildfunktion wahrnehmen und Angebote konkret fördern, indem sie ökologisch sinnvolle Miet- und Leasingmodelle in den Richtlinien der öffentlichen Beschaffung verankert und nutzt, wo dies möglich ist. Dies setzt voraus, dass die relevanten Maßnahmenfelder identifiziert und handhabbare Beschaffungskriterien erarbeitet werden. Die Beschaffungsrichtlinien sind dahingehend zu modifizieren, dass sie sich an der Idee der serviceorientierten Ausschreibung orientieren.

### **Förderung von Reparaturen**

Die konsequente Umsetzung des **Rechts auf Reparatur** stellt Anforderungen an die **Qualität** von Produkten, deren **reparaturfreundliches Design** (lösbare Konstruktionsverbunde bevorzugen, Austauschbarkeit und Qualität der Einzelteile etc.) sowie an die freie Verfügbarkeit von Ersatzteilen, Software und Informationen. Für einzelne Produktgruppen werden diese Anforderungen bereits in Verordnungen zur **Ökodesign-Richtlinie** verbindlich geregelt (bspw. für TV-Geräte, Waschmaschinen und ab 2025 auch für Smartphones und Tablets). Die Anforderungen an die Reparierbarkeit sollten jedoch noch auf **weitere Produktgruppen** (wie Textilien und Möbel) ausgeweitet und können z.T. verschärft werden. Neben den rechtlichen Vorgaben können direkte finanzielle Förderungen für Reparaturbetriebe, Steuerermäßigungen oder Reparaturgutscheine die finanziellen Nachteile der Reparatur gegenüber dem Neukauf relativieren.



Das **ElektroG** sieht seit 2019 vor, dass die Menge an gesammelten Elektroaltgeräten mindestens 65 % des gemittelten Gesamtgewichts der in den drei Vorjahren in Verkehr gebrachten Elektro- und Elektronikgeräte entsprechen muss. Die Sammelquote lag jedoch in den letzten Jahren mit rund 45% **deutlich unter der Vorgabe**. 2021 ist die Sammelquote sogar noch einmal auf etwa 39% gesunken [Umweltbundesamt 2022c]. Die zu geringe Sammelquote wurde bereits in der Novelle des ElektroG von 2022 durch **erweiterte Rücknahme- und Informationspflichten** bei Verkäufern und Herstellern adressiert.

Laut der Novelle soll auch der Anteil der „**Vorbereitung zur Wiederverwendung**“ und des Recyclings je nach Kategorie der Altgeräte zwischen 55% und 80% liegen. Zwar lag diese Quote laut Destatis [Destatis 2021]. 2021 bei 86% über alle Gerätekategorien. Der Anteil der **tatsächlich** zur „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ angenommenen Elektro- und Elektronikaltgeräten lag jedoch nur bei 1,6%. Um diesen Anteil zu erhöhen, wurde in der letzten Novelle des ElektroG geregelt, dass auch Betreiber von **zertifizierten Erstbehandlungsanlagen** Altgeräte aus privaten Haushalten erfassen und annehmen dürfen und es keiner Beauftragung durch Dritte mehr bedarf. Jedoch sollte die **Quote** der wiederverwendeten Altgeräte auch durch verbindliche Zielvorgaben im ElektroG und Maßnahmen zur getrennten Erfassung von wiederverwendbaren Altgeräten erhöht werden. Denkbar wären dazu bspw. Annahmestellen für wiederverwendbare Altgeräte in Rathäusern oder anderen kommunalen Einrichtungen.

### **Digitaler Produktpass**

Durch die Einführung eines **digitalen Produktpasses** können wichtige Informationen zu Herkunft, Materialzusammensetzung, Herstellungsverfahren, Umweltauswirkungen, Wartung und Reparatur sowie Recyclingmöglichkeiten bereitgestellt werden. Dies unterstützt **Maßnahmen** bezüglich der Wiederverwendung, Reparatur und des Recyclings. Auch **Kontrollen** gesetzlich vorgegebener Mindestzyklaltgehalte oder Abgaben in Relation zum Ressourcenverbrauch werden dadurch erleichtert.

### **Mindeststandards bezüglich Lebensdauer von Produkten**

**Mindeststandards** bezüglich Lebensdauer und Reparierbarkeit von Produkten sind in entsprechende Gesetze, Verordnungen (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG, Altfahrzeug-Verordnung – AltfahrzeugV) und Produktnormen (DIN/ISO) aufzunehmen. Unterstützend wirkt eine produktspezifische Anhebung der **Gewährleistungsfristen**.

### **Ökodesign in Studium und Ausbildung**

Vorgaben zum Ökodesign werden in der Ökodesignrichtlinie zunehmend auch in Bezug auf Ressourcenschonung, Lebensdauer und Reparaturfreundlichkeit von Produkten geregelt. Damit das entsprechende Know-how auch beim Design neuer Produkte vermehrt angewendet wird, sollen in die entsprechenden Studiengänge und Ausbildungen einschlägige Lehrinhalte aufgenommen werden.

### **Weitere Maßnahmen:**

- beste verfügbare Technik bei Wiederverwendung und Recycling umsetzen und weiterentwickeln
- Wertstoffsortierung und -aufbereitung optimieren
- Förderung der Trennung von Materialmischen zur Unterstützung eines hochwertigen Metallrecyclings
- Förderung alternativer Recyclingtechnologien
- optimiertes Produktdesign „Design for Recycling“: Verzicht auf vermeidbare Materialmische und gute Demontierbarkeit zur Förderung der Recyclingfähigkeit
- GewAbfV konsequent umsetzen
- Marktdurchdringung von Rezyklaten erhöhen (spezifische Rezyklatquoten auch für anspruchsvolle Anwendungen)
- Marktbedingungen für Sekundärrohstoffe verbessern und Verwertungswege für bestimmte Stoffgruppen etablieren

### **6.2.2. Bauen und Wohnen**

Rahmensetzende Maßnahmen zur Förderung des Recyclings von Bau- und Abbruchabfällen müssen zum einen gut rückbaubare Bauwerke, den selektiven Rückbau, die getrennte Erfassung und hochwertige Verwertung der Abfälle bezwecken, indem u. a. sekundäre Rohstoffe, Recyclingmärkte, Materialkataster und Aufbereitungstechniken mit ihnen gefördert werden. Zum anderen ist mit ihnen die Vermeidung von Abfällen durch Instandhaltung, flexibles Bauen, Material- und Nutzflächeneffizienz zu adressieren:

- Förderung von Wohnraumeffizienz
- Förderung der Instandhaltung und Sanierung von Altbauten anstelle von Neubau
- besondere Anforderungen an Abrissgenehmigungen
- Vorgaben zum maximalen Gesamtausstoß an THG im gesamten Lebenszyklus von Gebäuden
- Förderung von materialeffizientem und modularem Bauen
- Förderung und Normung zum Design wiederverwendbarer und recycelbarer Gebäude- und Bauteile
- Förderung von Bauteilmärkten
- Förderung von Bauweisen, mit denen THG-Emissionen eingespart werden können (z. B. Nutzung nachwachsender Rohstoffe)
- Schulungsmaßnahmen zu gezieltem Rückbau mit getrennter Erfassung von Wertstoffen bei Rückbauunternehmen

### **6.2.3. Verkehr und Fahrzeuge**

Rahmensetzende Maßnahmen zur Abfallvermeidung im Bereich Verkehr und Fahrzeuge zielen darauf ab, den motorisierten Individualverkehr durch die Förderung des öffentlichen Personen(nah)verkehrs in Verbindung mit Carsharing zu reduzieren, die Nutzungsdauer von PKW (inkl. der

Fahrzeugbatterien) zu erhöhen sowie die Größe und Masse der Fahrzeuge bzw. die Kapazität der Batterien zu reduzieren.

- Förderung von ÖPNV, Car-Sharing und Ride-Pooling
- Pfandsystem für Fahrzeugbatterien
- Steuerliche Anreize für kleinere PKW

#### 6.2.4. Kommunalwirtschaft

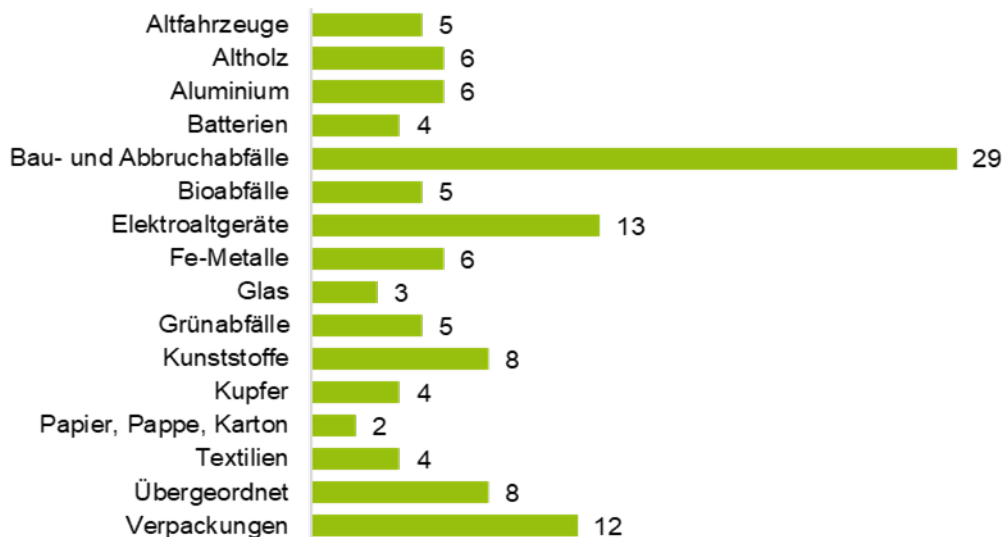
In der Kommunalwirtschaft sind Grundlagen zu schaffen, die die Bürgerinnen und Bürger bei der Getrennthaltung von Wertstoffen unterstützen. Dazu gehören insbesondere:

- aktive Abfallberatung mit Schwerpunkten im Geschosswohnungsbau und Umweltbildung in Schulen und Kindergärten (Themen: Möglichkeiten der Abfallvermeidung und Getrennthaltung, Wertschätzung für Lebensmittel und Produkte stärken)
- aufkommensabhängige Abfallgebühren, auch im Geschosswohnungsbau (volumenabhängige Müllklappen),
- Kostenspreizung Restmüll zu Wertstoffen (insb. Bioabfall)
- Qualitätssicherung der Sammlung mit intensiver Beratung bei hohen Fehlwurfraten
- Unterstützung von Foodsharing, Sensibilisierung und Aufklärung über Angebote, Recht und Hygiene
- CO<sub>2</sub>-Bepreisung für Emissionen aus der Müllverbrennung

### 6.3. Stoffstrombezogene Maßnahmen nach Hauptabfall- und Hauptwertstoffströmen

Für die im Rahmen der vorliegenden Studie analysierten Stoffströme wurden insgesamt 117 Maßnahmen identifiziert, die eine Realisierung der Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft fördern. Da eine Maßnahme auch für mehrere Stoffströme gelten kann, beträgt die Grundgesamtheit in der nachfolgenden Abbildung 6-1 insgesamt 132 Maßnahmen. Darin sind auch Maßnahmen enthalten, die den Stoffströmen zugeordnet wurden, die im Normalfall bei den rahmensetzenden Maßnahmen in Kapitel 6.2 aufgeführt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Maßnahmen ist den **Steckbriefen** (Kapitel 6.3) zu entnehmen.

**Abbildung 6-1: Anzahl der vorgeschlagenen Maßnahmen nach Stoffströmen**

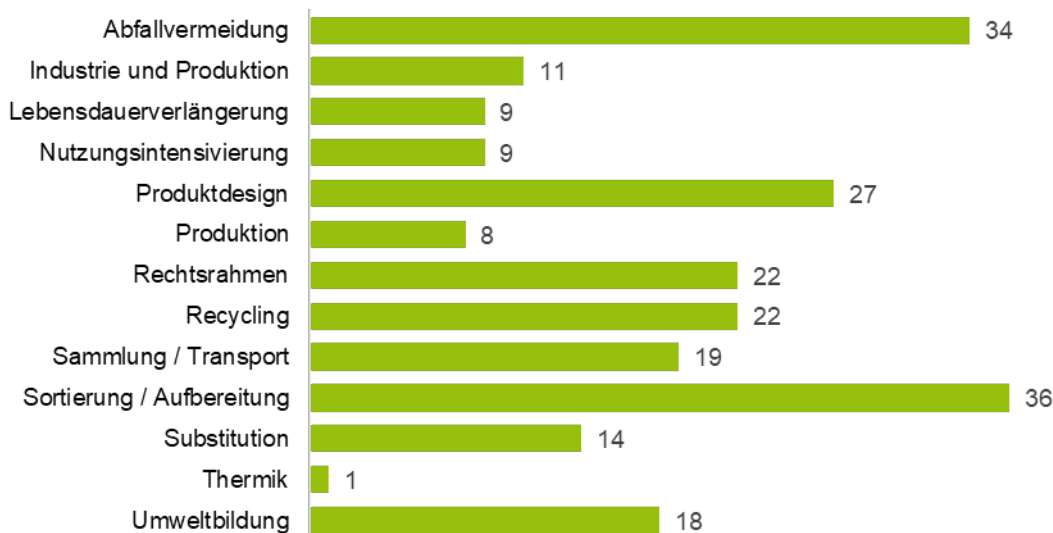


Hinweis: Rahmensetzende Maßnahmen sind Maßnahmen, die nicht einem spezifischen Stoffstrom zugeordnet wurden, sondern eher allgemeiner Natur sind

Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

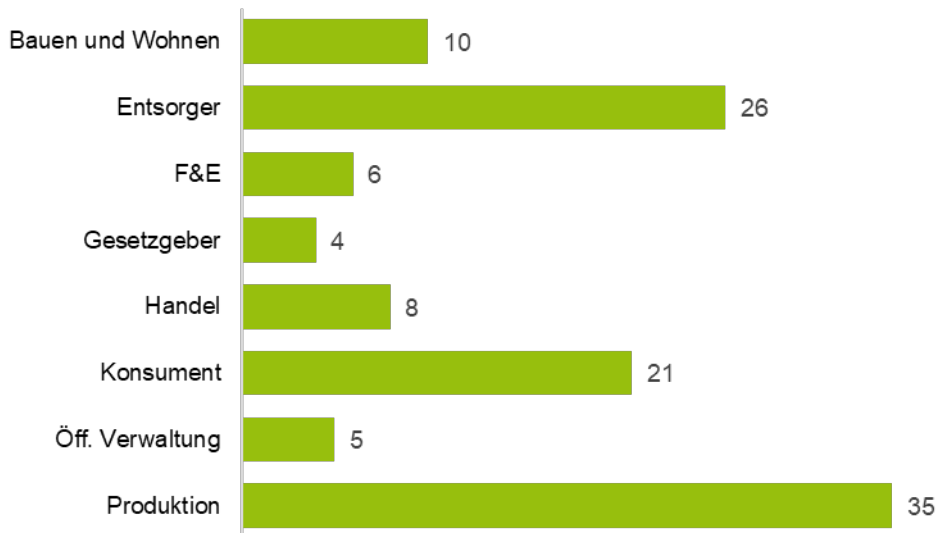
Die identifizierten Maßnahmen wurden nach unterschiedlichen Handlungsfeldern gruppiert, wobei eine Maßnahme bis zu drei Handlungsfeldern zugeordnet werden konnte.

**Abbildung 6-2: Anzahl der vorgeschlagenen Maßnahmen nach Handlungsfeldern (Mehrfachnennung möglich)**



Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

In der weiteren Bearbeitung wurden die Maßnahmen unterschiedlichen Zielgruppen zugeordnet.

**Abbildung 6-3: Anzahl der vorgeschlagenen Maßnahmen nach Zielgruppen**


Quelle: Prognos / ifeu / IREES / Öko-Institut 2023

### 6.3.1. Altfahrzeuge

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Altfahrzeuge sind Fahrzeuge, die nach § 3 Absatz 1 KrWG sind (§ 2 Absatz 1 Nr. 2 AltfahrzeugV) als Abfall gelten. Unter Fahrzeuge werden Fahrzeuge der Klasse M1 (Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz) oder N1 (Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einem Höchstgewicht bis zu 3,5 Tonnen) sowie dreirädrige Kraftfahrzeuge berücksichtigt.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 160104\*;160106 (Restkarossen)

#### Beschreibung der Maßnahmen

Für den Stoffstrom Altfahrzeuge wurden Maßnahmen definiert, die zu einer besseren Wiederverwendung von Fahrzeugteilen und damit zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen können. Diese Maßnahmen sind: Erhöhung der End-of-Life (EoL) Recyclingrate, Wiederverwendung von Komponenten und Einsatz der besten verfügbaren Technologien für die Wiederverwendung. Es wurden Maßnahmen berücksichtigt, die für den gesamten Materialfluss gelten, mit Ausnahme von Batterien (die eine eigene Abfallstromkategorie haben).

Maßnahmen zur Reduzierung der Exporte an Altfahrzeugen werden an dieser Stelle nicht aufgeführt, da es sich streng genommen um eine reguläre Praxis handelt. Die zusätzlichen Potenziale an Fe- und NE-Metallen sowie Glas wären als weitere Sekundärrohstoffe allerdings von Bedeutung für die nationalen Stoffkreisläufe.

- **Hinweis:** Es ist zu beachten, dass es sich um Maßnahmen handelt, die sich an den Recycling- und Reuse-Strategien und nicht an der Suffizienz orientieren, wobei weitere Maßnahmen denkbar sind, wie z. B. der Ersatz des Individualverkehrs durch öffentlichen Personenverkehr, die Reduzierung der durchschnittlichen Pkw-Größe und die Verlängerung der Nutzungsdauer von Pkw.

**Tabelle 6-1**      **Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Altfahrzeuge**

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>ÖPV in Kombination mit Car-Sharing und Ridepooling fördern</b>	<p>Eine Ausweitung von ÖPV, Car-Sharing und Ride-Pooling kann durch verschiedene Maßnahmen gefördert werden: durch Subventionen für Anbieter, durch erhöhte Parkgebühren für Individualfahrzeuge und reduzierte für Sharingfahrzeuge, durch Parkraummanagement, durch tarifliche Verknüpfung zwischen ÖPV, Car-Sharing und Ride-Pooling sowie durch Bildung und Aufklärung über deren Vorteile gegenüber Individualverkehr. Es ist davon auszugehen, dass dadurch Menschen einen bestimmten Anteil ihrer PKW-Fahrten durch ÖPV-Fahrten, Car-Sharing und/oder Pool-Riding ersetzen und dadurch insgesamt die Anzahl der PKWs reduziert wird.</p> <p>Außerdem kann dies zu einem weiteren Ausbau von ÖPV, Car-Sharing und Ride-Pooling führen. Hinsichtlich des ÖPV sind teilweise zudem eine bessere Raumschließung, eine Taktverdichtung sowie eine Erhöhung der Angebots- und Aufenthaltsqualität notwendig.</p> <p>Ebenso kann der ÖPV durch eine Überarbeitung von Entfernungspauschale und Dienstwagenbesteuerung gefördert werden, beispielsweise durch die Umwandlung zu einem Mobilitätsgeld, welches mehr Anreize für umweltfreundliche Verkehrsmittel bietet. Weiterhin soll eine Anpassung der Kfz-Steuer stattfinden und die steuerlichen Vergünstigungen an einen reduzierten Primärrohstoffeinsatz und die Recyclingfähigkeit geknüpft werden.</p>	Vorschlag	Reduktion der Anzahl an privaten PKW, die einen sehr geringen zeitlichen Nutzwert aufweisen
<b>Wiederverwendung von Komponenten fördern</b>	<p>Altbestandteile aus PKWs werden ausgebaut, wiederaufbereitet (geputzt, teilweise mit neuer Software ausgestattet, etc.) und wieder eingebaut. Dies ermöglicht eine Reduktion des Bedarfs an Primärmaterialien. Das Demontagepotenzial wird voll/teilweise ausgeschöpft werden, indem nicht anerkannte Demontage und illegale Exporte verhindert werden. Fortschrittliche Behandlungs- und Verwertungstechniken für Altfahrzeuge werden als „beste verfügbare Technologie“ flächendeckend eingesetzt, um Materialien möglichst lange hochwertig im Kreis halten zu können.</p> <p>Zunächst</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Separationspflichten: Kupferentfrachtung aus Stahlschrott, Sortierung von Aluminiumlegierungen (Knetlegierungen, Fe-/Cu-freier Guss, Fe-/Cu-haltiger Guss)</li> <li>• Pflicht zur Metallentfrachtung aus Schredderrückständen, die nicht ins funktionale/ werkstoffliche Recycling gehen (Bergversatz, Abfallverbrennung, Deponiebau)</li> <li>• Ggf. weiterführende Anforderungen an Demontage und Verwertung großer Kunststoff- und Glasbauteile</li> <li>• Ggf. Festlegung von kreislauffähigen Qualitäten (Maßstab: eingesetztes Primärmaterial) für Recyclingoutput (--&gt; siehe auch HF Metalle))</li> <li>• Finanzielle Entlastung von Reparaturbetrieben und Reparaturdienstleistungen (z.B. Anpassung MwSt, Subventionen)</li> <li>• Recht auf Reparatur einführen (Zugang zu Ersatzteilen, Demontage- und Reparaturanleitungen,</li> </ul>	Vorschlag	Abfallvermeidung

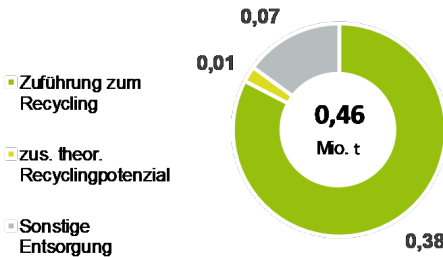
<b>Titel</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Status</b>	<b>Hauptziel</b>
	kostenlose Softwareupdates, Zugang zum Battery Management System (BMS) für Werkstätten		

**Abbildung 6-4 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Altfahrzeuge**

**Aufkommenspotenzial**

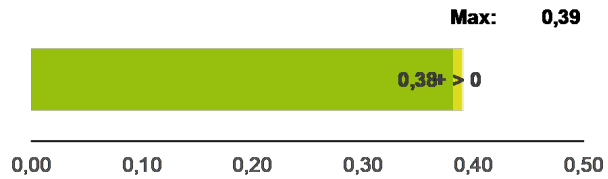
**Gesamtpotenzial (2020)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>0,39 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>0,39 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>83,0 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>85,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**  
in t CO<sub>2</sub>e / t

**qualifizierter Mittelwert**

<b>2020</b>	-1,60 <span style="background-color: #00a0e3; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> -3,21	<b>-2,40 t CO<sub>2</sub>e / t</b>
<b>2030</b>	-2,40 <span style="background-color: #00a0e3; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> -3,21	<b>-2,80 t CO<sub>2</sub>e / t</b>

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-0,91 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-1,09 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-1,09 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-0,18 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

<b>Zugeordnete CRF-Sektoren:</b>	1.A.3 Energie: Transport 1.A.1 Energie: Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung 2.C Industrie: Metallproduktion
----------------------------------	--

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Da ~80% der ausrangierten Altfahrzeuge in Deutschland exportiert werden, entsprechen die Zahlen nur der Menge, die im Inland verwertet wird. Fahrzeugbatterien sind im Gesamtpotenzial enthalten. Seit 2015 ist vorgeschrieben, dass 85 % Masseanteil wiederverwendet oder recycelt werden muss. Dieses 85%-Ziel wurde auch als theoretisch realisierbarer Recyclinganteil verwendet. Das Reduktionspotenzial wird durch eine Recyclingquote von 85% bis 2030 erreicht. Es wurde nur das Recycling



der folgenden Metalle berücksichtigt: Stahl, Aluminium, Gold, Silber, Kupfer, Lithium, Palladium und Kobalt. Die CO<sub>2</sub>-Faktoren geben die Menge an CO<sub>2</sub>e an, die pro Tonne Metall durch Substitution (Primärgewinnung - Sekundärgewinnung) eingespart wird, und sind ein Durchschnittswert der CO<sub>2</sub>-Faktoren für alle zuvor genannten Metalle.

### Handlungsfelder/Kategorien

Die Ausgewählten Maßnahmen umfassen insbesondere die abfallspezifischen Stufen Sammlung und Entsorgung entlang der Wertschöpfungskette sowie Aspekte des Produktdesigns und der Abfallvermeidung. Hierbei werden insbesondere Maßnahmen adressiert, die in die Bereiche Sortier-/Recyclingquoten und Optimierung der Verwertungswege fallen.

### Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich sowohl an die öffentliche Verwaltung, FuE sowie Entsorger. Die öffentliche Verwaltung spielt eine wichtige Rolle bei der Verhinderung des illegalen Exports von Altfahrzeugen, während FuE fortschrittliche Behandlungs- und Verwertungstechnologien für Altfahrzeuge als „beste verfügbare Technologie“ flächendeckend sicherstellen kann, um die Materialien so lange wie möglich in hoher Qualität im Kreislauf halten zu können. Die Entsorger sollen Separationspflichten (z. B. Kupferentfrachtung aus Stahlschrott oder Sortierung von Aluminiumlegierungen) und Anforderungen an Demontage und Recycling erfüllen.

### Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Die Umsetzung der Maßnahmen liegt in der Verantwortung der Produzenten, da bei der Herstellung von Autos auf die Demontage und Sortierung der Komponenten geachtet werden muss, um ihre weitere Aufwertung im Recyclingprozess zu erleichtern. Die Entsorger sind dafür verantwortlich, dass wertvolle Materialien aus dem Abfallstrom dem Recycling zugeführt werden.

### Umsetzungszeitraum

Für die Maßnahme der Erhöhung der EoL-Recyclingquote gibt es bereits eine Vorschrift durch die AltautoV, die seit 2015 vorschreibt, dass 95 % Masseanteil zurückgewonnen bzw. recycelt werden muss. Eine signifikante Steigerung der massenbezogenen Recyclingquote ist daher nicht möglich. Eine Vermeidung des Exports von Gebrauchtfahrzeugen zur Steigerung des Recyclings erscheint nicht ökologisch sinnvoll, da diese noch genutzt werden können. Die Steigerung der EoL-Recyclingrate wird daher im Wesentlichen durch die Vermeidung des illegalen Exports von Altfahrzeugen und der nicht anerkannten Verwertung erreicht.

### Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich der **Altfahrzeuge** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 1,09 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal** rund **0,18 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

- **Hinweis:** Es ist zu beachten, dass mehrere Maßnahmen greifen müssen und der konkrete Klimaschutzeffekt davon abhängt, welche Maßnahmen in welchem Umfang umgesetzt werden.

### 6.3.2. Altholz

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Unter die Regelungen Altholzverordnung (AltholzV) fallen Industrierestholz und Gebrauchtholz, soweit diese Abfälle im Sinne des § 3 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sind. Hierzu zählen die in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung anfallenden Holzreste einschließlich der in Betrieben der Holzwerkstoffindustrie anfallenden Holzwerkstoffreste sowie anfallende Verbundstoffe mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent) sowie gebrauchte Erzeugnisse aus Massivholz, Holzwerkstoffen oder aus Verbundstoffen mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent). In Abhängigkeit von den Schadstoffgehalten erfolgt eine Unterteilung in die Altholzkategorien A I bis A IV. Das Altholzpotezial berücksichtigt Exporte in Höhe von rund 1,4 Mio. t (darunter rund 0,8 Mio. t notifizierungspflichtige Althölzer) und Importe von 1,8 Mio. t.

- **Hinweis:** In der Bilanzierung gibt es stoffstromspezifische Überschneidungen zu Altholzverpackungen.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 030105,150103, 150110\*, 170201, 170603\*, 170204\*, 200138, 191206\*, 200307 (anteilig)

#### Beschreibung der Maßnahmen

Als Ergebnis der Defizitanalyse wurden für den Stoffstrom Altholz neben rahmensetzenden Maßnahmen im Bereich Bauen und Wohnen weitere Maßnahmen ausgewählt, die zur Steigerung des Recyclings von Althölzern beitragen sollen.

