

Kreislaufwirtschaft als Zukunftsstrategie

Neue Wege für die energieintensive Industrie in Deutschland
am Beispiel der Stahl-, Kunststoff- und Zementindustrie

1 Zusammenfassung

1. Die Kreislaufwirtschaft leistet einen wertvollen Beitrag, Wertschöpfung in Deutschland zu stärken, Kosten und Treibhausgasemissionen zu senken und bestehende Abhängigkeiten zu reduzieren.

Die Kreislaufwirtschaft hat großes Potenzial, insbesondere bei der energieintensiven Produktion von Zement, Stahl und Kunststoff. Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft sparen Materialien ein und reduzieren den Energiebedarf. Die Sekundärproduktion mindert Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) und führt zu Kosteneinsparungen gegenüber der Primärproduktion. Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft können zudem den rohstoffarmen Produktionsstandort Deutschland stärken und zu regionaler Wertschöpfung beitragen.

2. Damit der Hochlauf der Kreislaufwirtschaft in der energieintensiven Industrie gelingt, müssen zentrale Elemente wie Produktdesign und die Vermeidung von Rohstoffverbrauch stärker in den Blick genommen werden.

Bislang liegt der Fokus in den drei betrachteten Branchen Zement, Stahl- und Kunststoffindustrie auf der Verwertung und dem Recycling der Abfälle. In der Stahlindustrie werden bereits 90 Prozent des Stahlschrotts recycelt. In der Zement- und Kunststoffindustrie liegt der Recyclinganteil wesentlich niedriger. In der Zement- und Betonindustrie mit den mengenmäßig größten Abfallströmen in Deutschland erfolgt hauptsächlich eine stoffliche Verwertung. Um künftig die Circular Material Use Rate in den Industriebranchen zu erhöhen und die europäischen Klimaschutzziele zu erreichen, sind Produktdesign sowie Vermeidung verstärkt in den Blick zu nehmen. Auch können Produktpässe und digitale Trackingsysteme helfen, bestehende Herausforderungen beim Produktdesign und bei der Reparaturfähigkeit zu lösen.

3. Technische, wirtschaftliche und regulatorische Herausforderungen sollten aktiv angegangen werden. Die Gesellschaft muss auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft stärker einbezogen werden.

Insbesondere die Stahl-, Zement- und Kunststoffindustrie stehen auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft vor zentralen Herausforderungen. Hier besteht Handlungsbedarf bei Materialsubstitution, der Wiederverwendung von Rohstoffen, dem Einsatz von Rezyklaten und der Umstellung auf neue Geschäftsmodelle. Ein zentrales Problem sind fehlende Informationen zu Produktsammensetzungen und Alternativen zu Primärmaterialien. Zudem erschweren rechtliche und regulatorische Vorgaben den Übergang zur Kreislaufwirtschaft, da der Fokus weiterhin auf Entsorgung und linearer Wertschöpfung liegt. Technische Hindernisse, wie Kupferverunreinigungen in der Stahlindustrie, Verunreinigungen in Kunststoffabfällen sowie das Design der Produkte, verhindern eine vollständige Zirkularität.

Eine der größten Herausforderungen bleibt aktuell die fehlende Wirtschaftlichkeit. Fossile Primärproduktion ist meist günstiger und mit weniger Risiken behaftet. Hohe Investitionskosten und fehlende Infrastruktur erschweren First-Movern den Übergang in eine zirkuläre Wirtschaft. Nicht zuletzt kommt es darauf an, die Akzeptanz für die Produkte der Kreislaufwirtschaft bei Verbraucherinnen und Verbrauchern zu fördern. Hier sind Beteiligung und Informationsbereitstellung gefragt.

4. Bestehende und neue Maßnahmen zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft müssen eng verzahnt und gut aufeinander abgestimmt werden, um die heterogenen Herausforderungen zu bewältigen.

Für eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft in der Stahl-, Zement- und Kunststoffindustrie sind steuerliche Anpassungen, finanzielle Förderungen und Marktanpassungen nötig. Künftig sollte ein Wandel weg von der Arbeits-, hin zur Ressourcenbesteuerung erfolgen. Zirkuläre Produkte sollten in bestehende Industrieförderung integriert und der Einsatz von Steuermitteln langfristig mit zirkulären Vorgaben verbunden werden. Die Nachfrage nach zirkulären Produkten sollte gestärkt werden, etwa durch eine Änderung von Vergaberichtlinien, durch Rezyklatzertifikate und eine Weiterentwicklung grüner Leitmärkte. Die Herstellerverantwortung sollte ausgeweitet, die Normungsarbeit öffentlich begleitet und niederschwellige Verpflichtungen in Leitfäden und Merkblättern eingeführt werden. Wichtig sind zudem die Bereitstellung von Informationen zu Good Practices in Leuchtturmprojekten sowie der intensive und zeitnahe Austausch der Akteure in Stakeholder-Dialogplattformen. Neue Geschäftsmodelle sollten unterstützt werden, beispielsweise mit Reparaturboni für Verbraucherinnen und Verbraucher.

2 Einleitung

Die deutsche Industrie bildet das Fundament für den Wohlstand und ist zentral für eine sichere und stabile Zukunft. Aktuell steht sie vor einer Vielzahl komplexer Herausforderungen. Die Transformation hin zur Klimaneutralität erfordert bereits heute eine grundlegende Erneuerung von Strukturen, Produkten und Produktionsprozessen. Gleichzeitig belasten geopolitische Entwicklungen, hohe Energiepreise, steigender Wettbewerbsdruck und zunehmende Regulierungen und Berichtspflichten den Industriesektor. Und besonders die energieintensive Industrie hat im internationalen Vergleich mit hohen und schwankenden Energiepreisen zu kämpfen. Damit erhöht sich das Risiko für Stellenabbau und die Verlagerung von Produktionsstandorten, vor allem in der Stahl- und chemischen Industrie.

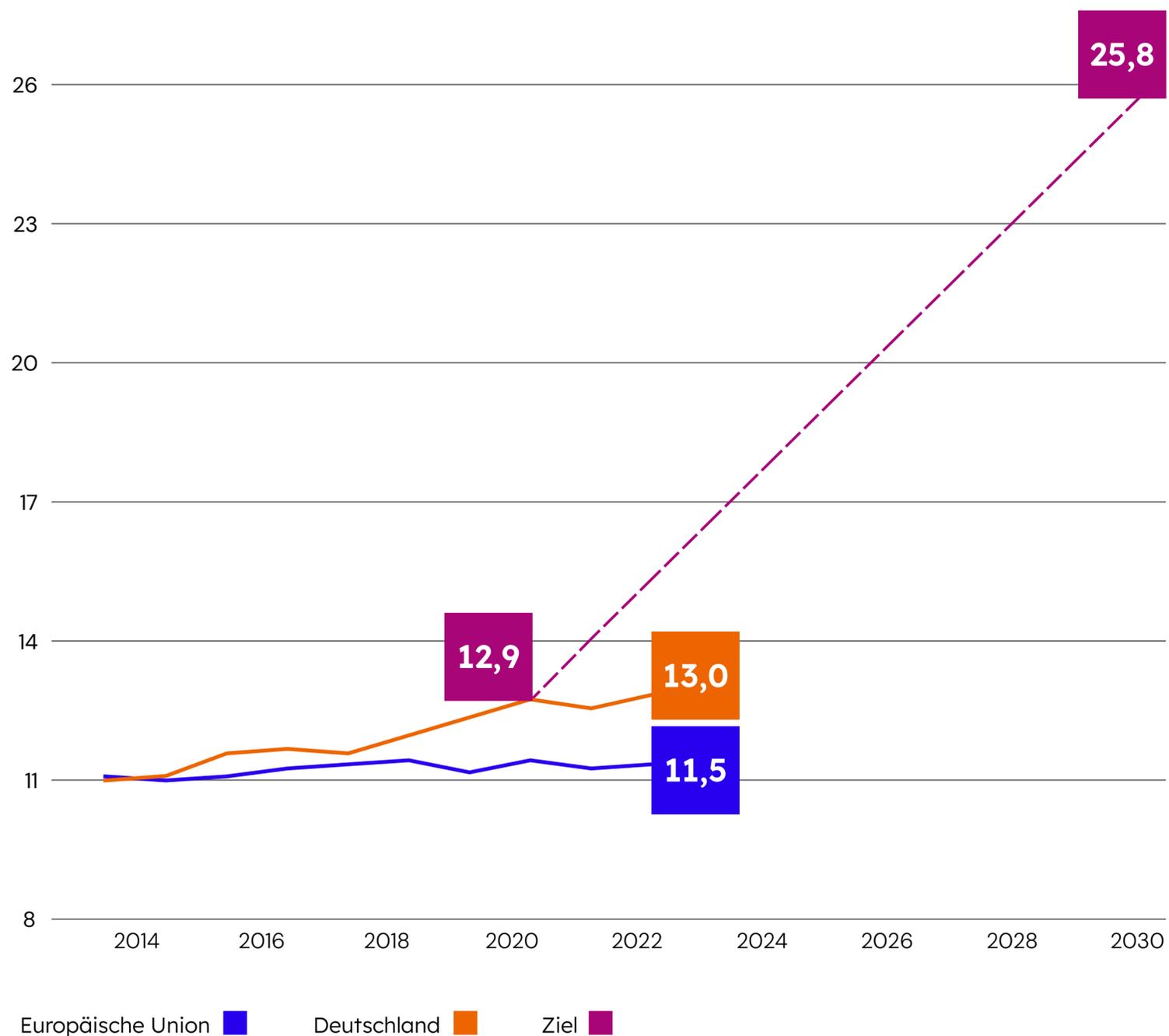
Inmitten dieser vielfältigen Herausforderungen bietet die Kreislaufwirtschaft einen vielversprechenden Lösungsansatz, um nachhaltige und wirtschaftlich tragfähige Produktionsprozesse zu fördern. Insbesondere in der Industrie, einem der größten Verursacher der deutschen Treibhausgasemissionen mit einem Anteil von etwa 24 Prozent, eröffnen sich durch zirkuläre Prozesse erhebliche Einsparpotenziale [2].

Regulatorische Vorhaben auf EU- und Bundesebene

Angesichts aktueller geopolitischer Entwicklungen werden Resilienz, Unabhängigkeit und Sicherheit zunehmend Treiber für den Aufbau einer europäischen Kreislaufwirtschaft. Das verdeutlicht der am 26. Februar 2025 veröffentlichte Clean Industrial Deal der Europäischen Kommission. Er hebt die Kreislaufwirtschaft als eines von sechs Handlungsfeldern einer wettbewerbsfähigen und dekarbonisierten Europäischen Union hervor. Neben den Zielen des Clean Industrial Deals enthält der Circular Economy Action Plan (CEAP) weitere Vorgaben wie die Steigerung der Ressourceneffizienz, die Reduzierung des Abfallaufkommens sowie die Förderung von Wiederverwendung und Reparatur. Vorgaben hierzu sind beispielsweise in der europäischen Ökodesign-Verordnung (Ecodesign for Sustainable Products Regulation, EU-ESPR) festgeschrieben.

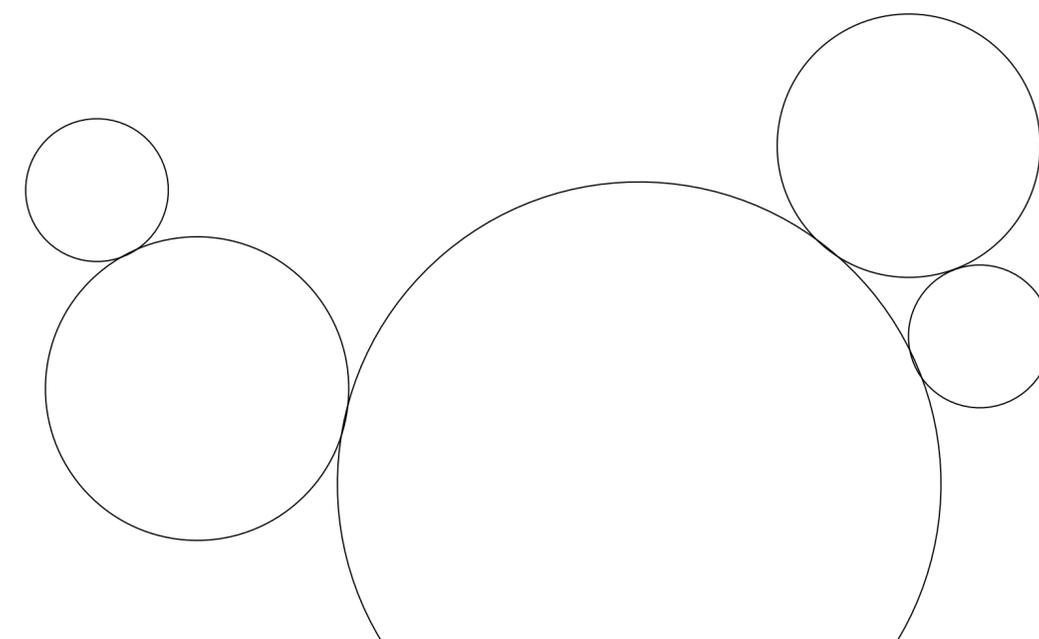
Ein Zielindikator ist dabei die Circular Material Use Rate (CMUR), die den Anteil des Sekundärrohstoffeinsatzes wiedergibt. Die EU will die CMUR bis 2030 verdoppeln (siehe Abbildung 1). Die CMUR liegt in Deutschland aktuell bei etwa 12 Prozent, für Metalle bei rund 33 Prozent, für mineralische Baustoffe und vor allem Kunststoffe noch deutlich darunter. Wird die EU-ESPR umgesetzt, gelten künftig verbindliche Anforderungen für die Zirkularität physischer Produkte. Die Umsetzung der Verordnung und die Erarbeitung der dazugehörigen Rechtsakte wurden im Frühjahr 2025 begonnen. Erste Ergebnisse sind ab 2026 vorgesehen.

Abbildung 1:
Zirkuläre Materialnutzungsrate (CMUR) in den Jahren 2013–2023 mit EU-Ziel 2030



Auch auf nationaler Ebene haben sich die politischen Aktivitäten bezüglich Kreislaufwirtschaft verstärkt. Im Dezember 2024 hat das Bundeskabinett die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) verabschiedet. Sie soll den Übergang zu einer ressourceneffizienten und zirkulären Wirtschaftsweise vorantreiben und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie sichern [1]. Im neuen Koalitionsvertrag ist enthalten, dass die Strategie in der aktuellen Legislaturperiode „pragmatisch“ umgesetzt werden soll. Dafür ist ein Eckpunktepapier vorgesehen, das kurzfristig realisierbare Maßnahmen zusammenfasst [2].

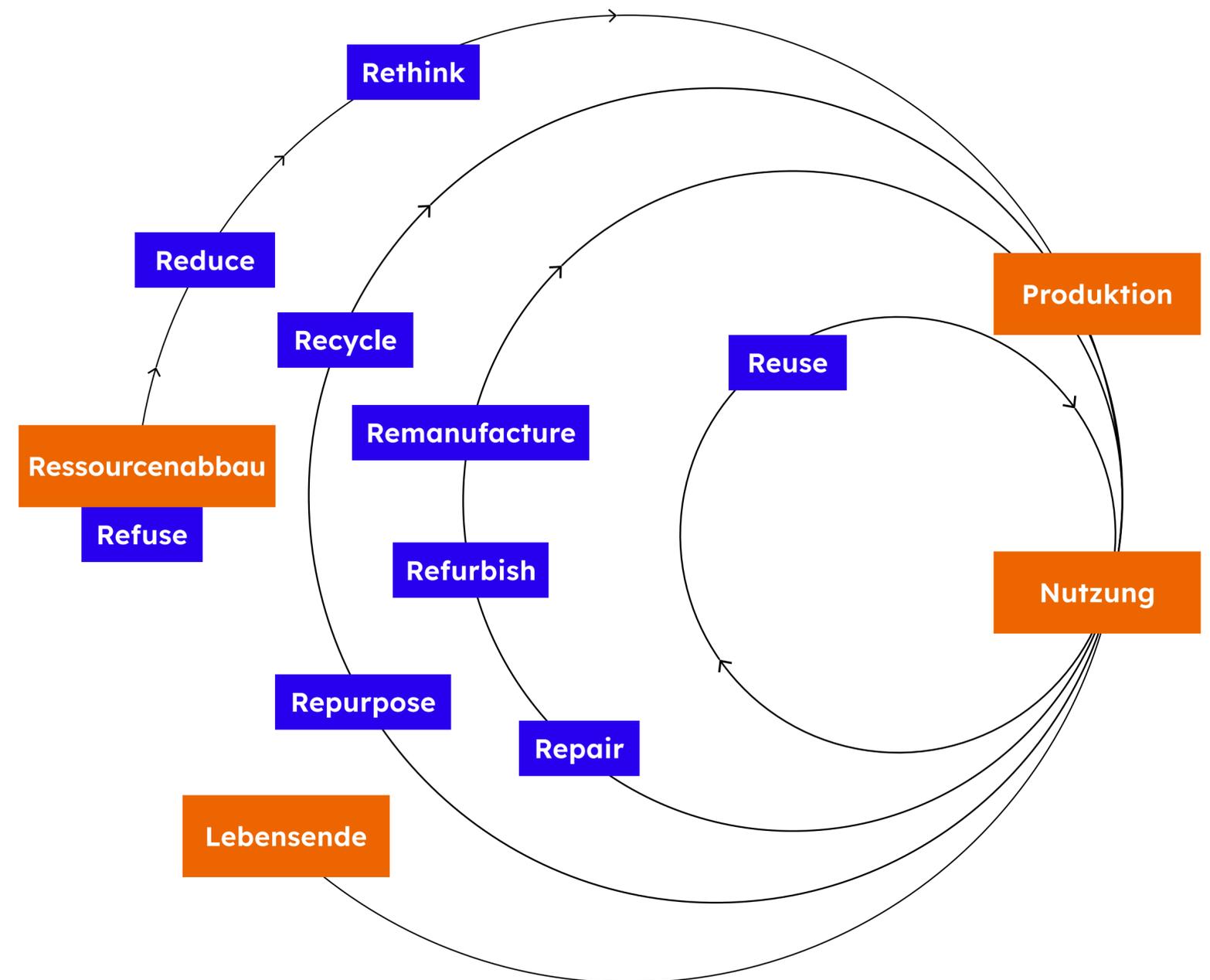
Hier setzt das vorliegende Impulspapier an. Es beschreibt zentrale Herausforderungen der Industrie bei der Umsetzung zirkulärer Ansätze und gibt konkrete Empfehlungen für die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft. Diese werden durch Beispiele aus der Praxis begleitet. Im Fokus stehen die energieintensiven Branchen wie Kunststoff-, Stahl- und Zementindustrie. Das Papier zeigt den Blick der Branchen auf die Kreislaufwirtschaft und macht deutlich, welche Herausforderungen vor ihnen liegen. Im Mittelpunkt steht dabei das zirkuläre Produkt.



