

2026

Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft





2026

Statusbericht
der deutschen
Kreislaufwirtschaft



Kurzer Überblick

Der neue Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2026 zeigt zum vierten Mal nach 2018, 2020 und 2024 wieder ein differenziertes Bild der deutschen Kreislaufwirtschaft. Seit der ersten Veröffentlichung im Mai des Jahres 2018 sind gut 8 Jahre vergangen. In diesem Zeitraum haben in Deutschland drei Ereignisse zu einem neuen Aufgabenverständnis der Branche geführt:

Zunächst die Corona-Krise, die nicht nur die Leistungs- und Anpassungsfähigkeit der Branche, sondern auch ihre Systemrelevanz für die Funktionsfähigkeit des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Lebens unter Beweis gestellt hat. In diesem Zusammenhang ist seit Anfang des Jahres 2020 auch das Ansehen der Abfallentsorgung und vor allem der beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Bevölkerung deutlich gestiegen und hat sich bis heute erhalten. Der anschließende Krieg in der Ukraine hat vor Augen geführt, wie stark Deutschland von Energie- und Rohstoffimporten abhängig ist und wie schnell Störungen in den Lieferketten zu Problemen bei der Versorgung mit wichtigen Gütern führen können. Der aktuelle Iran-Krieg führt teils zu ähnlichen Konsequenzen und lässt momentan die Energiepreise deutlich ansteigen.

Die Kreislaufwirtschaft kann sowohl durch die Kreislaufführung von Rohstoffen als auch durch die energetische Verwertung nicht mehr verwertbarer Abfälle wichtige Beiträge zur Reduzierung dieser Abhängigkeiten leisten. Zum aktuellen Stand dieser Beiträge liefert der vorliegende Statusbericht wichtige Informationen.

Die Kreislaufwirtschaft erlangt ferner auch in anderen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bereichen eine zunehmende Bedeutung. Die Diskussionen um die Circular Economy führt nicht nur zu dem Ergebnis, dass der Kreislaufwirtschaft künftig die zentrale Rolle bei der Zurverfügungstellung von Rohstoffen für den Wirtschaftskreislauf zukommen wird. Veränderte Produkte und Produktionsweisen werden in Verbindung mit einem veränderten Konsumverhalten auch maßgeblich zur CO₂e-Reduzierung und zur Reduzierung des Rohstoffeinsatzes führen.

Die aktuelle Situation der Kreislaufwirtschaft erfordert es, anders vielleicht als bei den vorherigen Statusberichten, einen gezielten Blick auf die vielfältigen Probleme zu werfen: Dazu zählen u. a. die Volatilität der Preise für Rohstoffe, geringe Bereitschaft zum Einsatz von Sekundärrohstoffen, ungeklärte Abfall-Ende-Eigenschaften, Verlagerung von Produktionsstätten, zweifelhafte Importqualitäten, Brand-Risiken beim Betrieb von Recyclinganlagen, Versicherbarkeit von Recyclinganlagen, steigende Anforderungen an die Genehmigung und den Betrieb von Recyclinganlagen oder auch vermehrte Insolvenzen, um nur einige zu nennen. Die notwendigen Maßnahmen für einen wirtschaftlichen Betrieb der Infrastrukturen liegen vor, müssen aber schnell umgesetzt werden. Weiterhin abzuwarten kann zu vermehrten Insolvenzen und damit verbunden zu einem Abbau von Anlagenkapazitäten führen, der nicht mehr umkehrbar sein wird. Vor diesem Hintergrund haben wir das zusammenfassende Kapitel 5 auch mit der Frage „Kreislaufwirtschaft am Scheideweg?“ verbunden.

Der aktuelle „Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2026“ informiert erneut Politik und Wirtschaft, Medien und die interessierte Fachöffentlichkeit über die derzeitigen und künftigen Aufgaben, die Leistungen und die Ziele der deutschen Kreislaufwirtschaft.

Der Statusbericht wurde diesmal von insgesamt 15 Verbänden sowie der IFAT finanziell unterstützt und inhaltlich begleitet: ASA, BDE, BDSAV, BDSV, Baustoff Recycling Bayern, BVA, bvse, DGAW, FEhS, InwesD, ITAD, VDM, VDMA, VHI und VKU. Die Daten und Informationen zur Kreislaufwirtschaft zeigen somit wieder ein aktuelles, umfassendes und breit abgestimmtes Bild der gesamten Aktivitäten und Perspektiven der Kreislaufwirtschaft in Deutschland.