**Tabelle 6-2 Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Altholz**

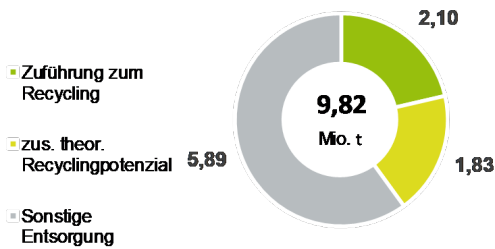
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Verpflichtende Vorbehandlung kommunalen Sperrmülls</b>	Für gemischt erfasste gewerbliche Siedlungsabfälle ist die Sortierung im Rahmen der Gewerbeabfallverordnung bereits gefordert. Eine Pflicht zur Abtrennung von Wertstoffen aus kommunalem Sperrmüll, das heißt zur Behandlung in Sortieranlagen, besteht dagegen nicht. Eine gesetzlich verpflichtende Sortierung des kommunalen Sperrmülls würde Sperrmüll aus privaten und gewerblichen Quellen auf eine Stufe stellen und diese zwei ähnlichen Abfallströme auch den gleichen Pflichten unterwerfen.	Vorschlag	Bessere Nutzung vorhandener Wertstoffe im Sperrmüll
<b>Vorrang stofflicher Verwertung vor energetischer</b>	Aktuelle Überlegungen zur Überarbeitung der Altholzverordnung sollten konsequent umgesetzt werden und ein klarer Vorrang der stofflichen vor der energetischen Verwertung festgeschrieben werden. Andernfalls sind bei erhöhten Ressourcenpreisen im Bereich der Energieerzeugung Verschiebungen aus einer stofflichen hinzu einer energetischen Verwertung auf Grund der gestiegenen Zahlungsbereitschaft nicht zu verhindern. Die Festlegung auf eine Kaskadennutzung aller dafür infrage kommenden Altholzkategorien im Einklang mit den Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes muss aus einer überarbeiteten Altholzverordnung sowie der nationalen Biomasse Strategie erkennbar sein.	in Planung	Langfristige Bindung von Co2 im stofflichen Kreislauf. Planungssicherheit für Betreiber von Anlagen zur stofflichen Verwertung von Altholz.
<b>Vollzug der Gewerbeabfallverordnung</b>	Vollzug der GewAbfV und Prüfung der getrennten Sammlung sowie konsequente Sanktionierung von Verstößen	Vorschlag	Erhöhung der separat erfassten Mengen

### Abbildung 6-5 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Altholz

#### Aufkommenspotenzial

##### Gesamtpotenzial (2020)

in Mio. t



##### Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>2,70 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>3,93 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>21,4 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>40,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

#### CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne

##### Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale

in t CO<sub>2</sub>e / t

Jahr	Bandbreite (t CO <sub>2</sub> e / t)	qualifizierter Mittelwert
2020	-1,50	-0,75 t CO <sub>2</sub> e / t
2030	-1,50	-0,75 t CO <sub>2</sub> e / t

##### Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\*

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-1,58 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-2,03 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-2,95 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-1,37 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

<b>Zugeordnete CRF-Sektoren:</b>	2.H.x Industrie: Sonstige 1.A.3 Energie: Transport
----------------------------------	---

#### Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale

Die Nachfrage nach Altholz ist - nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Energiekrise - steigend. Aufgrund der Schadstoffgehalte ist nicht das gesamte Altholzpotezial für das Recycling und die anschließende stoffliche Verwertung geeignet. Stofflich verwertbar ist Altholz der Kategorie A I sowie anteilig A II. Dies wurde bei der Potenzialbewertung bis 2030 berücksichtigt. Zukünftige technologische Entwicklungen im Bereich der Reinigung können die stofflichen Nutzungsmöglichkeiten erweitern. Im Mittelpunkt steht eine möglichst langfristige Kaskadennutzung. Mengenpotenziale bestehen insbesondere noch in gemischten Fraktionen (Sperrmüll, gemischte Bau- und Abbruchabfälle), die

anteilig jedoch bereits nachsortiert werden. Allerdings kann eine Sortierung bereits an der Anfallstelle zu einer höheren Sortenreinheit und damit Steigerung der stofflichen Nutzbarkeit führen. Dies wurde in den Annahmen für 2030 zugrunde gelegt. Die tatsächliche Mengenentwicklung unterliegt jedoch deutlichen Einflüssen in den Verbrauchermärkten. Zu beachten ist, dass ein Teil des recyclingfähigen Altholzes exportiert wird - die entsprechenden CO<sub>2e</sub> werden bilanziell nicht in Deutschland wirksam.

### Handlungsfelder/Kategorien

Die ausgewählten Maßnahmen zielen auf die abfallrechtliche Einordnung von Holz-Kunststoffpolymeren und die Vorbehandlung von Sperrmüll ab.

### Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an Gesetzgeber, öffentliche Verwaltung sowie die Entsorgungswirtschaft.

### Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber, der Finanzverwaltung, der Industrie, dem Handwerk, den Verbrauchern und den Entsorgern eine bedeutende Rolle zu.

### Umsetzungszeitraum

Die Maßnahmen können kurzfristig bis mittelfristig umgesetzt werden.

### Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich **Altholz** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2e</sub>-Einsparpotenzial** von rund 2,10 Mio. t bis zu rund 3,10 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal** rund **1,50 Mio. t CO<sub>2e</sub>**.

## 6.3.3. Aluminium

### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Aluminiumschrotte fallen in vielen Bereichen an, sei es als Verpackungsmaterial, in Altfahrzeugen und Elektroaltgeräten, als auch im Baubereich. Das Gesamtpotenzial ist noch nicht vollständig erfasst. Die Recyclingraten von Aluminiumschrotten - sofern separat erfasst - in den Hauptanwendungsbereichen sind bereits sehr hoch und liegen teilweise deutlich über 90 %. Technische Herausforderungen bestehen noch beim Recycling von Legierungen mit Aluminiumbestandteilen.

Die dargestellte Recyclingquote bezieht sich auf die im Inland recycelte Menge im Vergleich zum Inlandspotenzial. Nach Deutschland importierte Aluminiumschrotte sind hier nicht berücksichtigt. Exporte in Höhe von 1,25 Mio. t sind in der Recyclingquote ebenfalls nicht berücksichtigt, da detaillierte Daten fehlen. Es ist aber auch hier von einem gewissen Recyclinganteil auszugehen

- **Hinweis:** In der Bilanzierung gibt es stoffstromspezifische Überschneidungen zu Aluminiumverpackungen und Elektroaltgeräten.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 170402, nachfolgende AVV anteilig: 020110, 120103, 120104, 150104, 160118, 170407, 191002, 191203, 200140

**Beschreibung der Maßnahmen**

Für den Stoffstrom Aluminium sind alle Maßnahmen wichtig, die den allgemeinen Konsum, insbesondere bei Fahrzeugen und Neubaumaßnahmen reduzieren, sowie das Recycling von Wertstoffen insgesamt fördern. Hervorzuheben sind Maßnahmen, mit denen das Aufkommen von Verpackungen eingeschränkt wird.

**Tabelle 6-3      Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Aluminium**

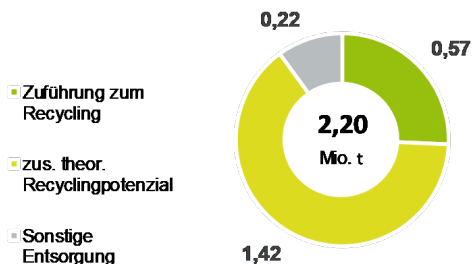
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Optimiertes Produktdesign</b>	Anreize zu einer stärkeren Orientierung an der Prämisse "Design for Recycling". Produkte sollten von Beginn an auch auf ihre spätere Recyclingfähigkeit hin designet und geplant werden. Dies schließt eine verbesserte Demontierbarkeit sowie, soweit möglich, die Vermeidung von Legierungen und Materialverbunden ein.	Vorschlag	Steigerung der Recyclingfähigkeit und erleichterte Kreislaufführung von Metallen
<b>Förderung der Trennung von Metalllegierungen</b>	Zwar sind die Sammelraten bei Aluminium, Kupfer und Stahl in Deutschland hoch, jedoch wird die Gesamtproduktion teilweise aufgrund von langen Produktlebensdauern, unterschiedlicher Legierungen und durch Exporte (v.a. Kupfer in Elektroschrott), nur zu einem Teil aus Altschrotten gedeckt (Al: ca. 50%, Cu: ca. 40%, Stahl: ca. %). Um die Sekundärrohstoffquote zu erhöhen, müssen legierungsspezifische Materialströme mit einer möglichst hohen Trennungstiefe in Bezug auf Begleitelemente voneinander getrennt werden. Dies ist mit den derzeit verfügbaren Sortier- und Trennverfahren nur eingeschränkt möglich.  Eine stärkere legierungsspezifische Trennung aller Metalle (v.a. Alu, Stahl, Kupfer) über die Wertschöpfungsketten sowohl bei Pre- als auch Post-Consumer-Schrotten kann durch Forschungsförderung für neue Trennverfahren und Regularien zur Getrennthaltung (bspw. auch über einen digitalen Produkt-pass) unterstützt werden.	in Umsetzung	Erhöhung der Sekundärrohstoffquote bei Metallen

**Abbildung 6-6 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Aluminium**

**Aufkommenspotenzial**

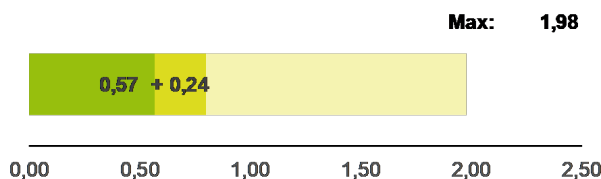
**Gesamtpotenzial (2020)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>0,80 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>1,98 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>25,7 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>90,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**

in t CO<sub>2</sub>e / t

**qualifizierter Mittelwert**

<b>2020</b>	-6,50	-11,10	<b>-9,45 t CO<sub>2</sub>e / t</b>
<b>2030</b>	-6,50	-9,50	<b>-8,50 t CO<sub>2</sub>e / t</b>

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-5,34 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-6,80 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-16,83 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-11,49 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

**Zugeordnete CRF-Sektoren:** 2.C Industrie: Metallproduktion

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Die Annahmen zum Recyclingpotenzial sind orientierend und basieren darauf, dass weitere Potenziale für das Aluminiumrecycling in Deutschland realisiert werden können. Potenziale für das Aluminiumrecycling bestehen insbesondere in der Intensivierung der Getrennterfassung von Elektro- und Elektronikaltgeräten, im aktuell sehr hohen Exportanteil von Aluminiumschrotten, sowie dem Export von außer Betrieb gesetzten Altfahrzeugen. Zwar werden Exporte - sofern es sich um

Aluminiumschrotte direkt handelt - ebenfalls recycelt, jedoch tauchen diese dementsprechend in der deutschen Recyclingrohstoff- und Klimabilanz nicht mehr auf. Allerdings sind hierbei bestehende Kapazitätsengpässe, die eine deutliche Ausweitung des Aluminiumrecyclings in Deutschland erschweren, zu berücksichtigen.

### Handlungsfelder/Kategorien

Die ausgewählten Maßnahmen zielen insbesondere auf reduzierten Konsum, das Design der Produkte, die Wiederverwendung, die Weiterentwicklung von Recyclingverfahren für Aluminium ab.

### Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an Gesetzgeber, Gewerbe und Industrie, die Entsorgungswirtschaft sowie die Konsument\*innen ab.

### Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber, Gewerbe und Industrie, der Entsorgungswirtschaft und den Verbraucher\*innen eine bedeutende Rolle zu.

### Umsetzungszeitraum

Die Maßnahmen können kurzfristig bis mittelfristig umgesetzt werden.

### Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich des **Aluminiums** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 6,80 Mio. t bis zu rund 16,85 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal** rund **11,50 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

## 6.3.4. Batterien

### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Batterien sind aus einer oder mehreren nicht wiederaufladbaren Primärzellen oder aus wiederaufladbaren Sekundärzellen bestehende Quellen elektrischer Energie, die durch unmittelbare Umwandlung chemischer Energie gewonnen wird. Das BattG klassifiziert Batterien nach ihrem Einsatzgebiet und unterscheidet zwischen Geräte-, Fahrzeug- und Industriebatterien. Batterien enthalten kritische Rohstoffe.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: AVV-Gruppe 16 06, 200133\*, 200134

### Beschreibung der Maßnahmen

Aufbauend auf der Analyse von Defiziten und Maßnahmen wurden für den Stoffstrom Batterien Maßnahmen zum Design der Batterien, deren Kapazität, zur Erhöhung der EoL-Recyclingrate und zum Repurposing der Batterien ausgewählt, die zu einer besseren Wiederverwendung von Altbatterien und damit zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen. Hierbei wurden Maßnahmen

berücksichtigt, die sowohl für den gesamten Stoffstrom gelten als auch für die Teilfraktion Pkw-Batterien.

- **Hinweis:** Dabei ist zu beachten, dass es sich um Maßnahmen handelt, die sich an den Recycling- und Reuse-Strategien und nicht an der Suffizienz orientieren, wobei weitere Maßnahmen denkbar sind, wie z. B. die Reduktion der Batteriekapazität oder ein langlebiges Design der Fahrzeugbatterie.

**Tabelle 6-4**      **Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Batterien**

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Reduktion der Batteriekapazität</b>	Die Batteriekapazität wird an typisch gefahrene Distanzen (zwischen Pausen) angepasst, Abdeckung von bspw. 80 % der bisher getätigten Fahrten. Dies erfordert die Akzeptanz der Verbraucher*innen, die die kürzere, aber im Alltag ausreichende Fahrzeugreichweiten in Kauf nehmen. Dies könnte z.B. durch nach Batteriekapazität gestaffelte Förderungen beeinflusst werden.	Vorschlag	geringere Material- und Energiemenge bei der Batterieproduktion
<b>Langlebiges Design der Fahrzeugbatterie</b>	Batterien werden so designt, dass sie für eine sehr lange Nutzungsdauer geeignet sind. Die Nutzungsdauer verlängert sich dadurch um eine bestimmte Zeitspanne abhängig vom Szenario. Instrument zur Umsetzung: Ambitionierte Ökodesign-Anforderungen	Vorschlag	Abfallvermeidung
<b>End of life-Recyclingrate erhöhen</b>	Durch die Verbesserung der Verwertungsquote am Ende der Lebensphase erhöht sich der Anteil der als Schrott verwerteten Materialien aus ausrangierten Produkten. Dieses verstärkte Recycling führt schließlich zu einer Verdrängung von Primärmaterialien durch Sekundärmaterialien. Einige Instrumente, die für die strategische Planung genutzt werden können, sind: * Monitoring der in Verkehr gebrachten Mengen und Typen von Batterien zwecks - Prognose Mengen zu Verwertung und 2nd Life Nutzung (durch Verknüpfung mit Lebensdauerkurven) - Bestimmung notwendiger Verwertungskapazitäten - Planungssicherheit für Recyclinginfrastruktur - Abgleich des theoretischen mit dem tatsächlichen Rücklauf von Alt-Batterien zur Prüfung der Eignung und Weiterentwicklung von Anreizsystemen * Schaffung der notwendigen Datengrundlage für aggregierte Auswertung - Verfügbarkeit von Informationen zu Typen von Batterien in iVg E-Fahrzeugen - Auswertbarkeit/ Verfügbarkeit der Informationen der Batteriepässe (nur dezentral vorgesehen)	in Umsetzung	Abfallvermeidung
<b>Repurpose der PKW-Batterien</b>	PKW-Batterien werden im Anschluss an die Nutzung im PKW als stationäre Energiespeicher verwendet. Dadurch kann über mehrere Jahre ihre Restkapazität genutzt werden und damit die Ressourcen einer ansonsten genutzten Neubatterie eingespart werden. Für Repurposing-Modelle müssen die rechtlichen und organisatorischen Voraussetzungen geschaffen werden: - Festlegung von Anforderungen an die Reparierbarkeit - Zugang zu batteriediagnostischen Daten aus dem Batteriemanagementsystem für Eigentümer und Repurposing-Anbieter - Vorzug für Second-Life-Lösungen in der öffentlichen Beschaffung - Gesetzliche Pflicht zur Prüfung auf Wiederverwendung - Verpflichtende Wiederverwendungsquoten - Vereinheitlichung von Ersatzteilen und Batteriemodulen - Förderung von Stromspeicherlösungen mit Nutzung von Batterien in Zweit- oder Drittnutzung	Vorschlag	Abfallvermeidung

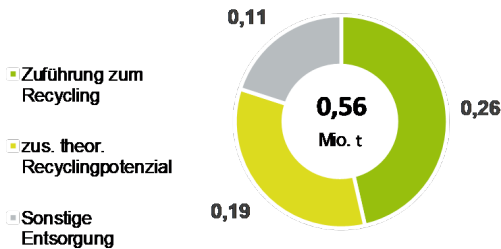


### Abbildung 6-7 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Batterien

#### Aufkommenspotenzial

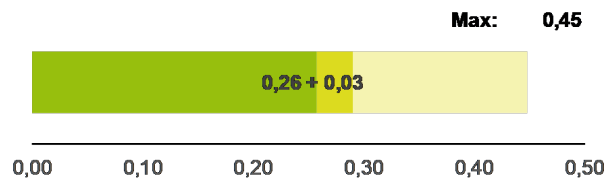
##### Gesamtpotenzial (2020)

in Mio. t



##### Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>0,29 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>0,45 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>46,0 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>80,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

#### CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne

##### Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale

in t CO<sub>2</sub>e / t

##### qualifizierter Mittelwert

<b>2020</b>	-0,50	-3,00	<b>-1,75 t CO<sub>2</sub>e / t</b>
<b>2030</b>	-0,50	-3,00	<b>-1,75 t CO<sub>2</sub>e / t</b>

#### Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\*

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-0,45 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-0,51 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-0,78 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-0,33 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

<b>Zugeordnete CRF-Sektoren:</b>	1.A.3 Energie: Transport
	2.B Industrie: Chemische Industrie
	1.A.1 Energie: Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung

#### Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale

Das Gesamtpotenzial stellt die Menge der verkauften Batterien dar, und die separat erfasste Menge entspricht dem erzeugten Batterie- und Akkumulatorenabfall gemäß Eurostat.

Das Reduktionspotenzial wird durch eine Recyclingquote von 65 % bis 2030 erreicht gemäß den Zielen des ElektroG.

Die CO<sub>2e</sub>-Faktoren beziehen sich auf die CO<sub>2e</sub>-Einsparungen durch das Recycling von Automotive-Batterieschrott.

## Handlungsfelder/Kategorien

Die Ausgewählten Maßnahmen umfassen insbesondere die abfallspezifischen Stufen Sammlung und Entsorgung entlang der Wertschöpfungskette sowie Aspekte des Produktdesigns und der Abfallvermeidung. Hierbei werden insbesondere Maßnahmen adressiert, die in die Bereiche Sortier-/Recyclingquoten und Optimierung der Verwertungswege fallen.

## Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich hauptsächlich an die öffentliche Verwaltung sowie Entsorger. Die öffentliche Verwaltung kann die Voraussetzungen für die Erhöhung der EoL-Recyclingrate verbessern, was zu einer Verdrängung von Primärmaterialien durch Sekundärmaterialien führt. Einige Instrumente, die für die strategische Planung genutzt werden können, sind: Monitoring der Mengen und Typen der in Verkehr gebrachten Batterien und Schaffung der notwendigen Datengrundlage für eine aggregierte Auswertung. Solche Instrumente beinhalten die Beteiligung von Entsorgern.

## Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern eine bedeutende Rolle zu, denn ein geeignetes Sammlungssystem ist eine Voraussetzung, um das Recycling und Repurposing von Batterien zu steigern. Auch der Handel spielt eine wichtige Rolle bei der Rücknahme der EoL-Batterien von Endnutzern. Auch die Endverbraucher müssen Eigenverantwortung bei der sachgerechten Entsorgung ihrer Batterien übernehmen.

Schließlich spielt FuE eine Rolle sowohl bei der Entwicklung von Sortier- und Recyclingtechnologien für diejenigen Batterien, deren chemisches Batteriesystem (z. B. ZnC- oder NiMH-, Li-, Li-Ion-Alt-batterien) im Sortierprozess nicht mehr identifiziert werden kann und die somit keiner geeigneten Recyclinganlage zugeführt werden können, als auch bei der Erforschung weiterer Möglichkeiten für die Wiederverwendung von Pkw-Batterien, die bisher hauptsächlich in stationären Energiespeichersystemen eingesetzt werden.

## Umsetzungszeitraum

Die Maßnahme zur Erhöhung der EoL-Recyclingquote wird bereits umgesetzt. Nach dem Batteriegesetz (BattG) sind alle gesammelten und identifizierbaren Geräte-Alt-batterien zu behandeln und zu recyceln. Industrie- und Fahrzeug-Alt-batterien sind ausnahmslos dem Recycling zuzuführen: Eine energetische Verwertung oder gar Beseitigung (z. B. Deponierung) ist EU-weit nicht erlaubt. Allerdings müssen in der aktuellen Verordnung diejenigen Alt-batterien stärker berücksichtigt werden, deren chemisches Batteriesystem im Sortierprozess nicht mehr identifiziert werden kann und die somit keiner geeigneten Recyclinganlage zugeführt werden können, da diese nur einem minderwertigen Recyclingweg zugeführt werden können. Die andere Maßnahme kann mittelfristig (–fünf bis zehn Jahre) umgesetzt werden.

## Erwartete Einsparungseffekte



Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich der **Batterien** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 0,55 Mio. t bis zu rund 0,8 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche Einsparung** von **maximal** rund **0,3 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

### 6.3.5. Bau- und Abbruchabfälle

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Bei der dargestellten Betrachtung handelt es sich um die **aggregierte Darstellung der betrachteten Einzelstoffströme**. Zum Stoffstrom „Bau- und Abbruchabfälle“ zählen in dieser Betrachtung die Einzelstoffströme

- Beton
- Ziegel
- Boden und Steine
- kunststoffhaltige Baumischabfälle
- organische Dämmstoffe.

Eine detaillierte Darstellung der einzelnen Einsparpotenziale findet sich in den im Anhang angefügten Steckbriefen der Stoffströme.

- **Hinweis:** In der Bilanzierung der kunststoffhaltigen Bauabfälle gibt es stoffstromspezifische Überschneidungen zu Kunststoffen.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 170904, 170604, 170504, 170101, 170107 (anteilig)

#### Beschreibung der Maßnahmen

Im Bereich der Bau- und Abbruchabfälle wurden neben den übergreifenden Maßnahmen nur die Teilströme Beton, Ziegel und Boden und Steine betrachtet sowie zusätzlich die kunststoffhaltige Fraktion der Baumischabfälle und die organischen Dämmstoffe.

Für Beton und Ziegel wurde jeweils eine technische Zusatzmaßnahme identifiziert, wodurch bei Beton Kohlendioxid gebunden und zusätzlich Zement eingespart werden und Ziegel in Form von Brechsand in der Zementindustrie als Klinkersubstitut eingesetzt werden kann. Bei Beton kommt als flankierende Maßnahme die Bevorzugung von R-Beton bei Baumaßnahmen hinzu. Maßnahmen für Boden und Steine betreffen die Investition in eine nasse Aufbereitung, flankiert von Regelungen, welche die Entsorgung und den rechtlichen Status von Bodenaushub adressieren.

Für die kunststoffhaltige Fraktion der Baumischabfälle wurden Maßnahmen zur Bereitstellung und Aufbereitung des Gemisches neben Verbesserungen der Sortier- und Aufbereitungstechnik der Kunststoffe identifiziert. Weiterhin förderlich sind der Verzicht auf Materialmixe und lösbarer Konstruktionsverbunde sowie eine Förderung der Kunststoff-Rezyklate. Bei synthetischen Dämmstoffen sind die Maßnahmen teilweise ähnlich, wobei der sauberen und sortenreinen Bereitstellung eine größere und der zusätzlichen Aufbereitung vor der stofflichen Verwertung eine geringere Rolle zukommt.