3 Rolle der Kreislaufwirtschaft bei Klimaschutz und Resilienz

Kreislaufwirtschaft bedeutet mehr als reines Recycling. Sie umfasst vielfältige Strategien und Maßnahmen, um Ressourcen zu schonen und effizienter zu nutzen. Ein bekanntes Konzept der Kreislaufwirtschaft sind die sogenannten R-Strategien. Ursprünglich begonnen hat das Konzept mit den drei grundlegenden „R“-Elementen Reduce (Reduzieren), Reuse (Wiederverwenden) und Recyceln. Heute umfasst das Konzept zehn Strategien, wie in Abbildung 2 dargestellt. Das Konzept der R-Strategien zeigt: Je früher im Produktlebenszyklus eine Maßnahme ansetzt, desto wirksamer ist sie für die Ressourcenschonung. Strategien wie Verzicht (Refuse) und Reduktion (Reduce) gelten dabei als besonders wirksam. Recycling hingegen, das erst am Ende des Lebenszyklus kommt, ist weniger wirksam.

Abbildung 2:
Übersicht der R-Strategien [3]



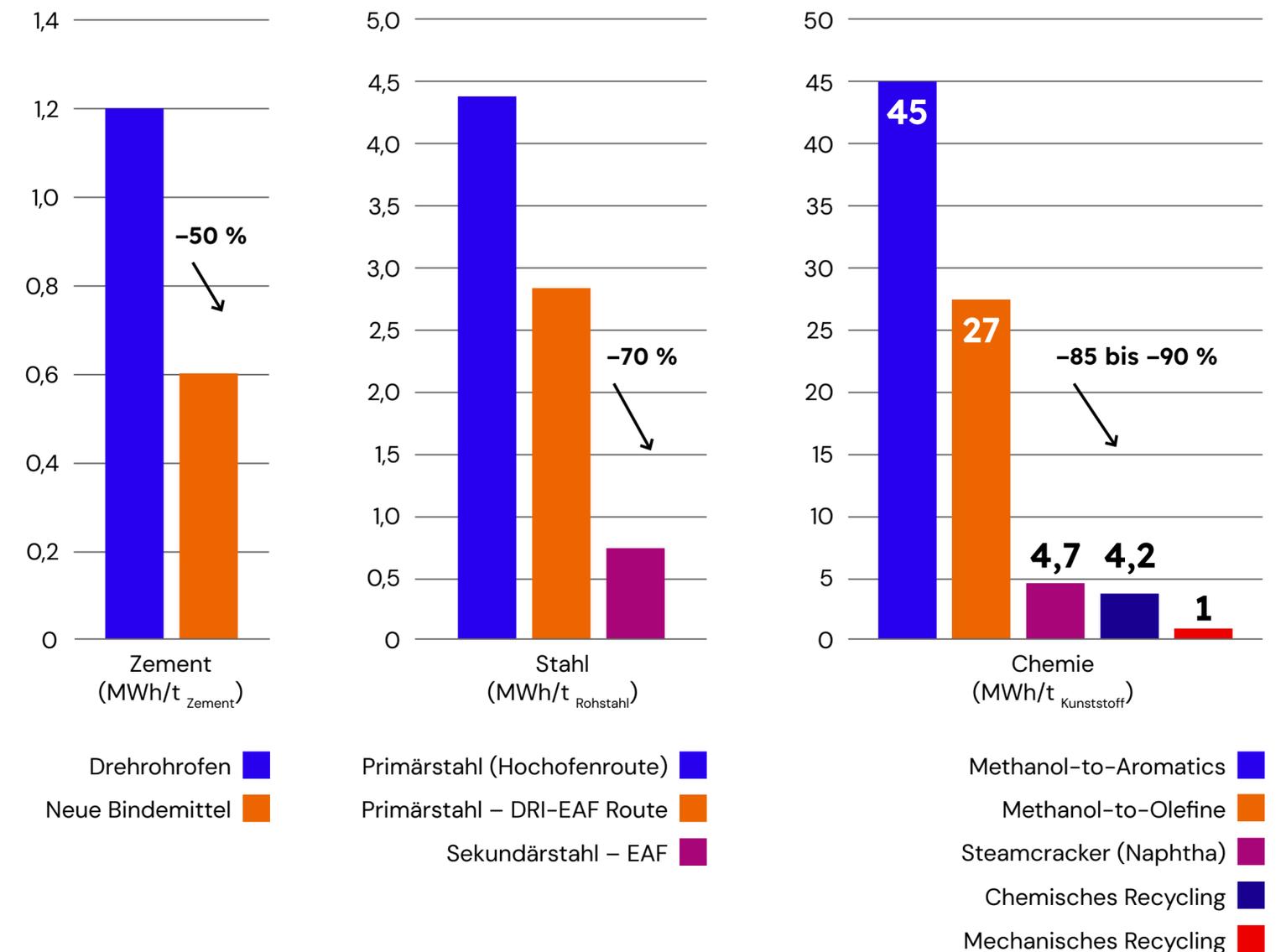
Die Umsetzung der R-Strategien in einer Kreislaufwirtschaft für energieintensive Industrien wurde bereits in verschiedenen Studien (Agora Industrie, WWF, Wuppertal Institut) umfassend diskutiert. Die Ergebnisse zeigen: Eine verstärkte Kreislaufwirtschaft kann die aktuellen Herausforderungen der energieintensiven Industrien deutlich abmildern [3, 4, 5]. Nachfolgend werden anhand von Beispielen die Vorteile der Kreislaufwirtschaft für die Branchen Kunststoffe, Stahl sowie Zement aufgezeigt. Die Transformation dieser Branchen hat hinsichtlich der Klimaschutzwirkungen eine besonders hohe Bedeutung und sie gelten daher als Schlüsselbranchen für den Klimaschutz.

Energiebedarf reduzieren

Die Produktion von Kunststoffen, Zement und Stahl ist durch eine hohe Energieintensität gekennzeichnet. Die Herausforderung für die Unternehmen: Der Energiebedarf wird auch dann hoch bleiben, wenn in Zukunft die Primärproduktion dekarbonisiert wird. Wird hingegen – soweit möglich – auf eine Sekundärproduktion umgestellt und werden Materialien eingespart oder wiederverwendet, sinkt der Energiebedarf deutlich (siehe Abbildung 3) [6, 3].

Eine vollständige Umstellung aller Produkte auf Sekundärprozesse ist aufgrund von Verlusten bei der Herstellung, durch Verunreinigungen von Materialien sowie wegen einer teils steigenden Nachfrage nicht möglich. Trotzdem bietet die Umstellung auf Kreislaufwirtschaft große Chancen für die Unternehmen: Zirkuläre Produkte und Produktionsprozesse senken nicht nur direkt den Energiebedarf, sie wirken sich zudem positiv auf die Transformation des gesamten Energiesystems aus. Ein verringerter Energiebedarf führt zu einer Kaskade positiver Effekte,

Abbildung 3: Energieeinsparpotenzial von sekundären Produktionsverfahren im Vergleich zur Primärproduktion in der Grundstoffindustrie [52]



% ↘ Reduktion des Energiebedarfs durch Sekundärproduktion im Vergleich zur treibhausgasneutralen Primärproduktion

die sich gegenseitig verstärken können (positive Rückkopplungseffekte). Durch die Verringerung des Energiebedarfs wird bzw. werden

- › der Bedarf am Ausbau erneuerbarer Energien reduziert (vgl. [7, 8]).
- › der Bedarf an Rohstoffen für den Bau von Anlagen verringert (vgl. [8]).
- › die Abhängigkeit von Energieimporten gesenkt (vgl. [7]).
- › das Risiko bei der Skalierung neuer Technologien gemindert (vgl. [7]).
- › die Kosten für den Ausbau erneuerbarer Energien und der entsprechenden Netze gesenkt (vgl. [4]).

Die Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft für Industrieunternehmen verdeutlichen konkrete Zahlen: Ohne Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft würde in den Sektoren Stahl, Kunststoffe sowie Zement und Beton ein zusätzlicher Bedarf an erneuerbaren Energien und Wasserstoff in Höhe von 24 Prozent entstehen. Dies entspricht einer Gesamtmenge von rund 31 Gigawatt [3]. Besonders deutlich werden die Positiveffekte am Beispiel der chemischen Industrie: Bei einem Szenario für die Chemieindustrie, das sich auf Sekundärrohstoffe konzentriert, sinkt der Strombedarf von 287 auf 127 Terrawattstunden (TWh) und der Wasserstoffbedarf von 201 auf 94 TWh [9].

THG-Emissionen einsparen

Rund ein Viertel der gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland stammt aus dem Industriesektor. Das entspricht einer Menge von 158 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten (CO₂Äq) im Jahr 2024. Davon entfallen allein 50 Prozent auf die energieintensiven Grundstoffe Stahl, Beton und Zement sowie Kunststoffe [10]. Für diese Unternehmen gilt: Weniger Energiebedarf führt auch zu weniger Treibhausgasemissionen. Dies betrifft insbesondere Phasen, in denen die Primärproduktionsprozesse nicht mit treibhausgasneutralem Strom oder Wasserstoff arbeiten, sowie Prozesse mit technisch nicht vermeidbaren Restemissionen, etwa bei der Herstellung von Zementklinker. In den Branchen Stahl, Zement und Beton sowie Kunststoffe können durch Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft die kumulierten THG-Emissionen im Zeitraum 2020 bis 2045 um 25 Prozent gesenkt werden, d.h. von 1.150 Mio. auf 850 Mio. Tonnen CO₂Äq [3].

Transformationskosten verringern

Ein verringerter Energie- und Ressourcenbedarf und die längere Nutzungsdauer führen auch zu geringeren Vermeidungskosten¹. In manchen Fällen können diese Vermeidungskosten sogar negativ ausfallen. Das bedeutet: Eine Umstellung im Sinne der Kreislaufwirtschaft ist für Unternehmen günstiger als die Fortführung des bestehenden Prozesses. In der Grundstoffindustrie (Stahl, Beton und Zement, Kunststoffe) lassen sich die Vermeidungskosten um 45 Prozent senken, von 130 auf 70 €/t CO₂ [3].

¹ Definition Vermeidungskosten: Kosten, die durch die Anwendung eines transformierten Prozesses im Vergleich zum fossilen Prozess entstehen. Vermeidungskosten werden auf die Tonne vermiedenen CO₂ bezogen.

Dabei ist zu beachten, dass die Kosten anfangs deutlich höher sein können. Gerade bei sogenannten First-Mover-Projekten stoßen Unternehmen oft auf neue Herausforderungen. So bestehen häufig noch keine Skaleneffekte und der Markt muss sich erst noch entwickeln [6].² Davon betroffen sind auch Technologien, die zur Umstellung auf eine treibhausgasneutrale Primärproduktion notwendig sind. Bei vielen Unternehmen sind die Technologien noch nicht so weit entwickelt wie mögliche zirkuläre Ansätze.

Resilienz erhöhen

Neben der Senkung der THG-Emissionen unterstützt die Kreislaufwirtschaft in der Industrie ein weiteres Ziel des Clean Industrial Deals: Sie kann Abhängigkeiten von externen Akteuren für neue Rohstoffe verringern. Dies betrifft besonders Rohstoffe, die für ein treibhausgasneutrales Energiesystem gebraucht werden. Beispielsweise wird die Produktion von PV-Anlagen aus Silizium aktuell von China dominiert, und zwar entlang der gesamten Lieferkette. Bei Ingots und Wafern hat China sogar einen Marktanteil von 97 Prozent und bei Polysilizium beträgt der Marktanteil Chinas etwa 79 Prozent. Der einzige europäische Polysilizium-Produzent ist Wacker Chemie mit Standort in Deutschland [11]. Potenziell können bei diesen kritischen Rohstoffen für die Energiewende Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft, z. B. durch eine Verringerung des Bedarfs oder durch ein regionales Mehrangebot mittels Recycling, die Versorgungssituation mit Rohstoffen um mindestens 5 Prozent des für 2045 erwarteten Rohstoffbedarfs verbessern [4].

Deutschland ist als Exportnation eng in internationale Handelsstrukturen eingebunden, wobei die Abhängigkeit von Im- und Exporten in den einzelnen Branchen stark variiert. Etwa 38 Prozent des Wertes der in der deutschen Industrie eingesetzten Vorleistungsgüter stammen aus dem Ausland. Daraus ergibt sich, dass die zukünftige Verfügbarkeit von Materialien den Hochlauf einer defossilisierten Industrieproduktion in Deutschland empfindlich beeinträchtigen kann [12]. Die bestehenden Abhängigkeiten können durch Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft im Wesentlichen mit zwei Hebeln verringert werden:

- › Reduzierung des Bedarfs an Rohstoffen durch Verringerung des Bedarfs an Technologien (siehe oben).
- › Bereitstellung von Materialien über Nutzung des bestehenden Lagers an Rohstoffen in Deutschland und Europa [13].

Zu Beginn einer Transformation in Richtung Kreislaufwirtschaft sind die Potenziale zunächst begrenzt, da sich die Technologien und Anlagen anfangs noch in der Nutzung befinden und die Materialien nicht zur Wiederverwendung bereitstehen. Erst wenn bei den Produkten der Lebenszyklus abgeschlossen ist, beispielsweise bei Solarmodulen, können die Materialien recycelt und wiederverwendet werden. Daher muss Kreislaufwirtschaft immer auch mittel- und langfristig gedacht werden.

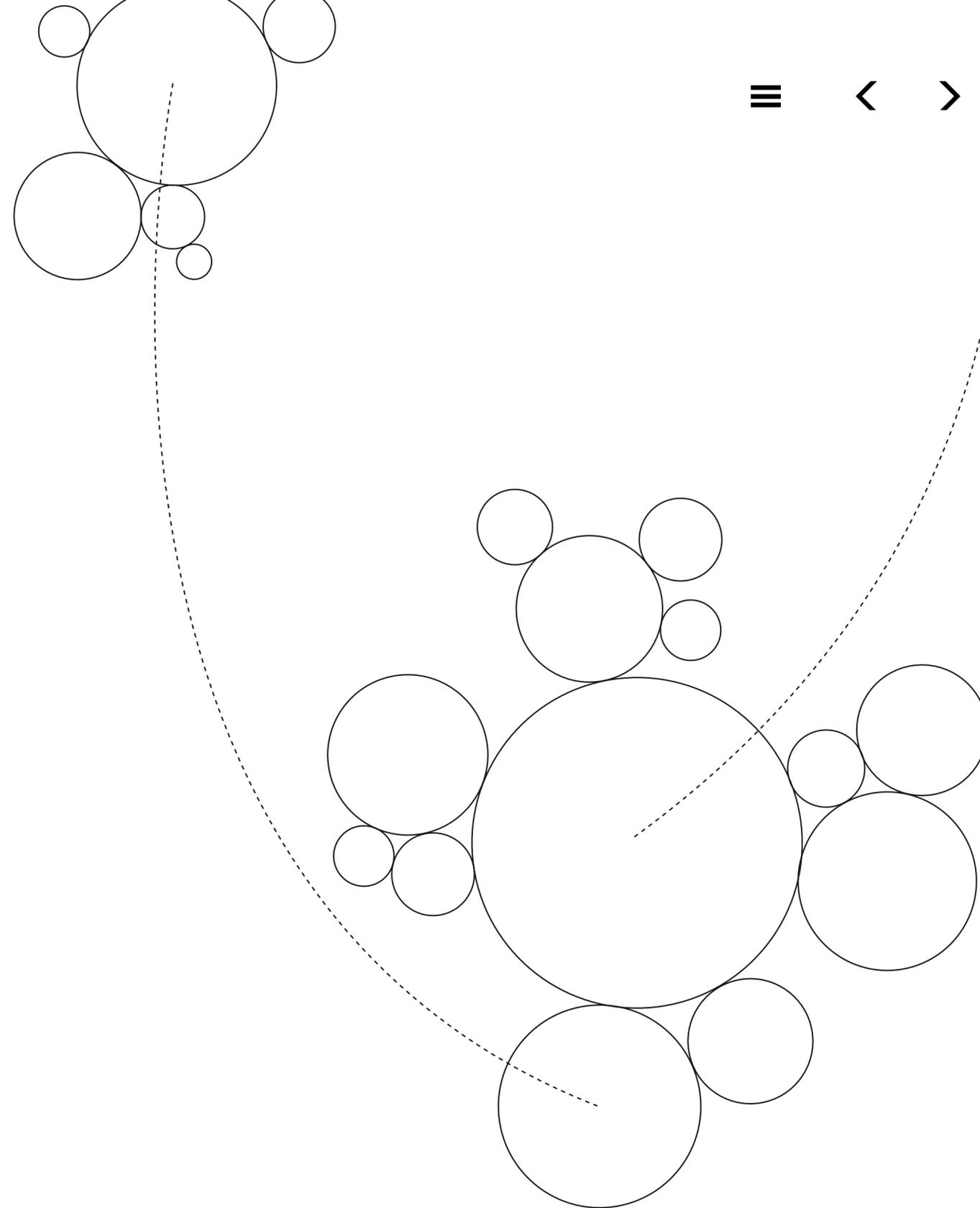
² Durch höhere Qualität beim Recycling sowie höhere Erträge ergibt sich in Material Economics (2018) eine Reduktion der Vermeidungskosten von 257 auf (-)101 €/t CO₂.