Mathias Harms
Kommissarischer Präsident



Dr. Andreas Bruckschen
Stellvertretender Hauptgeschäftsführer



Henry Forster
Präsident



Eric Rehbock
Hauptgeschäftsführer

Der Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2026 zeigt: Kreislaufwirtschaft ist längst Standort- und Industriepolitik. In einem rohstoffarmen, hochindustrialisierten Land sichert sie Wertschöpfung, Versorgungssicherheit und resiliente Lieferketten. Die private Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft investiert in Anlagen, Digitalisierung und Recyclingtechnologien, steht jedoch unter Druck durch hohe Energiepreise, Regulierung und volatile Rezyklatmärkte. Entscheidend sind, Investitionssicherheit, beschleunigte Genehmigungen, verlässliche Nachfrage und faire Wettbewerbsbedingungen für Recyclingrohstoffe, damit Recycling sein volles Potenzial für Klimaschutz und Rohstoffsicherung entfalten kann.

BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft e.V.

Die Recycling- und Entsorgungsbranche präsentiert sich 2026 fachlich, technisch und strategisch hervorragend aufgestellt, doch die wirtschaftliche Lage ist sehr angespannt. Das überrascht niemanden, denn sie spiegelt die allgemeine konjunkturelle Situation wider. Insbesondere das Kunststoff- und Textilrecycling, aber auch das Glasrecycling stehen unter erheblichem Druck. Wir laufen Gefahr wertvolle Sammel- und Recyclingstrukturen zu verlieren. Deswegen ist es jetzt wichtig, sich für eine starke Kreislaufwirtschaft als Garant für Rohstoffsicherheit, Klimaschutz und nachhaltige Wertschöpfung einzusetzen. Die Branche ist bereit, Innovationen voranzutreiben und Verantwortung zu übernehmen. Dafür braucht sie verlässliche Rahmenbedingungen, Planungssicherheit, Vertrauen und einen engen Schulterschluss zwischen Wirtschaft und Politik.

bvse Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.



Dr. Ragnar Warnecke
Vorstandsvorsitzender



Dr. Bastian Wens
Geschäftsführer



Andreas Ellerkmann
Vorstandsvorsitzender

Seit dem Inkrafttreten der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASI) vor 20 Jahren ist es in Deutschland selbstverständlich, unbehandelte Abfälle nicht mehr zu deponieren. Ein wichtiger Schritt, der die Umweltbelastung deutlich reduziert hat, von dem viele EU-Länder aber immer noch weit entfernt sind. Auch die Schadstoffzerstörung im Abfall gewinnt an Bedeutung, ausgelöst durch die Debatte um PFAS: Nach heutigem Stand werden diese in thermischen Abfallbehandlungsanlagen (TAB) weitgehend zerstört. Die Politik läuft sehenden Auges Gefahr, die im Vergleich zu anderen EU-Mitgliedsstaaten weit entwickelte deutsche Kreislaufwirtschaft über die CO₂-Bepreisung dafür abzustrafen, vor 20 Jahren den richtigen Weg eingeschlagen zu haben. Die CO₂-Bepreisung muss deshalb europaweit gelten und insbesondere auch Deponien einbeziehen. Eine einseitige CO₂-Bepreisung in Kombination mit der immer weiter ausufernden Bürokratie, die TAB auferlegt wird, hätte langfristige negative Auswirkungen auf die ohnehin schwächelnde deutsche Wirtschaft, und zwar zulasten derjenigen, die sowieso schon immer weniger Verständnis für Klimaschutz in Zeiten der Polykrise aufbringen: die Bürgerinnen und Bürger. Auch muss die Infrastruktur der deutschen Kreislaufwirtschaft geschützt werden, vor allem vor Schäden durch Lachgasbehälter oder Akkus. Nur so können wir dafür sorgen, dass wir dieses Niveau nicht nur halten, sondern auch ausbauen können. Wir sind stolz darauf, ein wichtiger Teil der Kreislaufwirtschaft zu sein und unseren Beitrag auch zur Energiewende und dem Klimaschutz beizutragen. Viel Spaß beim Lesen!

ITAD Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.