**Tabelle 6-5      Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen – Bau- und Abbruchabfälle**

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Weitergehende Aufbereitung und Karbonatisierung Beton</b>	Förderung einer weitergehenden Aufbereitung beim Bauschuttrecycler zur Erhöhung der Anteile der Fraktion <16 mm mit anschließender Karbonatisierung der RC-Gesteinskörnung vor der Weiternutzung im Straßenbau oder R-Beton; mindestens sind die Korngrößen <16 mm mit CO2 zu beaufschlagen. Förderung von Nassklassierung	Vorschlag	Ausbeute Kornklasse 0/16 in Aufbereitung erhöhen und diese karbonatisieren

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Weitergehende Aufbereitung Ziegel</b>	Förderung einer weitergehenden Aufbereitung von Ziegeln zur Abtrennung von Stör- und Fremdstoffen und Vermahlung zu Brechsand für den Einsatz als Hauptbestandteil im Zement, der Zementklinker substituiert. Förderung von Nassklassierung	Vorschlag	Erzeugung Ziegelbrechsand, der als Zementklinkersubstitut in der Zementindustrie eingesetzt werden kann
<b>Abrissgenehmigungen und Bestandserhalt vor Neubau</b>	Um die graue Energie bei Abriss und Neubau zu reduzieren, muss für den Abriss von Gebäuden nachgewiesen werden, dass die Lebenszyklus-Klimabilanz durch Ersatzneubau besser wird als bei bestandserhaltender Sanierung.	Vorschlag	Graue Energie in Gebäuden und Abbruchabfälle verringern/vermeiden
<b>Berücksichtigung von grauer Energie in GEG und BEG</b>	Ordnungsrechtliche Anforderungen an den Ausstoß von Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden bspw. durch verbindliche Quoten für den Einsatz von Recyclingmaterialien im GEG oder der Einsatz von Baumaterialien mit geringen Lebenszyklusemissionen als Bedingung für die Förderung im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). Zusätzliche Förderung von materialeffizienter Bauplanung mit optimierter Statik und geänderter Bauteilgeometrie, bspw. mithilfe von software-aided design zur Reduzierung des Materialbedarfs im Rahmen der BEG.	Vorschlag	Graue Energie in Gebäuden und Abbruchabfälle verringern/vermeiden
<b>Förderung flexibles und modulares Bauen und Wohnraumeffizienz</b>	Die Nutzungsintensität von Gebäuden kann durch eine Förderung von flexiblem Bauen und der baulichen Teilung von Gebäuden bei Sanierungen und ordnungsrechtliche Anforderungen an die Ausweisung von Bauland gefördert werden. Das Ziel solcher Maßnahmen ist es, Gebäude flexibel an die Bedürfnisse der Bewohner*innen anzupassen, z.B. bei Auszug der Kinder oder Änderung anderer Lebensumstände und somit dem Trend zu immer größeren Pro-Kopf-Wohnflächen entgegenzuwirken. Darüber hinaus kann die Wohnraumeffizienz bspw. durch Förderung von Wohnungs(tausch)börsen und gemeinschaftlichem Wohnen unterstützt werden.	Vorschlag	Pro-Kopf-Wohnfläche verringern
<b>Förderung Nutzungsintensivierung Nichtwohnbauwerke</b>	Neu zu errichtende Nichtwohnbauwerke sollten analog zu Wohngebäuden so konzipiert werden, dass sie eine hohe Nutzungsflexibilität erlauben, indem sie einfach umbaubar sind, um an Nutzeranforderungen in der Zukunft angepasst werden zu können. Gleichzeitig sollte die genutzte Fläche möglichst stark ausgelastet sein, so dass die pro-Kopf-Nichtwohnbauwerksfläche abnimmt; zu nennen sind hier das Arbeitsplatz-Sharing in Zeiten von Homeoffice und die Nutzung von wenig genutzten Gebäuden wie Kirchen für weitere Zwecke.	Vorschlag	Einsparung von Gebäudefläche und damit von bereitzustellenden Gebäuden
<b>Recyclingmärkte im Gebäudebereich unterstützen</b>	Um die Entwicklung von Märkten für gebrauchte Gebäudebauteile zu unterstützen, können einerseits Plattformen oder Netzwerke zur Vernetzung von Käufern und Verkäufern unterstützt werden. Andererseits ist die Entwicklung von Qualitätsstandards und Zertifizierungen für gebrauchte Bauteile notwendig. Vor Abbruch sollte zudem auch eine obligatorische Begutachtung auf Wiederverwendbarkeit und entsprechende Entnahme von Gebäudebauteilen und Baustoffen erfolgen. Flankiert werden sollten solche Maßnahmen durch die Förderung von Bewusstsein und Akzeptanz für den Einsatz recycelter oder wiederverwendeter Materialien im Bauwesen. Die Nutzung von Recycling- bzw. Sekundärmaterialien in der öffentlichen Beschaffung schafft eine erste Nachfrage, die helfen kann, Märkte anzuschieben. Die Übernahme der Gewährleistung und Rücknahme durch Hersteller/Verkäufer muss adressiert werden.	Vorschlag	Gewinnung und Nutzung von sortenreinen Sekundärbaustoffen und direkte Wiederverwendung von Baustoffen und Bauteilen erhöhen, Notwendigkeit für Neuherstellung und damit verbundenen TGH-Emissionen verringern
<b>Gebäuderessourcenpass und Materialkatalog</b>	Ein Gebäuderessourcenpass ähnlich dem Energieausweis, wie von der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) vorgeschlagen, ermöglicht die Erfassung von	Vorschlag	Übersicht Materialbestand in Gebäuden, Transparenz zu

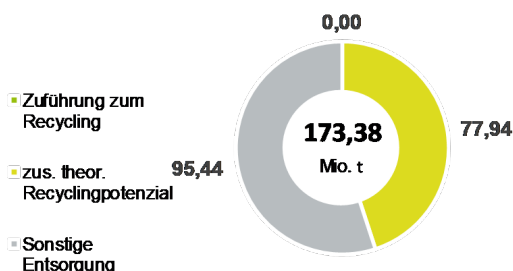
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
	<p>Materialien, Lebenszyklus-Emissionen, Anpassungsfähigkeit und Materialverwertungspotenzial von Gebäuden. Eine Verpflichtung zur Erstellung eines Gebäuderessourcenpasses kann eine Inventur des Materialbestands in Gebäuden auf lokaler und nationaler Ebene ermöglichen und die Erstellung von umfassenden Materialkatastern unterstützen. Solche Materialkataster können die Gewinnung von mehr und hochwertigeren direktrecycelten und Sekundärbaustoffen maßgeblich unterstützen.</p>		<p>grauen Emissionen, Gewinnung von mehr hochwertigen direktrecycelten und Sekundärbaustoffen</p>
<p><b>Aufbereitungstechnik optimieren</b></p>	<p>Optimierung der Aufbereitungstechnik, u.a. Nassklassierung, um optimale Verwertungswege zu ermöglichen; Stand der Technik definieren und umsetzen</p>	<p>Vorschlag</p>	<p>Hochwertige stoffliche Verwertung ermöglichen</p>

### Abbildung 6-8 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Bau- und Abbruchabfälle

#### Aufkommenspotenzial

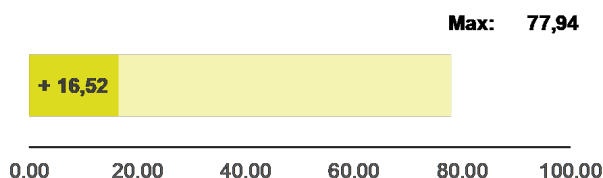
##### Gesamtpotenzial (2020)

in Mio. t



##### Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>16,52 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>77,94 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>0,0 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>45,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

#### CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne

Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale  
in t CO<sub>2</sub>e / t

qualifizierter Mittelwert

<b>2020</b>	<b>-0,01</b> <b>-4,42</b>	<b>-0,13 t CO<sub>2</sub>e / t</b>
<b>2030</b>	<b>-0,01</b> <b>-5,23</b>	<b>-0,12 t CO<sub>2</sub>e / t</b>

#### Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\*

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>0,00 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-1,39 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-9,14 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-9,14 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

<b>Zugeordnete CRF-Sektoren:</b>	2.B Industrie: Chemische Industrie
	2.A Industrie: Mineralverarbeitende Industrie
	2.A.1 Industrie: Zementproduktion
	1.A.1 Energie: Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung
	1.A.2 Energie: Verarbeitendes Gewerbe

#### Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale

Es handelt sich um aggregierte Zahlen der Teilfraktionen. Doppelzählungen und methodische Abgrenzungen der Stoffströme sollten den detaillierten Methodikerläuterungen der einzelnen Stoffströme entnommen werden. Die Zahlen zu realistischen und maximalen Einsparpotenzialen und sind im Zusammenhang der Aggregation nur bedingt aussagekräftig.

## Handlungsfelder/Kategorien

Die übergreifenden Maßnahmen setzen zum einen bei Materialeffizienz über Lebensdauererlängerung und Vermeidung an. Zum anderen adressieren sie das Recycling u. a. über Produktdesign, Märkte, Normung und Förderung in Aufbereitung und Produktion.

Bei den zusätzlich vorgeschlagenen Maßnahmen für Beton und Ziegel ist v. a. die Technikentwicklung bzw. FuE gefragt. Bei Boden und Steinen sind es Förderinstrumente für die Aufbereitung und der Rechtsrahmen. Bei der kunststoffhaltigen Mischfraktion und den Dämmstoffen werden durch die Maßnahmen die Erfassung und Sammlung, Technologie und Aufbereitung, Produktdesign und Markt und bei Dämmstoffen auch die Produktion adressiert.

## Zielgruppen

Bei den übergreifenden Maßnahmen sind die Zielgruppen der vermeidenden Maßnahmen die Konsumenten und die Akteure im Bereich Bauen und Wohnen bzw. die Recyclingmaßnahmen fördernden Entsorger und Produzenten.

Zielgruppen der zusätzlichen Maßnahmen für Beton und Ziegel sind die Entsorger, bei Boden und Steine die Entsorgung bzw. der Konsument. Bei der kunststoffhaltigen Mischfraktion und den Dämmstoffen sind es Entsorger, Produktion und Konsument.

## Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Die übergreifenden Maßnahmen zur Vermeidung werden über den Gesetzgeber und die öffentliche Hand initiiert und durch diese zusammen mit dem Baugewerbe umgesetzt. Für die übergreifenden Maßnahmen zum Recycling sind in die Umsetzung auch Entsorger, Produktion sowie FuE und Haushalte involviert.

Initiatoren für die zusätzlichen Maßnahmen bei Beton und Ziegel sind der Gesetzgeber, das BMWK und die öffentliche Hand, die Umsetzungsverantwortlichen sind Entsorger und Industrie; bei Boden und Steinen ist der Initiator ebenso der Gesetzgeber, Umsetzungsverantwortliche sind Entsorger und Gesetzgeber. Bei der kunststoffhaltigen Mischfraktion und den Dämmstoffen sind die Initiatoren der Gesetzgeber, die öffentliche Hand und das BMWK, Umsetzungsverantwortliche sind Gesetzgeber, öffentliche Hand, Entsorger und die Produktion/Industrie sowie insbesondere bei Dämmstoffen auch das Baugewerbe für sauberen und sortenreinen Rückbau.

## Umsetzungszeitraum

Die meisten übergreifenden Maßnahmen lassen sich kurzfristig umsetzen; nur die den Markt und die technische Optimierung betreffenden haben einen mittelfristigen Zeithorizont.

Der Umsetzungszeitraum für die technischen Maßnahmen bei Beton und Ziegel ist mittelfristig. Bei der kunststoffhaltigen Mischfraktion und den Dämmstoffen ist der Umsetzungszeitraum der Maßnahmen oft kurzfristig, bei technischen Maßnahmen und solchen zur Marktdurchdringung aber mittelfristig.

## Erwartete Einsparungseffekte durch Realisierung des Recyclingpotenzials



Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich der **Bau- und Abbruchabfälle** über alle Teilfraktionen bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von

rund 1,4 Mio. t bis zu rund 9,1 Mio. t (maximal realisierbar). Dabei handelt es sich lediglich um die Realisierung des maximalen Recyclingpotenzials. Weitere THG-Minderungspotenziale auf Grund von Suffizienzwirkungen sind hier noch nicht enthalten.

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal** rund **9,1 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

- **Hinweis:** Die größten Klimaschutzwirkungen sind durch die vermeidenden übergreifenden Maßnahmen zu erwarten, weil dadurch nicht nur Rohstoffe und Materialien substituiert, sondern ganze Bauteile inkl. deren Aufbau eingespart werden.

Die potenzielle Klimaschutzwirkung im Zuge der stofflichen Verwertung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen beschränkt sich im Wesentlichen auf die Einsparungen, die durch die Einführung der zusätzlichen Maßnahmen, die über das konventionelle Recycling hinausgehen, erzielt werden. Ein Großteil der Mengen wird bereits heute dem konventionellen Bauschuttrecycling unterzogen, wodurch nur geringe CO<sub>2</sub>e-Einsparungen erzielt werden. Diese Einsparungen können dann aber regional größer ausfallen, wenn die substituierten mineralischen Primärrohstoffe über eine weitere Distanz transportiert werden müssten. Unabhängig davon muss auch das konventionelle Recycling verbessert werden, um tatsächlich mineralische Rohstoffe zu substituieren. Hohe Recyclingquoten suggerieren diesbezüglich ein falsches Bild, der Abfall wird bis dato noch nicht in so hohem Maße hochwertig genutzt.

Bei der kunststoffhaltigen Mischfraktion und den synthetischen Dämmstoffen besteht die potenzielle Klimaschutzwirkung sowohl in der Substitution von Primärkunststoffen als auch der Vermeidung einer Verbrennung der erdölbasierten Kunststoffabfälle.

### 6.3.6. Bioabfall

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Als Bioabfälle (Biogut) privater Haushalte werden mittels Biotonne getrennt erfasste Nahrungs- und Küchenabfälle sowie Gartenabfälle aus privaten Haushalten bezeichnet. Sie sind anteilig auch noch im Hausmüll enthalten.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 170904, 170604, 170504, 170101, 170107 (anteilig)

#### Beschreibung der Maßnahmen

Für diesen Stoffstrom wurden **Maßnahmen definiert**, die zu einer besseren Abschöpfung der Bioabfälle aus insbesondere dem Restmüll sowie einer verbesserten Kaskadennutzung der Bioabfälle und damit zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>e-Emissionen führen können. Die bessere Abschöpfung wird über Benutzungszwang, verbesserte Sammlung und qualitätsverbessernde Maßnahmen erreicht. Die Kaskadennutzung kann sowohl über eine optimierte Vergärung als auch über eine optimierte Nutzung der Gärreste erfolgen.



**Tabelle 6-6      Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Bioabfall**

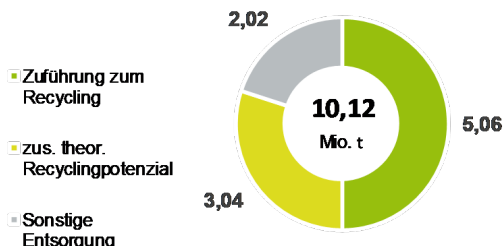
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Vermeidung Lebensmittelabfälle beim Verbraucher</b>	Vermeidung von Lebensmittelabfällen beim Verbraucher: - Bildung an Schulen und außerschulischen Lernorten fördern: höhere Wertschätzung für Lebensmittel - Foodsharing stärken unter Einbindung von Kommunen und Lebensmittelbehörden, Basiskompetenzen für Foodsharing unterrichten (Zusammenarbeit mit Bildungseinrichtungen), Kommunikation zu Möglichkeiten des Foodsharings, Aufklärung der Nutzer bezüglich Recht und Hygiene, Synergieeffekte verschiedener Weitergabesysteme nutzen	Vorschlag	Abfallvermeidung beim Verbraucher
<b>Erhöhung getrennt erfasste Bioabfallmenge in Haushalten</b>	Erhöhung der getrennt erfassten Mengen in Haushalten: - Anschluss- und Benutzungszwang Biotonne - Jedes bebaute Grundstück wird ausnahmslos an das System Biotonne angeschlossen (auch bei Eigenkompostierung) - System Biotonne kostenfrei ausgestalten, ergänzt um Beistellsäcke (Papier), die im örtlichen Handel gegen Obolus erworben werden können - Mindestens 14-tägige Sammlung - Öffentlichkeitsarbeit: Abfallberater mit proaktiver / offensiver Beratung gerade in schwierigen Strukturen (bspw. Geschosswohnungsbau) und Umweltbildung in Schulen / Kindergärten	Vorschlag	Erhöhung der separat erfassten Bioabfälle und Reduktion des Restabfallaufkommens
<b>Optimierte Verwertung von Bioabfällen</b>	Optimierte Verwertung von Bioabfällen: - Gesamten Abfallstrom vergären und nicht nur kompostieren - Optimierung der Vergärungsausbeute: kontinuierliches Verfahren im Vollstrom bei ausreichenden Verweilzeiten für hohe spezifische Gasausbeuten - Emissionsminderung nach Stand der Technik in Vergärung und Nachrotte: Gasdichte Lagerung des flüssigen Gärrestes mit Zuführung des entstehenden Gases zum BHKW; geschlossene Ausführung der Aerobisierung mit Behandlung der Abluft über sauren Wäscher - Biogasnutzung: Aufbereitung zu Bioerdgas und Einspeisung ins Erdgasnetz sowie Nutzung des dabei abgetrennten Kohlendioxids bspw. zur Karbonatisierung von RC-Gesteinskörnung - Herstellung von qualitätsgesichertem, zertifiziertem kompostierten Gärrest für die Biolandwirtschaft	in Umsetzung	(Steigerung der CO <sub>2</sub> -Einsparung durch) bessere Verwertung etablieren sowie Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen bei der Aufbereitung

**Abbildung 6-9 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Bioabfall**

**Aufkommenspotenzial**

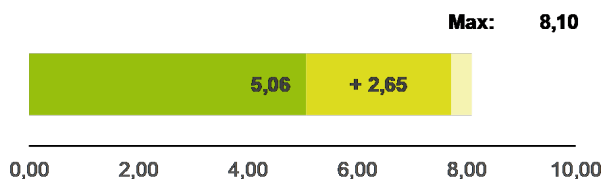
**Gesamtpotenzial (2020)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>7,71 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>8,10 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>50,0 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>80,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**

in t CO<sub>2</sub>e / t

**qualifizierter Mittelwert**

<b>2020</b>	0,13		-0,09	<b>0,10 t CO<sub>2</sub>e / t</b>
<b>2030</b>	0,11		-0,16	<b>-0,02 t CO<sub>2</sub>e / t</b>

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>0,48 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-0,12 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-0,13 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-0,61 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

<b>Zugeordnete CRF-Sektoren:</b>	3.B Landwirtschaft: Düngewirtschaft 1.A.1 Energie: Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung
----------------------------------	--

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Es wird davon ausgegangen, dass zukünftig 80 % des Gesamtpotenzials gehoben werden kann und damit ein Teil aus der Restmülltonne abgezogen wird. Als Optimierung wird zum einen eine Optimierung des Emissionsniveaus von Kompostierung und Vergärung von derzeit durchschnittlichen Emissionen auf die minimalen Emissionen aus dem derzeitigen Schwankungsbereich angesetzt. Bei

Vergärung wird weiterhin eine Optimierung der Gasausbeute, der BHKW-Wirkungsgrade sowie der Wärmenutzungsgrade bzw. eine Aufbereitung zu Biomethan mit Einspeisung ins Erdgasnetz unterstellt, nachdem die zur Deckung des Wärmebedarfs der Biogasanlage benötigte Biogasmenge in einem Kessel verfeuert wurde. Zum anderen wird als Optimierung zusätzlich eine Veränderung in der Aufteilung von Kompostierung und Vergärung von derzeit 44 % hin zu 100 % Vergärung unterstellt. Bis 2030 wird davon ausgegangen, dass 70 % des Gesamtpotenzials gehoben werden kann. Dabei wird davon ausgegangen, dass die zusätzlich über die Biotonne gehobene Bioabfallmenge in neuen optimierten Anlagen vergoren wird und der alte Biotonnenanteil noch in durchschnittlichen Anlagen behandelt wird.

### **Handlungsfelder/Kategorien**

Die ausgewählten Maßnahmen zu Bioabfällen aus der Biotonne umfassen insbesondere die abfall-spezifischen Stufen Sammlung und Entsorgung entlang der Wertschöpfungskette. Hierbei werden insbesondere Maßnahmen adressiert, die in die Bereiche Erfassungsstrukturen sowie Technologie-entwicklung und Optimierung der Verwertungswege sowie Umweltbildung und Öffentlichkeitsarbeit fallen. Darüber hinaus sind auch Normen bzw. Standards anzupassen. Die Maßnahmen zum Teilbereich Lebensmittel- und Marktabfälle umfassen hauptsächlich die Abfallvermeidung, Umweltbildung und daneben auch den Rechtsrahmen und die Sortierung/Aufbereitung. Die adressierten Maßnahmen fallen daher zusätzlich in die Bereiche Beschaffung, Sharing, Produktdesign und Zusammenarbeit Akteure.

### **Zielgruppen**

Die ausgewählten Maßnahmen für den Bioabfall aus der Biotonne richten sich an die Konsumenten (bessere Abschöpfung der Mengenpotenziale) und Entsorger (Optimierung). Die Maßnahmen zum Teilbereich Lebensmittel- und Marktabfälle richten sich an Konsumenten (Vermeidung beim Verbraucher), Handel (Marktabfälle), Erzeuger (Produktion) und Entsorger (Optimierung).

### **Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche**

Bei der Initiierung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber und der öffentlichen Hand eine bedeutende Rolle zu, weil Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen bzw. die gesteigerte Abschöpfung über eine qualitativ hochwertige Sammlung in der Biotonne sichergestellt werden muss.

Die Umsetzung der Maßnahmen obliegt bei den Maßnahmen für den Bioabfall aus der Biotonne im Bereich der Abschöpfung v. a. den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern, Haushalten sowie Entsorgern und dem Gesetzgeber, im Bereich der verbesserten Kaskadennutzung bei Entsorgern und dem Gesetzgeber. Die Umsetzung der Maßnahmen aus dem Teilbereich Lebensmittel- und Marktabfälle muss durch Handel (Marktabfälle), Produzenten, den Gesetzgeber, die öffentliche Hand und Entsorger (Optimierung) erfolgen.

### **Umsetzungszeitraum**

Bei den Maßnahmen zur Kaskadennutzung handelt es sich um solche, die bereits in der Umsetzung sind, die jedoch weiter ambitioniert vorangetrieben werden müssen. Weitere Maßnahmen können kurzfristig, innerhalb von fünf Jahren, umgesetzt werden, während zwei (Teil-)Maßnahmen eher mittelfristig (fünf bis zehn Jahre) angelegt sind, da diese eher mittelfristig wirkende Umweltbildung, technische Optimierungen oder die Bildung von Netzwerken erfordern.

## Erwartete Einsparungseffekte

i

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir bei den **Bioabfällen** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 0,12 Mio. t bis zu rund 0,13 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal rund 0,61 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

- **Hinweis:** Durch die Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen können im Falle von nicht vermeidbaren Bioabfällen neben zusätzlichen Recyclingpotenzialen über die Biotonne insbesondere die CO<sub>2</sub>e-Emissionen reduziert werden. Die Maßnahmen zielen teilweise auf eine erhöhte Abschöpfung und teilweise auf eine Optimierung der Verwertung ab. Es bedarf der Kombination verschiedener Maßnahmen, um die Einsparpotenziale in Teilen bis vollumfänglich zu heben. Durch die Vermeidung von Lebensmittel- und Marktabfällen lassen sich die bedeutendsten Klimaschutzwirkungen erschließen, weil dadurch deren Produktionslasten in Gänze eingespart werden können, wohingegen durch die Verwertung von Abfallströmen nur deren verbleibende wertgebende Eigenschaften genutzt werden können.

### 6.3.7. Elektro- und Elektronik-Altgeräte

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Der Begriff „Elektro- und Elektronik-Altgeräte“ bezeichnet Elektro- und Elektronikgeräte, die im Sinne des Artikels 3 Absatz 1 der Richtlinie 2008/98/EG als Abfall gelten, einschließlich aller Bauteile, Unterbaugruppen und Verbrauchsmaterialien, die zum Zeitpunkt der Entledigung Teil des Produkts sind. Unter diesem Begriff werden Leuchtmittel, Weiße Ware und IKT-Geräte geführt. Die Untergruppe 'IKT-Geräte' umfasst: Bildschirme und kleine IT- und Kommunikationsgeräte, gemäß der Definition des EWRN (European WEEE Registers Network).

- **Hinweis:** In der Bilanzierung gibt es stoffstromspezifische Überschneidungen zu Fe-Metallen, Aluminium, Kupfer und Kunststoffen

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 160213, 160214 (anteilig), 160211\* (anteilig), 160214 (anteilig), 200121\*

#### Beschreibung der Maßnahmen

Für den Stoffstrom Elektro- und Elektronik-Altgeräte werden Maßnahmen definiert, die zu einer höheren Wiederverwendung von alten Elektrogeräten sowie zum Recycling ihrer wertvollen Materialien führen und damit zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen. Hierbei wurden sowohl Maßnahmen berücksichtigt, die für den Stoffstrom insgesamt gelten, als auch Maßnahmen, die spezifischer auf Teilfraktionen wie IKT-Geräte, weiße Ware und Leuchtmittel zielen. Dabei ist zu beachten, dass es sich um Maßnahmen handelt, die sich an den Recycling- und Reuse-Strategien und nicht an der Suffizienz orientieren, wobei weitere Maßnahmen in Betracht zu ziehen sind, wie z. B. Lebens- und Nutzungsverlängerung von Geräten, Materialeinsparungen bei der Produktion oder Beleuchtung als Dienstleistung.

**Tabelle 6-7      Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen – Elektro- und Elektronik-Altgeräte**

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Recyclinggerechte Konstruktion</b>	Mindeststandards für recyclinggerechte Konstruktion der Geräte im ElektroG umsetzen (z.B. Demontierbarkeit, Verwendung möglichst reiner Stoffe und möglichst gut recyclebarer Materialien, geringer Materialaufwand, Einsatz von Sekundärmaterialien). Dies kann z.B. mit der Einführung eines Recycling-Labels (wie im aktuellen Koalitionsvertrag erwähnt) einhergehen. Idealerweise werden die Mindeststandards auf EU-Ebene im Rahmen der ESPR reguliert.	Vorschlag	Bessere Rückgewinnung von Rohstoffen und dadurch geringere Ressourcen- und Energieverbrauch in der Neuproduktion.
<b>Pfandsystem für Elektronik- und Elektro-Altgeräte</b>	Ein Pfandsystem für Elektronik- und Elektro-Altgeräte sowie Batterien (wie jetzt schon bei Fahrzeugbatterien) kann helfen, die Sammelquote für Altgeräte des ElektroG zu erfüllen. Die Vorgabe von 65% ab 2019 (nach WEEE-Richtlinie) wurde im Berichtsjahr 2020 mit 44,1% weit untertroffen [BMUV 2020]. Die Sammelquote für Gerätebatterien lag im Jahr 2020 bei 45,6%.	Vorschlag	Erhöhung der Sammelquote von ressourcenintensiven und potenziell umweltschädlichen Altgeräten und Batterien
<b>Lebens- und Nutzungsdauerverlängerung von Geräten</b>	Die Maßnahme besteht aus 3 Submaßnahmen: (1) Langlebiges und reparaturfreundliches Design, (2) Vermehrte Nutzung von Second-Hand-Geräten, und (3) Product-as-a-Service (Mietmodell). Die momentanen Lebens- und Nutzungsdauern sind kürzer, als sie es sein könnten. Daher müssen Maßnahmen ergriffen werden, die es für Verbraucher*innen möglich und attraktiv machen, Geräte möglichst lange zu nutzen und ggf. zu reparieren. Dazu können gehören: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ökodesign-Mindeststandards umsetzen (Mindestlebensdaueranforderungen, Recht auf Reparatur, verpflichtender Haltbarkeits- und Reparierbarkeitsindex)</li> <li>- Stärkung von Verbraucherrechten (Gewährleistung, Beweislast, Garantien)</li> <li>- Fiskalische Anreize (Reduzierung oder Befreiung von der MwSt für Reparaturen, Reparaturdienstleistungen, Second-Hand- und Remanufacturing-Unternehmen; Subventionen für Personalkosten, Reparaturmaterialien, Miete etc.; Steuergutschriften für Verbraucher*innen bei Reparaturen)</li> <li>- Erweiterte Herstellerverantwortung (EPR) mit Ökomodulation in das ElektroG aufnehmen</li> <li>- Nutzungen intensivieren durch Förderung von Produce-as-a-Service-Modellen</li> <li>- Lange Nutzung von IKT-Geräten in der öffentlichen Verwaltung</li> </ul>	Vorschlag	Abfallvermeidung bei Verbraucher
<b>Remanufacturing</b>	Das Remanufacturing bezieht sich auf die (Wieder-) Verwendung von Komponenten für die Herstellung neuwertiger Produkte. Um das Remanufacturing zu steigern, müssen Instrumente wie die erweiterte Herstellerverantwortung und die Förderung von neuen Sammelstrukturen (durch staatliche Finanzierung und ordnungsrechtliche Vorgaben) eingeführt werden. Beispiele von Sammelstrukturen sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pfandsysteme,</li> <li>- Sammlung in kleinen Containern/ Gitterboxen,</li> <li>- Bonus-Malus-System für „gut“ oder „schlecht“ gesammelte Container,</li> <li>- Verpflichtung für Handel für Großgeräteücknahme,</li> <li>- Verpflichtende Sammelquoten für Hersteller &amp; Inverkehrbringer, inkl. Handel/ Online-Handel,</li> <li>- Sammlungsermächtigung im ElektroG,</li> <li>- Stärkung des kommunalen Vollzugs,</li> <li>- Staatlich organisiertes Rücknahmesystem wie in der Schweiz</li> </ul>	Vorschlag	Abfallvermeidung