Regionale Wertschöpfung stärken

Die industrielle Wertschöpfung der energieintensiven Grundstoffindustrie in Deutschland steht vor strukturellen Herausforderungen, insbesondere im Hinblick auf die Energiekosten. Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung sind entsprechende Entlastungen durch die Ausnahme von Unternehmen vom Netzentgelt, die Senkung der Stromsteuer auf das europäische Minimum sowie einen Industriestrompreis vorgesehen. Trotz dieser wichtigen Entlastungen sind die Stromgestehungskosten derzeit höher als in den europäischen Nachbarländern oder auf dem Weltmarkt. Prognosen weisen darauf hin, dass sich daran auch in Zukunft wenig ändert [14, 15, 16].

Das bedeutet: Langfristig und im internationalen Vergleich gesehen wird Deutschland voraussichtlich höhere Strompreise behalten. Mit zunehmendem Elektrifizierungsgrad in der Produktion könnten deutsche Unternehmen daher motiviert werden, ihre Produktionen oder einzelne Produktionsschritte ins Ausland zu verlagern, dorthin, wo auch grüne Energie in großen Mengen und kostengünstig zur Verfügung steht (Renewables Pull) [15, 17, 18]. Berücksichtigt man weitere Faktoren wie Planungs- und Genehmigungsverfahren, regulatorische Anforderungen, Infrastruktur sowie Lohnkosten, kommt es bereits heute zu regelmäßigen Produktionsstopps sowie dem Abbau von Arbeitsplätzen und der Verlagerung von Produktionsstätten [19] [20] [18].

Die Politik steht dabei aktuell vor dem Dilemma, dass wettbewerbsfähige Energiepreise und somit Produktionsbedingungen für die energieintensive Industrie in Deutschland nur mit erheblichen Subventionen möglich sind. Eine Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft könnte dazu beitragen, diesem Dilemma entgegenzuwirken. Denn Sekundärprozesse zeichnen sich meist durch eine deutlich geringere Energieintensität aus. Man würde also mit weniger Energie auskommen, deren Kosten staatlich subventioniert werden müssten. Zudem könnte ein verstärkter Fokus auf Reparatur und Wiederverwendung den Rohstoffbedarf senken und gleichzeitig neue Wertschöpfung und Arbeitsplätze in der Region schaffen (siehe oben). Für die chemische Grundstoffindustrie zeigt sich bereits heute, dass aus Kostengründen das mechanische und chemische Recycling die wichtigste Quelle für nicht fossilen Kohlenstoff sein werden [18] [21].



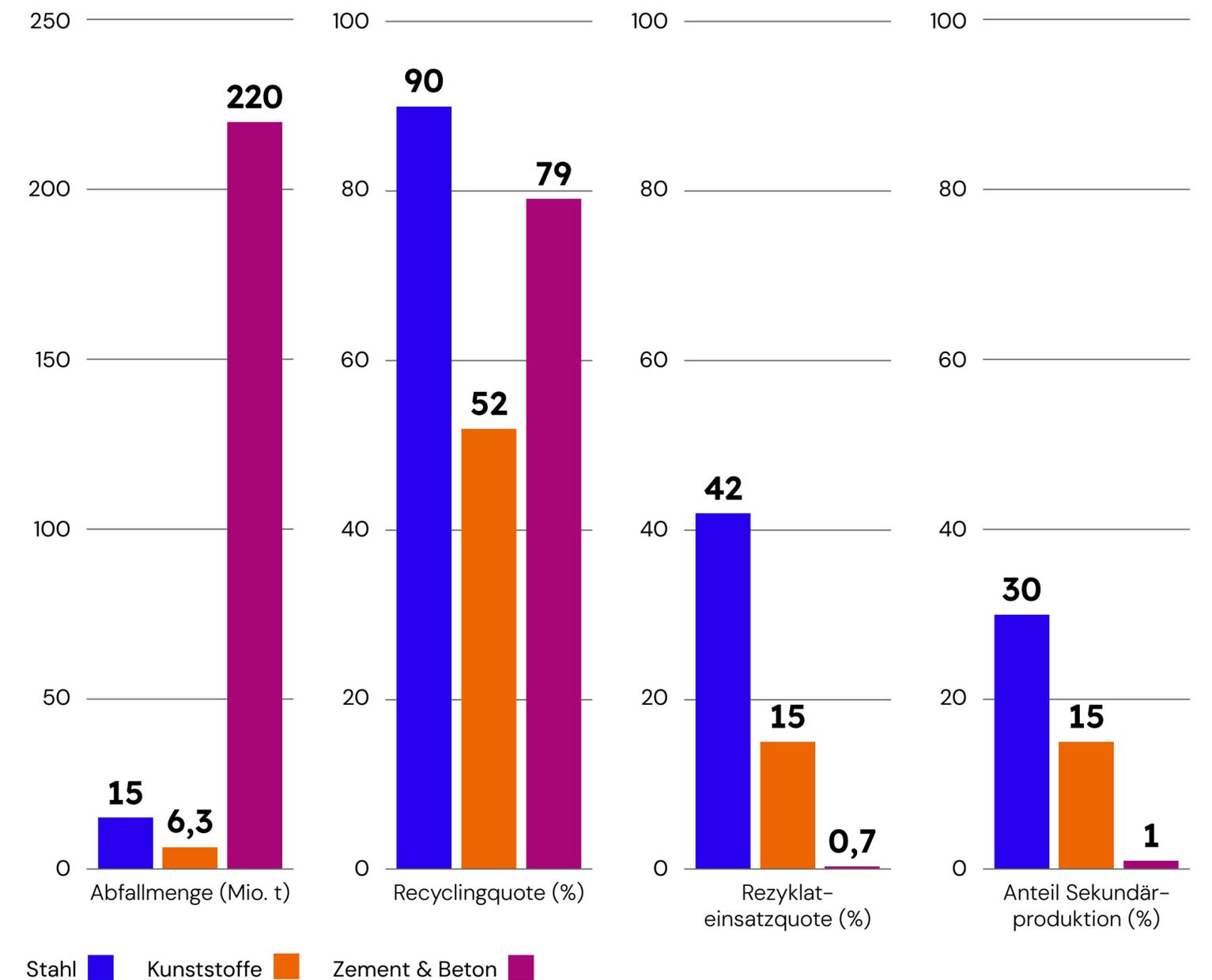
4 Status quo: Kreislaufwirtschaft in der Industrie

Es zeigt sich, dass die Kreislaufwirtschaft ein hohes Potenzial in der energieintensiven Industrie zur Emissionsvermeidung, Kostenreduktion und Erhöhung der Resilienz hat. Aktuelle politische und wirtschaftliche Bestrebungen machen (NKWS, CEAP usw.) deutlich, dass die Kreislaufwirtschaft längst ein industrie- und klimapolitisches Thema ist und nicht mehr ausschließlich eine Frage der Abfallwirtschaft. Im Rahmen der NKWS und des Statusberichts wird der aktuelle Status quo ausführlich aufbereitet. Eine Übersicht zu den wichtigsten Kenndaten für die wichtigsten Industrien findet sich in Abbildung 4 [22, 23].

Ergänzungen zu den Zahlen der Grafik:

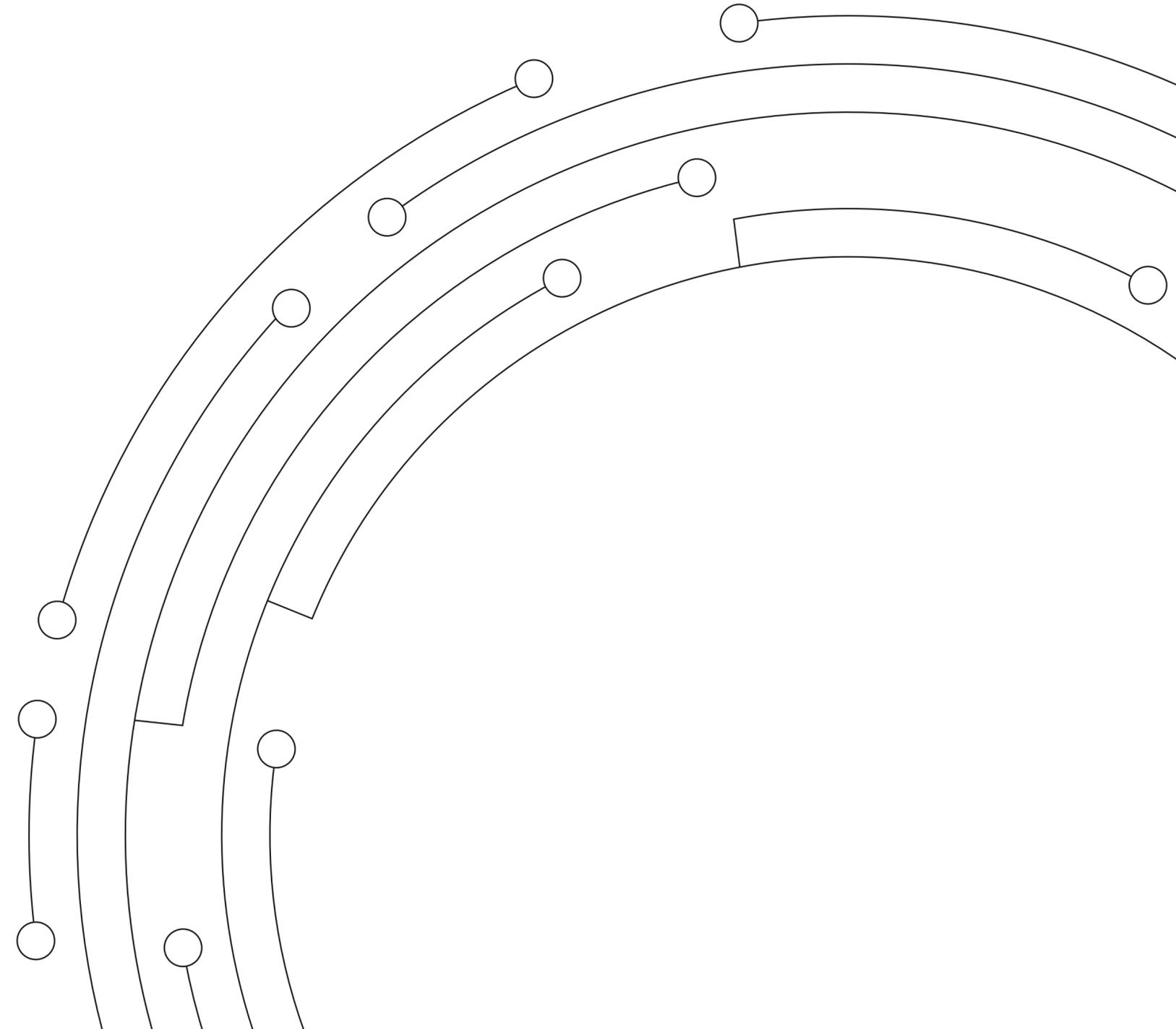
1. Recyclingquote Kunststoffe: Output-basiert, Kunststoffverpackungen 2023
2. Rezyklateinsatzquote Kunststoffe: 15 Prozent Rezyklatanteil in Kunststoffverpackungen (2023)
3. Mehrwegquote Kunststoffe: Mehrweganteil bei Getränkeverpackungen (Stand 2021)
4. Sekundärproduktion: Verpackungsbereich
5. Recyclingquote Zement & Beton: stoffliche Verwertung für Bauschutt 2020
6. Rezyklateinsatzquote Zement & Beton: 0,7 Prozent der Recyclingbaustoffe werden für Ortbeton und Betonbauteile wiederverwendet, Stand 2018

Abbildung 4: Übersicht Status quo in relevanten Industrien [24, 25, 26, 27, 23, 28]



Die Zahlen zeigen, dass die Verwertung von Stahlschrott bereits auf einem hohen Niveau (90 Prozent Recyclingquote) angelangt ist, wobei der Anteil der Sekundärproduktion in den letzten Jahren bei etwa 30 Prozent stagniert [25]. In der Kunststoffindustrie stieg die Menge an Verpackungsabfällen um 19 Prozent seit 2010. Die Recyclingquote ist dabei relativ gering und liegt bei Verpackungen bei etwa 52 Prozent [24]. Im Bausektor fällt mit 220 Millionen Tonnen der größte Abfallstrom an. Der überwiegende Teil hiervon wird bereits heute verwertet (90 Prozent mineralischer Bauschutt und Straßenaufbruch), wobei nur ein sehr kleiner Bruchteil von 0,7 Prozent (2018) als rezyklierte Gesteinskörnung zurück in neuen Beton fließen und der größte Teil im Bau als Füllmaterial verwendet wird. Somit findet ein Downcycling statt, das keinen echten Kreislaufansatz gemäß den R-Strategien und der NKWS darstellt.

Bei der Betrachtung der verschiedenen energieintensiven Industrien fällt auf, dass der Fokus bezüglich Kreislaufwirtschaft aktuell stark auf der Verwertung und dem Recycling liegt. Es ist wichtig und richtig, Recycling weiter voranzutreiben, dennoch dürfen andere Strategien der Kreislaufwirtschaft nicht vergessen werden. Folgt man dem Prinzip der zehn Rs und dem darin dargestellten Nutzungszyklus, spielen weitere Vorgehensweisen eine bedeutende Rolle, bevor das Recycling von Materialien relevant werden sollte. Hierzu zählen das Reparieren (Repair) oder die industrielle Aufbereitung (Remanufacture) von genutzten Produkten. Die Gründe, warum diese Maßnahmen bislang noch nicht weitverbreitet sind und es grundsätzlich schwierig ist, eine höhere Zirkularität bei Produkten und Prozessen zu erreichen, sind vielschichtig und reichen von wirtschaftlichen, politischen bis zu gesellschaftlichen Ursachen.



5 Aktuelle Herausforderungen

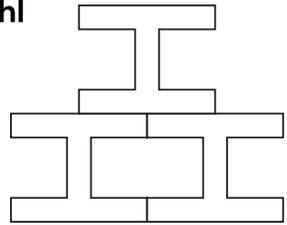
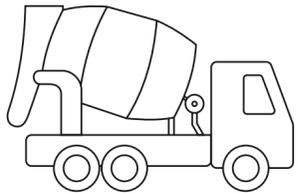
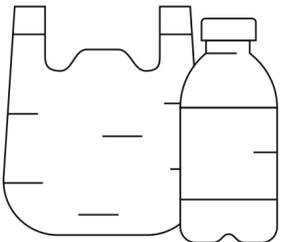
In den energieintensiven Branchen Kunststoffherstellung, Zement- und Betonproduktion ist der aktuelle Stand teilweise noch weit von dem entfernt, was möglich ist. Besonders bei der Herstellung von Kunststoffen gibt es ein sehr hohes Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasen. Erste positive Beispiele zeigen zwar die großen Potenziale in den einzelnen Branchen. Doch gibt es noch viele Herausforderungen und Zielkonflikte, die gelöst werden müssen, um den Hochlauf der Kreislaufwirtschaft in der Industrie in Schwung zu bringen.

Datenverfügbarkeit und Informationen

Ein zentrales Problem auf dem Weg zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft ist der fehlende Überblick über den Verbleib und die Zusammensetzung von Produkten am Ende ihres Lebenszyklus. Ohne klare rechtliche Verpflichtungen und öffentlich zugängliche Informationen über Rohstoffe stehen selbst Unternehmen mit zirkulären Ansätzen vor großen Herausforderungen, ihre eigenen Produkte zurückzuführen (siehe Tabelle 1). Diese sind oft schwer identifizierbar und ihre Demontage gestaltet sich aufgrund fehlender Informationen als schwierig.

Beim Verzicht auf bestimmte Materialien oder beim Einsatz von Ersatzstoffen (Substitution) fehlen oft verlässliche Daten zur Umweltbilanz. Das macht es gerade bei Kunststoffen für die

Tabelle 1:
Übersicht Herausforderungen bei Datenverfügbarkeit und Informationen

<p>Stahl</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Keine Materialpässe für Gebäude/Produkte (Stahlzusammensetzung) › Fehlende Nachverfolgung von Stahl über Lebenszyklus › Informationslücken über Zustand gebrauchter Teile
<p>Zement & Beton</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Kaum Transparenz über verbaute Materialien und Alternativen › Unzureichende Informationen über Schadstoffe › Mangelndes Vertrauen in Qualität durch Informationsdefizite
<p>Kunststoffe</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Fehlende Kennzeichnung mancher Kunststoffe (Verbraucher und Recycler erkennen Material nicht) › Keine flächendeckenden digitalen Produktpässe für Inhalte (Additive unbekannt) › Fehlende Daten und Informationen zu Produktalternativen

Unternehmen schwer, Fehlentscheidungen zu vermeiden, beispielsweise beim Einsatz von Pappe oder Glas als Alternativen für Verpackungen. Beim Einsatz von Recyclingbaustoffen führen informatorische Hindernisse zu mangelndem Vertrauen in die Qualität und hemmen deren Einsatz.

Darüber hinaus fehlt es an Daten, um in Bauprojekten Entscheidungen zu treffen, an welchen Stellen z. B. Primärstahl durch Sekundärprodukte ersetzt werden kann. Die Revision der EU-Bauproduktenverordnung 2024³ fordert explizit „mehr Recyclinganteile sowie höhere Haltbarkeit von Bauprodukten“ und führt einen digitalen Bauproduktpass ein. In Deutschland steht seit 2023 ein von der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) entwickelter Gebäuderessourcenpass zur Verfügung, der zu mehr Transparenz über die verbauten Materialien, die THG-Emissionen von Gebäuden und deren Zirkularität führen soll [29]. Auch für Elektronik, Batterien und Fahrzeuge sind Produktpässe von der EU geplant [30, 31, 3].

Der Produktpass könnte helfen, bestehende Herausforderungen beim Produktdesign und bei der Reparaturfähigkeit zu lösen. So wissen Recycler häufig nicht, welche Fremdstoffe oder Beschichtungen (z. B. Farbanstriche, beigefügte Schadstoffe oder Oberflächenprodukte) in Stahlschrott enthalten sind. Das erschwert hochwertiges Recycling und Upcycling. Auch Kunststoffprodukte enthalten Additive (Weichmacher, Stabilisatoren, Färbemittel), die beim Recycling unbekannt sind und zu Qualitätsproblemen führen. Diese Probleme werden noch größer, wenn das Recycling von wichtigen Materialien durch andere Unternehmen übernommen wird, die nicht der ursprüngliche Hersteller sind [3].