Sonderabfallverbrennungsanlagen sind essenzieller Bestandteil des Industriestandortes und der Circular Economy. In unseren Anlagen werden gefährliche Substanzen (z. B. klimaschädliche Abfälle) und Schadstoffe, die beim Recycling unvermeidbar anfallen, aus dem Wirtschaftskreislauf sicher ausgeschleust. Wir unterstützen alle Anstrengungen zur Reduzierung von Treibhausgasen. Kritisch anzumerken ist, dass die Wettbewerbsfähigkeit der Sonderabfallverbrennung durch Bürokratie und insbesondere den nationalen Brennstoffemissionshandel (BEHG) gefährdet wird. Für die gefährlichen Abfälle bleibt es dabei, dass dieser nationale Alleingang keine relevante Lenkungswirkung entfaltet. Völlig inakzeptabel ist, dass die Kosten für die Zertifikate ab 2027 für unsere Anlagen, aber auch die abfallerzeugende Industrie durch das Auslaufen der Festpreisregelungen unkalkulierbare Risiken beinhalten. Wenn der Gesetzgeber trotz der vorgetragenen massiven Bedenken an der Einbeziehung der thermischen Behandlung in den nationalen Emissionshandel festhalten will, dann ist es im Interesse der Wirtschaft und für unsere Branche unerlässlich, in den nächsten Jahren am Festpreismodell und damit an einer belastbaren Kalkulationsgrundlage festzuhalten.

BDSAV Bundesverband Deutscher Sonderabfallverbrennungs-Anlagen e.V.



Uwe Feige
Vizepräsident

Die Kreislaufwirtschaft steht 2026 an einem Wendepunkt. Es ist an der Zeit, den erreichten Stand an Vermeidung und Verwertung kritisch zu prüfen. Sind etablierte Verwertungswege auch in der Zukunft gangbar oder bedarf es disruptiver Innovationen? Oberste Priorität bleibt, Abfall von vornherein zu vermeiden. Mehr Herstellerverantwortung und die damit einhergehende Ökomodulation z. B. bei Alttextilien schaffen erstmals echte Anreize für langlebige und recyclingfähige Produkte. Auch das bundesweit anstehende Recht auf Reparatur ist ein wichtiger Schritt nach vorn. Wir müssen Verwertungsquoten, die sich an der Zuführung zu Recyclinganlagen orientieren, unverzüglich durch eine Betrachtung von Quoten des tatsächlichen Wiedereinsatzes ersetzen. Es gibt viel zu tun, packen wir es an!

VKU Verband kommunaler Unternehmen e.V.



Dr. Sarah Brückner
Geschäftsführerin



Michael Ludden
Vorstandsvorsitzender

Deutschland und Europa stehen weiterhin im Zeichen großer Herausforderungen, auch wenn sich erste positive Signale einer wirtschaftlichen Stabilisierung abzeichnen. Die Abfall- und Recyclingtechnikbranche ist technologisch stark, hoch innovativ und international wettbewerbsfähig. Damit sich diese Stärken im Markt entfalten können, braucht es stabile Rahmenbedingungen, einen Abbau überbordender Bürokratie sowie eine Politik, die Kreislaufwirtschaft vorantreibt. Investitionen in Kreislaufwirtschaft und Recyclingtechnologien sind zentral für die Erreichung der europäischen Klimaziele. Allein zur Verwirklichung der Ziele des Green Deal müssen die Investitionen bis 2030 erheblich steigen. Die Recyclingtechnik ist bereit.

VDMA Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.



Andreas Schwenter
Präsident

Stahlrecycling und Kreislaufwirtschaft bilden die Grundlage industrieller Nachhaltigkeit und sind integraler Bestandteil globaler Stoffströme. Durch die qualitätsgesicherte Aufbereitung von Stahlschrott entstehen hochwertige Rohstoffe, die den Einsatz von Primärrohstoffen deutlich reduzieren. Ein hoher Schrottanteil ermöglicht die Produktion von CO₂-armem Stahl bei geringem Energieverbrauch. Voraussetzung dafür sind Design for Circularity sowie fortschrittliche Sortier- und Aufbereitungstechnologien. Effiziente, offene internationale Märkte sichern eine optimale Steuerung der Stoffströme. Investitionsfreundliche Rahmenbedingungen und beschleunigte Genehmigungsverfahren sind essenziell, um die Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft als Fundament der Transformation der Stahlindustrie voranzutreiben.

BDSV Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V.