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Erhöhte Rückgewinnung von Rohstoffen aus den Endgeräten</b>	<p>Die Maßnahme bezieht sich auf die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen für den Einsatz bei der Herstellung neuer Produkte. Diese wird durch erweiterte Herstellerverantwortung und bessere Sammlung und Verwertung von Endgeräten erreicht.</p> <p>Beispiele von Instrumenten für die Förderung von Recyclingverfahren und Anlagen zur Rückgewinnung von kritischen Rohstoffen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Staatliche Finanzierung und Anschubfinanzierung für Forschung &amp; Entwicklung sowie für Pilotanlagen und Prozesse zur Rückgewinnung kritischer Rohstoffe.</li> <li>- Stärkung Export-Import-Kontrolle sowie der heimischen Industrie, sodass erzeugte Sekundärmaterialien im nationalen bzw. europäischen Markt verbleiben.</li> <li>- Hochwertige Behandlung von Elektroaltgeräten (Festlegung Anforderungen für Demontage, Entwicklung von Audits und Zertifizierungssysteme für Anlagen)</li> </ul>	Vorschlag	Abfallvermeidung
<b>Ressourceneffiziente Nutzung von Rechenzentren</b>	<p>Durch die Konsolidierung und Virtualisierung der IT-Infrastruktur sowie durch die Vermeidung der Überdimensionierung bei Gebäudeinfrastruktur wie z. B. Kühlung lassen sich neben Energie auch Materialien einsparen.</p> <p>Folgende Instrumente können dazu zur ressourceneffizienten Nutzung von Rechenzentren beitragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bessere Auslastung von Rechenzentren: Planung von neuen Rechenzentren am tatsächlichen Bedarf orientieren</li> <li>- Entwicklung von Monitoring-Instrumenten zur Überwachung der Elektroschrottmengen von Rechenzentren und dem Sicherstellen von ordnungsgemäßem Recycling (oder Wiederverwendung wo möglich)</li> <li>- Mindestanforderungen bei öffentliche Ausschreibungen von Rechenzentrumsdienstleistungen und -infrastruktur (z.B. Zertifizierung nach Blauer Engel)</li> <li>- Transparenzpflichten für digitale Dienstleistungen hinsichtlich des ökologischen Fußabdruckes</li> <li>- Energieeffizienzregister für Rechenzentren, das auch Cloud-Dienste miteinbezieht</li> </ul>	Vorschlag	reduzierter Energieverbrauch
<b>Steigerung der Sammelquote</b>	<p>Erhöhung der Menge an Altlampen die durch dafür gedachte Sammelstellen gesammelt werden (nicht Hausmüll). Derart gesammelte Lampen können einfach einer Verwertung zugeführt werden.</p> <p>Sammelstrukturen werden durch staatliche Finanzierung und ordnungsrechtliche Vorgaben gefördert.</p> <p>Beispiele von Sammelstrukturen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pfandsysteme,</li> <li>- Sammlung in kleinen Containern/ Gitterboxen,</li> <li>- Bonus-Malus-System für „gut“ oder „schlecht“ gesammelte Container,</li> <li>- Verpflichtung für Handel für Großgeräterücknahme,</li> <li>- Verpflichtende Sammelquoten für Hersteller &amp; Inverkehrbringer, inkl. Handel/ Online-Handel,</li> <li>- Sammlungsermächtigung im ElektroG,</li> <li>- Stärkung des kommunalen Vollzugs,</li> <li>- Staatlich organisiertes Rücknahmesystem wie in der Schweiz</li> </ul> <p>Die Verpflichtung zur individuellen oder kollektiven Herstellerrücknahme könnte im ElektroG verankert werden.</p>	in Umsetzung	Abfallvermeidung
<b>Verzicht auf Deko-Lampen</b>	<p>Die Nachfrage nach Deko-Lampen (d.h. Lampen in Leuchten, die nur dekorative Zwecke erfüllen und nicht für eine ausreichende Raumbelichtung erforderlich sind) wird verringert. Im Bereich der öffentlichen Beschaffung können Vorgaben zum Verzicht auf Deko-Lampen umgesetzt werden.</p>	Vorschlag	Abfallvermeidung
<b>Reduktion von Leuchten ohne austauschbare Leuchtmittel</b>	<p>Der Anteil an Leuchten, bei denen nicht austauschbare Leuchtmittel (also Lampen) verbaut sind, wird durch verändertes Design reduziert. Dadurch können kaputte Lampen leichter gesammelt und wiederverwertet werden. Hierzu</p>	Vorschlag	Abfallvermeidung

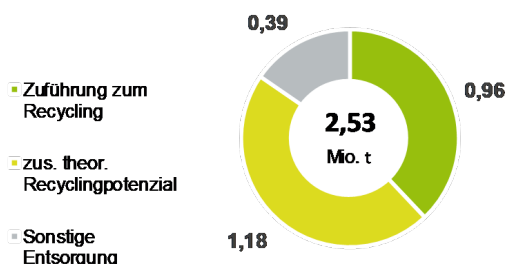
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Langlebiges Lampendesign</b>	<p>können Vorgaben im Rahmen von Ökodesign-Verordnungen gemacht werden.</p> <p>Durch verbessertes Design und Verwendung von hochwertigen Materialien wird die Lebensdauer von LED-Lampen weiter erhöht. Dies kann z.B. durch ambitioniertere Ökodesign-Richtlinien erreicht werden. Hier können bestehende Kriterien verschärft und neue Kriterien aufgenommen werden. Bestehende Ausnahmen von der Ökodesign-Richtlinie sollten auf Aktualität geprüft werden (z.B. Bühnen-/Signalleuchten). Insbesondere sollten umgesetzt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Überarbeitung geltender Lebensdauernanforderungen</li> <li>- Verpflichtende Standardisierung von Komponenten und Schnittstellen für einfache Reparatur und Austausch von Leuchtmitteln</li> <li>- Aufnahme von Kriterien der Langlebigkeit bei öffentlichen Ausschreibungen (Reparaturfähigkeit, Lebensdauer, Modularität, Effizienz)</li> </ul>	Vorschlag	Abfallvermeidung
<b>Beleuchtung als Dienstleistung</b>	<p>Die Bereitstellung von Beleuchtung als Dienstleistung gewinnt an Bedeutung und der Markt dafür wächst. Dadurch werden im gewerblichen Bereich höherwertige und langlebige Lampen verbaut und die genutzten Lampen werden zu einem höheren Anteil gesammelt und wiederverwertet. Ein möglicher Ansatzpunkt zur Regulierung ist das Festlegen von zirkulären Kriterien für die Ausschreibung öffentlicher Contracting-Verträge.</p>	Vorschlag	Steigerung der Sammlung und Wiederverwendung von Lampen

**Abbildung 6-10 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Elektro- und Elektronik-Altgeräte**

**Aufkommenspotenzial**

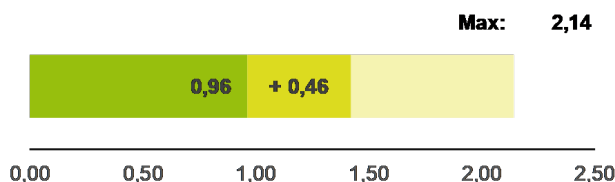
**Gesamtpotenzial (2020)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>1,42 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>2,14 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>37,9 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>84,6 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**

in t CO<sub>2</sub>e / t

**qualifizierter Mittelwert**

Jahr	Min	Max	Mittelwert
2020	-1,80	-3,60	-2,12 t CO <sub>2</sub> e / t
2030	-1,80	-3,60	-2,12 t CO <sub>2</sub> e / t

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-2,07 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-3,02 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-4,54 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-2,47 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

<b>Zugeordnete CRF-Sektoren:</b>	1.A.2 Energie: Verarbeitendes Gewerbe
	1.A.1 Energie: Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Es handelt sich in der obigen Darstellung um **aggregierte Zahlen der Teilstoffströme**. Doppelzählungen und methodische Abgrenzungen der Stoffströme sollten den detaillierten Methodikerläuterungen der einzelnen Stoffströme entnommen werden. Die Zahlen zu realistischen und maximalen Einsparpotenzialen und sind im Zusammenhang der Aggregation nur bedingt aussagekräftig.



**Hinweis:** Die detaillierten Darstellungen der aggregierten Stoffströme finden sich im Anhang des Dokuments

### **Handlungsfelder/Kategorien**

Die ausgewählten Maßnahmen umfassen insbesondere die abfallspezifischen Stufen Sammlung und Entsorgung entlang der Wertschöpfungskette, aber auch Aspekte des Produktdesigns und der Abfallvermeidung. Hierbei werden insbesondere Maßnahmen adressiert, die in die Bereiche Sortier-/Recyclingquoten und Optimierung der Verwertungswege fallen.

### **Zielgruppen**

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an Gesetzgeber, öffentliche Verwaltung, FuE sowie Entsorger. Der Gesetzgeber muss die Verantwortung der einzelnen Hersteller stärken, z. B. durch die Festlegung verbindlicher Ziele für die Sammlung, Wiederverwendung und Verwertung auf der Ebene der Hersteller/Inverkehrbringer.

Der Gesetzgeber muss die Nichteinhaltung entsprechend sanktionieren, Fördermittel für neue Sammelstrukturen bereitstellen und die Export-Import-Kontrolle stärken, sodass erzeugte Sekundärmaterialien im nationalen bzw. europäischen Markt verbleiben.

### **Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche**

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber und den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern eine bedeutende Rolle zu, weil bessere Sammelstrukturen geschaffen werden müssen, z. B. Pfandsysteme, Verpflichtung des Handels zur Großgeräterücknahme, verpflichtende Sammelquoten für Hersteller und Inverkehrbringer inkl. Handel und Onlinehandel, und ein staatlich organisiertes Rücknahmesystem wie in der Schweiz.

Der Handel spielt eine wichtige Rolle bei der Rücknahme der Elektro- und Elektronik-Altgeräte von Endnutzern. Natürlich müssen auch die Endverbraucher Eigenverantwortung bei der sachgerechten Entsorgung ihrer Elektro- und Elektronik-Altgeräte übernehmen.

FuE ist entscheidend für die Entwicklung von Pilotanlagen und Verfahren zur Rückgewinnung (umwelt-)kritischer Rohstoffe sowie für die Entwicklung von Alternativen für Materialien, die derzeit schwer zu recyceln sind.

### **Umsetzungszeitraum**

Die meisten der ausgewählten Maßnahmen werden bereits durch das ElektroG umgesetzt. Nach dem Gesetz müssen alle gesammelten und zurückgenommenen Altgeräte einer zertifizierten Erstbehandlungsanlage zugeführt werden. Dort werden die Altgeräte oder einzelne Komponenten entweder für die Wiederverwendung aufbereitet (wenn sie dafür geeignet sind) oder in Bauteile und Materialfraktionen zerlegt, sodass sie verwertet werden können (Recycling oder energetische Verwertung). Die Behandlung muss nach bestimmten Anforderungen erfolgen, die in einer eigenen Verordnung – Elektro- und Elektronik-Altgeräte Behandlungsverordnung (EAG-BehandV) – festgelegt sind. Außerdem ist eine Überarbeitung des ElektroG für 2024 geplant. Eines der Ziele dieser Novellierung ist die Erhöhung der Sammelmengen von Altgeräten.

Trotz der oben genannten Vorschriften muss ihre Umsetzung jedoch verstärkt und wiederhergestellt werden, was kurz- oder mittelfristig erreicht werden kann.

## Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich der **Elektro- und Elektronikaltgeräte** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 3 Mio. t bis zu rund 4,5 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal** rund **2,5 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

- **Hinweis:** Es ist zu beachten, dass mehrere Maßnahmen greifen müssen und der konkrete Klimaschutzeffekt davon abhängt, welche Maßnahmen in welchem Umfang umgesetzt werden.

### 6.3.8. Fe-Metalle

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Bei Eisen- und Stahlabfälle ist zwischen sog. Neu- und Altschrotten zu unterscheiden. Neuschrotte sind Produktionsabfälle der eisen- und stahlerzeugenden bzw. -verarbeitenden Industrie, während Altschrotte am Ende des Produktlebenszyklus von Stahl- und Eisenprodukten anfallen. Diese fallen zu etwa drei Viertel in Industrie, Gewerbe und Baubereich an. Der Eigenanfall in Stahlwerken und Gießereien sowie Direktanlieferungen von großen Mengen an die Stahlwerke und Gießereien wird **nicht** über die Abfallstatistik (Input in Abfallentsorgungsanlagen) erfasst. Das Inlandspotenzial kann mit mindestens 25,0 Mio. t/2020 geschätzt werden, wovon 8,6 Mio. t exportiert wurden. Der Importanteil belief sich auf nahezu 4,0 Mio. t. Da der größte Teil, der in Deutschland endgültig außer Betrieb gesetzten Fahrzeuge exportiert (etwa 2,5 Mio. Fahrzeuge) wird, kann das Inlandspotenzial an Fe-Metallen deutlich höher angenommen werden. Im Inland wurden rund 19,8 Mio. t eingesetzt.

- **Hinweis:** In der Bilanzierung gibt es stoffstromspezifische Überschneidungen zu Metallverpackungen und Elektroaltgeräten.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 100210, 101206, 120101, 120102,160117, 170405, 190102, 191001, 191202, 020110 (anteilig),150104 (anteilig),170407 (anteilig), 200140 (anteilig)

#### Beschreibung der Maßnahmen

Für den Stoffstrom Fe-Metalle sind alle Maßnahmen relevant, die allgemein den Konsum, insbesondere bei Fahrzeugen und Neubaumaßnahmen reduzieren sowie das Recycling von Wertstoffen insgesamt fördern. Speziell gilt das auch für Maßnahmen, mit denen das Aufkommen von Verpackungen eingeschränkt wird. Ausgewählt wurden in erster Linie Maßnahmen, die zur Reduktion des Fe-Metalleinsatzes und zur Steigerung der Erfassung und des Recyclings von Fe-Metallen beitragen sollen.

**Tabelle 6-8**      **Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen – Fe-Metalle**

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Einführung eines digitalen Produktpasses</b>	Ein digitaler Produktpass soll Informationen wie Herkunft, Materialzusammensetzung (insbesondere zu Kunststoffarten und Metalllegierungen), Herstellungsverfahren, Umweltauswirkungen, Wartungs- und Reparaturhinweise und Recyclingmöglichkeiten enthalten. Zur Einführung ist eine Standardisierung durch den Gesetzgeber oder branchenübergreifende Organisationen notwendig. Zusätzlich können Labels für den Rezyklatanteil und die Recyclingfähigkeit von	Vorschlag	Schaffung von Transparenz zu Umweltauswirkungen von Produkten und Verbesserung der Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit

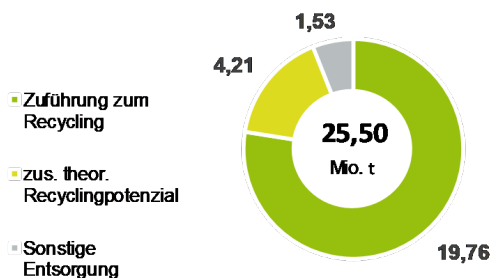
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Förderung der Trennung von Metallegierungen</b>	<p>Produkten und Verpackungen, die sich auf die Angaben im Produktpass beziehen, Transparenz für Verbraucher schaffen.</p> <p>Zwar sind die Sammelraten bei Aluminium, Kupfer und Stahl in Deutschland hoch, jedoch wird die Gesamtproduktion teilweise aufgrund von langen Produktlebensdauern, unterschiedlicher Legierungen und durch Exporte (v.a. Kupfer in Elektroschrott), nur zu einem Teil aus Altschrotten gedeckt (Al: ca. 50%, Cu: ca. 40%, Stahl: ca. %). Um die Sekundärrohstoffquote zu erhöhen, müssen legierungsspezifische Materialströme mit einer möglichst hohen Trennungstiefe in Bezug auf Begleitelemente voneinander getrennt werden. Dies ist mit den derzeit verfügbaren Sortier- und Trennverfahren nur eingeschränkt möglich. Eine stärkere legierungsspezifische Trennung aller Metalle (v.a. Alu, Stahl, Kupfer) über die Wertschöpfungsketten sowohl bei Pre- als auch Post-Consumer-Schrotten kann durch Forschungsförderung für neue Trennverfahren und Regularien zur Getrennthaltung (bspw. auch über einen digitalen Produktpass) unterstützt werden.</p>	in Umsetzung	Erhöhung der Sekundärrohstoffquote bei Metallen

Abbildung 6-11 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Fe-Metalle

**Aufkommenspotenzial**

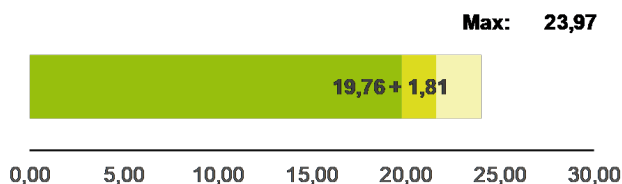
**Gesamtpotenzial (2020)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>21,57 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>23,97 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>77,5 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>94,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**  
in t CO<sub>2</sub>e / t

**qualifizierter Mittelwert**

<b>2020</b>	-1,27 <span style="background-color: #00AEEF; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> -1,67	<b>-1,31 t CO<sub>2</sub>e / t</b>
<b>2030</b>	-1,32 <span style="background-color: #00AEEF; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> -1,70	<b>-1,39 t CO<sub>2</sub>e / t</b>

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-25,89 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-29,99 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-33,32 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-7,43 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

**Zugeordnete CRF-Sektoren:** 2.C Industrie: Metallproduktion

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Durch den Wiedereinsatz von Fe-Metallen können CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum Abbau, der Aufbereitung und des damit verbundenen Energieeinsatzes für Primärrohstoffe vermieden werden. Das Einsparpotenzial unterscheidet sich aufgrund der spezifischen Anwendungsfälle. So können durch den Einsatz einer Tonne (Kohlenstoff-) Stahlschrott 1,67 t CO<sub>2</sub>e bei der Rohstahlproduktion eingespart werden.

Bei den Mengenangaben wird insbesondere davon ausgegangen, dass sich der Anteil des Altfahrzeugrecyclings aufgrund der notwendigen Rückgewinnung seltener Metalle schrittweise erhöht. Der Exportanteil von Schrotten wird auf einem ähnlichen Niveau verbleiben, da die Einsatzmöglichkeiten in Deutschland durch den überwiegenden Anteil des Oxygenstahlverfahrens begrenzt sind.

### Handlungsfelder/Kategorien

Die ausgewählten Maßnahmen zielen insbesondere auf reduzierten Konsum, das Design der Produkte, die Wiederverwendung, die Weiterentwicklung von Recyclingverfahren für Fe-Metalle ab.

### Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an Gesetzgeber, Gewerbe und Industrie, die Entsorgungswirtschaft sowie die Konsument\*innen ab.

### Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber, Gewerbe und Industrie, der Entsorgungswirtschaft und den Verbraucher\*innen eine bedeutende Rolle zu.

### Umsetzungszeitraum

Die Maßnahmen können kurzfristig bis mittelfristig umgesetzt werden.

### Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich der **Fe-Metalle** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 30,00 Mio. t bis zu rund 33,30 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal** rund **7,45 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

## 6.3.9. Glas

### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Glasabfälle stammen vorrangig aus dem Siedlungsabfallbereich (Behälterglas), aber auch von Bau- und Abbruchabfällen, aus industriellen Herkunftsbereichen sowie der Altautoverwertung (v.a. Flachglas und sonstiges Glas). Für Flachglas gibt es kein flächendeckendes Sammelsystem. Je nach Qualität wird das aufbereitete Glas zur Herstellung von neuem Flachglas eingesetzt oder zum Teil in der Behälterglasindustrie sowie zur Herstellung u. a. von Dämmwolle verwendet. Es bestehen aber Potenziale beim Recycling von Flachglasabfällen aus dem Baubereich.

- **Hinweis:** In der Bilanzierung gibt es stoffstromspezifische Überschneidungen zu Glasverpackungen und Altfahrzeugen

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 101111, 101112, 150107,160120,170202, 191205, 200102, 160104 (anteilig)

## Beschreibung der Maßnahmen

Auf den Stoffstrom Glas sind auch alle Maßnahmen indirekt zutreffend, die allgemein den Konsum und Neubaumaßnahmen reduzieren und das Recycling von Wertstoffen insgesamt fördern. Speziell gilt das auch für Maßnahmen, mit denen das Aufkommen von Verpackungen eingeschränkt wird. Für den Stoffstrom Glas wurden Maßnahmen definiert, die zur Steigerung der Erfassung und des Recyclings von Glas beitragen sollen.

**Tabelle 6-9      Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Glas**

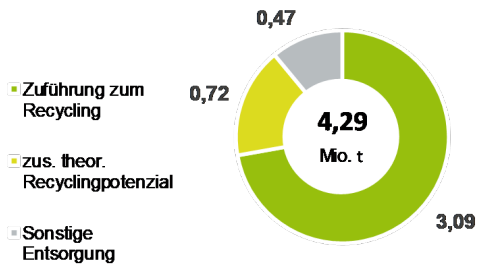
<b>Titel</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Status</b>	<b>Hauptziel</b>
<b>Aufbau einer Sammellogistik für Flachglas</b>	Um die Abwanderung von Flachglasscherben in andere Anwendungen zu verhindern, bedarf es dem Ausbau einer Sortenspezifischen Sammellogistik. Zur Reduktion daraus resultierender Kosten kann auf Baustellen sortenrein in Containern gesammeltes Flachglas gebündelt abgeholt werden. Somit erhöhen sich die Mengen, die im Rahmen einer Tour abgeholt werden können. Eine zentrale Informationsplattform kann die Planung der Abholtermine optimieren. Vorgaben zur getrennten Erfassung bestehen im Rahmen der GewAbfV bereits.	Vorschlag	Steigerung der für ein hochwertiges Recycling vorhandenen Mengen an sortenreinem Glas
<b>Verbesserte Aufbereitung von Flach- und Spezialglas</b>	Um die Einsatzquote von Recyclingglas bei Flach- und Spezialgläsern zu erhöhen, bedarf es auf Grund der deutlich höheren Anforderungen gegenüber Behältergläsern einer Optimierung der Sortier- und Aufbereitungstechnik.	Vorschlag	Steigerung der für ein hochwertiges Recycling vorhandenen Mengen an sortenreinem Glas
<b>Schulungsmaßnahmen bei Rückbauunternehmen</b>	Um die Fachgerechte Entsorgung verschiedener Materialströme während des Rückbaus zu sichern, muss eine hinreichende Aufklärung über die Auswirkungen von Fremdstoffen auf die Recyclingfähigkeit gewährleistet sein. So sind beim Flachglasrecycling bereits Verunreinigungen von 0,05% ein Ausscheidokriterium. Die Vermittlung von Kenntnissen hierüber sollte durch Schulungen sichergestellt werden.	Vorschlag	Steigerung der für ein hochwertiges Recycling vorhandenen Mengen an sortenreinem Glas

### Abbildung 6-12 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Glas

#### Aufkommenspotenzial

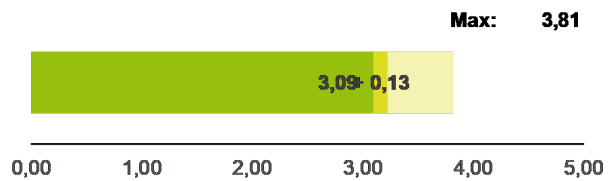
##### Gesamtpotenzial (2020)

in Mio. t



##### Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>3,23 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>3,81 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>72,2 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>89,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

#### CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne

##### Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale

in t CO<sub>2</sub>e / t

Jahr	Bandbreite (t CO <sub>2</sub> e / t)	qualifizierter Mittelwert
2020	-0,42 bis -0,47	-0,45 t CO <sub>2</sub> e / t
2030	-0,42 bis -0,47	-0,45 t CO <sub>2</sub> e / t

##### Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\*

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-1,39 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-1,45 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-1,72 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-0,32 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

**Zugeordnete CRF-Sektoren:** 2.A.3 Industrie: Glasindustrie

#### Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale

Es bestehen hohe Anforderungen an die Reinheit von Flachglasscherben, daher werden in der Produktion pre-consumer oder Eigenschcerben, post-consumer-Scherben vorgezogen. Es wird davon ausgegangen, dass durch eine konsequente Umsetzung der GewabfV in Zukunft eine Sammelinfrastuktur zur sortenreinen Sammlung von post-consumer-Scherben aus dem Rückbau etabliert wird. Darüber hinaus wird analog zum Behälterglas ein Sortier- und Aufbereitungslogistik aufgebaut, die eine ausreichende Qualität der Sekundärmaterialien gewährleisten kann.

### Handlungsfelder/Kategorien

Die ausgewählten Maßnahmen zielen auf Verbesserung der Erfassung insbesondere im Gewerbe und die Technologieentwicklung beim Glasrecycling, speziell der Aufbereitung von Flach- und Spezialglas ab.

### Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an Gesetzgeber, öffentliche Verwaltung sowie Gewerbe, Entsorgungswirtschaft und Industrie, insbesondere die Bau- und Abbruchindustrie ab.

### Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber, der öffentlichen Verwaltung, den Unternehmen sowie der Entsorgungswirtschaft eine bedeutende Rolle zu.

### Umsetzungszeitraum

Die Maßnahmen können kurzfristig bis mittelfristig umgesetzt werden.

### Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich (Flach-)Glas bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 1,55 Mio. t bis zu rund 1,95 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal** rund **0,55 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

## 6.3.10. Grünabfälle

### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Bei Grünabfällen (Grüngut) handelt es sich um getrennt erfasste Gartenabfälle aus privaten Haushalten, die nicht mittels Biotonne eingesammelt werden. Sie sind anteilig auch noch im Hausmüll (200301) enthalten. Unter dem AVV 200201 werden auch Garten- und Parkabfälle aus der kommunalen Pflege erfasst. Diese werden als separater Stoffstrom behandelt.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 200201 (anteilig), 200301 (anteilig)

### Beschreibung der Maßnahmen

Die nachfolgenden Maßnahmen umfassen einerseits die Erschließung bislang nicht gehobener Mengen, indem räumlich und zeitlich gut erreichbare Sammelstellen eingerichtet und andere Entsorgungswege regulatorisch sowie über Bildungs- und Aufklärungsmaßnahmen ausgeschlossen bzw. minimiert werden. Andererseits wird die stoffliche Verwertung technisch und output-seitig optimiert, sodass die damit verbundenen Lasten sinken und gleichzeitig Produkte erzeugt werden, die mit einem höheren CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial verbunden sind. Dazu gehört neben technischen Optimierungsmaßnahmen auch die Einrichtung von Verkaufsstellen des Komposts, Aufklärung und Bildung.



**Tabelle 6-10      Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Grünabfälle**

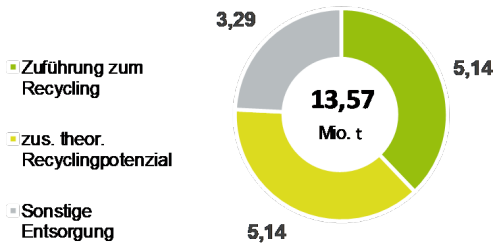
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Optimierung der Erfassungsstrukturen</b>	Erhöhung der erfassten Mengen über die Optimierung der Erfassungsstrukturen: Dezentrale Grüngut-sammelplätze, in kleinen Distanzen erreichbar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- In Stadtquartieren über frei zugängliche Container mit Brücken</li> <li>- Ansonsten klassische, frei zugängliche Sammelplätze mit Scout zur Begutachtung des Platzes</li> <li>- Kleingartenvereine mit Containern ausstatten, die auch der angrenzenden Wohnbebauung zur Verfügung stehen</li> </ul>	Vorschlag	Erhöhung der separat erfassten Grünabfälle und Reduktion des Restabfallaufkommens
<b>Sammelgebot bislang nicht erfasster Grünabfälle</b>	Erhöhung der erfassten Mengen über ein Sammelgebot bislang nicht erfasster Grünabfälle: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kommunale Satzungen / Verordnung auf Länderebene - Gartenabfälle / Grüngut / Landschaftspflegematerial dürfen grundsätzlich nicht verbrannt werden</li> <li>- Kein Mulchen von kommunalen Beeten, Grünflächen oder Straßenrändern bzw. Häckseln und Verblasen der Massen auf den Grünflächen, sondern Erfassung und Abtransport zur Verwertung</li> </ul>	Vorschlag	Erhöhung der separat erfassten Grünabfälle und Reduktion des Restabfallaufkommens
<b>Optimierte Verwertung von Grüngut</b>	Optimierte Verwertung von Grüngut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundsätzlich stoffliche Verwertung durchführen (energetisch nur bei entsprechendem Krankheitsbefall oder für Holz / Astschnitt sowie für Presslinge aus Herbstlaub); Abtrennung krautigen Anteil für Vergärung (zusammen mit Bioabfällen); für den Rest getrennte Kompostierung (ohne nährstoffreichen Bioabfall) mit der Produktion von nährstoffarmem Grüngut-Fertigkompost</li> <li>- Optimierung der Kompostierung: Keine Tafelmieten, sondern Dreiecks- oder Trapezmieten mit größerer spezifischer Oberfläche; Umsetzintervalle einhalten, keine Vernässung (Überdachung), für ausreichende Belüftung sorgen, ggf. Strukturmaterial nutzen; Klassierung des produzierten Komposts</li> <li>- Verarbeitung der Komposte zu Erden und Pflanzsubstraten – inkl. Güteüberwachung und Zertifizierung</li> <li>- Verarbeitung eines Teils der Grünabfälle über Pyrolyse und Aktivierung auch zu biogener Aktivkohle, um fossile Aktivkohle zu substituieren</li> </ul>	Vorschlag	(Steigerung der CO2-Einsparung durch) bessere Nutzung etablieren sowie Reduktion der CO2-Emissionen bei der Aufbereitung

**Abbildung 6-13 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Grünabfälle**

**Aufkommenspotenzial**

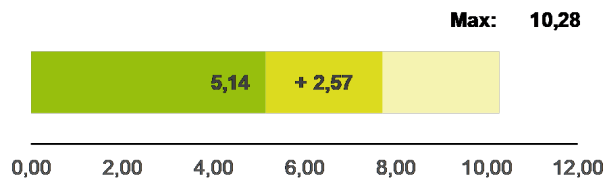
**Gesamtpotenzial (2020)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>7,71 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>10,28 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>37,9 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>75,8 %</b>

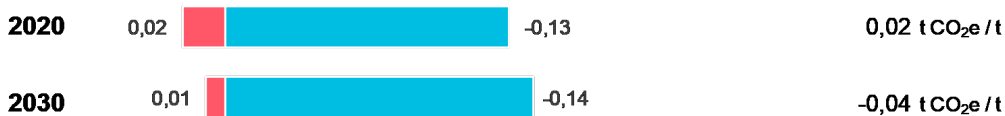
\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**

in t CO<sub>2</sub>e / t

**qualifizierter Mittelwert**



**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>0,10 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-0,32 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-0,42 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-0,52 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

**Zugeordnete CRF-Sektoren:** 3.B Landwirtschaft: Düngewirtschaft

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Es wird davon ausgegangen, dass zukünftig 80 % des Gesamtpotenzials (inkl. Biotonnenanteil, der aber in der Biotonne verbleibt) gehoben werden kann, so dass derzeit noch in der Restmülltonne, v.a. aber bislang nicht gesammeltes Grüngut in die separate Sammlung gelenkt werden. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass derzeit und zukünftig (optimiert) die gesamte separat gesammelte Menge kompostiert wird. Als Optimierung wird eine Senkung des Emissionsniveaus von derzeit durchschnittlichen Emissionen auf die minimalen Emissionen aus dem derzeitigen

Schwankungsbereich angesetzt. Weiterhin wird eine Verschiebung im Anwendungsbereich der Komposte vom derzeitigen Anwendungsmix hin zu 100 % Nutzung im Bereich Substrate und Erden unterstellt. Dadurch wird Torf substituiert, so dass die erzielten Einsparungen im Treibhauseffekt größer ausfallen. Bis 2030 wird angenommen, dass 50 % der hebbaren Menge des Gesamtpotenzials (80 %) gehoben werden kann. Für diese zusätzliche Grünabfallmenge wird die Kompostierung in optimierten Anlagen mit Anwendung zu 100 % im Bereich Substrate und Erden unterstellt.