Auch können fehlende Daten dazu führen, dass Mehrwegsysteme weniger effizient arbeiten. Hier können digitale Trackingsysteme in Kombination mit einem auf Recycling ausgelegten Produktdesign eine sinnvolle Ergänzung sein, beispielsweise durch QR-Codes auf Mehrwegverpackungen. Ein digitaler Produktpass bietet zudem die Möglichkeit, die Akzeptanz von Produkten mit recycelten Bestandteilen bei Verbraucherinnen und Verbrauchern zu erhöhen.

3 Erstmals wird der EU-Kommission die Kompetenz übertragen, auf europäischer Ebene verbindliche ökologische Anforderungen an Bauprodukte zu definieren. Zudem werden Hersteller verpflichtet, in der Leistungserklärung ihres Bauprodukts Nachhaltigkeitskennwerte gemäß der Norm EN 15804+A2 im Hinblick auf Umwelt- und Klimaschutz auszuweisen.

Rechtlich-regulatorische Herausforderungen

Die Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft wird in vielen Bereichen aktuell noch durch rechtliche und regulatorische Vorgaben erschwert (siehe Tabelle 2). So begrenzen Bauordnungen und Bauvorschriften z. B. die Höhe von Gebäuden aus Holz. Dies kann je nach Bauprojekt den Einsatz von Holz gegenüber Stahlbeton einschränken. Zudem geben öffentliche Ausschreibungen oftmals bewährte Materialien wie Stahlbeton vor, jedoch ohne Verpflichtung zur Materialreduktion. Der Einsatz von Recyclingbeton ist aufgrund lückenhafter Zulassung und Standardisierung nicht vorgeschrieben.

Bei Kunststoffen ist man bereits weiter. Neben Verboten gibt es hier Instrumente wie die deutsche Mehrwegangebotspflicht⁴ sowie die Einführung der EU-Plastiksteuer. Die erreichten Steigerungen durch die Mehrwegpflicht sind bisher jedoch eher minimal (von 0,7 auf 1,6 Prozent) [32]. Für 2025 war vorgesehen, die Plastiksteuer auf die Endverbraucher umzulegen, statt diese aus dem Haushalt zu bezahlen. Dieses Vorhaben wurde nicht umgesetzt und findet sich nicht im Koalitionsvertrag wieder [33, 30].

Regulatorisch existieren bislang nur vereinzelte Anforderungen an reparaturfreundliches Design in der Metallverarbeitung. Impulse liefert hier die EU-ESPR. Sie soll künftig Kriterien wie Langlebigkeit, Demontierbarkeit und Recyclingfähigkeit für zahlreiche Produktgruppen verbindlich machen. Für Kunststoffe sieht die Überarbeitung der EU-Verpackungsverordnung vor, dass alle Verpackungen recyclingfähig sein sollen (ab 2035 soll die großmaßstäbliche Recyclingfähigkeit beinhaltet sein). Auch die neuen Koalitionsparteien haben sich dafür ausgesprochen, die Verordnung in der Praxis umsetzbar zu machen [2].

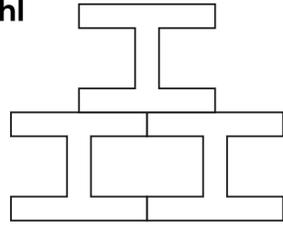
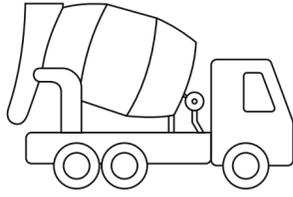
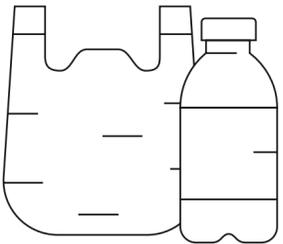
4 Seit 2023 müssen Gastronomiebetriebe eine wiederverwendbare Alternative für Einweg-Essensboxen anbieten.

Die direkte Wiederverwendung von Stahlbauteilen im Neubau scheidet derzeit häufig an regulatorischen und normativen Hürden. In Deutschland verlangen die Bauvorschriften für tragende Bauteile in Neubauten in der Regel eine Zertifizierung gemäß Norm (z. B. DIN-EN für Stahlträger). Bei gebrauchten Elementen ist ein solches Zertifikat oft nicht mehr verfügbar oder der Zustand des Bauteils unbekannt. Zudem gelten gebrauchte Bauteile rechtlich teilweise so lange als Abfall, bis ihre Eignung nachgewiesen ist. Dies erschwert den Handel gebrauchter Bauteile erheblich. Einige frühere Baustoffe werden zudem heute als Schadstoff eingestuft und stehen nicht als Sekundärmaterial zur Verfügung [22]. Zudem müssen Planender und Handwerker eine Gewährleistung über bis zu 30 Jahre übernehmen für Materialien, die sie ggf. nicht kennen.

Im Rahmen der deutschen Normungsroadmap Circular Economy entwickeln DIN, DKE und VDI konkrete Empfehlungen, um die Wiederverwendung im Bau zu vereinfachen. Hier gehen erste Bundesländer bei der Umsetzung voran: So hat das Land Berlin Merkblätter veröffentlicht, die das Recycling und die Wiederverwendung von Bauprodukten fördern [34]. Doch auch nach Inkrafttreten der Mantelverordnung (2023), die bundeseinheitlich Regeln für Ersatzbaustoffe festlegt, bestehen weiterhin zahlreiche praktische und rechtliche Hürden bei der Nachweisführung der Schadstofffreiheit sowie haftungsrechtliche Unsicherheiten für Recyclingbeton [35]. Da es bislang keine einheitlichen Normen für gebrauchte Bauteile gibt, wird jedes Stück in einer aufwendigen Prüfung als Einzelfall bewertet [36].

Im Bereich Kunststoffe wirken sich vor allem Vorschriften für Rezyklate mit direktem Kontakt zu Lebensmitteln einschränkend aus.⁵ Das Chemikalienrecht und produktsicherheitsrecht-

Tabelle 2:
Übersicht rechtlich-regulatorischer Herausforderungen

<p>Stahl</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Bevorzugung bewährter Materialien bei öffentlichen Ausschreibungen › Produktnormen begünstigen Neuware vor Wiederverwendung › Wenige Vorgaben für Recyclinganteil oder Design for Reuse
<p>Zement & Beton</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Lange konservative Normung beim Einsatz von Recyclingbeton › Bauordnungen ohne Pflicht zu Rückbauplanung oder Rezyklatnutzung › Umklassifizierung bestimmter damaliger Baustoffe als Schadstoffe › Wenige Vorgaben zu Materialpässen
<p>Kunststoffe</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Bisherige Vorgaben zu Recycling unzureichend › Strenge Zulassungen für Rezyklate mit direktem Kontakt zu Lebensmitteln › Uneinheitliche Standards für Recyclingfähigkeit › Lücken in der Normierung bei Schadstoffen, Additiven, usw.

⁵ In der EU dürfen Rezyklate, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen, nur aus Recyclingverfahren stammen, die gemäß VO (EG) 282/2008 durch die EFSA geprüft und von der EU-Kommission zugelassen wurden.

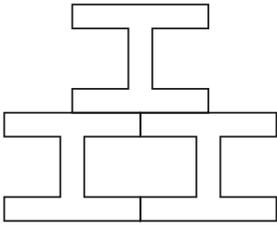
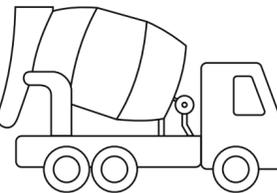
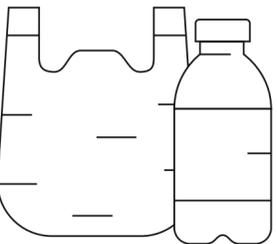
liche Vorgaben begrenzen den Einsatz von Rezyklaten zusätzlich. Eine weitere Herausforderung zeigt sich am Beispiel der Automobilindustrie: Die auf den Markt kommenden Rezyklate enthalten Additive aus der Produktion vor 15 bis 20 Jahren, viele davon dürfen heute nicht mehr verwendet werden. Entsprechende Lücken in der Normierung wurden von der Normungsroadmap identifiziert [36].

Zur Förderung neuer Geschäftsmodelle könnten regulatorische Anpassungen hilfreich sein – etwa durch gezielte Änderungen im Vergabe- oder Steuerrecht. Aktuell fehlen jedoch noch klare rechtliche Anreize, um servicebasierte Kreislaufmodelle im öffentlichen Bauen zu fördern (sogenannte As-a-Service-Modelle) [3, 37]. So kann ein erhöhter Serviceanreiz bei Herstellerfirmen nachhaltigeres Produktdesign fördern, wenn Beauftragungen auf eine möglichst lange Nutzungsdauer oder eine hohe Reparatur- und Recyclingfähigkeit ausgelegt sind (z. B. beim Anmieten und bei der Wartung von Lichtsystemen, Möbeln, Heizungen oder Bodenbelägen) [38].

Technische Herausforderungen

Herausforderungen bei der Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft ergeben sich auch aufgrund technischer Hürden (siehe Tabelle 3). Der Ersatz energieintensiver Materialien aus fossiler Herstellung wie Stahl, Zement oder Kunststoffe durch alternative Werkstoffe oder Sekundärmaterialien ist technisch grundsätzlich möglich. Jedoch bestehen qualitative Anforderungen an Ersatzmaterialien hinsichtlich Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Normkompatibilität. Besonders beim Einsatz von Holz als Substitut oder von Recyclingbeton gibt es zum Teil Vorbehalte gegenüber der Dauerhaftigkeit. Neuere Studien zeigen zwar, dass diese Materialien genauso dauerhaft sein können, aber diese neueren Erkenntnisse sind vielfach noch nicht bekannt genug [3, 33, 35, 30]. Im Kunststoffbereich können Substitutionen, z. B. Papier statt Plastik oder Glas statt PET, zu funktionalen Nachteilen führen, wenn etwa Material weniger stabil ist oder beim Transport mehr wiegt.

Tabelle 3:
Übersicht technischer Herausforderungen

<p>Stahl</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Erschwerung hochwertigen Recyclings durch Kupferverunreinigungen › Begrenzte Schrottmengen › Fehlende Demontage- und Sortiertechnik für Reuse › Fehlende Standardisierung für Modulbau
<p>Zement & Beton</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Qualitätsbedenken bei Recyclingbeton (Festigkeit, Dauerhaftigkeit) › Technische Limits beim Rückbau (Verbundbauweise schwer trennbar) › Fehlende ausgereifte Alternativbindemittel › Fehlende Serienlösungen für modulare Bauweisen
<p>Kunststoffe</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Erschwerung Recycling durch Vielzahl an Kunststofftypen und Additiven › Verbundmaterialien und Mehrschichtfolien kaum recyclingfähig › Begrenzte Recyclinginfrastruktur für bestimmtes Plastik › Chemisches Recycling noch nicht effizient › Erschwerung des Einsatzes durch Verunreinigungen, Geruch oder verringerte mechanische Festigkeit

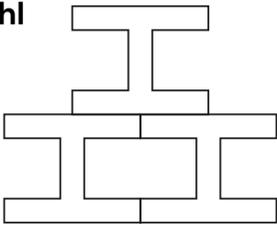
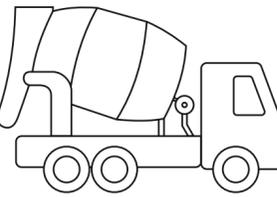
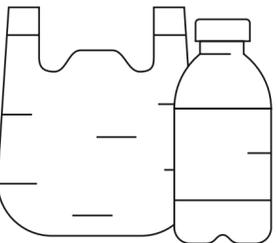
Beim Produktdesign treten regelmäßig Zielkonflikte auf: Eine bessere Reparierbarkeit kann zwar durch verschraubte statt geschweißter Komponenten erreicht werden, dabei erhöht sich jedoch gleichzeitig das Gewicht der Komponenten [39]. In der Bauwirtschaft existieren auf der einen Seite zahlreiche Reparaturtechniken. Allerdings fehlen modulare Standards wie z. B. vorgefertigte Fassadenelemente für energetische Sanierungen [33]. Auch bei Kunststoffverpackungen gibt es Zielkonflikte. So leisten Multilayerfolien funktional mehr als recyclingfähige Monofolien und sind damit überlegen. Das heißt, die Produkte stehen im Wettbewerb untereinander und die Entwicklung neuer, gleichzeitig leistungsfähiger und recyclingfähiger Materialien bleibt auf Dauer eine zentrale Herausforderung [36, 39].

Beim hochwertigen Recycling von Stahl bestehen technische Hürden, etwa durch Kupferverunreinigungen im Schredderschrott. Gleichzeitig reicht die verfügbare Schrottmenge aktuell nicht aus, um den Primärbedarf zu decken. Auch das Recycling von Beton stellt besondere Anforderungen an die Unternehmen: Rezyklierte Gesteinskörnungen zeigen durch Porosität und anhaftenden Altzement abweichende Eigenschaften und die Betontechnologie muss entsprechend angepasst werden. Beim Kunststoffrecycling begrenzen Verunreinigungen, schlechter Geruch oder verringerte mechanische Festigkeit den Einsatz in hochwertigen Produkten [40, 3, 35, 27].

Ökonomische Herausforderungen

Viele der genannten Herausforderungen machen es den Unternehmen schwer, kreislauforientierte Geschäftsmodelle zu entwickeln und zu etablieren. Zudem gibt es ökonomische Herausforderungen (siehe Tabelle 4). Zum Beispiel ist es schwierig, energieintensive Materialien zu ersetzen, wenn die Primärproduktion und der Einsatz neuer Rohstoffe günstiger sind. So ist primär hergestellter Baustahl meist preiswerter als die Substitution durch Holzbau.

Tabelle 4:
Übersicht ökonomischer Herausforderungen

<p>Stahl</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Volatile Schrottpreise › Höhere Rezyklatnutzung erfordert Investitionen in Trenn-/Sammelsysteme › Hohe Arbeitskosten für Reparatur vs. Neukauf
<p>Zement & Beton</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Günstige Primärrohstoffe (Sand, Kies, Zement) vs. teurere Sekundärmaterialien › Bevorzugung von Neubau zur Sanierung › Fehlende Anrechnung für graue Energie/Ressourcen › Anreiz für rückbaufähige Teile fehlt, aufgrund von unklarem Nutzen für die Zukunft
<p>Kunststoffe</p> 	<ul style="list-style-type: none"> › Neuware oft billiger als Rezyklat (niedriger Ölpreis, kein CO₂-Preis für fossile Rohstoffe) › Hoher Investitionsbedarf für Recyclinganlagen › Anfänglich höhere Kosten für Mehrwegsysteme und Pfandlogistik › Fehlende internalisierte Umweltkosten › Innovative Verfahren noch in der Entwicklung

Entsprechend wird in der Bauindustrie bereits heute weitestgehend auf Recyclingstahl gesetzt, da dieser in den meisten Fällen kostengünstiger als die Primärproduktion ist [3]. Im Bau-sektor wird der Neubau gegenüber Sanierung finanziell bevorzugt, da die Umlage der Kosten im Vergleich zu Mietwohnungen einfacher ist. Weiterhin fließen Emissionen, die bei der Produktion der Bauteile entstehen, bislang kaum in die Wirtschaftlichkeitsrechnung ein [35]. Die günstige regionale Verfügbarkeit von Sand und Kies macht rezyklierte Zuschläge im Betonbau oft wirtschaftlich unattraktiv, insbesondere bei langen Transportwegen. Bei Kunststoffen sind Ersatzstoffe wie Papier, Glas oder Mehrwegbehälter in der Regel teurer. Gleichzeitig fehlen preisliche Lenkungsinstrumente, während fossile Rohstoffe in der Kunststoffproduktion durch Steuervergünstigungen weiterhin indirekt subventioniert werden (Befreiung von der Energiesteuer) [41].

Im Bereich Produktdesign zeigt sich ein fehlender ökonomischer Anreiz zur Reparierbarkeit von Produkten. Die hohen Arbeitskosten in Europa, die im Falle einer Reparatur anfallen, stehen dem wirtschaftlichen Vorteil eines Neukaufs gegenüber. Auch beim Betonbau fehlen Anreize für rückbaufähige oder modulare Strukturen, da der ökonomische Nutzen oft erst in der Zukunft liegt [35].

Im Kunststoffbereich war es über lange Zeit kostengünstiger, Produkte ohne Rücksicht auf deren sogenannte End-of-Life-(EOL-)Eigenschaften zu gestalten, die am Lebensende eines Produktes von Bedeutung sind. Ein einfaches Design mit gemischten Materialien oder problematischen Additiven war für Unternehmen wirtschaftlich vorteilhaft, da die Herstellungskosten gering und die Produktlebensdauer nicht entscheidend für den Gewinn gewesen sind. Gleichzeitig galten Reparierbarkeit und Langlebigkeit als ökonomischer Nachteil, da Hersteller am Ersatzgeschäft mehr verdienen als an langlebigen Produkten. Diese Praxis führte dazu, dass selbst technisch reparierbare Artikel oft mit verklebten oder verschweißten Kunststoffgehäusen versehen wurden, um einen Austausch zu erschweren [3]. Mittlerweile wird diese

Verfahrensweise regulatorisch mit der EU-ESPR adressiert. Bei Kunststoffen ergibt sich eine weitere Herausforderung daraus, dass Wiederverwendungssysteme wie Mehrwegbechersysteme Investitionen in Rücknahme, Spülung sowie Logistik erfordern. Dies rechnet sich nur, wenn genug Umläufe stattfinden. Anfangs sind solche Systeme teurer, solange die Skaleneffekte gering sind [42]. Eine weitere Problematik ist die Annahme der Systeme durch die Verbraucher, die notwendig ist, um die Skaleneffekte zu erreichen.