Katrin Büscher
Geschäftsführender Vorstand



Sebastian Koch
Vorstandsvorsitzender

Transformationspfade neu denken: Kreislaufwirtschaft braucht Kooperation. Als Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung stehen wir für einen ressourcenschonenden, klimawirksamen Umgang mit Materialien. Kreislaufwirtschaft heißt für uns, Abfälle zu reduzieren und Stoffströme so aufzubereiten, dass hochwertige Sekundärrohstoffe entstehen. Unsere Anlagen sichern Recyclingqualität, ermöglichen CO₂-Einsparungen und stärken eine resiliente Rohstoffversorgung. Als moderne Rohstofflieferanten zeigen wir täglich das Klimaschutzpotenzial unserer Technologien. Gemeinsam mit allen Akteuren setzen wir uns für klare Rahmenbedingungen und verlässliche Standards ein – für eine Kreislaufwirtschaft, die funktioniert. Unser Anspruch: Ressourceneffizienz und technische Innovationskraft verbinden – mit dem Ziel, wertvolle Materialien im Kreislauf zu halten und eine nachhaltige Zukunft zu ermöglichen.

ASA Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e.V.



Dr.-Ing. Alexander Gosten
Sprecher des Vorstandes

Seit der letzten IFAT hat die Aufmerksamkeit der Industrie und Politik auf die Kreislaufwirtschaft und die Notwendigkeit für eine Transformation in eine Circular-Economy deutlich zugenommen und inhaltlich sich gewandelt. Wesentlich ist, dass von der Kreislaufwirtschaft erwartet wird, die Resilienz Europas zu erhöhen, indem die Importabhängigkeiten an Primärrohstoffen reduziert werden sollen. Die DGAW hat schon frühzeitig darauf hingewiesen, dass einerseits unser KrWG inzwischen Teil des Problems und nicht mehr Teil der Lösung ist und andererseits durch das Schließen von Kreisläufen, insbesondere des Kohlenstoffkreislaufes, auch große Chancen entstehen. Es ist nun zu klären, ob wir weiterhin ein Maximum an Besorgnis beim Umgang mit Abfall haben oder werthaltigen Abfall ähnlich behandeln, wie Produkte und Primärrohstoffe im „Wirtschaftsrecht“. Packen wir es an!

DGAW Deutsche Gesellschaft für Abfall- und Kreislaufwirtschaft e.V.



Hartmut Haeming
Vorstandsvorsitzender



Christian Rasquin
Geschäftsführer

Deponien sind und bleiben elementarer Bestandteil einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft. Sie stehen auf der letzten Stufe der Kreislaufwirtschaft, der Beseitigung. Ohne diese letzte Stufe ist eine geordnete Kreislaufwirtschaft nicht denkbar, da auch in Zukunft Materialien aufgrund ihrer Schadstoffbelastung aus dem Stoffkreislauf ausgeschleust werden müssen. Heutige Deponien sind damit nicht nur hochmoderne und sichere Entsorgungsanlagen, sondern gleichzeitig harter Standortfaktor für eine funktionierende Wirtschaft.

InwesD Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber e.V.



Matthias Moosleitner
Präsident



Stefan Schmidmeyer
Geschäftsführer

Die Mineralik ist der größte Abfallstrom und unser Hebel für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft. Ob Bodenaushub, Bauschutt, Gleisschotter oder Aschen und Schlacken – alle zusammen bilden ein riesiges Rohstoffpotential, aus dem wir bereits heute den Primärbaustoffen qualitativ absolut gleichwertige Sekundärbaustoffe herstellen können. Unser Ziel ist klar: die Mineralik zum Primärbaustein der Kreislaufwirtschaft machen – mit verlässlichen Qualitäten (QUBA Qualitätssiegel), planbaren Mengen und tragfähigen Märkten. So sichern wir regionale Versorgung, reduzieren Deponiedruck, sparen Primärrohstoffe und senken CO₂-Emissionen. Dafür stehen wir mit unserer Kompetenz, unseren Unternehmen, unserem Partner bvse und unserem Netzwerk.

BRB Baustoff Recycling Bayern e.V.