### Handlungsfelder/Kategorien

Die Maßnahmen adressieren zur **Erhöhung der erfassten Mengen** einerseits die Bereiche Erfassungsstrukturen, Sammlung und Transport sowie den Bereich Normen, Regelungen und Umweltbildung. Andererseits wird die **Optimierung der Verwertung** über die Handlungsfelder Sortierung/Aufbereitung und Kennzeichnung der Kompostprodukte inkl. Umweltbildung adressiert.

### Zielgruppen

Adressaten sind bezüglich der Mengensteigerung die **Konsumenten** sowie die **öffentliche Verwaltung**. Die Optimierung der Verwertung ist hingegen von den **Entsorgern** vorzunehmen, wohingegen die Bewerbung der Produkte wiederum die Konsumenten betrifft.

### Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Die Bereitstellung der Sammelinfrastruktur muss durch die **öffentliche Hand** initiiert und durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sowie Entsorger umgesetzt werden. Der Ausschluss anderer Entsorgungswege muss durch den Gesetzgeber und die öffentliche Hand initiiert und u. a. durch Haushalte, den Gesetzgeber und die öffentliche Hand umgesetzt werden.

### Umsetzungszeitraum

Die Maßnahmen sind vielfach Vorschläge. Dies schließt nicht aus, dass in manchen Regionen schon erste technische Optimierungen der Systeme erfolgen. Ihre Umsetzung kann kurz- bis mittelfristig erfolgen, wobei der Aufbau von Sammelstrukturen und technische Optimierungen eher mittelfristig anzusiedeln sind, Regelungen sowie Öffentlichkeitsarbeit hingegen kurzfristig wirken können.

### Erwartete Einsparungseffekte



Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich der **Grünabfälle** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 0,30 Mio. t bis zu rund 0,45 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche Einsparung** von **maximal rund 0,55 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

- Hinweis: Durch die Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen können einerseits die Recyclingpotenziale erhöht und andererseits die mit der stofflichen Verwertung verbundenen CO<sub>2</sub>e-Emissionen reduziert und die CO<sub>2</sub>e-Einsparungen vergrößert werden. Die Maßnahmen zahlen jeweils auf einen dieser beiden Aspekte ein. Es bedarf der Kombination verschiedener Maßnahmen, um die Einsparpotenziale in Teilen bis vollumfänglich zu heben.

### 6.3.11. Kunststoffe

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Kunststoffe fallen in vielen Bereichen des Lebens an. Die Lebens- und Gebrauchsdauer unterscheidet sich dabei deutlich von kurzlebigen Produkten insbesondere im Verpackungsbereich (Anteil am Abfallaufkommen ca. 60 %) bis hin zu langlebigen Produkten insbesondere im Baubereich (Anteil ca. 10 %), Darüber hinaus sind Kunststoffabfälle auch in Produkten enthalten, die nach der Nutzungsdauer in Deutschland zur weiteren Nutzung exportiert werden (Altfahrzeuge). Des Weiteren fallen Kunststoffe auch in Produktionsprozessen an.

- **Hinweis:** In der Bilanzierung gibt es stoffstromspezifische Überschneidungen zu Kunststoffverpackungen, Elektroaltgeräten sowie kunststoffhaltigen Bau- und Abbruchabfällen.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 020104, 070213, 120105, 150102, 150105 (anteilig), 150106 (anteilig), 160106 (anteilig), 160119, 170203, 170904 (anteilig), 191204, 200139,

#### Beschreibung der Maßnahmen

Für den Stoffstrom Kunststoffe sind auch alle Maßnahmen relevant, die allgemein den Konsum betreffen, zu einem geringeren Umfang von Neubaumaßnahmen führen und das Recycling von Wertstoffen insgesamt fördern (*hierzu Kapitel 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3*). Dies gilt auch für die Maßnahmen, mit denen das Aufkommen an Verpackungen 6.3.15 einschränkt wird.

Aufbauend auf der Defizitanalyse wurden für den Stoffstrom Kunststoffe Maßnahmen ausgewählt, die in erster Linie zur Reduktion des Kunststoffverbrauchs und zur Steigerung der Erfassung und der Verbesserung des Recyclings von Kunststoffen beitragen sollen.

**Tabelle 6-11 Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Kunststoffe**

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Marktdurchdringung erhöhen</b>	Labeln von Produkten aus sekundären Rohstoffen und den Sekundärrohstoffanteil zu einem Kriterium von Zertifizierungen machen und dies auch bei Ausschreibung / Vergabe vorschreiben, um deren Marktdurchdringung zu erhöhen	Vorschlag	Stoffliche Verwertung von Kunststoffen fördern
<b>Sekundärrohstoffe fördern</b>	Beseitigungsmöglichkeiten verteuern, Sekundärrohstoffe fördern oder Primärrohstoffe besteuern	Vorschlag	Stoffliche Verwertung von Kunststoffen fördern
<b>Marktdurchdringung von Kunststoffzyklen erhöhen</b>	Nachfrage nach Kunststoffzyklen / Marktdurchdringung erhöhen, indem Produkte mit hohen Recyclingquoten im Rohstoff über Labelling, Marketing oder diesbezügliche Anforderungen in der Ausschreibung / Vergabe sowie über Zertifizierungssysteme gefördert werden - Verarbeitung eines Teils der Grünabfälle über Pyrolyse und Aktivierung auch zu biogener Aktivkohle, um fossile Aktivkohle zu substituieren	Vorschlag	Nachfrage nach Sekundärrohstoffen erhöhen
<b>Verbesserung der Kunststoff-Aufbereitung</b>	Verbesserung der Kunststoff-Aufbereitung: Wäsche, Kombination von Laser- und Flakesortierung nach Farbe sowie Windsichtung; Umsetzung / Einsatz der Technologien muss in die Breite gehen	Vorschlag	Bessere Verwertung etablieren
<b>Verbesserung der Kunststoff-Sortier-technik</b>	Verbesserung der Kunststoff-Sortier-technik: Einsatz weiterer Detektoren, die auch intransparente Kunststoffe sortieren können und die Sortierung in weitere Kunststoffarten erlauben (verschiedene PE-Arten, PET-Arten); zusätzlich vorgeschaltete Sortierung nach Form	Vorschlag	Bessere Verwertung etablieren

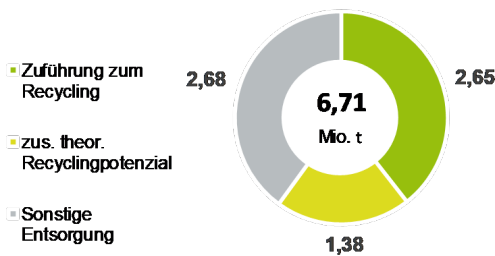
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>GewAbfV für Kunststoffe und Baumaterialien umsetzen</b>	Erfassung im Gemisch, aber zwingend Vorbehandlung mit Überwachung von Sortier- und Recyclingquoten entsprechend GewAbfV	Vorschlag	Bessere Verwertung etablieren

**Abbildung 6-14 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Kunststoffe**

**Aufkommenspotenzial**

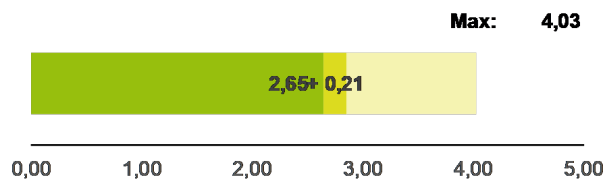
**Gesamtpotenzial (2021)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2021</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>2,85 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>4,03 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>39,4 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>60,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**  
in t CO<sub>2</sub>e / t

**qualifizierter Mittelwert**

<b>2020</b>	-1,00	-4,50	<b>-2,30 t CO<sub>2</sub>e / t</b>
<b>2030</b>	-1,40	-5,00	<b>-3,00 t CO<sub>2</sub>e / t</b>

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-6,09 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-8,56 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-12,08 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-5,99 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

**Zugeordnete CRF-Sektoren:** 2.B Industrie: Chemische Industrie

## Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale

Die bundesweit anfallenden Kunststoffabfälle sind in Bezug auf die verwendeten Kunststoffarten sehr heterogen zusammengesetzt. So entfallen rund 28,5 % auf PE, 12,5 % auf PVC, 24 % auf PP und PS, 9,3 % auf PET und die verbleibenden 25,7 % auf sonstige Kunststoffarten. Diese Differenzierung spiegelt sich auch in einer deutlichen Bandbreite der CO<sub>2e</sub> Faktoren wider. Im Rahmen dieser Studie wurden aus den nach Hauptgruppen ermittelten CO<sub>2</sub> Faktoren zunächst Mittelwerte je Hauptkunststoffart abgeleitet und diese bezogen auf den Aufkommensanteil gewichtet. Die angegebenen CO<sub>2e</sub>-Faktoren stellen somit eine orientierende Größe in Summe über alle Kunststoffarten dar.

Potenziale für eine Steigerung der Erfassungsmengen ergeben sich im Altfahrzeugbereich, da derzeit der größte Teil, der in Deutschland endgültig außer Betrieb gesetzten Fahrzeuge noch exportiert wird. Da sich bis 2030 der Kunststoffanteil in Fahrzeugen erhöhen wird, würde das Potenzial hier weiter steigen.

### Handlungsfelder/Kategorien

Die ausgewählten Maßnahmen zielen insbesondere auf das Design der Produkte, die Verbesserung der Erfassung, den Ausbau und die Weiterentwicklung von Sortierung, Aufbereitung und Recyclingverfahren für Kunststoffabfälle sowie die Verbesserung der Marktbedingungen für den Einsatz von Rezyklaten ab.

### Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an Gesetzgeber, Gewerbe und Industrie sowie die Entsorgungswirtschaft.

### Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber, dem Gewerbe und Industrie sowie der Entsorgungswirtschaft eine bedeutende Rolle zu.

### Umsetzungszeitraum

Die beschriebenen Maßnahmen können kurzfristig bis mittelfristig umgesetzt werden.

### Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich der **Kunststoffe** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2e</sub>-Einsparpotenzial** von rund 9,20 Mio. t bis zu rund 13,10 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal rund 6,50 Mio. t CO<sub>2e</sub>**.

### 6.3.12. Kupfer

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Kupferschrotte fallen in relevantem Umfang insbesondere im Baubereich sowie bei Elektroaltgeräten und Altfahrzeugen an. Aufgrund der speziellen Einsatzbereiche ist Kupfer teilweise über viele Jahre gebunden, beispielsweise im Baubereich. Grundsätzlich lässt sich Kupfer ohne Qualitätsverlust wieder recyceln, allerdings erfordern stärker verunreinigte Schrotte einen höhere Aufbereitungsaufwand.

- **Hinweis:** In der Bilanzierung gibt es stoffstromspezifische Überschneidungen zu Elektroaltgeräten und Altfahrzeugen.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 110205, 110206, 170401, 150104, 020110, 120103, 120104, 160118, 160215, 160216, 170407, 170411, 191002, 191203, 200140, 160104, 160106, 160211, 160213, 160214, 200301, 200307, 170904, 200135

#### Beschreibung der Maßnahmen

Für den Stoffstrom Kupfer sind viele Maßnahmen von Bedeutung, die allgemein den Konsum, insbesondere bei Fahrzeugen, Elektrogeräten und Neubauten reduzieren sowie das Recycling von Wertstoffen insgesamt fördern. Speziell gilt das auch für Maßnahmen, die auf die Vermeidung im Bereich von Elektrogeräten oder auch das Sharing oder Leasing hinwirken.

**Tabelle 6-12**      **Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Kupfer**

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Verminderung von Kupferverlusten an den Stahlkreislauf</b>	<p>Im Sortierprozess der verschiedenen Metallfraktionen gehen kontinuierlich kleine Mengen Kupfer mit der Stahlfraktion in den falschen Kreislauf verloren. Im Stahlkreislauf ist das Kupfer nicht abzutrennen und reichert sich an, gleichzeitig sind die Verluste durch die Größe des Stahlkreislaufes in ihrer Menge relevant für Kupfer. Zur Bearbeitung des Themas müssen die Akteure der zwei Industrien zusammengebracht werden. Darüber hinaus sind zwei Ansätze denkbar:</p> <p>Die Sortierleistung kann erhöht werden, sodass die Verlustmenge geringer wird. Dieser Mehraufwand im Sortierprozess muss für die Akteure attraktiv gemacht und belohnt werden.</p> <p>Außerdem könnten gezielte Anpassungen im Produktdesign angestrebt werden, um Materialvermischung zu vermeiden und die Trennung zwischen Kupfer und Stahl zu vereinfachen.</p>	Vorschlag	Steigerung der Sekundärrohstoffpotenziale
<b>Förderung der Trennung von Metalllegierungen</b>	<p>Zwar sind die Sammelraten bei Aluminium, Kupfer und Stahl in Deutschland hoch, jedoch wird die Gesamtproduktion teilweise aufgrund von langen Produktlebensdauern, unterschiedlicher Legierungen und durch Exporte (v.a. Kupfer in Elektroschrott), nur zu einem Teil aus Altschrotten gedeckt (Al: ca. 50%, Cu: ca. 40%, Stahl: ca. %). Um die Sekundärrohstoffquote zu erhöhen, müssen legierungsspezifische Materialströme mit einer möglichst hohen Trennungstiefe in Bezug auf Begleitelemente voneinander getrennt werden. Dies ist mit den derzeit verfügbaren Sortier- und Trennverfahren nur eingeschränkt möglich.</p>	in Umsetzung	Erhöhung der Sekundärrohstoffquote bei Metallen

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Erweiterung von Recyclingkapazitäten</b>	<p>Eine stärkere legierungsspezifische Trennung aller Metalle (v.a. Alu, Stahl, Kupfer) über die Wertschöpfungsketten sowohl bei Pre- als auch Post-Consumer-Schrotten kann durch Forschungsförderung für neue Trennverfahren und Regularien zur Getrennthaltung (bspw. auch über einen digitalen Produktpass) unterstützt werden.</p> <p>Eine Erhöhung der Kapazitäten in Deutschland und dem EU-Raum für die Aufbereitung und Erzeugung von Sekundärrohstoffen sowie beschleunigte und vereinfachte Genehmigungsverfahren sind notwendig, um die Erzeugung von Sekundärrohstoffen auf EU-Gebiet zu ermöglichen. Dazu bedarf es einer staatlichen Förderung oder der Setzung expliziter Anreize für Investitionen zum Ausbau der Kapazitäten und Recyclinginfrastrukturen.</p> <p>Dabei ist der Ausbau inländischer Recyclingtechnologien nicht allein als technische Frage zu sehen, sondern sollte vor allem auch als eine wirtschaftliche Frage betrachtet werden, da es für den Einsatz der Recyclingtechnologien kompetenter Betreiber bedarf, die in der Lage sind, die Anlagen auch wirtschaftlich zu betreiben.</p> <p>Auch die Anerkennung der energetischen, klima- und ressourcenpolitischen sowie ökologischen Vorteile von Recycling in Deutschland oder der EU (z.B. durch Ausnahmen oder Belohnungen in der Klima- oder Energiegesetzgebung) sowie die Unterstützung einer gezielten Vermarktung dieser Vorteile (z.B. durch Zertifizierungsmöglichkeiten oder Label) könnte ein Anreiz zur Steigerung von Kapazitäten setzen.</p>	Vorschlag	Steigerung der Kapazitäten

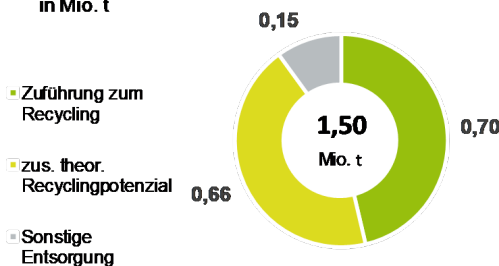


Abbildung 6-15 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Kupfer

**Aufkommenspotenzial**

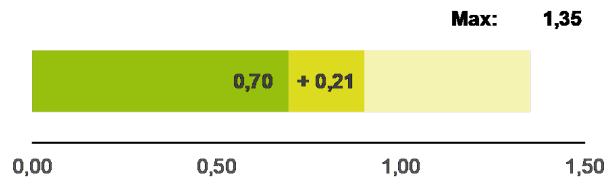
**Gesamtpotenzial (2020)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



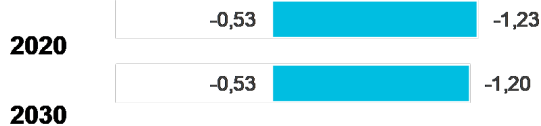
<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>0,90 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>1,35 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>46,3 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>90,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**

in t CO<sub>2</sub>e / t



**qualifizierter Mittelwert**

-0,84 t CO<sub>2</sub>e / t  
-0,80 t CO<sub>2</sub>e / t

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-0,58 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-0,72 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-1,08 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-0,50 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

**Zugeordnete CRF-Sektoren:** 2.C Industrie: Metallproduktion

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Aufgrund des steigenden Kupferbedarfs im Zuge der Mobilitäts- und Energiewende und des geringen natürlichen Kupfervorkommens innerhalb der EU, ist Kupfer eine wichtige Säule der bundesdeutschen Rohstoffstrategie. Hierbei kommt der Kreislaufwirtschaft eine bedeutende Rolle zu. Potenziale für eine Erhöhung des Kupferschrottrecyclings bestehen sowohl in der Erhöhung der Getrennterfassung bei Elektroaltgeräten und im Baubereich, als auch der Erhöhung des Recyclings von außer Betrieb gesetzten Altfahrzeugen in Deutschland selbst. Da hierfür teilweise erst Kapazitäten ausgebaut werden müssen, ist das Gesamtpotenzial bis 2030 noch nicht realisierbar.

## Handlungsfelder/Kategorien

Die ausgewählten Maßnahmen zielen insbesondere auf reduzierten Konsum, das Design der Produkte, die Wiederverwendung, die Weiterentwicklung von Recyclingverfahren für Kupfer ab.

## Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an Gesetzgeber, Gewerbe und Industrie, die Entsorgungswirtschaft sowie die Konsument\*innen ab.

## Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber, Gewerbe und Industrie, der Entsorgungswirtschaft und den Verbraucher\*innen eine bedeutende Rolle zu.

## Umsetzungszeitraum

*Die Maßnahmen können kurzfristig bis mittelfristig umgesetzt werden.*

## Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir beim **Kupfer** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 0,70 Mio. t bis zu rund 1,15 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal** rund **0,55 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

### 6.3.13. Papier, Pappe, Kartonagen

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Zu den Papier, Pappe- und Kartonagenabfällen zählen grafische Papiere, Druckerzeugnisse etc. sowie die durch die Systeme nach § 14 Absatz 1 VerpackG restentleerten Verpackungen. Nicht berücksichtigt sind hier Hygienepapiere. Aufgrund von Direktanlieferungen an die Papierfabriken sind nicht alle Altpapiermengen in der Abfallstatistik erfasst. Das wiedereingesetzte Inlandsaufkommen kann mit 14,5 Mio. t angenommen werden, es verbleiben aber noch Potenziale in Abfallgemischen, wie Hausmüll und Bau- und Abbruchabfällen.

- **Hinweis:** In der Bilanzierung gibt es stoffstromspezifische Überschneidungen zu Papierverpackungen

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 150101 (anteilig), 191201, 150105 (anteilig), 150106 (anteilig), 200101

#### Beschreibung der Maßnahmen

Auf den Stoffstrom Papier, Pappe und Karton sind auch alle Maßnahmen zutreffend, die indirekt und allgemein den Konsum reduzieren und das Recycling von Wertstoffen insgesamt fördern (*Siehe hierzu Kapitel 6.2.1*). Speziell gilt das auch für Maßnahmen, mit denen das Aufkommen von Verpackungen 6.3.15 einschränkt wird. Aufbauend auf der Analyse von Defiziten wurden für den Stoffstrom Papier, Pappe und Karton Maßnahmen ausgewählt, die zur Reduktion des Papierverbrauchs und zur Steigerung des Recyclings von Altpapier beitragen sollen.

**Tabelle 6-13      Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen – Papier, Pappe, Kartonagen**

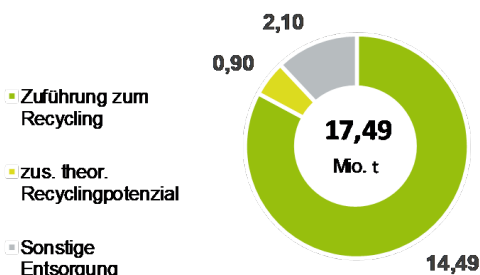
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Förderung alternativer Technologien im Papierrecycling</b>	<p>Um auch eine weitere Erhöhung der Recyclingquote von Papier zu erreichen, und auch beschichtete sowie nassfeste Papier- und Pappeabfälle ökonomisch aufzubereiten, werden Alternativen zu bisherigen Verfahren benötigt. Schwer recycelbare Papierabfälle können mit Hilfe alternativer Recyclingverfahren wie der Trockenzerfaserung als Sekundärrohstoffe erhalten bleiben.</p> <p>Hier bedarf es eines weiteren Ausbaus der Sortier- und Aufbereitungskapazitäten sowie Forschung und Entwicklung. Darüber hinaus lassen sich mit neuartigen Verfahren ggf. zusätzlich Einsparungen beim Einsatz von Energie und Chemikalien erzielen.</p>	Vorschlag	Steigerung des Recyclingpotenzials der Papierfraktionen

**Abbildung 6-16 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial – Papier, Pappe, Kartonagen**

**Aufkommenspotenzial**

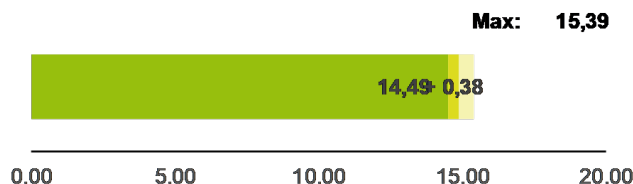
**Gesamtpotenzial (2020)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2020</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>14,86 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>15,39 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>82,8 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>88,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**

in t CO<sub>2</sub>e / t



**qualifizierter Mittelwert**

-0,45 t CO<sub>2</sub>e / t  
-0,50 t CO<sub>2</sub>e / t

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-6,52 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-7,43 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-7,69 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-1,18 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

<b>Zugeordnete CRF-Sektoren:</b>	2.H.1 Industrie: Zellstoff- und Papierherstellung 1.A.2 Energie: Verarbeitendes Gewerbe
----------------------------------	--

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Das Gesamtpotenzial an Papier, Pappe, Karton (ohne Hygienepapiere) wird bis 2030 eher rückläufig erwartet. Ein zentraler Grund hierfür ist die Digitalisierung, die zu einem rückläufigen Aufkommen an Druckerzeugnissen führt.

Im Bereich der Verpackungspapiere, die aufgrund des Onlinehandels in den vergangenen Jahren

stark zugenommen haben, wird angenommen, dass auch hier Maßnahmen zur Reduzierung von Verpackungen greifen und eine weitere deutliche Zunahme vermieden werden kann.

Die Möglichkeiten des Altpapiereinsatzes sind derzeit bei den bestehenden Papierfabriken und dem Produktionsspektrum weitestgehend ausgereizt, daher wird bis 2030 nicht von einer signifikanten Steigerung der Einsatzmenge im Inland ausgegangen; zusätzlich separat erfasste Sammelmengen werden, sofern sie höher als die derzeitigen Einsatzmengen liegen, primär exportiert werden. Importe werden sich weiterhin auf spezifische Qualitäten beziehen.

### Handlungsfelder/Kategorien

Die ausgewählten Maßnahmen zielen auf das Verbot bzw. die Reduktion eines unnötigen Papiereinsatzes und die Technologieentwicklung beim Papierrecycling ab.

### Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an Gesetzgeber, die öffentliche Verwaltung sowie den Handel und die Industrie.

### Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber, der öffentlichen Verwaltung, der Industrie, dem Handel und den Verbrauchern eine bedeutende Rolle zu.

### Umsetzungszeitraum

Die Maßnahmen können kurzfristig bis mittelfristig umgesetzt werden.

### Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich **PPK** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 7,40 Mio. t bis zu rund 8,30 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal rund 1,80 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

## 6.3.14. Textilien

### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

(Alt)Textilien sind gebrauchte Bekleidungs- und Haustextilien, die den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE), privatwirtschaftlichen Sammlern oder karitativen Organisationen zur Vorbereitung zur Wiederverwendung, bzw. Entsorgung überlassen werden.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 200110, 200111

### Beschreibung der Maßnahmen

Aufbauend auf der Analyse von Defiziten wurden für den Stoffstrom Textilien **Maßnahmen ausgewählt**, die sowohl für den gesamten Stoffstrom als auch auf spezielle Stoffgruppen ausgerichtet sind.

Dabei ist zu beachten, dass es sich um Maßnahmen handelt, die sich in erster Linie an den Recycling- und Reuse-Strategien (insbesondere der Förderung der Wiederverwendung) und erst in zweiter Linie an der Suffizienz orientieren, wie z. B. Förderung einer längeren Nutzungsdauer vorhandener Textilien oder Veränderung konsumseitiger Nutzungsformen.