Die Preisvorteile von Rezyklaten sind nicht garantiert, sondern hängen häufig vom Ölpreis ab. Bei sehr niedrigen Ölpreisen kann Neuware zeitweise so billig werden, dass Rezyklate preislich unter Druck geraten. Dies führt aktuell dazu, dass Recycler Kapazitäten aus dem Markt nehmen, statt neue Kapazitäten aufzubauen in Hinblick auf die EU-Verpackungsverordnung. Eine höhere Rezyklatnutzung erfordert zudem Investitionen entlang der Wertschöpfungskette. Beispielsweise erhöht eine stärkere Trennung und Vorzerlegung/manuelle Behandlung zwar die Schrottqualität, sie führt aber gleichzeitig auch zu höheren Kosten. Entsprechende mehrstufige Analyse- und Sortierverfahren in der Recyclingwirtschaft existieren zwar, sie werden aber aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit nicht flächendeckend eingesetzt [22]. Innovative Recyclingverfahren (etwa chemisches Recycling für Verbundkunststoffe) sind noch sehr kostspielig und bisher nicht skaliert [3]. Zudem ist das Angebot an Sekundärrohstoffen innerhalb des überwiegend linearen Wirtschaftssystems begrenzt. In bestimmten Fällen übersteigen die Aufbereitungskosten gebrauchter Produkte sogar die Herstellungskosten neuer Waren. Besonders bei stark nachgefragten Materialien, wie recyceltem PET, entstehen Preiswettbewerbe, die bestehende Kreislaufströme gefährden.

Der Stahlmarkt zeigt zusätzliche Risiken: Die Schrottpreise unterliegen starken Schwankungen und internationale Wettbewerbsverzerrungen erschweren die Marktposition recycelten Stahls. Der ab 2026 wirksame Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) der EU soll durch die Bepreisung CO₂-intensiver Importe gegensteuern [3, 43, 44].

Auch bei Geschäftsmodellen zeigen sich Barrieren. Bei Konsumgütern auf Kunststoffbasis wie z. B. Haushaltsgeräten kollidieren die langlebige Nutzung der Produkte und Sharingmodelle mit klassischen Gewinnstrategien. Ein Hersteller von Haushaltsgeräten müsste sein Geschäftsmodell komplett umstellen, was mit kurzfristigen Absatzeinbußen einhergehen würde. Hier wäre zuallererst ein Umdenken in der Finanzierungslogik notwendig, von dem Investoren zunächst überzeugt werden müssten [3].

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Umsetzung und Skalierung von Kreislaufwirtschaftsverfahren eine erhebliche finanzielle Herausforderung darstellen. Von hohen Vorabinvestitionen über Produktionskosten bis hin zur geringen Zahlungsbereitschaft der Endkundschaft bestehen zahlreiche Hürden, die einer breiten Etablierung zirkulärer Ansätze im Weg stehen. Investitionen in Kreislaufwirtschaftslösungen werden häufig als riskanter eingeschätzt als in herkömmliche Geschäftsmodelle, was den Zugang zu Kapital erschwert. Die Forschung an kreislauforientierten Verfahren, deren Entwicklung und Integration in bestehende Unternehmensstrukturen kosten viel Geld. Das schreckt vor allem kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ab, weil sie sich diese Investitionen oft nicht leisten können. Zudem mangelt es derzeit an wirksamen politischen und ökonomischen Anreizen, um Investitionen in die Kreislaufwirtschaft zu fördern [45].

Verbraucherverhalten

Neben den bereits genannten Herausforderungen gibt es noch weitere wichtige Aspekte, die berücksichtigt werden müssen. Auch hier hilft der Blick auf die R-Strategien. Das erste R in der Strategie steht für Vermeidung, Suffizienz und Änderungen im Konsumverhalten. Diese Aspekte liegen eher auf der Verhaltensebene und werden im Kontext der Kreislaufwirtschaft bislang kaum beachtet [46]. Das kann u. a. daran liegen, dass das Thema in der Öffentlichkeit oft negativ betrachtet wird. Aus wirtschaftlicher Sicht lässt sich mit Konsumverzicht kaum Geld verdienen. Das heißt, das Thema ist für Unternehmen erst einmal nicht attraktiv. Aber auch in der Gesellschaft gibt es Reaktanzen. Viele Menschen reagieren sensibel, wenn sie ihren Konsum ändern oder einschränken sollen. Damit stellen das Erreichen von Akzeptanz und das Verhalten der Verbraucherinnen und Verbraucher eine zentrale Herausforderung für die Kreislaufwirtschaft dar.

Konsumgewohnheiten, fehlendes Bewusstsein und Wissen über Kreislaufzusammenhänge und die oft geringe Bereitschaft, teure Produkte der Kreislaufwirtschaft zu kaufen oder an Rücknahme- und Wiederverwendungsprozessen teilzunehmen, machen die Umsetzung für Unternehmen schwierig. Auch fehlen oftmals klare Informationen über die Lebensdauer, die Wiederverwertbarkeit oder Reparierbarkeit von Produkten. Dies erschwert es den Menschen, bewusst und nachhaltig einzukaufen und informierte Kaufentscheidungen zu treffen. Der Hochlauf der Kreislaufwirtschaft in der Industrie benötigt daher auch Maßnahmen, die Konsumentinnen und Konsumenten einbeziehen, damit eine stabile Nachfrage entsteht. Diese Aspekte werden in diesem Papier nicht weiter vertieft und könnten Aufgabe einer kontinuierlichen Begleitforschung sein.

6 Handlungsoptionen



In den vorherigen Kapiteln wurden die Vorteile der Kreislaufwirtschaft und der aktuelle Stand an den Beispielbranchen Stahl, Zement & Beton und Kunststoffe dargestellt. Dabei wird deutlich: Die Industrien stehen noch vor vielen Herausforderungen, um den Übergang zu einer echten Kreislaufwirtschaft zu schaffen. Im Folgenden werden relevante Handlungsoptionen vorgestellt, die diesen Weg unterstützen können. Der Fokus liegt auf den drei Industriebranchen, dennoch werden die Empfehlungen an einigen Stellen weiter gefasst, da die aufgeführten Anreizinstrumente und die Regulatorik weitere Branchen betreffen.

Marktrahmen auf Kreislaufwirtschaft ausrichten

Gegenwärtig fehlt es in den untersuchten Industriebranchen weitestgehend an Anreizen, den Markt zirkulär auszurichten. Die Primärproduktion ist heute in vielen Bereichen günstiger als die Umstellung auf zirkuläre Prozesse oder sie ist mit deutlich weniger Unsicherheiten verbunden. Um hier sekundäre Produktionsprozesse anzureizen und im Vergleich attraktiver zu gestalten, bietet es sich an, bestehende Subventionen für fossile Rohstoffe abzubauen. Diese sorgen aktuell für Preisverzerrungen zwischen fossilen Produkten sowie Rezyklaten und nachhaltigen Alternativen.

Bestehende Subventionen für die Stahl-, Zement- und Kunststoffindustrie sind beispielsweise:

- › die Befreiung von der Energiesteuer von Naphtha (Rohbenzin) oder anderen Vorprodukten aus Erdöl, die zur Herstellung von Plastik (z. B. Polyethylen) verwendet werden (§ 2 Abs. 3 und § 24 EnergieStG).

- › die teilweise oder vollständige Befreiung von der Stromsteuer für Industrieunternehmen wie Raffinerien, wohingegen Industrieunternehmen für Recyclingprozesse den Preis teilweise vollständig bezahlen müssen.

- › ein Steuerausgleich oder eine Rückerstattung bei Strom- und Energiesteuern für große Energieverbraucher (§ 10 StromStG, § 55 EnergieStG).

- › die Befreiung vom EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) von Produkten, die exportiert werden, durch die Carbon Leakage List. Somit bilden die fossile Produktion und deren Emissionen nicht die realen Emissionen ab. Dies gilt insbesondere für die Chemieindustrie, da diese auch erst mal nicht im CBAM integriert ist.

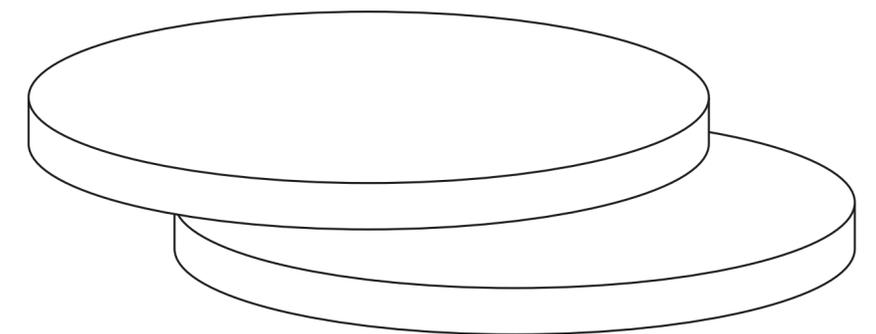
Anreizsysteme zum Ersatz von fossilem produktgebundenem Kohlenstoff durch Rezyklate oder atmosphärischen/biogenen Kohlenstoff liegen weitgehend nicht vor. Im EU-ETS werden bisher nur die direkten Emissionen bei der Herstellung von Zementklinker, Stahl sowie weiteren Produkte aus industrieller Produktion bepreist. Eine Bepreisung des fossil produktgebundenen Kohlenstoffs erfolgt nicht. Insbesondere in der Kunststoffindustrie als Teil der chemischen Industrie machen die Emissionen durch den produktgebundenen Kohlenstoff etwa 60 Prozent der Emissionen über den Lebenszyklus aus.⁶

Klima-Umlage

Eine Klima-Umlage würde pauschal auf Grundstoffe erhoben werden, die in Europa hergestellt oder nach Europa importiert werden. Beim Export wiederum würde sie erlassen werden, um Handelsverzerrungen zu vermeiden. Die Umlage reizt ressourceneffizientes Produzieren und Kreislaufwirtschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette an und produziert Einnahmen, die in Unterstützungsmaßnahmen für Kreislaufwirtschaft und Transformation investiert werden können [47].

Das deutsche Steuersystem konzentriert sich derzeit stark auf die Besteuerung von Arbeitseinkommen. Primärrohstoffe hingegen erfahren weitestgehend keine Besteuerung. Eine Ausnahme bilden lediglich die Besteuerungen von fossilem CO₂ im EU-ETS und im Brennstoffemissions-handelsgesetz (BEHG). Mit Blick auf eine Kreislaufwirtschaft löst dieses System falsche Anreize aus, da viele Ansätze der Kreislaufwirtschaft arbeitsintensiv sind (z. B. Reparieren, Wiederverwenden, Umnutzen) und somit deutlich teurer im Vergleich zur Massenfertigung mit Primärrohstoffen. Dadurch sind lineare Prozesse mit primären Ressourcen attraktiver. Würden Rohstoffe anstelle von Arbeit besteuert, wäre deren Nutzung zwar teurer, die Aktivitäten der Kreislaufwirtschaft hingegen würden günstiger. Dabei ist darauf zu achten, dass die Bepreisung von Primärrohstoffen an anderer Stelle durch sozial gerechte Entlastungen ausgeglichen wird.

Gerade in Deutschland hätte so ein Systemwechsel im Steuersystem große Auswirkungen für die Bevölkerung. Deutschland hat einen der höchsten Steuersätze für die arbeitende Bevölkerung. Dieser liegt je nach Familienstand und Arbeitssituation bei 45 Prozent und laut OECD deutlich über dem Durchschnitt von ca. 35 Prozent [48]. Auch wenn die neue Bundesregierung die Einkommensteuer senken möchte, würde ein grundsätzlicheres Umschwenken im Steuersystem deutlich wirkungsvoller sein.



⁶ Im Rahmen der GreenFeed-Studie wird ein Preis für den produktgebundenen Kohlenstoff angenommen. Dabei zeigt sich, dass in vielen Fällen mechanisches und chemisches Recycling günstiger werden als die fossile Bereitstellung.

1. Handlungsempfehlung: Steuervor- bzw. -nachteile vereinheitlichen

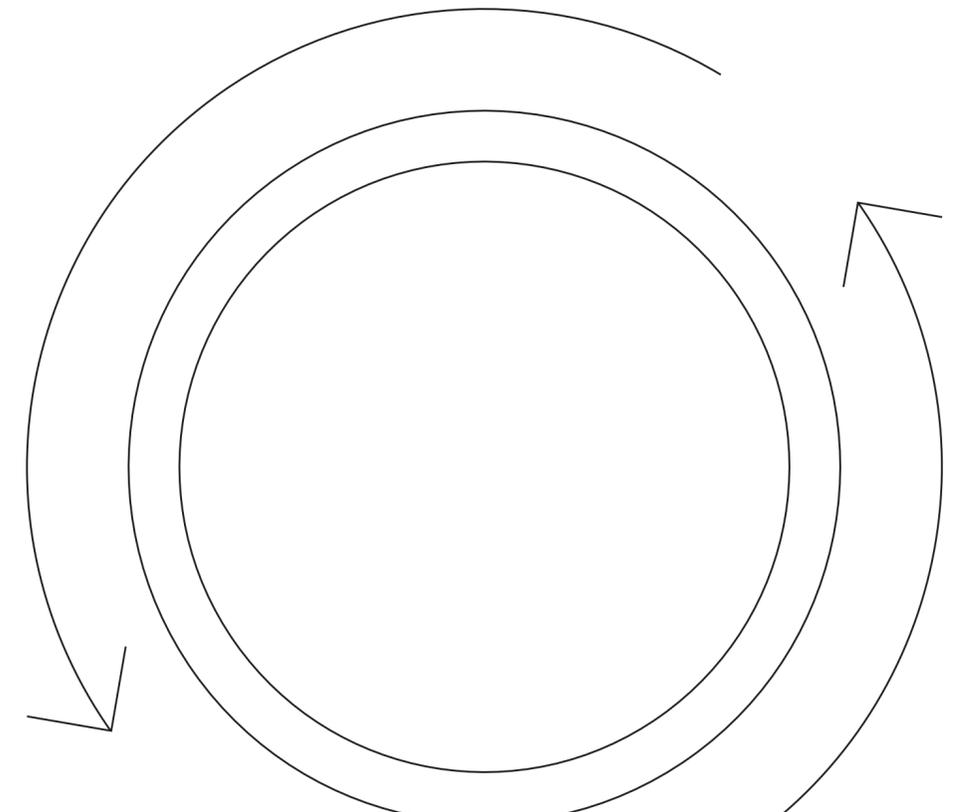
Die Vorteile von Primärproduzenten sollten abgebaut werden oder es sollte wenigstens ein Angleich sekundärer Produktionsprozesse an bestehende Steuervorteile bei der Primärproduktion erfolgen. Dabei ist die Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Kontext zu berücksichtigen, um keine Nachteile entstehen zu lassen.

2. Handlungsempfehlung: Produktgebundenen Kohlenstoff bepreisen und Klima-Umlage einführen

Zur Schaffung eines Marktrahmens zum Ersatz von produktgebundenem Kohlenstoff sollte eine Bepreisung des produktgebundenen fossilen Kohlenstoffs vorgesehen werden. Damit Unternehmen jedoch wettbewerbsfähig bleiben und keine unnötige Bürokratie zur Verhinderung von Carbon Leakage entsteht, sollte der Ansatz einer Klima-Umlage verfolgt werden [47].

3. Handlungsempfehlung: Einführung von branchenspezifischen Primärrohstoffsteuern prüfen

Um den Wandel zu einer Ressourcenbesteuerung voranzutreiben, sollte ergänzend zu einer Klima-Umlage die Einführung von Primärrohstoffsteuern geprüft werden. Die Steuern sollten branchenspezifisch erfolgen und sich auf das Endprodukt beziehen, um auch exportierte Waren zu umfassen. Gerade in Sektoren wie dem Textilbereich, der eine hohe Relevanz für die Kunststoffproduktion hat, ist ein hohes Ungleichgewicht zwischen Rohstoffverbrauch und ökologischen Folgen im Verhältnis zu den anfallenden Kosten entstanden. Ein Konzept für die Integration von sektorspezifischen Rohstoffsteuern wäre – aufgrund der weitreichenden Implikationen für das Wirtschaftssystem –, die Gesellschaft und die Umwelt wissenschaftlich zu begleiten.



Finanzierung gewährleisten

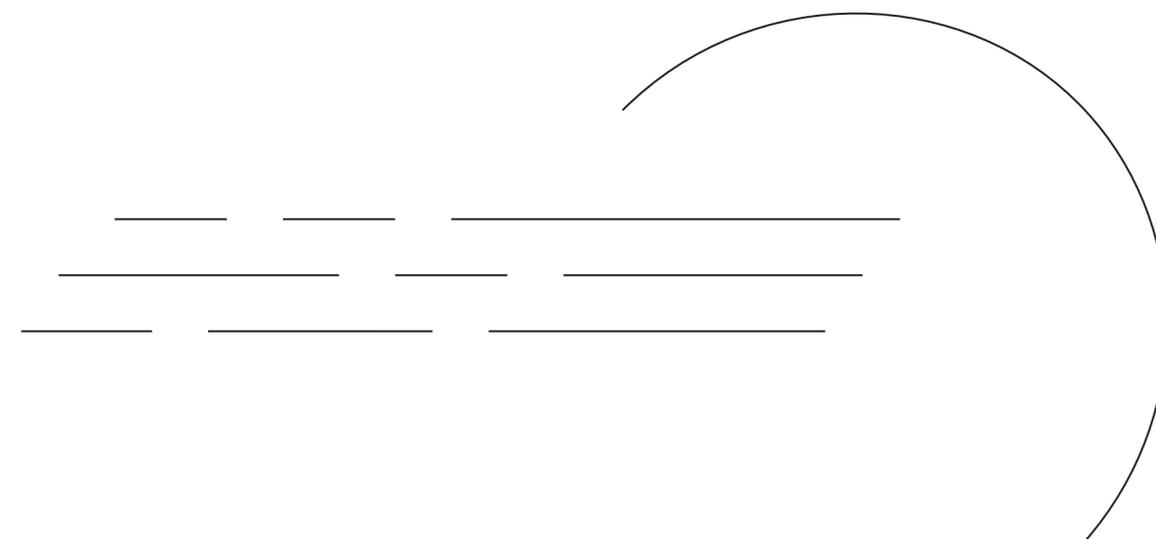
Die Skalierung von Verfahren der Kreislaufwirtschaft in der Industrie ist finanziell herausfordernd, da sie hohe Investitionen in Forschung und Infrastruktur erfordert. Sie ist zudem mit Unsicherheiten bei der Entwicklung von Rezyklatpreisen sowie der Annahme von neuen Geschäftsmodellen durch die Konsumierenden geprägt. Gerade kleine und mittlere Unternehmen werden deshalb häufig von den Risiken abgeschreckt. In der NKWS wird der Bedarf an zusätzlicher Unterstützung anerkannt. Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten wird darauf verwiesen, dass zukünftige Förderprogramme und Anreizsysteme aufeinander abzustimmen sind. Dabei bleibt die Frage offen, wie eine zusätzliche Unterstützung finanziert werden kann. Für die Transformation der hier untersuchten Industrien ist bereits ein weitreichender Unterstützungsrahmen vorhanden, mit dem EU-ETS als Leitinstrument.