Thomas Reiche
Geschäftsführer

Kreislaufwirtschaft schont natürliche Rohstoffe, verschafft Ressourcensicherheit und leistet einen wichtigen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz. Auch Nebenprodukte wie Eishüttenschlacken tragen dazu bereits im First Life seit vielen Jahrzehnten bei. Mit Hüttensand als Ersatz für Portlandzementklinker im Zement, mit Gesteinskörnungen im Beton und im Verkehrswegebau sowie mit Konverterkalk in Düngemitteln konnte seit 1949 der Abbau von über 1,1 Mrd. Tonnen Naturgestein und die Emission von rund 200 Mio. Tonnen CO₂ vermieden werden. Wenn wir diese Erfolgsgeschichten auch in Zukunft fortschreiben wollen, müssen die praxisorientierte Industrieforschung langfristig und ausreichend finanziert sowie die Rahmenbedingungen für den Einsatz aller Sekundärrohstoffe konsequent und zeitnah optimiert werden.

FEHS Institut für Baustoff-Forschung e.V.



Dr. Jan Bergmann
Präsident



Anemon Strohmeier
Geschäftsführerin

Es gibt keine Argumente gegen die Kreislaufwirtschaft: Transformation, Klimaschutz und Ressourcenschonung sind ohne sie nicht möglich, ihre Bedeutung in Bezug auf Beschäftigung, Wertschöpfung und öffentliche Daseinsvorsorge hoch. Es gibt auch keine technischen Ausflüchte: Die Branche ist hochentwickelt und etabliert. Das heißt nicht, dass die Anstrengungen „auf der zweiten Nachkommastelle“ nachlassen würden - aber das ist Finetuning, keine Wirksamkeitsvoraussetzung. Der Status-bericht belegt dies umfassend und eindrucksvoll. Und er zeigt den politischen Handlungsbedarf auf: Es ist Zeit für klare politische Lenkungsentscheidungen pro Recycling-wirtschaft und damit für die Entscheidung von Zielkonflikten! Die Kreislaufwirtschaft verkommt sonst zu einem inhaltsleeren Buzzword, zu einer Standardfloskel in den politischen Sonntagsreden – und ihr Potential würde verpuffen, das Vertrauen der Branche wäre verloren. Daher: Der Worte sind genug gewechselt, nun müssen politische Taten folgen.

VHI Verband der Holzwerkstoff- und Innentürenindustrie e.V.



Murat Bayram
VDM-Präsident

Metallkreisläufe sind global organisiert – und sie brauchen Freiheit statt Grenzen. Recycling lebt von offenen Märkten, verlässlichen Rahmenbedingungen und funktionierenden Stoffströmen. Internationale Märkte sind dabei keine Option, sondern Voraussetzung: Europäische Kapazitäten und Nachfrage stehen nicht in jeder Marktphase im Gleichgewicht. Wo Stoffströme künstlich verengt werden, geraten Preise unter Druck, Investitionen bleiben aus und Sammelmengen sinken. Wahrer Wert entsteht dort, wo Ressourcen fließen, nicht wo sie stagnieren. Für rohstoffarme Volkswirtschaften wie Europa entsteht Versorgungssicherheit nicht durch Autarkie, sondern durch leistungsfähiges Recycling in international vernetzten Märkten. Eine zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft stärkt Resilienz – nicht durch Abschottung, sondern durch Offenheit und Wettbewerb.

VDM Verband Deutscher Metallhändler und Recycler e.V.



Detlev Bruhnke
Präsident



Christian Rasquin
Geschäftsführer

Altölrecycling trägt auf vorbildliche Weise zum Ressourcenschutz im Schmierstoffbereich bei. Unsere Raffinerien entfernen alle unerwünschten Inhaltsstoffe aus dem Altöl, produzieren hochwertige Sekundärrohstoffe und tragen so aktiv zum Umweltschutz bei. Wir schließen Kreisläufe in der Ölbranche nachhaltig und bieten die Grundlage zur Herstellung von CO₂-reduzierten Schmierstoffen für Wirtschaft und Industrie. Mit unserem Sammelnetz garantieren wir eine sichere Entsorgung - vom Oderbruch bis zum Schwarzwald. Auf diese Weise stärken wir seit 100 Jahren die Kreislaufwirtschaft für Deutschland.

BVA Bundesverband Altöl e.V.



Stefan Rummel
CEO

Ressourcensicherung und Klimaschutz sind heute harte Standortfaktoren. Der aktuelle Statusbericht zur Kreislaufwirtschaft macht deutlich: Zirkularität ist das Fundament für industrielle Wertschöpfung in Zeiten geopolitischer Volatilität. Die IFAT Munich 2026 übersetzt diese Notwendigkeit in ihr Leitmotiv "Circularity is a must". Sie ist globaler Marktplatz für Technologien, die nicht nur die Versorgungssicherheit gewährleisten, sondern auch wirtschaftliche Stabilität und Skalierbarkeit garantieren.