**Tabelle 6-14      Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Textilien**

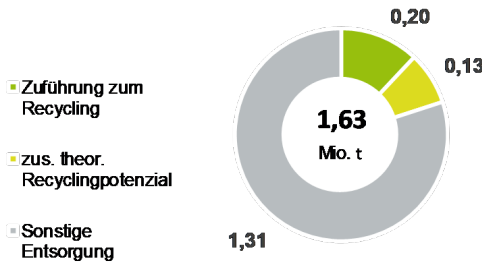
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Förderung der Vorbereitung zur Wiederverwendung</b>	<p>Maßnahmenbündel zur Verbesserung der Erfassung gebrauchter Textilien aus Privathaushalten und gewerblichen Anwendern; Förderung der technischen und logistischen Innovation für die Sortierung und Wiederaufbereitung von gebrauchten Textilien zum Zwecke der Wiederverwendung im inländischen Second-Hand Markt (Kaskadennutzung als nachrangige Option).</p> <p>Instrumente, die zur Durchführung dieser Maßnahme verwendet werden kann, sind: Erweiterte Herstellerverantwortung inkl. Ökomodulation von Gebühren und Exportregulierung von Textilien für die Wiederverwendung / Textilabfällen</p>	in Umsetzung	Steigerung der Sammlung und Wiederverwendung von Textilien
<b>Förderung des Faser-zu-Faser (F2F) Textil-recyclings</b>	<p>Förderung der technischen und logistischen Innovation für die Sortierung, Separierung und Rückgewinnung von Textilfasern auf werkstofflicher Ebene. Dazu gehören auch Anreize zum industriellen Wiedereinsatz rezyklierter Textilfasern in der Produktion neuer Textilien. Chemisches Recycling (insb. Hydrolyse) von Chemiefasern wurde hier nicht betrachtet, weil diese Technologie aktuell im Textilrecycling noch nicht einsatzbereit ist und dessen Einsatz bis 2030 ungewiss ist.</p> <p>Instrumente, die zur Durchführung dieser Maßnahme verwendet werden können, sind Rezyklateinsatzquoten sowie Förderprogramme im Bereich Forschung und Entwicklung.</p>	Vorschlag	Abfallvermeidung

**Abbildung 6-17 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Textilien**

**Aufkommenspotenzial**

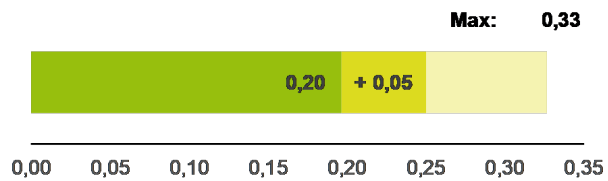
**Gesamtpotenzial (2018)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2018</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>0,25 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>0,33 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>12,0 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>20,0 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**

in t CO<sub>2</sub>e / t

**qualifizierter Mittelwert**

<b>2020</b>	-1,00	-2,04	<b>-1,20 t CO<sub>2</sub>e / t</b>
<b>2030</b>		-2,04	<b>-1,02 t CO<sub>2</sub>e / t</b>

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-0,24 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-0,26 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-0,33 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-0,10 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

**Zugeordnete CRF-Sektoren:** 1.A.2 Energie: Verarbeitendes Gewerbe  
2.B Industrie: Chemische Industrie

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Das Gesamtpotenzial bezieht sich auf die Inlandsverfügbarkeit nach bvse (2018), welches Außenhandelssaldo, Inlandsproduktion, private Einfuhr und illegale Einfuhr enthält.

Das Minderungspotenzial wird durch F2F-Recycling von Baumwolle erreicht, die einen Anteil von 20 % am Textilmarkt hat. Da es keine Daten für das chemische Recycling gibt, wird das Recycling von Polyester (das den größten Marktanteil hat) und allen anderen Fasern nicht berücksichtigt.

Dieses Potenzial ergibt sich aus dem Substitutionseffekt, wenn man davon ausgeht, dass im Jahr

2030 8 % mehr F2F-Recycling anstatt des thermischen Recyclings stattfinden wird, sowie aus einem Einspareffekt durch die Vermeidung der Verbrennung von Altkleidern.

### **Handlungsfelder/Kategorien**

Die ausgewählten Maßnahmen umfassen insbesondere die abfallspezifischen Stufen Sammlung und Entsorgung entlang der Wertschöpfungskette sowie Aspekte des Produktdesigns und die Abfallvermeidung.

Hierbei werden insbesondere Maßnahmen adressiert, die in die Bereiche Recyclingmärkte/Sekundärrohstoffeinsatz und Optimierung der Verwertungswege fallen.

### **Zielgruppen**

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an die Gesetzgeber, öffentliche Verwaltung, FuE sowie Produktion. Die Förderung der technischen und logistischen Innovation für die Sortierung und Wiederaufbereitung von gebrauchten Textilien zum Zwecke der Wiederverwendung im inländischen Second-Hand-Markt kann durch den Gesetzgeber in Zusammenarbeit mit der öffentlichen Verwaltung vorangetrieben werden.

Diese Akteure sind auch entscheidend für die Förderung der technischen und logistischen Innovation für die Sortierung, Separierung und Rückgewinnung von Textilfasern auf werkstofflicher Ebene. Dazu gehören auch Anreize zum industriellen Wiedereinsatz rezyklierter Textilfasern in der Produktion neuer Textilien. Die Arbeit von FuE trägt zu besseren Technologien bei, um die o. g. Punkte zu erreichen, insbesondere im Hinblick auf die Ausweitung des F2F-Recyclings.

### **Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche**

Die Umsetzung der Maßnahmen obliegt vor allem dem Gesetzgeber, weil es sich um Fördermaßnahmen handelt, die er durch Instrumente wie erweiterte Herstellerverantwortung inkl. Ökomodulation von Gebühren, Exportregulierung von Textilien für die Wiederverwendung von Textilabfällen und Rezyklateinsatzquoten umsetzen muss.

### **Umsetzungszeitraum**

In der EU-Strategie für nachhaltige und zirkuläre Textilien erklärt die Europäische Kommission ihr Ziel, im Rahmen der Überarbeitung der Abfallrahmenrichtlinie im Jahr 2023 EU-Vorschriften zur erweiterten Herstellerverantwortung für Textilien mit einer Öko-Modulation der Gebühren einzuführen. Um die 2018 novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie in deutsches Recht umzusetzen, wurde das KrWG novelliert; diese Novelle ist 2020 in Kraft getreten. Die Anforderungen der EU-Abfallrahmenrichtlinie (d. h. für Textilerzeugnisse Maßnahmen zu treffen, die die Wiederverwendung von Produkten und die Schaffung von Systemen zur Förderung von Aktivitäten zur Reparatur und der Wiederverwendung unterstützen) wurden umgesetzt [Umweltbundesamt 2021d]. Die EU-Abfallrahmenrichtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten auch, bis zum 1. Januar 2025 Systeme für die getrennte Sammlung von Textilien einzurichten. Diese Getrenntsammlungspflicht soll in Deutschland auch ab 01.01.2025 gelten. Um dies zu finanzieren, prüft die Bundesregierung, wie die erweiterte Herstellerverantwortung in Deutschland umgesetzt werden soll.

Die andere Maßnahme, die Förderung des Faser-zu-Faser-Textilrecycling (F2F-Textilrecycling), wurde im Rahmen der EU-Strategie für nachhaltige und zirkuläre Textilien adressiert. Dabei sollen ausreichende Kapazitäten für innovatives Faser-zu-Faser-Recycling geben und Verbrennung und Deponierung von Textilien auf ein Minimum reduziert werden. Die Förderung der



Recyclinginfrastruktur kann mittelfristig umgesetzt werden. Verbindliche Recyclingziele, wie in Frankreich, wären hilfreich, um Investitionen in Recyclinginfrastrukturen anzustoßen. Verbindliche Ziele für die Maßnahmen Förderung der Vorbereitung zur Wiederverwendung wären ebenfalls sinnvoll.

### Erwartete Einsparungseffekte

**i**

Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich der **Textilien** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 0,25 Mio. t bis zu rund 0,35 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche -Einsparung** von **maximal** rund **0,10 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

- **Hinweis:** Es ist wichtig anzumerken, dass bei den Berechnungen nur das F2F-Recycling von Baumwolle berücksichtigt wurde, die einen geringen Marktanteil von 20 % hat. Da es keine Daten für das chemische Recycling gibt, wird das Recycling von Polyester (die Faser mit dem höchsten Marktanteil) und aller anderen Fasern nicht berücksichtigt. Das bedeutet, dass das Reduktionspotenzial bei der Betrachtung von Kunstfasern wesentlich größer ist.

### 6.3.15. Verpackungen

#### Kurzbeschreibung des Stoffstroms

Zum Stoffstrom „Verpackungen“ zählen in dieser Betrachtung die LVP-Materialien

- Aluminium,
- Flüssigkartons,
- Glas,
- Kunststoffe,
- PPK sowie
- Weißblech.

Zusätzlich fassen wir unter die Verpackungen auch Altholzverpackungen, die der AltholzV unterliegen.

- **Hinweis:** Detaillierte Informationen zu den einzelnen Teilströmen finden sich an entsprechender Stelle in den Kurzprofilen im Anhang des Dokuments.

Berücksichtigte Abfallschlüsselnummern: 110205, 110206, 170401, anteilig: 150104, 020110, 120103, 120104, 160118, 160215, 160216, 170407, 170411, 191002, 191203, 200140, 160104, 160106, 160211, 160213, 160214, 200301, 200307, 170904, 200135

#### Beschreibung der Maßnahmen

Aufbauend auf der Analyse von Defiziten wurden für den Stoffstrom Verpackungen Maßnahmen ausgewählt, die zu einem geringeren Verbrauch von Verpackungen, zu einem höheren Anteil ökologisch vorteilhafter Mehrwegverpackungen sowie zur Steigerung des Verpackungsrecyclings und des Einsatzes von Rezyklaten bei der Verpackungsherstellung führen.

**Tabelle 6-15**      **Tabellarische Übersicht der wichtigsten Maßnahmen - Verpackungen**

Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
<b>Finanzielle Förderung von Mehrwegverpackungen</b>	Für alle Produktbereiche sollte der Einsatz von Mehrwegverpackungen finanziell gefördert werden, um die Etablierung neuer Mehrwegangebote und Konsumgewohnheiten unterstützen. Beispielsweise kann die Mehrwertsteuer auf Produkte in Mehrwegverpackungen reduziert werden oder entfallen.	Vorschlag	Erhöhung der Mehrwegquoten und Ausweitung von Mehrwegangeboten auf neue Produktgruppen
<b>Mehrwegangebotspflicht</b>	Ausweitung der bestehenden Mehrwegangebotspflicht bei angebotenen Speisen und Getränken auf alle Produktgruppen, für die es etablierte Mehrwegsysteme gibt.	in Umsetzung	Erhöhung der Mehrwegquoten und Ausweitung von Mehrwegangeboten auf neue Produktgruppen
<b>Rücknahmepflicht für Mehrweggetränkerverpackungen</b>	Der Anteil von Mehrweggetränkerverpackungen ist seit etlichen Jahren rückläufig. Eine Rücknahmepflicht für Mehrweggetränkerverpackungen für alle Händler, insbesondere Discounter, würde auch die Hürden Abbauen, diese anzubieten.	Vorschlag	Erhöhung der Mehrwegquoten bei Getränkerverpackungen
<b>Vorgabe von höheren Rezyklatquoten in Verpackungen</b>	In der Novelle des Verpackungsgesetzes (VerpackG) von 2021 sind Mindestmengen an Rezyklaten für PET-Flaschen vorgesehen (25% ab 2025, 30% ab 2030). Ähnliche Rezyklatquoten lassen sich auch auf andere Produktgruppen anwenden und könnten auch für PET-Flaschen erhöht werden, da hier die Sortenreinheit besonders hoch ist. Sogenannte „Post-Industrial-Materialien“, also Materialien, die nie in Gebrauch waren, müssen in der Rezyklat-Definition ausgeschlossen werden, um einen Anreiz für die Gewinnung von Post-Consumer-Materialien zu setzen.	Vorschlag	Erhöhung des Einsatzes von Post-Consumer-Rezyklaten
<b>Neugestaltung der Beteiligungsentgelte (§21 VerpackG)</b>	Das Verpackungsgesetz setzt in §21 mit der ökologischen Gestaltung der Beteiligungsentgelte Anreize für die Recyclingfähigkeit und die Verwendung emissionsarmer Alternativen zu Kunststoffen. Um ökonomisch wirksame Anreize zu setzen, sind klare Mindeststandards zur Reduzierung der Vielfalt an Verpackungsmaterialien sowie die Einbindung von Vermeidungsstrategien wie Mehrwegsysteme über ein Bonus-System sinnvoll. Prämienanreize könnten aus einem gesonderten privaten bzw. öffentlichen Fonds gefördert werden. [acatec 2021b] Die Höhe der Beteiligungsentgelte soll nach den Umweltauswirkungen verschiedener Verpackungsmaterialien und nach deren Recyclingfähigkeit gestaffelt werden. Dazu wird eine Abgabe auf nicht recyclingfähige Verpackungen vorgeschlagen, die in einem Fonds von der Zentralen Stelle Verpackungsregister verwaltet werden sollte. Die Fondsgelder sollten zur Förderung des Ausbaus der Recyclinginfrastruktur und des Einsatzes von Rezyklaten aus Verpackungsmaterialien eingesetzt werden [Hermann et al. 2022, Prakash et al. 2023]	Vorschlag	Anreize für recyclinggerechtes Verpackungsdesign, emissionsarme Materialsubstitution und Mehrwegverpackungen
<b>Mehrwegquoten für Verpackungen im B2B-Bereich</b> <b>Verpackungssteuer</b>	Durch wiederverwendbare Transportverpackungen im B2B-Bereich können erhebliche Mengen an Abfall vermieden werden (Verpackungen: 104 000 t, Folien: 35 000 t) [Halfman 2021]. Die Einführung von Mehrwegverpackungen im B2B-Bereich kann durch verbindliche Mehrwegquoten unterstützt werden. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Etablierung ist das Swedish Return System mit wiederverwendbaren Verpackungen, welches inzwischen bei der Mehrzahl an Frischegütern in Schweden zum Einsatz kommt.	Vorschlag	Reduktion des Abfallaufkommens durch B2B-Verpackungen, insbesondere Kartons und Folien
<b>Verpackungssteuer</b>	In Abhängigkeit der Masse der in den Verpackungen verarbeiteten Materialien werden Verpackungssteuern bei den Inverkehrbringern erhoben. Der Steuersatz je Verpackungsmaterial soll so hoch festgesetzt werden, dass daraus merkliche Mehrkosten bei den Verbrauchern und insbesondere bei den Inverkehrbringern selbst resultieren, die einen Umstieg auf materialschonende Verpackungssysteme wirkungsvoll anreizen. Die Relation der Höhe der Steuersätze der einzelnen	Vorschlag	Reduktion des Verpackungsaufkommens

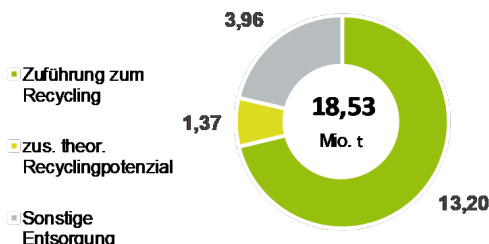
Titel	Beschreibung	Status	Hauptziel
	<p>Verpackungsmaterialien untereinander soll sich an deren Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Äq orientieren. Dadurch soll der Umstieg auf Unverpackt- und Mehrwegsysteme angereizt werden. Die generierten Steuereinnahmen sollten der Förderung von materialschonenden Verpackungssystemen und ggf. dem Ausgleich bei sozialen Härten zugutekommen. [Prakash et al. 2023]</p>		
<p><b>Neugestaltung der Beteiligungsentgelte (§21 VerpackG)</b></p>	<p>Das Verpackungsgesetz setzt in §21 mit der ökologischen Gestaltung der Beteiligungsentgelte Anreize für die Recyclingfähigkeit und die Verwendung emissionsarmer Alternativen zu Kunststoffen. Um ökonomisch wirksame Anreize zu setzen, sind klare Mindeststandards zur Reduzierung der Vielfalt an Verpackungsmaterialien sowie die Einbindung von Vermeidungsstrategien wie Mehrwegsysteme über ein Bonus-System sinnvoll. Prämienanreize könnten aus einem gesonderten privaten bzw. öffentlichen Fonds gefördert werden. [acatec 2021b]</p> <p>Die Höhe der Beteiligungsentgelte könnte nach den Umweltauswirkungen verschiedener Verpackungsmaterialien und nach deren Recyclingfähigkeit gestaffelt werden.</p>	<p>Vorschlag</p>	<p>Anreize für recyclinggerechtes Verpackungsdesign, emissionsarme Materialsubstitution und Mehrwegverpackungen</p>
<p><b>Verbot unnötiger Verpackungen</b></p>	<p>Verbot von unnötigen Verpackungen durch füllungsreichen Raum, zu große Verpackungen und zusätzliche Umhüllungen</p>	<p>Vorschlag</p>	<p>Weniger Verpackungsmaterialien und Transportaufkommen</p>
<p><b>Einschränkung von Materialverbunden bei Versandverpackungen</b></p>	<p>Zu Steigerung der Recyclingfähigkeit von Versandverpackungen, sollte der Einsatz von Materialverbunden nur in Ausnahmefällen möglich sein. So ist vor Allem im Bereich der Versandverpackungen die Nutzung von Materialverbunden häufig nicht notwendig.</p>	<p>Vorschlag</p>	<p>Steigerung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen</p>
<p><b>Recyclinggerechtes Verpackungsdesign</b></p>	<p>Das recyclinggerechte Verpackungsdesign bildet eine wichtige Voraussetzung für ein hochwertiges Recycling. Designrichtlinien für Verpackungen sollten nach Möglichkeit EU-weit harmonisiert sowie regelmäßig überprüft und an die fortentwickelte Recyclinginfrastruktur angepasst werden. Eine gute Basis dafür bildet der „Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen“ der Zentralen Stelle Verpackungsregister, der die gesamte Wertschöpfungskette in die Entwicklung mit einbezieht. Recyclinggerechtes Design sollte zudem finanziell begünstigt werden, etwa im Rahmen einer Überarbeitung von § 21 VerpackG.5</p> <p>Insbesondere die Entfernung vorhandener Pigmente und Druckfarben im Recyclingprozess stellt eine große Herausforderung dar. Derzeit arbeitet die Industrie an abwaschbaren Druckfarben und versucht Zielkonflikte zwischen Marketing und Recyclingfähigkeit aufzulösen, z.B. durch die Verwendung von trennbaren Etiketten auf ungefärbten Verpackungen und Verbesserungen der Verpackungsgeometrie, um die vollständige Entleerung der Verpackung zu gewährleisten. Um den Einsatz von Materialien und Additiven, die das Recycling beeinträchtigen können, zu reduzieren, wird nicht nur in das Design-for-Recycling investiert. Es finden auch Bemühungen statt, die Anforderungen an die Verpackung durch Änderungen des Produktdesigns und der Warenlogistik sowie die Reduktion von Mindesthaltbarkeiten zu differenzieren.</p>	<p>Vorschlag</p>	<p>Steigerung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen</p>

**Abbildung 6-18 Aufkommen, Emissionsfaktoren und Einsparpotenzial - Verpackungen**

**Aufkommenspotenzial**

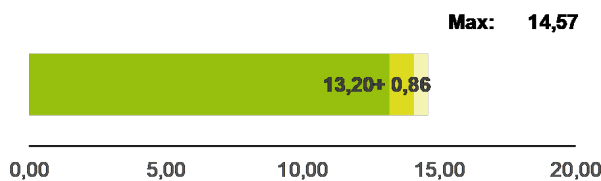
**Gesamtpotenzial (2019)**

in Mio. t



**Maximales & realisierbares Recyclingpotenzial 2030**

in Mio. t



<b>Referenzjahr :</b>	<b>2019</b>	<b>realistisches Recyclingpotenzial*:</b>	<b>14,06 Mio. t/a</b>
		<b>max. realisierbares Recyclingpotenzial:</b>	<b>14,57 Mio. t/a</b>
<b>Anteil Zuführung zum Recycling 2020:</b>	<b>71,3 %</b>	<b>max. realisierbarer Anteil am Gesamtpotenzial:</b>	<b>78,6 %</b>

\* Das realistische Recyclingpotenzial 2030 entspricht dem unter technischen, ökonomischen und politische Restriktionen bis zum Jahr 2030 hebbaren Potenzial.

**CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale pro Tonne**

**Bandbreite der recherchierten CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale**

in t CO<sub>2</sub>e / t

**qualifizierter Mittelwert**

<b>2020</b>	-0,23	-1,34	-0,86 t CO <sub>2</sub> e / t
<b>2030</b>	-0,51	-1,40	-0,93 t CO <sub>2</sub> e / t

**Bandbreite des jährlichen CO<sub>2</sub>-Gesamteinsparpotenzials\***

<b>Ist CO<sub>2</sub>-Einsparung 2020</b>	<b>-10,93 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Realistisches CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial bis 2030:</b>	<b>-13,19 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Max. realisierbares CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial:</b>	<b>-13,58 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>
<b>Delta CO<sub>2</sub>-Einsparung Max. zu 2020:</b>	<b>-2,66 Mio. t CO<sub>2</sub>e / a</b>

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf das Mengenaufkommen 2020 sowie die daraus berechneten Recyclingpotenziale.

<b>Zugeordnete CRF-Sektoren:</b>	1.A.3 Energie: Transport
	2.A.3 Industrie: Glasindustrie
	2.B Industrie: Chemische Industrie
	2.H.1 Industrie: Zellstoff- und Papierherstellung
	2.C Industrie: Metallproduktion
	2.H.x Industrie: Sonstige

**Methodische Erläuterungen zur Berechnung der Emissionsfaktoren und Potenziale**

Es handelt sich in der obigen Darstellung um **aggregierte Zahlen der Teilstoffströme**. Doppelzählungen und methodische Abgrenzungen der Stoffströme sollten den detaillierten Methodikerläuterungen der einzelnen Stoffströme entnommen werden. Die Zahlen zu realistischen und maximalen Einsparpotenzialen sind im Zusammenhang der Aggregation nur bedingt aussagekräftig.

**Hinweis:** Die detaillierten Darstellungen der aggregierten Stoffströme finden sich im Anhang des Dokuments

## Handlungsfelder/Kategorien

Die Ausgewählten Maßnahmen umfassen sowohl Maßnahmen zur Abfallvermeidung (Verpackungssteuer) als auch zur Steigerung des hochwertigen, werkstofflichen Recyclings (Verpackungsdesign) sowie die abfallspezifischen Stufen Sammlung und Entsorgung.

## Zielgruppen

Die ausgewählten Maßnahmen richten sich an Gesetzgeber, öffentliche Verwaltung sowie Hersteller und Handel. Der Gesetzgeber muss die Rahmenbedingungen schaffen, damit Inverkehrbringer bzw. Verbraucher bei der Umstellung auf verpackungsreduzierte Distribution bzw. beim Konsum profitieren.

## Initiatoren und Umsetzungsverantwortliche

Bei der Umsetzung der ausgewählten Maßnahmen kommt dem Gesetzgeber, der Finanzverwaltung, der Industrie, den Verbrauchern, dem Handel und den Entsorgern sowie den dualen Systemen eine bedeutende Rolle zu. Mehrwegsysteme müssen weiterentwickelt und in großem Umfang genutzt werden. Verpackungen müssen hochgradig recyclingfähig designet und dem hochwertigen Recycling zugeführt werden.

Die Endverbraucher müssen die ökologisch vorteilhaften Verpackungssysteme nutzen und dafür ihr Konsumverhalten und die Organisation ihrer Einkäufe umstellen.

## Umsetzungszeitraum

Ein Teil der ausgewählten Maßnahmen sind bereits in dem Entwurf zur europäischen Verpackungsverordnung aufgenommen. Diese können und sollten aber ambitionierter gefasst und schneller umgesetzt werden. Überwiegend können die Maßnahmen kurzfristig, vereinzelt mittelfristig umgesetzt werden.

## Erwartete Einsparungseffekte



Durch die **Umsetzung** der aufgeführten und auch weiterer **Maßnahmen** erwarten wir im Bereich der **Verpackungen** bis zum **Jahr 2030** ein **CO<sub>2</sub>e-Einsparpotenzial** von rund 13,5 Mio. t bis zu rund 13,8 Mio. t (maximal realisierbar).

Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies eine **zusätzliche Einsparung** von **maximal rund 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub>e**.

## 6.4. Ergebnisse der stoffstrombezogenen Maßnahmen

Die differenzierte Analyse der ausgewählten Stoffströme zeigt zunächst, dass über die Verwertung dieser Fraktionen **heute** bereits eine jährliche Einsparung von **rd. 60 Mio. t. CO<sub>2</sub>e** erzielt wird. Zählt man hierzu die **rd. 35 Mio. t. CO<sub>2</sub>e**, die aus der Schließung der Deponien für unvorbehandelte Siedlungsabfälle resultieren und die **rd. 7 Mio. t. CO<sub>2</sub>e**, die aktuell aus der Abfallverbrennung entstehen, kann von einem **Beitrag von mindestens 100 Mio. t. CO<sub>2</sub>e** ausgegangen werden, den die Kreislaufwirtschaft heute bereits zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>e-Emissionen in Deutschland liefert.

Bis zum Jahr 2030 schätzen wir das CO<sub>2</sub>e-Minderungspotenzial, welches mit moderaten Anstrengungen bzw. unter Status quo Bedingungen **zusätzlich** zu erreichen ist, über alle betrachteten **Stoffströme** auf **rd. 15,5 Mio. t. CO<sub>2</sub>e**. Bei einem deutlich höheren Engagement im Hinblick auf die Initiierung und Umsetzung von Maßnahmen sehen wir das maximal zusätzlich erreichbare Potenzial bei diesen Stoffströmen bei **rd. 45,5 Mio. t. CO<sub>2</sub>e** bis zum Jahr 2030<sup>7</sup> gegenüber dem Ausgangsjahr 2020. Die wesentlichen Potenziale ergeben sich aus einer verbesserten Erfassung und Verwertung von Fe und NE-Metallen, Bau- und Abbruchabfällen sowie von Kunststoffabfällen.

---

<sup>7</sup> Die Summen enthalten teilweise unvermeidbare Doppelzählungen, die aber die genannten Größenordnungen nicht substantiell verändern.