Aktuell wird ein Teil der Einnahmen aus dem EU-ETS in Dekarbonisierungsprojekte gelenkt. Dies geschieht bislang jedoch noch ohne Berücksichtigung von Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft oder Anforderungen an die Zirkularität von erstellten Produkten. Die diskutierte Einführung einer Klima-Umlage würde hier zu zusätzlichen Einnahmen führen.

Auch mit Blick auf bestehende Besteuerungen lassen sich Anpassungen vornehmen, die den Weg in eine Kreislaufwirtschaft ermöglichen. Ein Beispiel dafür liefert die Kfz-Steuer für Pkw (siehe Infobox). Die Besteuerung nach Gewicht unter Berücksichtigung von Nachteilen durch schwere Batterien würde kleinere und leichtere Fahrzeuge steuerlich bevorzugen, für deren Produktion weniger Ressourcen benötigt werden. Dies könnte zu erheblichen Auswirkungen auf die Nachfrage nach Stahl als einem der wichtigsten Rohstoffe beim Autobau haben. Dieser Ansatz lässt sich auch auf Reparierbarkeit und andere Branchen ausweiten.

Kfz-Steuer

Aktuell berücksichtigt die deutsche Kfz-Steuer bei Verbrennungsmotoren das Gewicht von Fahrzeugen nicht. Bei Elektroautos soll sich nach der Steuerbefreiung (läuft aktuell Ende 2025 aus, soll laut Koalitionsvertrag aber bis 2035 verlängert werden) die Bepreisung am zulässigen Gesamtgewicht orientieren. Beim aktuell fortschreitenden Trend für schwere Pkw, zum einen durch die Beliebtheit von SUV und zum anderen durch schwere Batterien in Elektroautos setzt diese Besteuerung aus Sicht der Reduktion des Primärmaterialeinsatzes falsche Anreize. In anderen Ländern gibt es hier ein Umdenken. In Frankreich beispielsweise gibt es eine „Malus-Steuer“. Die Steuer wird proportional zum Leergewicht oder zulässigen Gesamtgewicht erhoben, wobei es einen Steuerfreibetrag für Fahrzeuge mit geringem Gewicht gibt.



Die Einnahmen aus diesen Steuern, aus zusätzlichen Abgaben und angepassten Steuern können auf verschiedene Weise zur Finanzierung eingesetzt werden. Die NKWS hat sich dabei das Ziel gesetzt, die Zirkularität als Kriterium in bestehenden Förderprogrammen zu berücksichtigen. Die Stahl-, Zement- und Kunststoffindustrien werden neben weiteren Branchen bereits umfassend durch Klimaschutzverträge (KSV), die Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK) und die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) unterstützt. In diesen Förderprogrammen ist Zirkularität aktuell nicht berücksichtigt. Ein Beispiel für die Integration der Kunststoffindustrie könnte die Aufnahme von Anlagen zum mechanischen und chemischen Recycling sein.

Darüber hinaus werden auch spezifische Programme benötigt, gerade für die Unterstützung beim Aufbau von Infrastrukturen sowie bei der Etablierung neuer Sortiersysteme oder Recyclingtechnologien. Die NKWS sieht hierzu vor, einen Förderschwerpunkt für strategische Metalle im Rahmen des Förderprogramms DigiResS umzusetzen und ein neues Förderprogramm zur Einführung von neuen Technologien für die Metallrückgewinnung aus Schlacken und Aschen aufzulegen. Damit wäre die Stahlindustrie bereits berücksichtigt. Zusätzliche Unterstützung für die Infrastruktur braucht es jedoch auch in der Kunststoff- sowie Zement- und Betonindustrie (z. B. Mehrwegsysteme für Kunststoffverpackungen).

4. Handlungsempfehlung: Bestehende Steuermodelle bezüglich Kreislaufwirtschaft anpassen

In Deutschland sollten Anpassungen an bestehenden Steuermodellen wie der Kfz-Steuer vorgenommen werden. Bei der Anpassung von Steuern in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft ist die gesellschaftliche Akzeptanz mitzudenken und ggf. sind Ausnahmeregelungen vorzusehen.

5. Handlungsempfehlung: Zirkuläre Produkte und Prozesse in bestehende Förderinstrumente integrieren

Um die Finanzierung von Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft zu sichern, sollten die bestehenden Förderinstrumente für die energieintensiven Industrien EEW, BIK und KSV angepasst werden. Da diese Programme regelmäßig novelliert werden, bietet sich eine Überprüfung bei der nächsten Novellierung der jeweiligen Förderrichtlinie an.

6. Handlungsempfehlung: Ausgabe von Steuermitteln an Zertifizierungen knüpfen

Die Ausgabe von Steuermitteln sollte dabei schrittweise an Zertifizierungen geknüpft werden, um das Produktdesign entsprechend zu fördern. Beispiele hierfür sind das Cradle-to-Cradle-Zertifikat⁷ oder die zukünftigen Anforderungen aus der EU-ESPR. Mit Blick auf die NKWS gibt es hier bereits Bestrebungen, beispielsweise den Blauen Engel weiterzuentwickeln.

⁷ Cradle-to-Cradle-Zertifikat: Die Zertifikate basieren auf dem Cradle-to-Cradle-Prinzip, nachdem alle Produkte so gestaltet werden, dass ihre Bestandteile entweder vollständig biologisch abbaubar oder technisch wiederverwertbar sind. Unternehmen können ihre Produkte über ein Cradle-to-Cradle-Zertifikat anhand von fünf Kriterien bewerten lassen: Materialgesundheit, Kreislauffähigkeit, saubere Luft & Klimaschutz, verantwortungsvoller Umgang mit Wasser und Boden sowie soziale Fairness [51].

Nachfrage nach zirkulären Produkten stärken

Neben dem passenden Marktrahmen und der Sicherstellung von Investitionen in Kreislaufwirtschaft muss auch eine Nachfrage nach zirkulären Produkten entstehen. Ein funktionierender, selbsterhaltender Markt für zirkuläre Produkte setzt eine stabile Nachfrage voraus. Um Rahmenbedingungen dafür zu schaffen, können Leitmärkte oder verbindliche Quoten als effektive Instrumente dienen, um die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen gezielt zu stärken. Solche Maßnahmen, die auch für die Stahl-, Zement- und Kunststoffindustrie gelten, finden sich in der NKWS und dem Koalitionsvertrag wieder und sollten im Rahmen des Eckpunktepapiers zur NKWS berücksichtigt werden.

Die NKWS sieht die Überprüfung vor, auf welche Weise verbindliche Leitlinien und Kriterien zur Kreislaufwirtschaft bei der Beschaffung von Bauleistungen durch die öffentliche Hand im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) festgelegt werden können. Auch soll das Vergabetransformationspaket hinsichtlich zirkulärer Beschaffung konkretisiert und diese Regeln auf die Landes- und Kommunalebene ausgeweitet werden. Ein praktisches Beispiel liefert die Stadt Zürich: Dort schreiben die Vorgaben für den Bau öffentlicher Gebäude den Einsatz von CEM II/B-Zement⁸ vor und fördern so aktiv den Einsatz zirkulärer Materialien im Bauwesen [49]. Weiterhin wird in der NKWS diskutiert, mittel- bis langfristig Rezyklateinsatzquoten einzuführen.

Das damalige BMWK hat ein Konzept zur Förderung grüner Leitmärkte in der energieintensiven Industrie vorgelegt. Zur Umsetzung bedarf es ergänzend noch eines dazugehörigen Regelwerks. Zuvor muss jedoch die einheitliche CO₂-Bilanzierung von Industrieprodukten geregelt sein [50]. Einige Branchen haben hier bereits eigeninitiativ grüne Label entwickelt, beispielsweise den Low Emission Steel Standard (LESS) für die Stahlindustrie. Diese Konzepte berücksichtigen bereits zirkuläre Ansätze (z. B. den Einsatz neuer Bindemittel) und können auf dieser Basis weiterentwickelt werden.

Rezyklateinsatzquoten

Die Überarbeitung der EU-Verpackungsverordnung sieht Rezyklateinsatzquoten für Kunststoffe vor, z. B. 10 Prozent für Kontaktverpackungen für Lebensmittel oder 35 Prozent für nicht lebensmittelbezogene Verpackungen. Das Unternehmen Pöppelmann nutzt bereits in vielen Produkten Rezyklate, wobei die Einsatzquote stark schwankt. Für Pflanzentöpfe liegt sie bei etwa 80 Prozent, für Kontaktverpackungen von Lebensmitteln werden bisher 0 Prozent verwendet. Dieser Unterschied erklärt sich durch die deutlich höheren Anforderungen an Rezyklate in Verpackungen, die mit Lebensmitteln in Kontakt sind.

Zur Erreichung der vorgegebenen EU-Quoten wird es notwendig sein, einen Teil der weniger hochwertigen Rezyklate aufwendig aufzubereiten, um den Qualitätsanforderungen für Kontaktverpackungen zu entsprechen. Das bedeutet höhere Produktionsverluste und mehr Energieintensität im Recyclingverfahren. Von dem bereits begrenzten Angebot an Rezyklatrohstoffen würden insgesamt also Teile durch einen aufwendigeren Herstellungsprozess verloren gehen, der für höhere Rezyklatqualität notwendig ist. Final steht also weniger Rezyklat zur Verfügung. Beim Beispiel Pöppelmann würde sich damit die Quote in Kontaktverpackungen leicht erhöhen, dafür die bei Pflanztöpfen stark verringern.

Bei der Ausgestaltung von Quotenregelungen sollten diese Umlenkungseffekte berücksichtigt werden, beispielsweise durch flexible Gestaltung oder Ausgleichsmechanismen. Ein diesbezügliches Positivbeispiel ist die aktuelle Diskussion um Rezyklateinsatzquoten in der Altfahrzeugverordnung, dabei wird für das gesamte Auto eine Quote vorgegeben. Dies lässt den Herstellenden offen, den effizientesten Einsatz der Rezyklate zu wählen und flexibel auf Produkt- und Qualitätsanforderungen einzugehen.

8 CEM II-Zemente weisen im Vergleich zu CEM I-Zementen einen geringeren Anteil an Zementklinker auf und sind somit weniger treibhausgasintensiv in der Herstellung.

Dazu gehört die einheitliche Bilanzierung von CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus auf Produktebene. Die Bilanzierung von CO₂-Emissionen könnte um eine offizielle Zertifizierung ergänzt werden. Dabei muss der Ansatz auch systemische Elemente einbeziehen. Zudem können Vorgaben zu Quoten für Sekundärrohstoffe eine Rolle spielen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass diese kurz- bis mittelfristig durch zirkuläre Ansätze umsetzbar sind und langfristig auf eine nahezu vollständige Treibhausgasreduktion überführt werden können.

REZYKLATE IN DER SCOPE-3-BILANZIERUNG

Eine Zertifizierung für die einheitliche Bilanzierung von CO₂-Emissionen sollte nicht rein auf Ebene der Emissionsmengen angelegt sein, sondern systemisch betrachtet werden. Bei der Bewertung von Rezyklaten spielt deren Herkunft eine große Rolle. Rezyklate aus dem Industriebetrieb (PIR), dazu zählen beispielsweise Schnittverluste bei der Produktion mit Primärkunststoffen, sind zwar sehr rein und haben eine geringe CO₂-Intensität, werden aber bereits aus Eigeninteresse der Unternehmen weiterverwendet und sollten grundsätzlich aus Gründen der Materialeffizienz vermieden werden.

Hochwertige Rezyklate aus Kunststoffen nach dem Konsum (PCR) sind in der Herstellung aufwendiger und somit CO₂-intensiver. Dennoch sind sie aus Perspektive der Kreislaufwirtschaft deutlich hochwertiger. Sollte dieser Unterschied in den Rezyklaten bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt werden, besteht die Gefahr, dass das Ambitionsniveau, PCR einzusetzen, gering ist und die eigentliche Kreislaufführung der Endprodukte nicht angereizt oder falsche Anreize für PIR gesetzt werden. Quoten in der Bilanzierung sollten sich daher auf PCR beziehen oder als Doppelquote ausgestaltet sein, die einen Anteil von PCR vorgibt.

7. Handlungsempfehlung: Aufbau zirkulärer Infrastrukturen fördern

Neben der Nutzung der potenziell zusätzlichen Mittel für die in der NKWS vorgesehenen Programme sollten zur Unterstützung des Aufbaus neuer Infrastruktursysteme (z. B. Mehrwegsysteme) auch Innovationen beim Sortieren, Sammeln und Recycling berücksichtigt werden.

8. Handlungsempfehlung: Vorreiterrolle des Bundes bei zirkulärer Beschaffung ausbauen

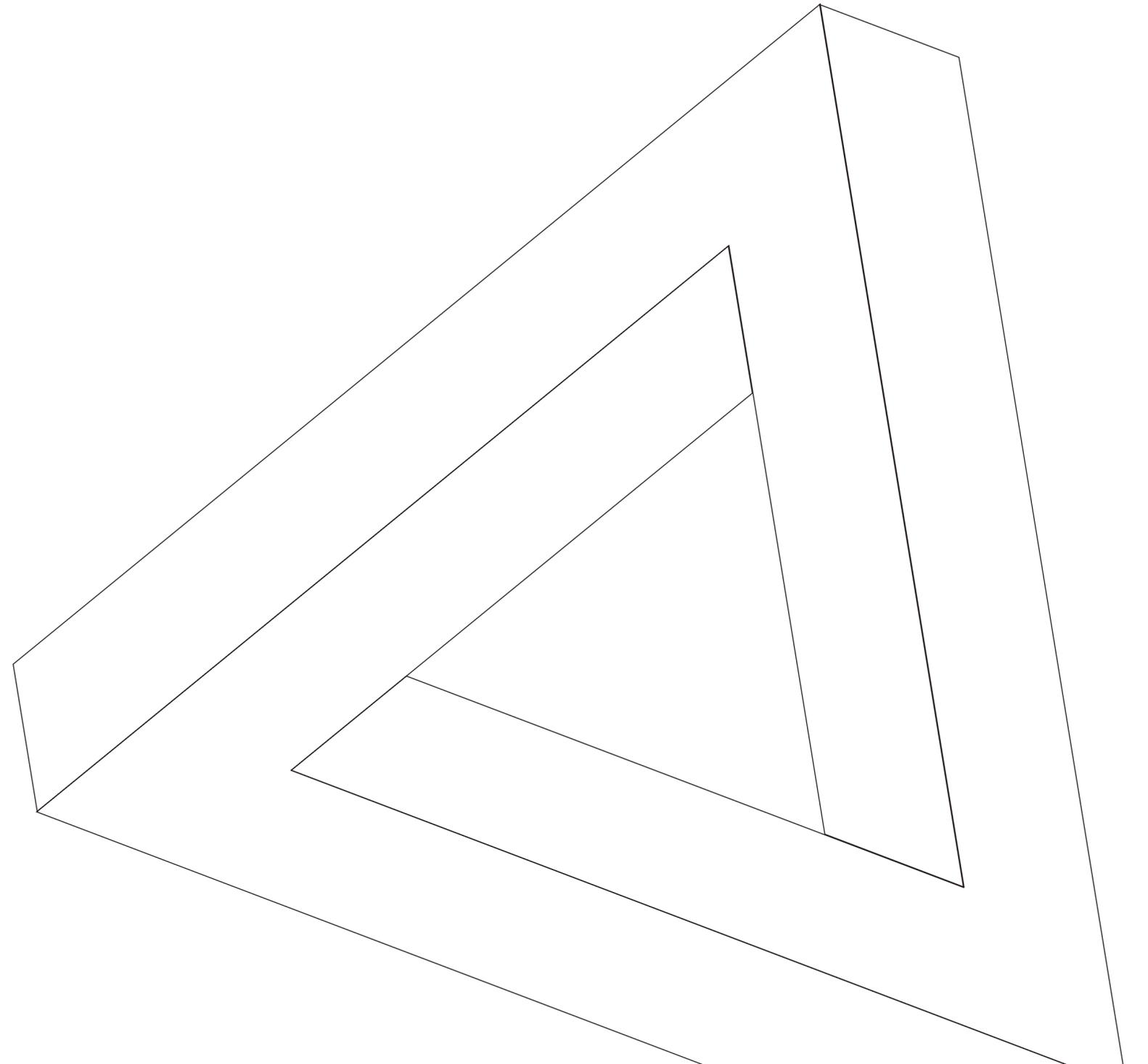
Der Bund sollte eine Vorreiterrolle einnehmen und über die öffentliche Beschaffung die Nachfrage nach zirkulären Produkten stärken. Entsprechend sollten zeitnah die Vorgabe im Rahmen der BNB und die Anpassungen der Vergabevorschriften umgesetzt werden. Die Ausweitung der Vorgaben auf Länder und Kommunen ist zu begrüßen und sollte direkt mitgedacht und umgesetzt werden.

9. Handlungsempfehlung: Konzept für grüne Leitmärkte weiterentwickeln

Damit energieintensive Industrien langfristig auf eine Nachfrage nach zirkulären Produkten setzen können, muss das Konzept der grünen Leitmärkte weiterentwickelt und präzisiert werden. Ziel ist es, einen klaren Rahmen für zirkuläre Leitmärkte zu schaffen. Dies sollte idealerweise im Einklang mit den Vorgaben der EU-ESPR erfolgen.

10. Handlungsempfehlung: Markt für Rezyklatzertifikate einführen

Um Sekundärrohstoffe effizient dort einzusetzen, wo es technisch machbar und ökonomisch sinnvoll ist, sollte entsprechend der NKWS ein Handel mit Rezyklatzertifikaten ermöglicht werden.



Rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen auf Kreislaufwirtschaft ausrichten

Um eine Ausrichtung der Wirtschaft auf Zirkularität zu ermöglichen, sind rechtliche und regulatorische Anpassungen in den betrachteten Industriebereichen notwendig. Hierzu gibt es bereits verschiedene Initiativen auf Bundesebene, wie die Holzbauinitiative, die Leichtbaustrategie, die Anpassung der EU-Verpackungsordnung oder auf Ebene der Privatwirtschaft die Normungsroadmap von DIN, DKE und VDI.

In der NKWS ist für die energieintensiven Industrien die Einführung einer Abfallende-Verordnung vorgesehen. Sie soll regeln, unter welchen Voraussetzungen Ersatzbaustoffe die Abfalleigenschaft verlieren. Weiterhin sollen die Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung von Bauteilen verbessert werden. Die Thematik der Normung ist ebenfalls im Fokus. Es ist vorgesehen, Normungsprozesse für erhöhte Rezyklatqualitäten zu unterstützen sowie fehlende Normen für Kunststoffe zu ergänzen (u. a. Wiederverwendbarkeit von Kunststoffen und Kunststoffabfällen) [22].

Die Einstufung von diversen Materialien als Abfall im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) sowie die nicht gleichermaßen stattfindende Berücksichtigung von Recyclingmaterialien in Leitfäden und Merkblättern zur öffentlichen Beschaffung sind in der NKWS nicht hinreichend adressiert. Schaut man sich das Beispiel der Zement- und Betonindustrie an, so ist der Einsatz von Recyclingbeton derzeit durch bestehende Vorschriften stark eingeschränkt. Insbesondere die Regelwerke EN 197-1 und DIN EN 206 benachteiligen Recyclingbeton im Vergleich zu herkömmlichem Frischbeton, was den Einsatz in der Breite erschwert. Hier ergeben sich konkrete Ansatzpunkte für regulatorische Verbesserungen.

11. Handlungsempfehlung: Erweiterte Herstellerverantwortung ausweiten

Das Prinzip der erweiterten Herstellerverantwortung sollte auf weitere Produktbereiche wie den Textilsektor ausgeweitet werden. Gleichzeitig sollten zirkulär gestaltete Produkte finanziell bevorteilt werden. Dies könnte etwa durch ökologisch differenzierte Lizenzentgelte geschehen. Für den Verpackungsbereich sollte § 21 Verpackungsgesetz (VerpackG) auch die Vermeidung unnötiger Dritt- oder Umverpackungen belohnen.

12. Handlungsempfehlung: Normen hinsichtlich Zirkularität überarbeiten

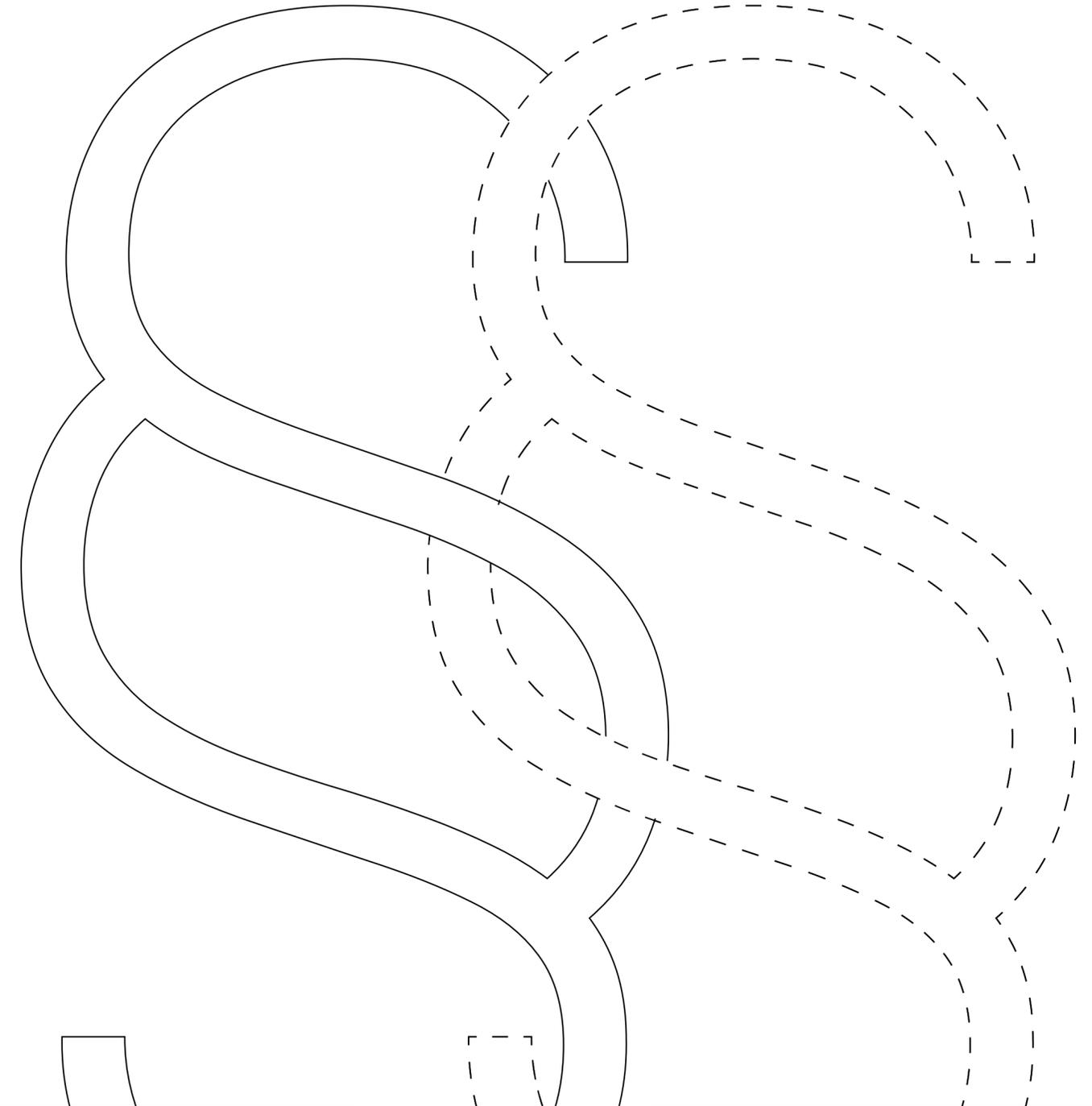
Öffentliche Stellen sollten die Überarbeitung verschiedener Normen und Regelwerke, die im Rahmen der privatwirtschaftlichen Normungsroadmap stattfindet, aktiv begleiten und unterstützen. So können auch gesellschaftliche Belange und Interessen besser berücksichtigt werden.

13. Handlungsempfehlung: Zirkularität durch niederschwellige Verpflichtungen stärken

Auf Landesebene sollte die Aufnahme verbindlicher Vorgaben in Merkblätter zum Recyceln oder zum Wiederverwenden von Materialien erfolgen (z. B. in Bauverordnungen). Auf diese Weise können die Verfahren verstärkt in den Fokus von Unternehmen gerückt und niederschwellige Verpflichtungen eingeführt werden.

14. Handlungsempfehlung: CCU durch Gesetzesanpassungen ermöglichen

Mit Blick auf die Abscheidung und Nutzung von Kohlenstoff (CCU) in der Kunststoffindustrie und der Zement- und Betonindustrie sind bestehende Gesetze anzupassen. Durch die fehlende allgemeine Einordnung von CO₂ als industrielles Neben- oder Abfallprodukt im KrWG ist eine Einzelfallprüfung und Genehmigung für die Zulassung als industrieller Rohstoff nötig. Auch im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) ist nicht eindeutig festgelegt, inwieweit CO₂ (generell) als Kohlenstoffressource eingestuft werden kann.



Informationen bereitstellen und Austausch ermöglichen

Für einen gelungenen Hochlauf der Kreislaufwirtschaft spielen Kooperation und Austausch eine wesentliche Rolle. Die Potenziale der Kreislaufwirtschaft müssen vor allem mit Blick auf die energieintensive Industrie stärker sichtbar gemacht und in die Breite getragen werden. Zudem fehlt in vielen Unternehmen das Bewusstsein, Kreislaufwirtschaft als ein umfassendes Konzept zu betrachten, dessen verschiedene Dimensionen weit über Recycling und Abfall hinausgehen. Diese Thematik sollte in der Umsetzung gemeinsam mit allen Beteiligten verstärkt angegangen werden. Dabei ist es wichtig, bestehende Abhängigkeiten klar zu erkennen und zu berücksichtigen. Bestehende Formate und Initiativen wie die Circular-Economy-Initiative aus dem Jahr 2019 sollten fortgeführt und intensiviert werden.

Die NKWS sieht die Gründung einer Plattform vor, um das Themenfeld Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln und den Austausch von Akteuren aus Politik, Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft zu fördern. Dabei sollen auch Pilotprojekte gefördert, die Sichtbarkeit des Themas erhöht und bestehende Informationsdefizite abgebaut werden.

Die Kreislaufwirtschaft ist ein wichtiger Teil der Transformation zur Klimaneutralität. Daher sollten Synergien mit der Dekarbonisierung und dem Ausstieg aus fossilen Rohstoffen genutzt werden. Hierfür braucht es die verstärkte Vernetzung und Einbindung der Marktakteure, die im Kontext der Dekarbonisierung aktiv sind.

15. Handlungsempfehlung: Leuchttürme sichtbar machen

Leuchtturmprojekte sollten öffentlich in den Fokus genommen sowie ihre Good Practices verständlich aufbereitet und breit kommuniziert werden. Wenn Projekte längerfristig begleitet werden, lassen sich Herausforderungen, die in der Praxis auftreten, besser erkennen und passende Lösungen entwickeln. Auf diese Weise machen Leuchtturmprojekte Chancen und regulatorische Anpassungsbedarfe der Kreislaufwirtschaft sichtbar.

16. Handlungsempfehlung: Stakeholder-Dialog zur Integration von Kreislaufwirtschaft in Industrieförderprogramme umsetzen

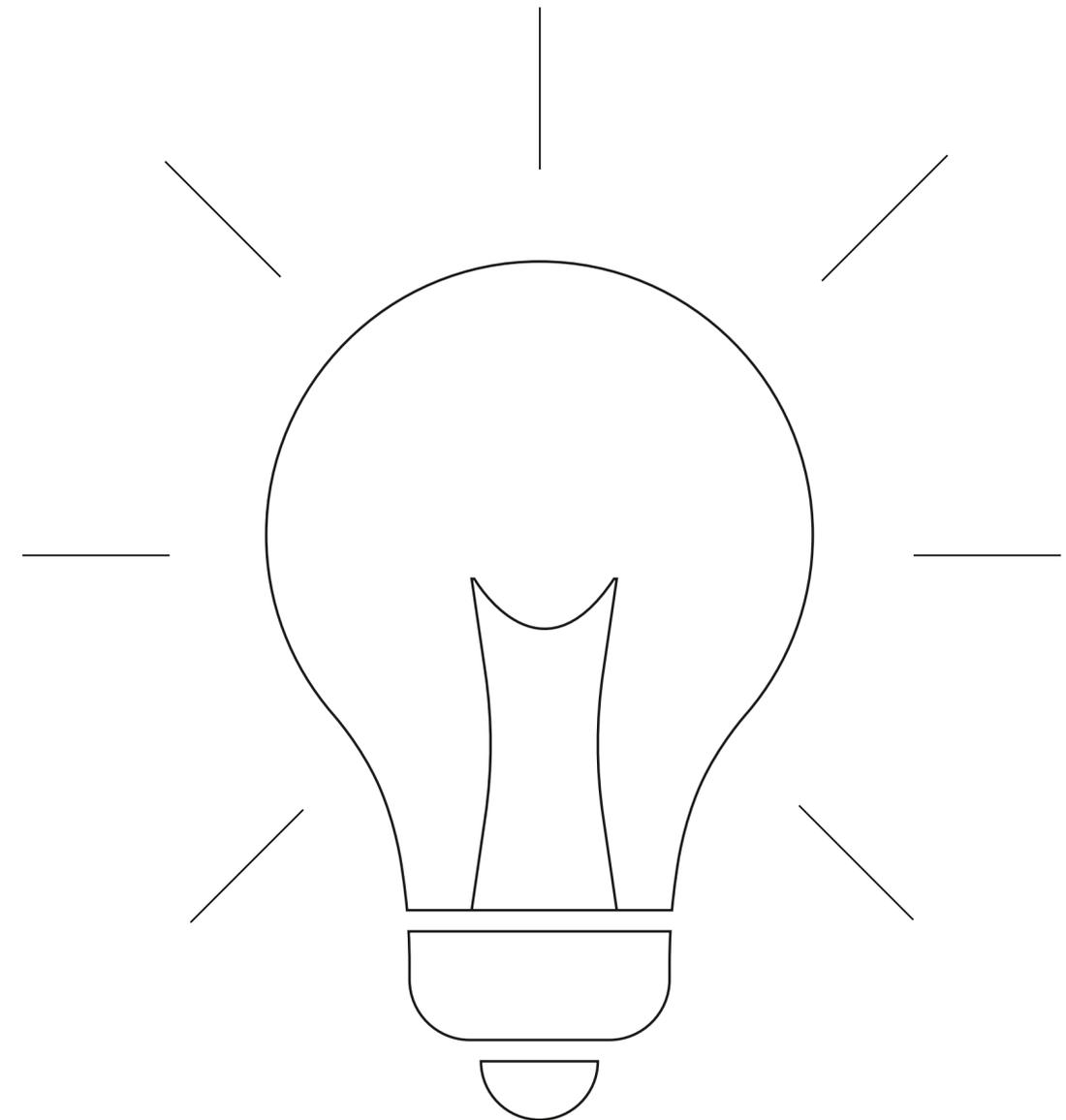
Zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft als Querschnittsthema der Transformation sollte ein Stakeholder-Dialog über die Integration von zirkulären Maßnahmen in laufende Industrieförderprogramme wie KSV, BIK und EEW umgesetzt werden. Der Stakeholder-Dialog kann im Rahmen einer Plattform für Kreislaufwirtschaft erfolgen, aber auch unabhängig davon. Durch ein solches Austauschformat kann das Thema bei Industrieakteuren niederschwelliger platziert und aktiviert werden.

17. Handlungsempfehlung: Informations- und Bildungsangebote zielgruppenspezifisch ausbauen

Zur breiten Aufklärung braucht es gezielte Informations- und Bildungsangebote, die das Bewusstsein für die Vorteile der Kreislaufwirtschaft stärken. Dafür können beispielsweise die Daten des digitalen Produktpasses verwendet werden. Aktuell bestehende Praxisbeispiele können aufbereitet und verbreitet werden, um über den Umgang und die Nutzung des Passes für die Umstellung auf zirkuläre Nachfrage zu informieren und damit als Vorbild zu dienen und zu motivieren.

18. Handlungsempfehlung: Anreize für zirkuläre Geschäftsmodelle schaffen

Mit Blick auf Verbraucherinnen und Verbraucher können vermehrte Anreize wie Pfandsysteme, Reparaturboni oder Produktkennzeichnungen zur Kreislauffähigkeit zu nachhaltigeren Entscheidungen anregen. Auch die Förderung zirkulärer Geschäftsmodelle – etwa durch Miet-, Sharing- oder Rücknahmeangebote – kann den Zugang zu ressourcenschonenden Alternativen erleichtern und deren Akzeptanz erhöhen.

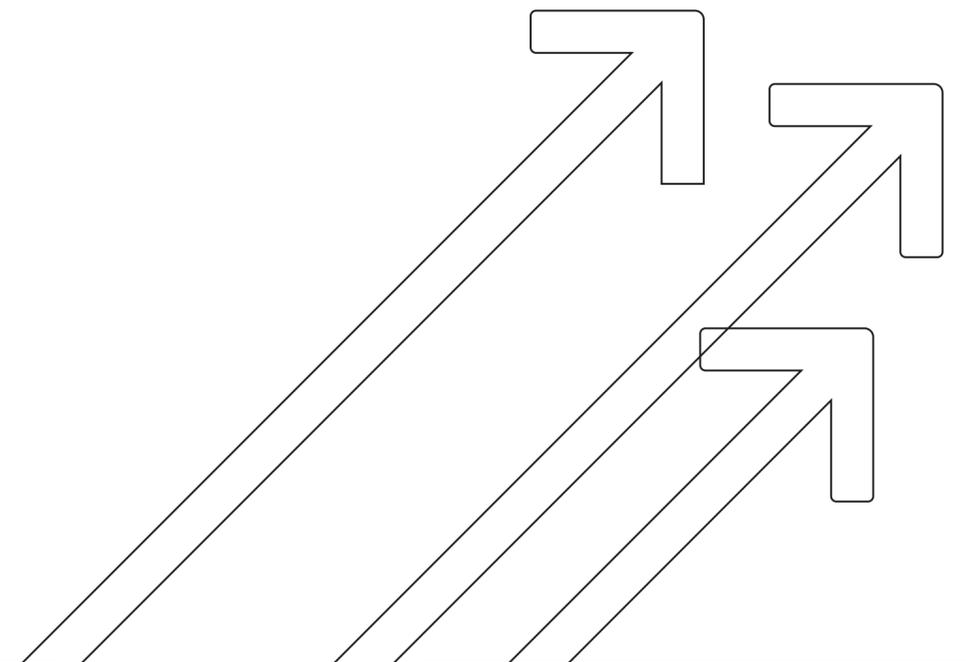


7 Nächste Schritte

Blickt man auf den Status quo sowie auf die beschriebenen Potenziale und Herausforderungen, wirkt der Weg zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft in der energieintensiven Industrie noch weit. Die beschriebenen Empfehlungen können einen Beitrag leisten, bestehende Hürden abzubauen und der deutschen Industrie den Weg zu ebnen. Die NKWS formuliert die Vision, die derzeit noch weitgehend lineare und ressourcenintensive Wirtschaftsweise bis 2045 in eine zirkuläre Wirtschaft zu transformieren. Dabei blickt sie umfassender als viele andere Strategien auf die verschiedenen Dimensionen der Kreislaufwirtschaft in den einzelnen Branchen und Querschnittsthemen. Um diese Vision greifbar und umsetzbar zu machen, muss es nun gelingen, in die Umsetzung zu gehen und Maßnahmen für einen Hochlauf der Kreislaufwirtschaft anzustoßen.