IFAT Messe München GmbH

1

12 **Organisation, Leistungen und Struktur**

- 14 Organisation, Aufgaben, Zuständigkeiten
- 16 Abfallerfassung und Stadtreinigung
- 24 Abfallmengen im Überblick
- 30 Vorbehandlung, Verwertung und Beseitigung
- 44 Verwertungswege in der Kreislaufwirtschaft
- 74 Marktteilnehmer in der Kreislaufwirtschaft

90 **Wirtschaftliche Bedeutung**

2

- 92 Abgrenzung der Kreislaufwirtschaft
- 94 Marktsegmente der Kreislaufwirtschaft
- 100 Außenwirtschaftliche Bedeutung der Kreislaufwirtschaft
- 118 Ergebnisse nach Bundesländern

3

122 **Kreislaufwirtschaft 4.0**

- 124 Innovationen – Vorbereitung auf die Zukunft
- 130 Neue Ideen in der Kreislaufwirtschaft
- 146 Startups in der Kreislaufwirtschaft
- 154 Die Kreislaufwirtschaft – ein attraktiver Arbeitgeber

160 **Zukunftsaufgaben**

4

- 162 Schonung der Ressourcen: ökonomische und ökologische Notwendigkeit
- 172 Perspektive des Recyclings
- 180 Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Rohstoffversorgung
- 210 Die Kreislaufwirtschaft als Energielieferant
- 218 Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft
- 226 Blick nach Europa

5

230 **Kreislaufwirtschaft – Aufgaben, Ziele und Perspektiven**

- 248 Glossar
- 253 Abkürzungsverzeichnis
- 256 Herausgeber
- 258 Impressum

Organisation, Leistungen und Struktur

1



Gemeinsam Ressourcen im Kreislauf halten

Die umwelt- und ressourcenschonende Sammlung, Sortierung und Aufbereitung sowie Verwertung und Beseitigung von jährlich knapp 400 Millionen Tonnen Abfällen in Deutschland gelingt nur durch ein enges Zusammenspiel aller Akteure der Kreislaufwirtschaft. Politik und Verwaltung, von der EU über Bund, Länder und Kommunen, schaffen die rechtlichen und strategischen Rahmenbedingungen und überwachen deren Einhaltung. Die operative Umsetzung liegt bei den knapp 10.000 privaten und kommunalen Unternehmen, die Abfälle erfassen, sortieren, aufbereiten und als Sekundärrohstoffe wieder in den Produktionskreislauf zurückführen. Die technologische Grundlage dafür stellen die Unternehmen des Anlagen-, Maschinen- und Fahrzeugbaus zur Verfügung. Die Industrie übernimmt zunehmend Verantwortung, indem sie Produkte recyclinggerecht gestaltet und in Zusammenarbeit mit dem Handel Rücknahmesysteme etabliert. Und auch private Haushalte und Gewerbebetriebe leisten ihren Beitrag. Denn nur durch konsequente Rückführung von Wertstoffen lassen sich die Recyclingquoten erreichen und Rohstoffe im Kreislauf halten.

Kreislaufführung schützt Umwelt und Klima

Abfälle sind eine wertvolle Ressource. Angesichts der zunehmenden Knappheit und Abhängigkeiten von Primärrohstoffen wird die Rückgewinnung von Materialien aus Abfällen immer wichtiger. Wenn ihr stoffliches Potenzial genutzt wird, können aufbereitete Materialien wie Metalle, Papier, Glas, Kunststoffe sowie aufbereitetes Altöl oder Lösemittel erneut in die Produktion einfließen und schonen die natürlichen Ressourcen. Wo eine stoffliche Verwertung nicht mehr möglich ist, etwa bei bestimmten Althölzern, Kunststoffen oder Sortierresten, dienen Abfälle als bedeutende Energiequelle. Für Abfälle mit Schadstoffgehalt gilt: Sie müssen sicher und umweltgerecht beseitigt werden. In Deutschland übernehmen rund 13.600 spezialisierte Anlagen diese Aufgaben und tragen damit entscheidend zum Schutz von Klima, Umwelt und natürlichen Rohstoffen bei.