## 7. Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
B2B	Business to Business
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> -Äquivalent(e) - NUR die 2 immer tiefstellen!
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilization
CRF	Common Reporting Format
EBS-Kraftwerke	Ersatzbrennstoffkraftwerk
EoL	End-of-Life
EPR	Extended Producer Responsibility (Erweiterte Produzentenverantwortung)
EU	Europäische Union
F2F	Faser-zu-Faser
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
Fe	Eisen
FuE	Forschung und Entwicklung
g	Gramm
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
ha	Hektar
HGT	hydraulisch gebundene Tragschicht
IGAM	Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Müllverbrennungsschlacken
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
kg	Kilogramm
kg/E*a	Kilogramm pro Einwohner und Jahr
km	Kilometer
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KSG	Klimaschutzgesetz

kWh	Kilowattstunde
m <sup>2</sup>	Quadratmeter (2 hochstellen)
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MHKW	Müllheizkraftwerk
Mio.	Million(en)
mm	Millimeter
Mrd.	Milliarde
MWp	Megawatt Peak
NE	Nicht-Eisen
NF	Nutzfläche
P	Phosphor
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PE	Polyethylen
POP-Verordnung	Verordnung über persistente organische Schadstoffe
PP	Polypropylen
PPK	Papier, Pappe und Kartonagen
ProgRess	Ressourceneffizienzprogramm
PV	Photovoltaik
PVC	Polyvinylchlorid
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
t	Tonne(n)
TAB	thermische Abfallbehandlungsanlage
THG	Treibhausgas(e)
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen



## 8. Abfallschlüsselnummern nach Stoffströmen

Stoffstrom	ASN	ASN Bezeichnung
Kupfer	110205	* Abfälle aus Prozessen der Kupfer-Hydrometallurgie, die gefährliche Stoffe enthalten
Kupfer	110206	Abfälle aus Prozessen der Kupfer-Hydrometallurgie mit Ausnahme derjenigen, die unter 11 02 05 fallen
Kupfer	170401	Kupfer, Bronze, Messing
Kupfer	150104	Verpackungen aus Metall
Kupfer	020110	Metallabfälle
Kupfer	120103	NE-Metallfeil- und -drehspäne
Kupfer	120104	NE-Metallstaub und -teilchen
Kupfer	160118	Nichteisenmetalle
Kupfer	170407	gemischte Metalle
Kupfer	170410	* Kabel, die Öl, Kohlenteer oder andere gefährliche Stoffe enthalten
Kupfer	170411	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen
Kupfer	191002	NE-Metall-Abfälle
Kupfer	191203	Nichteisenmetalle
Kupfer	200140	Metalle
Kupfer	160104	* Altfahrzeuge
Kupfer	160106	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten
Kupfer	160211	* gebrauchte Geräte, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW oder HFKW enthalten
Kupfer	160213	* gebrauchte Geräte mit gefährlichen Bestandteilen ohne 160209 bis 160212
Kupfer	160214	gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen
Kupfer	200135	* gebrauchte elektrische und elektronische Geräte, die gefährliche Bauteile <sup>6</sup> enthalten, mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21 und 20 01 23 fallen
Kupfer	200136	gebrauchte elektrische und elektronische Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21, 20 01 23 und 20 01 35 fallen
Kupfer	160215	* aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bauteile
Kupfer	160216	aus gebrauchten Geräten entfernte Bestandteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 15 fallen
Kupfer	200301	gemischte Siedlungsabfälle
Kupfer	200307	Sperrmüll
Kupfer	170904	gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen
Kunststoffe	150102	Verpackungen aus Kunststoff
Kunststoffe	020104	Kunststoffabfälle (ohne Verpackungen)
Kunststoffe	070213	Kunststoffabfälle
Kunststoffe	120105	Kunststoffspäne und -drehspäne
Kunststoffe	160119	Kunststoffe
Kunststoffe	170203	Kunststoff
Kunststoffe	191204	Kunststoff und Gummi
Kunststoffe	200139	Kunststoffe
Kunststoffe	160104	* Altfahrzeuge

Stoffstrom	ASN	ASN Bezeichnung
Kunststoffe	160106	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten
Kunststoffe	200301	gemischte Siedlungsabfälle
Kunststoffe	200307	Sperrmüll
Kunststoffe	150105	Verbundverpackungen
Kunststoffe	150106	gemischte Verpackungen
Kunststoffe	170904	gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen
Altfahrzeuge	160104	* Altfahrzeuge
Altfahrzeuge	160106	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten
Glas	150107	Verpackungen aus Glas
Glas	101111	* Glasabfall als Teilchen o. Staub, Schwermetalle enth. w. Kathodenstrahlröhren
Glas	101112	Glasabfall mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 11 11 fällt
Glas	160120	Glas
Glas	170202	Glas
Glas	191205	Glas
Glas	200102	Glas
Glas	170204	* Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
Glas	101103	Glasfaserabfall
Glas	160104	* Altfahrzeuge
Glas	160106	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten
Glas	200301	gemischte Siedlungsabfälle
Glas	200307	Sperrmüll
Papier, Pappe, Karton	150101	Verpackungen aus Papier und Pappe
Papier, Pappe, Karton	191201	Papier und Pappe
Papier, Pappe, Karton	200101	Papier und Pappe
Papier, Pappe, Karton	200301	gemischte Siedlungsabfälle
Papier, Pappe, Karton	200307	Sperrmüll
Papier, Pappe, Karton	150105	Verbundverpackungen
Papier, Pappe, Karton	150106	gemischte Verpackungen
Papier, Pappe, Karton	170904	gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen
Altholz	030105	Sägemehl, Späne, Abschnitte, Holz, Spanplatten und Furniere mit Ausnahme derjenigen die unter 03 01 04 fallen
Altholz	150103	Verpackungen aus Holz
Altholz	150110*	* Verpackungen, die Rückstände gefährlicher Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
Altholz	170201	Holz
Altholz	170603*	* anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält
Altholz	170204*	* Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind

Stoffstrom	ASN	ASN Bezeichnung
Altholz	200138	Holz mit Ausnahme desjenigen, das unter 20 01 37 fällt
Altholz	191206	* Holz, das gefährliche Stoffe enthält
Aluminium	170402	Aluminium
Aluminium	120103	NE-Metallfeil- und -drehspäne
Aluminium	120104	NE-Metallstaub und -teilchen
Aluminium	150104	Verpackungen aus Metall
Aluminium	160118	Nichteisenmetalle
Aluminium	170407	gemischte Metalle
Aluminium	191002	NE-Metall-Abfälle
Aluminium	191203	Nichteisenmetalle
Aluminium	200140	Metalle
Batterien	1606	#NV
Batterien	200133*	* Batterien und Akkumulatoren, die unter 16 06 01, 16 06 02 oder 16 06 03 fallen, sowie gemischte Batterien und Akkumulatoren, die solche Batterien enthalten
Batterien	200134	Batterien und Akkumulatoren mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 33 fallen
Bau- und Abbruchabfälle	170904	gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen
Bau- und Abbruchabfälle	170604	Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 06 01 und 17 06 03 fällt
Bioabfälle	200108	biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle
Bioabfälle	200301	gemischte Siedlungsabfälle
Bioabfälle	200302	Marktabfälle
Elektroaltgeräte	160213	* gebrauchte Geräte mit gefährlichen Bestandteilen ohne 160209 bis 160212
Elektroaltgeräte	160214	gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen
Elektroaltgeräte	160211*	* gebrauchte Geräte, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW oder HFKW enthalten
Elektroaltgeräte	200121*	* Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle
Elektroaltgeräte	160214	gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen
Fe-Metalle	100210	Walzzunder
Fe-Metalle	101206	verworfenen Formen
Fe-Metalle	120101	Eisenfeil- und -drehspäne
Fe-Metalle	120102	Eisenstaub und -teilchen
Fe-Metalle	160117	Eisenmetalle
Fe-Metalle	170405	Eisen und Stahl
Fe-Metalle	190102	Eisenteile, aus der Rost- und Kesselasche entfernt
Fe-Metalle	191001	Eisen- und Stahlabfälle
Fe-Metalle	191202	Eisenmetalle
Fe-Metalle	020110	Metallabfälle
Fe-Metalle	150104	Verpackungen aus Metall
Fe-Metalle	170407	gemischte Metalle
Fe-Metalle	200140	Metalle
Grünabfälle	200201	biologisch abbaubare Abfälle
Grünabfälle	200301	gemischte Siedlungsabfälle

Stoffstrom	ASN	ASN Bezeichnung
Bau- und Abbruchabfälle	170101	Beton
Bau- und Abbruchabfälle	170107	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 fallen
Bau- und Abbruchabfälle	170102	Ziegel
Bau- und Abbruchabfälle	170107	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 fallen
Bau- und Abbruchabfälle	170504	Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen
Textilien	200110	Bekleidung
Textilien	200111	Textilien
Verpackungen	150103	Verpackungen aus Holz
Verpackungen	150110	* Verpackungen, die Rückstände gefährlicher Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
Verpackungen	150104	Verpackungen aus Metall
Verpackungen	150106	gemischte Verpackungen
Verpackungen	150105	Verbundverpackungen
Verpackungen	150107	Verpackungen aus Glas
Verpackungen	150102	Verpackungen aus Kunststoff
Verpackungen	150105	Verbundverpackungen
Verpackungen	150101	Verpackungen aus Papier und Pappe
Verpackungen	150105	Verbundverpackungen
Verpackungen	150111	* Verpackungen aus Metall, die eine gefährliche feste poröse Matrix (z.B. Asbest) enthalten, einschließlich geleerter Druckbehältnisse
Verpackungen	150104	Verpackungen aus Metall

## 9. Quellenverzeichnis

### 9.1. Studien

- [acatech 2021] acatech; Circular Economy Initiative Deutschland; SYSTEMIQ (2021): Circular Economy Roadmap für Deutschland
- [acatech 2021b] acatech; Circular Economy Initiative Deutschland (2021): Kunststoffverpackungen im geschlossenen Kreislauf - Potenziae, Bedingungen, Herausforderungen
- [acatech 2023] Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.; Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, & Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e.V. (2023): Wie wird Deutschland klimaneutral? Handlungsoptionen für Technologieumbau, Verbrauchsreduktion und Kohlenstoffmanagement
- [Ademe 2017] Ademe (2017): Bilan National du Recyclage 2005-2014
- [Agora Industry 2022] Agora Industry (2022): Mobilising the circular economy
- [Albrecht et al. 2021] Albrecht et al (2021): Verbraucherreaktionen bei Plastik und dessen Vermeidungsmöglichkeiten am Point of Sale
- [Andreasi Basset al. 2022] Andreasi Bassi, Susanna, Davide Tonini, Hans Saveyn, und Thomas Fruergaard Astrup (2022): Environmental and Socioeconomic Impacts of Poly(Ethylene Terephthalate) (PET) Packaging Management Strategies in the EU, In: Environmental Science & Technology 56, Nr
- [Andreasi Bassi et al. 2020] Andreasi Bassi, Susanna, Alessio Boldrin, Giorgia Faraca, und Thomas F. Astrup (2020): Extended Producer Responsibility: How to Unlock the Environmental and Economic Potential of Plastic Packaging Waste? In: Resources, Conservation and Recycling 162 (November 2020): 105030
- [Appelt 2023] Appelt, J. (2023): Planung und Realisierung von Photovoltaikanlagen auf Deponien, In: In: Witzenhause Institut: Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung V, S. 468
- [BAM 2023] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung: Circular Economy: Materialien nachhaltig und sicher nutzen, Link: <https://www.bam.de/Navigation/DE/Themen/Umwelt/Circular-Economy/circular-economy.html>, letzter Zugriff:
- [BBSR 2015] BBSR (2015): Wohnungsmarktprognose 2030, Link: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2015/DL\\_07\\_2015.pdf;jsessionid=F66AB19070D20F20EE580F8A3D9E61BF.live11292?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2015/DL_07_2015.pdf;jsessionid=F66AB19070D20F20EE580F8A3D9E61BF.live11292?__blob=publicationFile&v=1), letzter Zugriff:
- [BBSR 2017] BBSR (2017): Zukunft Bauen - Forschung für die Praxis: Materialströme im Hochbau - Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft, Link: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/zukunft-bauen-fp/2017/band-06-dl.pdf;jsessionid=E8DB32DAB9322AAF54073E86649F092E.live21301?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/zukunft-bauen-fp/2017/band-06-dl.pdf;jsessionid=E8DB32DAB9322AAF54073E86649F092E.live21301?__blob=publicationFile&v=1), letzter Zugriff:
- [BBSR 2020] BBSR (2020): Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland - Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt, Link: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf;jsessionid=3BEC618FA8BD2512FE4A38A276F38152.live21303?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf;jsessionid=3BEC618FA8BD2512FE4A38A276F38152.live21303?__blob=publicationFile&v=3), letzter Zugriff:
- [BCG/Prognos 2018] BCG / Prognos (2018): Klimapfade für Deutschland
- [BDSV 2019] BDSV (2019): Branchendaten (Stahlschrott), Link: <https://www.bdsv.org/die-branche/stahlrecyclingwirtschaft/>, letzter Zugriff: 45050
- [BDSV 2022a] BDSV (2022): Deutsche Stahlrecycling-Bilanz 1980 bis 2021, Link: [https://www.bdsv.org/fileadmin/user\\_upload/Deutsche\\_Stahlrecyclingbilanz\\_1980\\_2021.pdf](https://www.bdsv.org/fileadmin/user_upload/Deutsche_Stahlrecyclingbilanz_1980_2021.pdf), letzter Zugriff:
- [BDSV 2022b] BDSV (2022): Marktdaten 2020-2021, Link: [https://www.bdsv.org/fileadmin/user\\_upload/internetstat\\_2021\\_2020.pdf](https://www.bdsv.org/fileadmin/user_upload/internetstat_2021_2020.pdf), letzter Zugriff:
- [Bertignoll et al. 2019] Rieg, L., Meyer, A., & Bertignoll, H. (2019): Potentiale der Kreislaufwirtschaft zur Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen, In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 164(4), 169–172
- [BGR 2022] BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2022): Deutschland – Rohstoffsituation 2021,
- [Bierman et al. 2023] Ragwitz, M., Weidlich, A., Biermann, D., Brandes, J., Brown, T., Burghardt, C., Dütschke, E., Erlach, B., Fishedick, M., Fuss, S., Geden, O., Gierds, J., Herrmann, U., Jochem, P., Kost, C., Luderer, G., Neuhoff, K., Schäfer, M., Wagemann, K., ... Zheng, L. (2023): Technologieumbau, Verbrauchsreduktion und Kohlenstoffmanagement

[BMUV 2020] BMUV (2020): Berichtspflicht gemäß Art. 16 Absatz 4 der Richtlinie 2012/10/EU über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE-Richtlinie) - Berichtsjahr 2020

[Böing et al. 2022] Böing, R.; Knappe, F.; Müller, C.; Reiners, J.; Reinhardt, J.; Theis, S. (2022): Schlussberichte zum BMBF-Verbundforschungsvorhaben „R-Beton - Ressourcenschonender Beton – Werkstoff der nächsten Generation“ - Schwerpunkt 3, In: Ökobilanz, Praxistest und Transfer. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 641 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin. S. 170.

[Braun et al. 2021] Braun, N., Hopfensack, L., Fecke, M., & Wilts, Dr. H. (2021): Chancen und Risiken im Gebäudesektor für die Umsetzung einer klimaneutralen und ressourceneffizienten zirkulären Wirtschaft

[bsve 2020] Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (bvse) (2020): Bedarf, Konsum, Wiederverwendung und Verwertung von Bekleidung und Textilien in Deutschland, Link: [https://www.bvse.de/dateien2020/1-Bilder/03-Themen\\_Ereignisse/06-Textil/2020/studie2020/bvse%20Alttextilstudie%202020.pdf](https://www.bvse.de/dateien2020/1-Bilder/03-Themen_Ereignisse/06-Textil/2020/studie2020/bvse%20Alttextilstudie%202020.pdf), letzter Zugriff:

[Buchert et al. 2022] Dr. Buchert, M.; Knappe, F.; Bleher, D.; Dr. Bulach, W.; Muchow, N.; Reinhardt, J.; Meinshausen, I. (2022): Kartierung des Anthropogenen Lagers III – Etablierung eines Stoffstrommanagements unter Integration von Verwertungsketten zur qualitativen und quantitativen Steigerung des Recyclings von Metallen und mineralischen Baustoffen., In: UBA Texte 47/2022

[Bundesgütegemeinschaft Kompost 2010] Bundesgütegemeinschaft Kompost (2010): Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimaschädlicher Gase

[Bundestag 2022] Deutscher Bundestag (2022): Klimaschutz und Energie — Anhörung — hib 542/2022: CO2-Preis für Müllverbrennung in der Kritik, Link: <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-915194>, letzter Zugriff:

[BVSE 2018] BVSE Fachverband Schrott, E-Schrott und Kfz-Recycling (2018): Umweltbilanz

[CE Delft 2018] Ingrid Odegard, Erik Roos Lindgreen and Martijn Broeren (2018): LCA of waste treatment of diaper material

[CEWI 2021] CEWI (2021): Kurzstudie-Gebäude

[Christiani und Beckamp 2022] Christiani, J.; Beckamp, S. (2022): Recyclingfähigkeit von Verpackungen korrekt bemessen, In: Lebensmittel Zeitung, 74(15), 49–50

[Conversio 2019] Conversio (2019): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland

[Conversio 2021] Conversio (2021): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2021: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen,

[Cuhls et al. 2015] Cuhls, C.; Mähl, B.; Clemens, J. (2015): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. UBA Texte 39/2015 gewitra Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. S. 150. [https](https://www.uba.de)

[Dehoust et al 2016] Dehoust, et al. (2016): Umweltpotenziale der getrennten Erfassung und des Recyclings von Wertstoffen im Dualen System, Bilanz der Umweltwirkungen,

[Deloitte und BDI 2021] Deloitte und BDI 2021 (2021): Zirkuläre Wirtschaft Studie

[Den Hollander 2017] Den Hollander et al. (2017): Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms: Key Concepts and Terms for Circular Product Design, Link: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12610>, letzter Zugriff:

[dena 2019] Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019): Einsatzgebiete für Power Fuels - Stahlproduktion, Link: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/Factsheet\\_PowerFuels\\_Stahlproduktion\\_Industrielle\\_Prozesswaerme.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/Factsheet_PowerFuels_Stahlproduktion_Industrielle_Prozesswaerme.pdf), letzter Zugriff:

[Destatis 2022] Destatis (2022): Pressemitteilung Nr. 318 vom 28. Juli 2022, Link: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/07/PD22\\_318\\_31231.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/07/PD22_318_31231.html), letzter Zugriff:

[Destatis 2023] Destatis (2023): Bautätigkeit - Fachserie 5 Reihe 1 - 2022, Link: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/\\_inhalt.html#\\_9rxqkkvz](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/_inhalt.html#_9rxqkkvz), letzter Zugriff:

[DGNB 2020] DGNB (2022): Wegweiser klimapositiver Gebäudebestand, Link: <https://www.dgnb.de/de/nachhaltiges-bauen/klimaschutz/wegweiser-klimapositiver-gebäudebestand>, letzter Zugriff:

[Dialogplattform 2023a] Endemann und Deike (2023): Dialogplattform Recyclingrohstoffe Zwischenbericht Unterarbeitskreis Eisen und Stahl

[Dialogplattform 2023b] Schäfer und Wotruba (2023): Dialogplattform Recyclingrohstoffe - Zwischenbericht Unterarbeitskreis Baurohstoffe

- [Dialogplattform Rohstoffe 2023] Recycling- Dialogplattform Recyclingrohstoffe (2023): Webseite, Link: [https://www.recyclingrohstoffe-dialog.de/Recyclingrohstoffe/DE/Home/recyclingrohstoffe\\_node.html](https://www.recyclingrohstoffe-dialog.de/Recyclingrohstoffe/DE/Home/recyclingrohstoffe_node.html), letzter Zugriff: 45110
- [DIW 2021] DIW (2021): DIW Wochenbericht - Klimaneutralität braucht koordinierte Maßnahmen zur Stärkung von hochwertigem Recycling, Link: [https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.820615.de/21-26-1.pdf](https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.820615.de/21-26-1.pdf), letzter Zugriff:
- [Döring/Mantau 2021] Döring, P.; Mantau, U. (2021): Altholz im Entsorgungsmarkt. Aufkommen und Verwertung 2020
- [Dornbusch et al. 2020] Dornbusch, Dr. H.-J.; Hannes, L.; Santjer, M. (2020): Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. [https](https://www.umweltbundesamt.de/de/publikationen/vergleichende-analyse-von-siedlungsrestabfaellen)
- [DUH 2018] Deutsche Umwelthilfe (2018): Das Mehrwegsystem in Deutschland - Kreislaufwirtschaft in der Praxis, Link: [https://www.duh.de/fileadmin/user\\_upload/download/Projektinformation/Mehrweg/181129\\_Hintergrundpapier\\_Mehrwegsystem-Deutschland\\_final\\_neues\\_NKI\\_Logo.pdf](https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Mehrweg/181129_Hintergrundpapier_Mehrwegsystem-Deutschland_final_neues_NKI_Logo.pdf), letzter Zugriff:
- [Dunant et al. 2018] Dunant et al. (2018): Regularity and optimisation practice in steel structural frames in real design cases
- [ecoinvent o.J.] ecoinvent (o. J.): Datenmodule aus der Ökobilanzdatenbank ecoinvent.
- [EEB 2017] European Environmental Bureau (2017): Circular Economy Opportunities in the Furniture Sector
- [EEB 2019] European Environmental Bureau (2019): Coolproducts don't cost the Earth – Report, Link: <https://eeb.org/wp-content/uploads/2019/09/Coolproducts-report.pdf>, letzter Zugriff:
- [EMAF 2020] Ellen MacArthur Foundation (2020): Upstream Innovation: a guide to packaging solutions,
- [EPA 2016] EPA (2016): Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model
- [EU-Kommission 2019] Europäische Kommission (2019): Environmental impact assessments of innovative bio-based products - Summary of methodology and conclusions, Link: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9ab51539-2e79-11e9-8d04-01aa75ed71a1>,
- [EU-Parlament 2022] EU-Parlament (2022): Pressemitteilung des EU-Parlaments: Einigung über ehrgeizigeren EU-Emissionshandel (ETS), Link: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/2022/12/12IPR64527/klimaschutz-einigung-uber-ehrgeizigeren-eu-emissionshandel-ets>,
- [European Commission 2021] European Commission, Directorate General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (2021): Study on the Technical, Regulatory, Economic and Environmental Effectiveness of Textile Fibres Recycling: Final Report, In: LU: Publications Office, 2021
- [Eurostat 2020a] Eurostat (2020): End-of-life vehicle statistics, Link: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=End-of-life\\_vehicle\\_statistics#Total\\_weight\\_of\\_end-of-life\\_vehicles](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=End-of-life_vehicle_statistics#Total_weight_of_end-of-life_vehicles), letzter Zugriff:
- [Eurostat 2020b] Eurostat (2020): Waste statistics - recycling of batteries and accumulators, Link: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics\\_-\\_recycling\\_of\\_batteries\\_and\\_accumulators#Recycling\\_of\\_batteries\\_and\\_accumulators](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_recycling_of_batteries_and_accumulators#Recycling_of_batteries_and_accumulators), letzter Zugriff:
- [Eurostat 2023] Eurostat (2023): Eurostat: Circular material use rate, Link: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg\\_12\\_41/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_12_41/default/table?lang=en), letzter Zugriff:
- [Franke et al. 2010] Franke, M.; Faulstich, M.; Löh, I.; Mocker, M. (2010): Urban Mining – Wertstoffgewinnung aus Abfalldeponien. Bayerische Abfall- und Deponietage 2010 ATZ Entwicklungszentrum, Sulzbach-Rosenberg. [https](https://www.abfall.de/abfallwirtschaft/urban-mining-wertstoffgewinnung-aus-abfalldeponien)
- [Fraunhofer ISI 2019] Wear2Share (2019): Innovative Kreislaufgeschäftsmodelle in der Textilwirtschaft. (o. J.). Abgerufen 2. März 2023, von [https://innovative-produktkreislaeufer.de/resswinn/en/Projects/Wear2Share/\\_/Wear2Share\\_Abschlussbericht\\_final%20-%20geschw%C3%A4rzt.pdf](https://innovative-produktkreislaeufer.de/resswinn/en/Projects/Wear2Share/_/Wear2Share_Abschlussbericht_final%20-%20geschw%C3%A4rzt.pdf), letzter Zugriff:
- [Fraunhofer UMSICHT 2016] Fraunhofer UMSICHT (2016): Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott
- [Grüne Punkt 2016] Der Grüne Punkt (2016): Der Grüne Punkt, 2016: Ökonomische Perspektiven des Kunststoffrecyclings - die Rolle des dualen Systems, URL: <https://www.gruener-punkt.de/~/media/Gruener-Punkt/2016/08/2016-08-16-01-02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100-101-102-103-104-105-106-107-108-109-110-111-112-113-114-115-116-117-118-119-120-121-122-123-124-125-126-127-128-129-130-131-132-133-134-135-136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156-157-158-159-160-161-162-163-164-165-166-167-168-169-170-171-172-173-174-175-176-177-178-179-180-181-182-183-184-185-186-187-188-189-190-191-192-193-194-195-196-197-198-199-200-201-202-203-204-205-206-207-208-209-210-211-212-213-214-215-216-217-218-219-220-221-222-223-224-225-226-227-228-229-230-231-232-233-234-235-236-237-238-239-240-241-242-243-244-245-246-247-248-249-250-251-252-253-254-255-256-257-258-259-260-261-262-263-264-265-266-267-268-269-270-271-272-273-274-275-276-277-278-279-280-281-282-283-284-285-286-287-288-289-290-291-292-293-294-295-296-297-298-299-300-301-302-303-304-305-306-307-308-309-310-311-312-313-314-315-316-317-318-319-320-321-322-323-324-325-326-327-328-329-330-331-332-333-334-335-336-337-338-339-340-341-342-343-344-345-346-347-348-349-350-351-352-353-354-355-356-357-358-359-360-361-362-363-364-365-366-367-368-369-370-371-372-373-374-375-376-377-378-379-380-381-382-383-384-385-386-387-388-389-390-391-392-393-394-395-396-397-398-399-400-401-402-403-404-405-406-407-408-409-410-411-412-413-414-415-416-417-418-419-420-421-422-423-424-425-426-427-428-429-430-431-432-433-434-435-436-437-438-439-440-441-442-443-444-445-446-447-448-449-450-451-452-453-454-455-456-457-458-459-460-461-462-463-464-465-466-467-468-469-470-471-472-473-474-475-476-477-478-479-480-481-482-483-484-485-486-487-488-489-490-491-492-493-494-495-496-497-498-499-500-501-502-503-504-505-506-507-508-509-510-511-512-513-514-515-516-517-518-519-520-521-522-523-524-525-526-527-528-529-530-531-532-533-534-535-536-537-538-539-540-541-542-543-544-545-546-547-548-549-550-551-552-553-554-555-556-557-558-559-560-561-562-563-564-565-566-567-568-569-570-571-572-573-574-575-576-577-578-579-580-581-582-583-584-585-586-587-588-589-590-591-592-593-594-595-596-597-598-599-600-601-602-603-604-605-606-607-608-609-610-611-612-613-614-615-616-617-618-619-620-621-622-623-624-625-626-627-628-629-630-631-632-633-634-635-636-637-638-639-640-641-642-643-644-645-646-647-648-649-650-651-652-653-654-655-656-657-658-659-660-661-662-663-664-665-666-667-668-669-670-671-672-673-674-675-676-677-678-679-680-681-682-683-684-685-686-687-688-689-690-691-692-693-694-695-696-697-698-699-700-701-702-703-704-705-706-707-708-709-710-711-712-713-714-715-716-717-718-719-720-721-722-723-724-725-726-727-728-729-730-731-732-733-734-735-736-737-738-739-740-741-742-743-744-745-746-747-748-749-750-751-752-753-754-755-756-757-758-759-760-761-762-763-764-765-766-767-768-769-770-771-772-773-774-775-776-777-778-779-780-781-782-783-784-785-786-787-788-789-790-791-792-793-794-795-796-797-798-799-800-801-802-803-804-805-806-807-808-809-810-811-812-813-814-815-816-817-818-819-820-821-822-823-824-825-826-827-828-829-830-831-832-833-834-835-836-837-838-839-840-841-842-843-844-845-846-847-848-849-850-851-852-853-854-855-856-857-858-859-860-861-862-863-864-865-866-867-868-869-870-871-872-873-874-875-876-877-878-879-880-881-882-883-884-885-886-887-888-889-890-891-892-893-894-895-896-897-898-899-900-901-902-903-904-905-906-907-908-909-910-911-912-913-914-915-916-917-918-919-920-921-922-923-924-925-926-927-928-929-930-931-932-933-934-935-936-937-938-939-940-941-942-943-944-945-946-947-948-949-950-951-952-953-954-955-956-957-958-959-960-961-962-963-964-965-966-967-968-969-970-971-972-973-974-975-976-977-978-979-980-981-982-983-984-985-986-987-988-989-990-991-992-993-994-995-996-997-998-999-1000>
- [GVM 2021] GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (2021): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2019 (Texte 148/2021)
- [GVM 2022] GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (2022): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2020 (Texte 148/2022)