Das im Koalitionsvertrag versprochene Eckpunktepapier ist der erste Schritt, einen klaren Fahrplan mit Zwischenzielen zu definieren und Fortschritte messbar zu machen. Dazu zählen die zeitnahe Gründung der geplanten Plattform für Kreislaufwirtschaft sowie ein verstärkter Einsatz für die schnelle Umsetzung der EU-ESPR. Auf diese Weise können die Chancen der Kreislaufwirtschaft besser genutzt und gleichzeitig die Herausforderungen der Industrie adressiert werden. Deutschland kann hier eine Vorreiterrolle einnehmen, wenn es nicht allein auf europäische Regelungen wartet, sondern proaktiv eigene ambitionierte Maßnahmen entwickelt und umsetzt.

Einige mögliche Optionen sind in diesem Papier als Empfehlungen formuliert. Die Bundesregierung sollte der Wirtschaft, aber auch Verbraucherinnen und Verbrauchern den Weg in die Kreislaufwirtschaft erleichtern. Dafür sind klare Vorgaben, Anreizsysteme, Unterstützung bei der Finanzierung und das Schaffen von verstärkter Nachfrage sowie die Verbreitung von relevanten Informationen und Wissen notwendig. Der Übergang zur Kreislaufwirtschaft sollte als eine Investition in die künftige Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie verstanden werden. Für die hier genannten Maßnahmen sollten daher passende Mittel im Klima- und Transformationsfonds bereitgestellt und deren Nutzung erleichtert werden. Dabei sollte immer das Zielbild im Blick behalten werden, auf allen Ebenen zirkuläre Produkte im Umlauf zu haben.



Glossar

BEHG (Brennstoffemissionshandelsgesetz)	Deutsches Gesetz zur Einführung eines nationalen Emissionshandels für Brennstoffe in den Sektoren Verkehr und Wärme
BImSchG (Bundesimmissionsschutzgesetz)	Rahmengesetz zur Vermeidung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen usw.
BIK (Bundesförderung Industrie und Klimaschutz)	Richtlinie zur Förderung von Dekarbonisierungsprojekten in der Industrie und zur Förderung von CCU und CCS
BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen)	Instrument zur Planung und Bewertung nachhaltig und zumeist öffentlicher Bauvorhaben
CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism – CO₂-Grenzausgleichsmechanismus)	EU-Mechanismus zur CO ₂ -Bepreisung von Importen energieintensiver Produkte, um Wettbewerbsverzerrungen und die Standortverlagerung von Unternehmen zu verhindern
CCU (Carbon Capture and Utilisation)	Beschreibt Verfahren zur Abscheidung von CO ₂ aus industriellen Prozessen oder der Atmosphäre mit anschließender Nutzung, z. B. zur Herstellung von Chemikalien oder Baustoffen
CEAP (Circular Economy Action Plan)	EU-Aktionsplan zur Förderung der Kreislaufwirtschaft mit Fokus auf Produktdesign, Ressourcenschonung, langlebige Produkte und Abfallvermeidung
CMUR (Circular Material Use Rate)	Setzt die recycelte Menge an Abfällen ins Verhältnis zur gesamten Menge an Rohstoffen, die in einer Volkswirtschaft genutzt werden

Cradle-to-Cradle-Zertifikat	Die Zertifikate basieren auf dem Cradle-to-Cradle-Prinzip, nach dem alle Produkte so gestaltet werden, dass ihre Bestandteile entweder vollständig biologisch abbaubar oder technisch wiederverwertbar sind.
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DigiRess	Bundesförderprogramm zur Digitalisierung von Ressourceneffizienzprozessen in Unternehmen
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
EEW (Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft)	Richtlinie zur Förderung von Projekten mit dem Ziel der Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz in Industrie und Gewerbe
EnergieStG (Energiesteuergesetz)	Regelt die Besteuerung von Energieerzeugnissen (z. B. Heizöl, Gas, Benzin) in Deutschland
EOL-Eigenschaften (End-of-Life-Eigenschaften)	EOL-Eigenschaften beziehen sich auf die Merkmale und Auswirkungen eines Produkts am Ende seines Lebenszyklus auf z. B. die Umweltverträglichkeit oder Kreislauffähigkeit.
EU-Bauproduktenverordnung	Der EU-Kommission wird die Kompetenz übertragen, auf europäischer Ebene verbindliche ökologische Anforderungen an Bauprodukte zu definieren.
EU-ETS (EU-Emissions Trading System / EU-Emissionshandelssystem)	Das EU-ETS ist das zentrale Klimaschutzinstrument der Europäischen Union zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Es basiert darauf, dass Unternehmen Emissionszertifikate erhalten oder kaufen, die sie zum Ausstoß einer bestimmten Menge CO ₂ berechtigen.
EU-ESPR (Ecodesign for Sustainable Products Regulation / EU-Ökodesign-Verordnung)	EU-Verordnung zur Förderung nachhaltiger Produktgestaltung mit Anforderungen an Haltbarkeit, Reparierbarkeit und Ressourceneffizienz

EU-Plastiksteuer	Eine Abgabe auf nicht recycelte Kunststoffverpackungsabfälle, die für alle Mitgliedsstaaten verbindlich ist
EU-Produktpass	Ein digitaler Pass, der produktbezogene Informationen wie Materialzusammensetzung, Reparierbarkeit und CO ₂ -Fußabdruck beinhaltet
EU-Verpackungsverordnung PPWR (Packaging and Packaging Waste Regulation)	Die novellierte EU-Verpackungsverordnung macht u. a. Vorgaben zu Recyclingfähigkeit, Mindestzyklanteilen und Wiederverwendung.
Mantelverordnung für Ersatzbaustoffe und Bodenschutz	Verordnungspaket zur einheitlichen Regelung boden- und abfallrechtlicher Vorschriften (u. a. Ersatzbaustoffverordnung, Bundesbodenschutzverordnung)
Kfz-Steuer (Kraftfahrzeugsteuer)	Eine Abgabe für das Halten von Fahrzeugen im Straßenverkehr
Klima-Umlage	Eine Klima-Umlage ist eine Abgabe, die pauschal auf Grundstoffe erhoben werden würde, die in Europa hergestellt oder nach Europa importiert werden.
KSV (Klimaschutzverträge)	Richtlinie zur Förderung der Umstellung von großen Produktionsanlagen zu klimafreundlicher Produktion auf Basis des Prinzips des Ausgleichs der Differenz zwischen Vermeidungskosten und EU-ETS-Preisen
LESS (Low Emissions Steel Standard)	Privatwirtschaftlicher Standard zur Klassifikation und Kennzeichnung von Stahlprodukten
Mehrwegangebotspflicht	Pflicht für Gastronomie und Einzelhandel, bei To-go-Angeboten auch Mehrwegverpackungen anzubieten
Mehrwegquote	Die Mehrwegquote gibt an, welcher Anteil der Produkte in wiederverwendbaren Verpackungen verkauft wird, bezogen auf die Gesamtmenge aller in Verkehr gebrachten Verpackungen.

NKWS (Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie)	Strategie der Bundesregierung, um Deutschland zu einer Kreislaufwirtschaft zu führen. Sie beinhaltet die Verringerung des Rohstoffverbrauchs, das Schließen von Stoffkreisläufen und die Förderung nachhaltigen Konsums.
PCR (Post-Consumer Rezyklat)	Hochwertige Rezyklate aus Kunststoffen nach dem Konsum
PET	Polyethylenterephthalat
PIR (Post-Industrial Rezyklat)	Rezyklate aus dem Industriebetrieb
Recyclingquote	Beschreibt den Anteil behandelter und stofflich verwerteter Abfälle an der Gesamtmenge der Abfälle. Die Recyclingquote kann sich auf ein Produkt, eine Produktgruppe oder einen Abfallstrom beziehen.
Rezyklateinsatzquote	Beschreibt die eingesetzte Menge an Sekundärrohstoffen im Verhältnis zur insgesamt nachgefragten Menge an Rohstoffen für einzelne Produktgruppen
Renewables Pull	Bezeichnet den Effekt, dass Standorte, die durch eine günstige Bereitstellung erneuerbarer Energie gekennzeichnet sind, attraktiver werden für Unternehmen mit einer energieintensiven Produktion
StromStG (Stromsteuergesetz)	Regelt die Besteuerung von Stromverbrauchern in Deutschland
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VerpackG (Verpackungsgesetz)	Regelt das Inverkehrbringen, die Pflichten zur Rücknahme sowie die Verwertung und Registrierung von Verpackungen

Quellenverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), „Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie“, Berlin, 2024.
- [2] CDU; CSU; SPD, „Verantwortung für Deutschland – Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD – 21. Legislaturperiode“, Berlin, 2025.
- [3] Agora Industrie, System IQ, „Resilienter Klimaschutz durch eine zirkuläre Wirtschaft – Perspektiven und Potenziale für energieintensive Grundstoffindustrien“, 09 2023. [Online]. Available: https://www.agora-industrie.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-11_IND_Kreislaufwirtschaft/A-EW_309_Kreislaufwirtschaft_WEB.pdf. [Zugriff am 27 11 2024].
- [4] WWF, „Eine umfassende Circular Economy für Deutschland 2045 zum Schutz von Klima und Biodiversität“, 2023.
- [5] Wuppertal Institut, „Klimaneutrale Industrie im Jahr 2045 – Zielbild, zentrale Voraussetzungen und gesellschaftliche Implikationen“, 2025.
- [6] Material Economics, „The Circular Economy: A Powerful Force for Climate Mitigation“, 2018.
- [7] ESYS, „Szenarien für ein klimaneutrales Deutschland“, 2023.
- [8] UBA, „Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität“, 2021.
- [9] VCI, VDI, „Chemistry 4 Climate“, 2023. [Online].
- [10] Agora Energiewende, „Die Energiewende in Deutschland. Stand der Dinge 2024. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2025“, 2025.
- [11] Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut, „Lieferketten: Ohne Rohstoffe keine Klimaneutralität“, 2023.
- [12] S. B. (Destatis), „Zusammenhang zwischen Materialknappheit und Industrieaktivität“, 2024. [Online]. Available: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/materialknappheit-industrieaktivitaet.html#fussnote-7-605140>.
- [13] University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL); the Wuppertal Institute, „Embracing circularity: A pathway for strengthening the Critical Raw Materials Act“, CLG Europe, Cambridge, UK, 2023.
- [14] Prognos, „Strompreisprognose 2024“, 21 10 2024. [Online]. Available: <https://www.prognos.com/de/projekt/strompreisprognose-2024>. [Zugriff am 31.10.2024].
- [15] AFRY, „Kurzstudie: Internationaler Vergleich von Strompreisen für die Industrie“, Berlin, 2023.
- [16] P. A. Keinscherf, N. Namockel und M. Lange, „Strompreisbestandteile, Strompreispaket und Verteilungseffekte“, 12 2023. [Online]. Available: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2023/12/Policy_Brief_Strompreisbestandteile.pdf. [Zugriff am 31.10.2024].
- [17] P. Verpoort, L. Gast, A. Hofman und F. Ueckerdt, „Impact of global heterogeneity of renewable energy supply on heavy industrial production and green value chains“, Nature Energy, pp. 491–503, 2024.
- [18] P. C. Verpoort, F. Ueckerdt, Y. Beck, D. Bietenholz, A. Dertinger, T. Fleiter, A. Grimm, G. Luderer, M. Neuwirth, A. Odenweller, T. Sach, M. Schimmel und L. Sievers, „Transformation der energieintensiven Industrie. Wettbewerbsfähigkeit durch strukturelle Anpassung und grüne Importe“, 2024.
- [19] Deloitte, BDI, „Wertschöpfung im Wandel – Standort zunehmend unter Druck – Supply Chain Pulse Check“, Deloitte, 2023.
- [20] Deloitte, BDI, „Lieferketten und Margen unter Druck – Technologie als Hoffnungsträger – Supply Chain Pulse Check“, Deloitte, 2024.
- [21] A. Scholz, Y. Kloo, S. Theisen, M. Saurat, C. Schneider, K. Meisel, L. Röder, N. Dögnitz, D. Stapf und A. Reeves, „Unsicherheiten überwinden, grüne Märkte erschließen. Kompass zur Defossilisierung der Petrochemie in Deutschland. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt GreenFeed“, 2025.
- [22] BMUV, „Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie“, 2024.
- [23] Prognos, INFA, „Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft“, 2024.
- [24] Conversio, „Kurzfassung der Conversio Studie ‚Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2023 – Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen‘“, 2024.
- [25] bvse, „Erhebung Stahlschrottbilanz für das Jahr 2023“, 2025.
- [26] Umweltbundesamt, „Bauabfälle“, 2023.

- [27] WV Stahl, „Daten und Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland“, 2024.
-
- [28] S. Bruckschlägl, G. Beuchle, E. Vollmer, H. P. Petrillo, R. Volk, F. Schultermann und F. Dehn, „Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie für ganzheitliches Betonrecycling“, 2023.
-
- [29] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), „Der Gebäuderessourcenpass der DGNB“, 2025. [Online]. Available: <https://www.dgnb.de/de/nachhaltiges-bauen/zirkulaeres-bauen/gebaeuderessourcenpass>. [Zugriff am 20.04.2025].
-
- [30] VDI, „Inkonsequenz bremst Recyclingbeton“, 2022.
-
- [31] Europäische Kommission, „Neue EU-Bauprodukte-Verordnung: mehr Innovation, Digitalisierung und Nachhaltigkeit“, 2025.
-
- [32] L. Griestop, V. Esslinger, S. von Bonin und M. Gerspacher, „Die Mehrwegangebotspflicht – (k)ein Gamechanger gegen die Verpackungsflut“, Mehrwegverband.
-
- [33] Umweltbundesamt, „Stoffstrommanagement im Bauwesen“, 2022.
-
- [34] Senatsverwaltung Berlin, „Neufassung der Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt in Kraft“, 2021.
-
- [35] Umweltbundesamt, „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 – Abschlussbericht“, 2021.
-
- [36] DIN; DKE; VDI, „Deutsche Normungsroadmap Circular Economy“, 2023.
-
- [37] E. Hansen, P. Wiedemann, K. Fichter, F. Lüdeke-Freund, M. Jaeger-Erben, T. Schomerus, A. Alcayaga, F. Blomsma und U. Tischner, „Zirkuläre Geschäftsmodelle: Barrieren überwinden, Potenziale freisetzen“, Circular Economy Initiative Deutschland, 2021.
-
- [38] dena, „Geschäftsmodelle für zirkuläres Bauen und Sanieren – Die Rolle innovativer Geschäftsmodelle in der Transformation des Bausektors“, 2023.
-
- [39] Europäische Kommission, „Ecodesign for Sustainable Products Regulation“, 2023.
-
- [40] H. Langmaack, L. Flöer, P. Hader-Weinmann, M. Albicker, H. Wilts und M. Demandt, „Approaches to the low carbon transition of heavy industries – The role of Circular Economy measures in China and Germany“, GIZ, 2023.
-
- [41] Umweltbundesamt, „Prüfung konkreter Maßnahmen zur Steigerung der Nachfrage nach Kunststoffrecyklaten und rezyklathaltigen Kunststoffprodukten“, 2022.
-
- [42] SystemIQ; eunomia, „Unlocking a reuse revolution: scaling returnable packaging“, 2023.
-
- [43] Fraunhofer IMWS, „Schrottbonus – Externe Kosten und fairer Wettbewerb in den globalen Wertschöpfungsketten der Stahlherstellung“, 2019.
-
- [44] gvm, „Hemmnisse für den Rezyklateinsatz in Kunststoffverpackungen“, im Auftrag von Klimaschutzoffensive des Handels, Handelsverband Deutschland e.V., 2019.
-
- [45] H. Wilts, „Kreislaufwirtschaft als gesellschaftspolitische Herausforderung“, Gesellschaft – Wirtschaft – Politik, pp. 371–382, 2021.
-
- [46] EnSu, „Krisenfest, sozial und umweltgerecht: Impulse zur Entwicklung einer Suffizienzstrategie für Deutschland“, 2025.
-
- [47] K. Neuhoff, F. Ballesteros und T. Köveker, „Grundstoffindustrie braucht wirksamen Ausgleich von international unterschiedlichen CO₂-Kosten“, 2025.
-
- [48] OECD, „Taxing Wages 2024 – Tax and Gender through the Lens of the Second Earner“, 2024.
-
- [49] A. Grieder, „Recycling-Beton in Bauvorhaben der Stadt Zürich“, 2023.
-
- [50] T. Fleiter, Interviewee, Die Industriestruktur einzufrieren, wäre fatal. [Interview]. 16.04.2025.
-
- [51] C2C Certified, „Cradle to Cradle Certified®“, 2025. [Online]. Available: <https://c2ccertified.org/the-standard>. [Zugriff am 18.06.2025].
-
- [52] Prognos; Öko-Institut; Wuppertal-Institut, „Klimaneutrales Deutschland. Datenanhang“, Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, 2020.
-

Impressum

Herausgeber

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Chausseestraße 128 a

10115 Berlin

Tel.: +49 30 66 777-0

Fax: +49 30 66 777-699

E-Mail: info@dena.de

Internet: www.dena.de

Autorinnen und Autoren:

I.a.R.: Leon Flöer, Dietmar Gründig, Hannah Langmaack, Katharina Norpoth, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Prof. Dr. Henning Wilts, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

I.a.R.: Philipp Andree, Nina Goßlau, Klimaschutz-Unternehmen e. V.

Wir danken Benjamin Kampmann (Pöppelmann GmbH & Co. KG Kunststoffwerk – Werkzeugbau) und Lars Baumgürtel

(ZINQ GmbH & Co. KG) für die bereitgestellten Beispiele und Impulse aus der Unternehmenspraxis.

Redaktion:

I.a.R.: Oliver Jorzik, Nils Kalliski, Volker Kamm, Hanne May, Stephanie Niehoff, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Gestaltung:

The Ad Store GmbH

Stand:

07/2025

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2025) „Kreislaufwirtschaft als Zukunftsstrategie –

Neue Wege für die energieintensive Industrie in Deutschland am Beispiel der Stahl-, Kunststoff- und Zementindustrie“