- [Halfman 2021] Halfmann, D. M. (2021): Verpackungswende jetzt, Link: [https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Unternehmen/WWF-Studie-Verpackungswende\\_jetzt\\_-\\_So\\_gelingt\\_der\\_Wandel\\_zu\\_einer\\_Kreislaufwirtschaft\\_f%C3%BCr\\_Kunststoffe\\_in\\_Deutschland.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Unternehmen/WWF-Studie-Verpackungswende_jetzt_-_So_gelingt_der_Wandel_zu_einer_Kreislaufwirtschaft_f%C3%BCr_Kunststoffe_in_Deutschland.pdf), letzter Zugriff:
- [Handelsblatt 2021] Handelsblatt (2021): Ökobilanz: Sechs Mythen über Plastik und Papier, Link: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/verpackungsindustrie-oekobilanz-sechs-mythen-ueber-plastik-und-papier/27404644.html>, letzter Zugriff: 45153
- [Hertwich et al. 2019] Hertwich, Edgar, Lifset, Reid, Pauliuk, Stefan, Heeren, Niko, Ali, Saleem, Tu, Qingshi, Ardente, Fulvio, Berrill, Peter, Fishman, Tomer, Kanaoka, Koichi, Kulczycka, Joanna, Makov, Tamar, Masanet, Eric, & Wolfram, Paul. (2019): Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future
- [Hüttner et al. 2019] Hüttner, A.; Richter, F.; Kern, D. M.; Raussen, T.; Turk, T.; Koj, U. (2019): Leitfaden zur hochwertigen Behandlung und Verwertung von Bio- und Grüngut im Freistaat Thüringen, Materialband. Witzenhausen. [https://www.witzenhausen.de/medien/11740/publikationen/2023-06-07\\_texte\\_85-2023\\_klimkreis\\_teilbericht\\_eu.pdf](https://www.witzenhausen.de/medien/11740/publikationen/2023-06-07_texte_85-2023_klimkreis_teilbericht_eu.pdf), letzter Zugriff:
- [ICSG 2022] International Copper Study Group (ICSG) (2022): The World Copper Factbook 2022,
- [IFEU 2017a] Knappe, F.; Reinhardt, J. (2017): Entsorgung von teerhaltigem Straßenaufbruch aus ökologischer Sicht. ifeu Heidelberg, Heidelberg. S. 44. <https://www.bde.de/documents/76/Studie-teerhaltiger-Strassenaufbruch-090620171.pdf> (24.02.2023).
- [IFEU 2017b] Vogt, R., Fehrenbach, S. (2017): Stoffstrom-, Klimagas- und Umweltbilanz für das Jahr 2016 für das Land Berlin, SKU-Bilanz für die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SenUVK), Referat Kreislaufwirtschaft, ifeu Heidelberg
- [IFEU 2020] Guido Reinhardt, Sven Gärtner, Tobias Wagner (2020): Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland, Link: <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Reinhardt-Gaertner-Wagner-2020-Oekologische-Fu%C3%9Fabdruecke-von-Lebensmitteln-und-Gerichten-in-Deutschland-ifeu-2020.pdf>, letzter Zugriff:
- [ifeu 2021] ifeu (2021): Potenzial der Abfallvermeidung und des Ressourcenschutzes bei Reduktion von übermäßigen Verpackungen, Link: [https://www.vzbv.de/sites/default/files/2021-09/Bericht\\_Einsparpotenziale\\_210812.pdf](https://www.vzbv.de/sites/default/files/2021-09/Bericht_Einsparpotenziale_210812.pdf), letzter Zugriff:
- [ifeu 2023] ifeu (2023): Ermittlung der Klimaschutzpotenziale in der Kreislaufwirtschaft für Deutschland und die EU, Link: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/2023-06-07\\_texte\\_85-2023\\_klimkreis\\_teilbericht\\_eu.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/2023-06-07_texte_85-2023_klimkreis_teilbericht_eu.pdf), letzter Zugriff:
- [ift/ISC 2019] ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH / Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC (2019): Recycling von Flacjglas im Bauwesen - Analyse des Ist-Zustandes und Ableitung von Handlungsempfehlungen, Link: [https://www.irbnet.de/daten/kbf/kbf\\_d\\_F\\_3202.pdf](https://www.irbnet.de/daten/kbf/kbf_d_F_3202.pdf), letzter Zugriff:
- [IGAM 2021] ITAD / IGAM (2021): UMFRAGE Aufbereitung von HMV-Schlacken
- [INFA et al 2020] INFA GmbH, ARGUS GmbH, Witzenhausen-Institut GmbH, Ingenieur-Büro Manfred Kanthak (2020): Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien
- [IREES 2018] IREES (2018): Arbeitspapier 3 – Minderung der industriellen Treibhausgasemissionen Deutschlands durch materialbezogene Handlungsansätze in ausgewählten Branchen – ein Problemaufriss
- [ITAD 2022] ITAD (2022): Jahresbericht 2021
- [Ivert et al. 2013] Ivert, Linea Kjellsdotter, Hanne L Raadal, Anna Fråne, und Hanna Ljungkvist (2013): The Role of the WEEE Collection and Recycling System Setup on Environmental, Economic and Socio-Economic Performance
- [IW 2022] Rusche (2022): Die Bedeutung des E-Commerce für Einzelhandel und Weihnachtsgeschäft, Link: [https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user\\_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2022/IW-Kurzbericht\\_2022-E-Commerce.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2022/IW-Kurzbericht_2022-E-Commerce.pdf), letzter Zugriff:
- [Knappe al. 2022] Knappe, F; Muchow, N.; Reinhardt, J. (2022): Bodenaushubmassen als Rohstoffquelle
- [Knappe et al. 2019] Knappe, F.; Reinhardt, J.; Kern, D. M.; Turk, T.; Raussen, T.; Kruse, S.; Hüttner, A. (2019): Ermittlung von Kriterien für eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung von Anforderungen an den Anlagenbestand. UBA-Texte 49/2019 ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu); Witzenhausen-Institut. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. S. 149.
- [Knappe et al. 2021] Knappe, F.; Reinhardt, J.; Kauertz, B.; Oetjen-Dehne, R.; Buschow, N.; Ritthoff, M.; Wilts, H.; Lehmann, M. (2021): Technische Potenzialanalyse zur Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes. UBA Texte 92/2021 ifeu Heidelberg; uec Berlin; Wuppertal Institut; MAKSC. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. S. 158. <https://www.uba.de/uba/Texte/92/2021>



[Kreislaufwirtschaft 2020]	Bau	Kreislaufwirtschaft Bau (2020): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2020 - Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2020. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V., Berlin
[Krüger et al. 2016]		Krüger, M.; Becker, B.; Fricke, K.; Münnich, K.; Wanka, S.; Zeiner, A.; Spengler, T.; Kieckhäfer, K.; Breitenstein, A.; Dichtl, N.; Fülling, K.; Pretz, T.; Maul, A.; Quicker, P.; Rotheut, M.; Goldmann, D.; Breitenstein, B.; Knappe, F.; Reinhardt, J.; Markwardt, S.; Theis, S.; Dittrich, M.; Dehoust, G. (2016): Leitfaden zum Enhanced Landfill Mining. Porta Westfalica. <a href="https://www.porta-westfalica.de/leitfaden-zum-enhanced-landfill-mining/">https://www.porta-westfalica.de/leitfaden-zum-enhanced-landfill-mining/</a>
[Kupferinstitut 2019]		Deutsches Kupferinstitut (2019): Recycling von Kupferwerkstoffen
[Kupferinstitut 2023]		Deutsches Kupferinstitut (2023): Webseite, Link: <a href="https://kupfer.de/kupferwerkstoffe/nachhaltigkeit/kreislaufwirtschaft/">https://kupfer.de/kupferwerkstoffe/nachhaltigkeit/kreislaufwirtschaft/</a> , letzter Zugriff: 45110
[LfU Bayern 2018]		LfU Bayern (2018): Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden
[LfU Bayern 2022]		Bayerisches Landesamt für Umwelt (2022): Einfach. Effizient! Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz
[Limberger et al. 2021]		Limberger, S., Dittrich, M., Jedelhauser, M., & Roth, S. (2021): Sekundärrohstoffe in Deutschland, In: MÜLL und ABFALL, 10, 3
[Liu und Müller 2012]		Liu, Gang, und Daniel Müller (2012): Addressing Sustainability in the Aluminum Industry: A Critical Review of Life Cycle Assessments, In: Journal of Cleaner Production 35 (November 2012): 108–17
[Lotz 2022]		Lotz et al. (2022): Potentials and Prerequisites on the Way to a Circular Economy: A Value Chain Perspective on Batteries and Buildings
[Lotz 2023]		Thurid Lotz; Andrea Herbst (2023): Circular buildings: Paving the way to a net-zero industry - Policy brief
[Martinez-Sanchez et al. 2015]		Martinez-Sanchez, Veronica, Mikkel A Kromann, und Thomas Fruergaard Astrup (2015): Life Cycle Costing of Waste Management Systems: Overview, Calculation Principles and Case Studies, In: Waste Management 36 (Februar 2015): 343–55
[Material-Economics 2018]		Material-Economics (2018): The circular economy a powerful force for climate mitigation
[Material-Economics 2022]		Material-Economics (2022): Scaling-up-europe
[Mrani 2021]		Mrani, Othman (2021): Integration von Ökobilanz und Lebenszykluskostenrechnung in einer deskriptiven multikriteriellen Entscheidungsanalyse zum Zweck der Bewertung von innovativen Technologiekonzepten, 2021
[Mucha und Sommer 2016]		Prof. Dr.-Ing. Sommer, C., & Mucha, E. (2016): Umwelt- und Kostenvorteile ausgewählter innovativer Mobilitäts- und Verkehrskonzepte im städtischen Personenverkehr, In: UBA Texte 87/2016
[OECD 2012]		OECD (2012): Greenhouse Gas Emissions and the Potential for Mitigation from Materials Management within OECD countries. OECD working group on waste prevention and recycling, ENV/EPOC/WGWPR(2010)1/FINAL
[Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin 2023a]		Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin (2023): Modell Deutschland Circular Economy: Modellierung und Folgenabschätzung einer Circular Economy in 9 Sektoren in Deutschland, Link: <a href="https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/MDCE_Modellierung.pdf">https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/MDCE_Modellierung.pdf</a> , letzter Zugriff: Juni 2023
[Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin 2023b]		Öko-Institut, Fraunhofer ISI & FU Berlin (2023): Modell Deutschland Circular Economy: Politik Blueprint, Link: <a href="https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/MDCE_Blueprint.pdf">https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/MDCE_Blueprint.pdf</a> , letzter Zugriff: Juni 2023
[Ökoinstitut 2003]		Ökoinstitut (2003): Ermittlung der durch die Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen realisierbaren Energieeinsparpotenziale und CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale, Link: <a href="https://www.oeko.de/oekodoc/219/2004-015-de.pdf">https://www.oeko.de/oekodoc/219/2004-015-de.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Ökoinstitut 2016]		Dehoust et al. (2016): Umweltpotenziale der getrennten Erfassung und des Recyclings von Wertstoffen im Dualen System, Bilanz der Umweltwirkungen
[Ökoinstitut 2020]		Öko-Institut (2020): Ökonomische und ökologische Auswirkungen einer Verlängerung der Nutzungsdauer von elektrischen und elektronischen Geräten
[Öli 2023]		BERNDT GMBH (): Öli, Link: <a href="https://www.oeli-bayern.de/">https://www.oeli-bayern.de/</a> , letzter Zugriff: 45063
[Papierindustrie 2021]		DIE PAPIERINDUSTRIE e.V (2021): Statistische Kurzinformation - Zellstoff- und Papierindustrie in Deutschland, Link: <a href="https://www.papierindustrie.de/fileadmin/0002-PAPIERINDUSTRIE/07_Dateteilen/1_Statistik/2021/2021_Statistische_Kurzinformation_D.pdf">https://www.papierindustrie.de/fileadmin/0002-PAPIERINDUSTRIE/07_Dateteilen/1_Statistik/2021/2021_Statistische_Kurzinformation_D.pdf</a> , letzter Zugriff:



[Statistisches Bundesamt (Destatis) 2023]	Statistisches Bundesamt (Destatis) (2023): Erhebung der Abfallentsorgung
[Stichnothe 2021]	Stichnothe & Adisa (2012): Life cycle assessment of recycling PVC window frames. In: Resources, Conservation and Recycling 71, S. 40–47. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.12.005
[Terlau et al. 2017]	Terlau Wiltrud, Fuchshofen Nicolas, Klement Johannes (2017): Vergleichende Ökobilanz von holz-basiertem Zellstoff, Altpapier und grasbasiertem Zellstoff in der deutschen Papierindustrie
[Tiefenthaler et al. 2021]	Tiefenthaler, J.; Braune, L.; Bauer, C.; Sacchi, R.; Mazzotti, M. (2021): Technological Demonstration and Life Cycle Assessment of a Negative Emission Value Chain in the Swiss Concrete Sector, In: Frontiers in Climate. Vol. 3, S. 21.
[Towa et al. 2019]	Towa, E, V Zeller, und W M J Achten (2019): Assessing the Life Cycle Environmental Impacts of Bulky Waste Management in Brussels
[Umweltbundesamt 2016]	Umweltbundesamt (2016): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“
[Umweltbundesamt 2010]	Umweltbundesamt (2010): Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft—Am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz.
[Umweltbundesamt 2015]	Umweltbundesamt (2015): Nutzen statt Besitzen: Neue Ansätze für eine Collaborative Economy, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/ui03_2015_nutzen_statt_besitzen_0.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/ui03_2015_nutzen_statt_besitzen_0.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2015a]	Umweltbundesamt (2015): Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft, Darstellung der Potenziale zur Verringerung der Treibhausgasemission aus dem Abfallsektor in den OECD-Staaten und ausgewählten Schwellenländern; Nutzung der Erkenntnisse im Abfalltechniktransfer,
[Umweltbundesamt 2015b]	Umweltbundesamt (2015): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_93_2015_wiederverwertung_von_bauteilen_0.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_93_2015_wiederverwertung_von_bauteilen_0.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2015c]	Umweltbundesamt (2015): Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft, Darstellung der Potenziale zur Verringerung der Treibhausgasemission aus dem Abfallsektor in den OECD-Staaten und ausgewählten Schwellenländern; Nutzung der Erkenntnisse im Abfalltechniktransfer
[Umweltbundesamt 2016]	Umweltbundesamt (2016): Umwelt- und Kostenvorteile ausgewählter innovativer Mobilitäts- und Verkehrskonzepte im städtischen Personenverkehr, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/2016-12-14_umkomoko_endbericht1_fin.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/2016-12-14_umkomoko_endbericht1_fin.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2018]	Umweltbundesamt (2018): Evaluation und Minderung klimarelevanter Gase aus Abfallverbrennungsanlagen, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-12-03_texte_102-2018_gase-abfallverbrennungsanlage.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-12-03_texte_102-2018_gase-abfallverbrennungsanlage.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2019]	Katja Purr, Jens Günther, Harry Lehmann, Philip Nuss (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE: Langfassung, Link: <a href="http://www.umweltbundesamt.de/rescue">//www.umweltbundesamt.de/rescue</a>
[Umweltbundesamt 2019b]	Umweltbundesamt (2019): Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-27_texte_34-2019_sekundaerrohstoffwirtschaft.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-27_texte_34-2019_sekundaerrohstoffwirtschaft.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2019c]	Umweltbundesamt (2019): Flächensparend Wohnen - Energieeinsparung durch Suffizienzpolitiken im Handlungsfeld "Wohnfläche", Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-05_texte_104-2019_energieverbrauchsreduktion_ap1_wohnen_final.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-05_texte_104-2019_energieverbrauchsreduktion_ap1_wohnen_final.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2020]	Umweltbundesamt (2020): Potenziale von Bauen mit Holz
[Umweltbundesamt 2020a]	Umweltbundesamt (2020): Lebensmittelabfälle, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallvermeidung/lebensmittelabfaelle#undefined">https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallvermeidung/lebensmittelabfaelle#undefined</a> , letzter Zugriff: 45119
[Umweltbundesamt 2020b]	UBA (2020): Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung
[Umweltbundesamt 2020c]	Umweltbundesamt (2020): Dekarbonisierung der Zementindustrie, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/factsheet_zementindustrie.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/factsheet_zementindustrie.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2020d]	Umweltbundesamt (2022): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE; Climate Change 12/2022, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023-01-05_cc_12-2022_aktuelle_nutzung_und_foerderung_der_holzenergie.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023-01-05_cc_12-2022_aktuelle_nutzung_und_foerderung_der_holzenergie.pdf</a> , letzter Zugriff: 45098

[Umweltbundesamt 2020e]	Umweltbundesamt (2020): Jahresberichte über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland, Link: <a href="https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/jahresbericht_altfahrzeug_verwertungsquoten_2020_bf.pdf">https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/jahresbericht_altfahrzeug_verwertungsquoten_2020_bf.pdf</a> , letzter Zugriff: 45100
[Umweltbundesamt 2020f]	Umweltbundesamt (2020): Grenzüberschreitende Verbringung von zustimmungspflichtigen Abfällen 2020 - Export
[Umweltbundesamt 2021]	Umweltbundesamt (2022): Förderung von Mehrwegverpackungssystemen zur Verringerung des Verpackungsverbrauchs – Mögliche Maßnahmen zur Etablierung, Verbreitung und Optimierung von Mehrwegsystemen, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_148-2022_foerderung_von_mehrwegverpackungssystemen_zur_verringerung_des_verpackungsverbrauchs.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_148-2022_foerderung_von_mehrwegverpackungssystemen_zur_verringerung_des_verpackungsverbrauchs.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2021a]	Umweltbundesamt (2021): Kartierung des anthropogenen Lagers III (KartAL III), Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-iii-kartal-iii">https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-iii-kartal-iii</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2021b]	Umweltbundesamt (2021): Prüfung möglicher Ansätze zur Stärkung des Recyclings, zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien und zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Bereich der Bauprodukte, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pruefung-moeglicher-ansaeetze-zur-staerkung-des">https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pruefung-moeglicher-ansaeetze-zur-staerkung-des</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2021c]	Umweltbundesamt (2021): Nationales Treibhausgasinventar 2021, 12/2020; Presseinformation 07/2021, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen#energie-stationar">https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen#energie-stationar</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2021d]	Umweltbundesamt (2021): Abfallvermeidung von Textilien Übersicht zu gesetzlichen Regelungen, Leitfäden, Strategien, Umweltzeichen und Siegel, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/211213_uba_hg_abfallvermeidung_textilien_bf.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/211213_uba_hg_abfallvermeidung_textilien_bf.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2022a]	Umweltbundesamt (2022): Produktbezogene Anreize als Treiber umweltfreundlicher Produktions- und Konsumweisen. Verbrauchsteuern und weitere produktbezogene ökonomische Instrumente. (o. J.).
[Umweltbundesamt 2022b]	Umweltbundesamt (2022): Altbatterien, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altbatterien#im-jahr-2021-hat-deutschland-alle-von-der-eu-geforderten-mindestziele-erreicht">https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altbatterien#im-jahr-2021-hat-deutschland-alle-von-der-eu-geforderten-mindestziele-erreicht</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2022c]	Umweltbundesamt (2022): Elektro- und Elektronikaltgeräte, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/elektro-elektronikaltgeraete#sammlung-und-verwertung-von-elektro-und-elektronikaltgeraeten-drei-kennzahlen-zahlen">https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/elektro-elektronikaltgeraete#sammlung-und-verwertung-von-elektro-und-elektronikaltgeraeten-drei-kennzahlen-zahlen</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2022d]	Umweltbundesamt (2022): Ökologische Finanzreform: Produktbezogene Anreize als Treiber umweltfreundlicher Produktions- und Konsumweisen
[Umweltbundesamt 2022e]	Umweltbundesamt (2022): Kartierung des anthropogenen Lagers IV: Erarbeitung eines Gebäudepass- und Gebäudekatasterkonzepts zur regionalisierten Erfassung des Materialhaushaltes mit dem Ziel der Optimierung des Recyclings, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-iv-erarbeitung">https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-iv-erarbeitung</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2022f]	Umweltbundesamt (2022): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE; Climate Change 12/2022, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktuelle-nutzung-foerderung-der-holzenergie">https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktuelle-nutzung-foerderung-der-holzenergie</a> , letzter Zugriff: 45098
[Umweltbundesamt 2022g]	Umweltbundesamt (2022): Verwertungsquoten der wichtigsten Abfallarten, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertungsquoten-der-wichtigsten-abfallarten">https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertungsquoten-der-wichtigsten-abfallarten</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2022h]	Umweltbundesamt 2022: Die Nutzung natürlicher Ressourcen - Ressourcenbericht für Deutschland 2022, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb_die_nutzung_natuerlicher_ressourcen_2022_0.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb_die_nutzung_natuerlicher_ressourcen_2022_0.pdf</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2023]	Umweltbundesamt (2023): Altfahrzeugverwertung und Fahrzeugverbleib, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altfahrzeugverwertung-fahrzeugverbleib#altfahrzeuge-2020-niedrigste-anzahl-seit-beginn-der-aufzeichnungen-in-2004">https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altfahrzeugverwertung-fahrzeugverbleib#altfahrzeuge-2020-niedrigste-anzahl-seit-beginn-der-aufzeichnungen-in-2004</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2023a]	Umweltbundesamt (2023): Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes 1990 – 2022; Excel-Version - Arbeitsblatt „Grafik Sektor Abfallwirtschaft“
[Umweltbundesamt 2023b]	Umweltbundesamt (2023): Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes, Link: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#nationale-und-europaische-klimaziele">https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#nationale-und-europaische-klimaziele</a> , letzter Zugriff:
[Umweltbundesamt 2023c]	Umweltbundesamt (2023): Ermittlung der Klimaschutzpotenziale in der Kreislaufwirtschaft für Deutschland und die EU, Teilbericht Deutschland, Link:

- [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/2023-06-07\\_texte\\_83\\_2023\\_klimkreis\\_teilbericht\\_deutschland.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/2023-06-07_texte_83_2023_klimkreis_teilbericht_deutschland.pdf), letzter Zugriff:
- [Umweltbundesamt 2023d] Umweltbundesamt (2023): Ermittlung der Klimaschutzpotenziale in der Kreislaufwirtschaft für Deutschland und die EU, Teilbericht EU, Link: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/2023-06-07\\_texte\\_85-2023\\_klimkreis\\_teilbericht\\_eu.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/2023-06-07_texte_85-2023_klimkreis_teilbericht_eu.pdf), letzter Zugriff:
- [Umweltbundesamt 2020b] Umweltbundesamt (2020): Chemisches Recycling - Hintergrundpapier, Link: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17\\_hgp\\_chemisches-recycling\\_online.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17_hgp_chemisches-recycling_online.pdf), letzter Zugriff:
- [VDI 2021] VDI (2021): Circular Economy für Kunststoffe neu denken
- [VDI ZRE 2017] VDI (2017): ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 18 Ressourceneffizienz durch Remanufacturing - Industrielle Aufarbeitung von Altteilen, Link: [https://www.terolabsurface.com/app/uploads/2017/10/VDI\\_ZRE\\_Kurzanalyse\\_18\\_Remanufacturing\\_bf.pdf](https://www.terolabsurface.com/app/uploads/2017/10/VDI_ZRE_Kurzanalyse_18_Remanufacturing_bf.pdf), letzter Zugriff:
- [VDP 2022] Verband Deutscher Papierfabriken e. V (2022): Leistungsbericht PAPIER 2021
- [Verein Deutscher Zementwerke e.V. [VDZ] 2020] Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) (2020): Dekarbonisierung von Zement und Beton –Minde-rungspfade und Handlungsstrategien - Eine CO<sub>2</sub>-Roadmap für die deutsche Zementindustrie. Düsseldorf. S. 58. <https://www.konstruktiv.de>, In: Konstruktiv: Nachrichten für die im Bauwesen tätigen Ingenieure. 2021, (02), S.34-40
- [Volk et al. 2021] Volk, Rebekka, Christoph Stallkamp, Justus J. Steins, Savina Padumane Yogish, Richard C Müller, Dieter Stapf, und Frank Schultmann (2021): Techno-economic Assessment and Comparison of Different Plastic Recycling Pathways: A German Case Study, In: Journal of Industrial Ecology 25, Nr
- [Voss et al 2021] Voss, Raoul, Roh Pin Lee, Ludwig Seidl, Florian Keller, und Magnus Fröhling (2021): Global Warming Potential and Economic Performance of Gasification-Based Chemical Recycling and Incineration Pathways for Residual Municipal Solid Waste Treatment in Germany, In: Waste Management 134 (Oktober 2021): 206–19
- [Voss et al. 2022] Voss, Raoul, Roh Pin Lee, und Magnus Fröhling (2022): Chemical Recycling of Plastic Waste: Comparative Evaluation of Environmental and Economic Performances of Gasification- and Incineration-Based Treatment for Lightweight Packaging Waste, In: Circular Economy and Sustainability 2, Nr
- [Wagner et al. 2022] Wagner, J., Steinmetzer, S., Theophil, L., Strues, A.-S., & Kösegi, N. (2022): Umwelt- und Kostenvorteile ausgewählter innovativer Mobilitäts- und Verkehrskonzepte im städtischen Personenverkehr, Link: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umwelt-kostenvorteile-ausgewaehelter-innovativer>, letzter Zugriff:
- [Wang et al. 2020] Wang, Dan, Jun He, Yu-Ting Tang, David Higgitt, und Darren Robinson (2020): Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management in Nottingham, England: Past and Future Perspectives, In: Journal of Cleaner Production 251 (April 2020): 119636
- [WI 2021] Wilts (2021): " Pfand auf alles"-eine Lösung für geschlossene Wertstoffkreisläufe in einer Kreislaufwirtschaft?: Studie im Auftrag der Bundestagsfraktion von Bündnis 90/Die Grünen.
- [WV Stahl 2022] Wirtschaftsvereinigung Stahl (2022): Fakten zur Stahlindustrie 2020
- [WVMetalle 2016] WVMetalle (2016): Klimaschutzpotenziale des Metallrecyclings und des anthropogenen Lagers
- [Zajac et al. 2021] Maciej Zajac, Jan Skocek, Jørgen Skibsted, Mohsen Ben Haha (2021): CO<sub>2</sub> mineralization of demolished concrete wastes into a supplementary cementitious material – a new CCU approach for the cement industry, In: RILEM Technical Letters (2021) 6: 53-60
- [Zero Waste Europe 2021] Zero Waste Europe (2021): Waste Incineration under the EU ETS - An assessment of climate benefits
- [Zuin und Kümmerer 2022] Zuin, V. G., & Kümmerer, K. (2022). Chemistry and materials science for a sustainable circular polymeric economy. Nature Reviews Materials, 7(2), 76–78. <https://doi.org/10.1038/s41578-022-0378-8> (2022): Chemistry and materials science for a sustainable circular polymeric economy, In: Nature Reviews Materials, 7(2), 76–78

## 9.2. Gesetze / Verordnungen / Richtlinien

30. Bundesimmissionsschutzverordnung - 30. BImSchV  
30. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (30. BIm-SchV), 2022

Abfallverbringungsgesetz – AbfVerbrG	Gesetz zur Ausführung der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2006 über die Verbringung von Abfällen 1) und des Basler Übereinkommens vom 22. März 1989 über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung (AbfVerbrG), 2007
Altfahrzeug-Verordnung – AltfahrzeugV	Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (AltfahrzeugV), 2020
Altholzverordnung - AltholzV	Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (AltholzV), 2002
Batteriegesetz – BattG	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren (BattG), 2021
Bioabfallverordnung – BioAbfV	Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (BioAbfV), 2023
Bundesimmissionsschutzverordnung - 17. BImSchV	17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Immissionsschutzgesetzes (17. BImSchV), 2021
Deponieverordnung – DepV	Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV), 2023
Einwegkunststoffkennzeichnungsverordnung (EWKKennzV)	Einwegkunststoffkennzeichnungsverordnung (EWKKennzV), 2021
Einwegkunststoffverbotsverordnung – EWKVerbotsV	Verordnung über das Verbot des Inverkehrbringens von bestimmten Einwegkunststoffprodukten und von Produkten aus oxo-abbaubarem Kunststoff (EWKVerbotsV), 2021
Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (ElektroG), 2022
Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV	Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (GewAbfV), 2012
Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (KrWG), 2020
Nachweisverordnung – NachwV	Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (NachwV), 2010
Verpackungsgesetz – VerpackG	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (VerpackG), 2022