Standardisierung schafft Vertrauen und Transparenz

Die Verantwortung für einen sicheren und effizienten Umgang mit Abfällen ist umfassend. Unternehmen der Kreislaufwirtschaft setzen auf etablierte Managementsysteme und Zertifizierungen, die in nationalen und internationalen Normen verankert sind, um Prozesse zu optimieren und Qualitäten zu sichern. Ihre Zuverlässigkeit und Fachkompetenz wird durch unabhängige Prüfungen bestätigt. Neben den globalen Umwelt- und Qualitätsmanagementsystemen sind in Deutschland insbesondere die Zertifizierung als Entsorgungsfachbetrieb sowie stoffstromspezifische Nachweise Standard. Zunehmend gewinnen digitale Audit- und Monitoringlösungen an Bedeutung, um Transparenz, Nachverfolgbarkeit und Compliance entlang der gesamten Wertschöpfungskette sicherzustellen.

Stadtsauberkeit sichert Lebensqualität

Die Stadtsauberkeit ist ein zentraler Faktor für die Lebensqualität und das positive Erscheinungsbild einer Kommune. Saubere Straßen, Plätze und Grünflächen fördern nicht nur das Wohlbefinden der Bevölkerung, sondern auch die Attraktivität für Besucher und Investoren. Um dies zu gewährleisten, müssen Kommunen, Entsorgungsunternehmen und Bürgerinnen und Bürger gemeinsam handeln. Effiziente Sammel- und Entsorgungssysteme, regelmäßige Reinigung öffentlicher Bereiche sowie die Pflege von Grünflächen sind dabei essenziell. Investitionen in moderne Technologien, von smarten und attraktiven Abfallbehältern bis hin zu digital gesteuerten Reinigungsprozessen, sowie gezielte Maßnahmen gegen das Littering tragen dazu bei, das Abfallaufkommen im öffentlichen Raum nachhaltig zu reduzieren und die Stadtsauberkeit langfristig zu sichern.



628

Hauptakteure der Kreislaufwirtschaft

Europäische Kommission:

Legt strategische Umwelt- und Abfallziele fest und formuliert Vorgaben für die Mitgliedstaaten.

Kreise, Städte und Gemeinden:

Übernehmen als öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (öRE) die Verantwortung für Haushaltsabfälle und bestimmte gewerbliche Beseitigungsabfälle und überwachen den Vollzug; Aufgaben können an Dritte übertragen werden.

Bund und Länder:

Setzen EU-Vorgaben in nationales Recht um, ergänzen eigene Anforderungen.

Verbraucher:

Überlassungspflicht für Restabfälle aus Haushalten und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle; Rückgabe- und Getrennsammlungspflichten (z. B. Verpackungen, Elektrogeräte, Bioabfälle, Textilien).

Entsorgungsunternehmen:

Gewährleisten Sammlung, Sortierung, Verwertung und Beseitigung nach dem Stand der Technik.

Anlagen-, Maschinen- und Fahrzeugbau:

Stellt die technologische Basis für effiziente Kreislaufwirtschaft bereit.

Industrie:

Übernimmt zum Teil erweiterte Herstellerverantwortung (z. B. Verpackungen, Elektrogeräte, Batterien).

Kreislaufwirtschaft: Vom Abfall zur Ressource

Der Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft definiert den Begriff deutlich breiter als die klassische Abfallwirtschaft: Er umfasst die gesamte Wertschöpfungskette – vom Produktdesign über Produktion und Konsum bis zur Abfallbehandlung. Das bisherige „Ende“ des Produktlebenszyklus wird so zum Ausgangspunkt für die Rückführung wertvoller Rohstoffe in die Wirtschaft. Unternehmen der Entsorgungs- und Recyclingbranche tragen dabei eine hohe Verantwortung – technisch, ökologisch, organisatorisch und wirtschaftlich.

Europäische Rechtsvorschriften prägen die Kreislaufwirtschaft maßgeblich. Neben der Reduzierung negativer Umweltwirkungen sind Energieeffizienz, Ressourcenschonung und Klimaschutz zentrale Leitideen. „Circular Economy“ ist heute eng mit der Produkt- und Ressourcenpolitik verknüpft. In Deutschland bildet das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) den zentralen Rechtsrahmen. Seit Inkrafttreten 1996 wurde es im Zuge der EU-Abfallrahmenrichtlinie (2018) umfassend novelliert. Ziel ist es, die Kreislaufwirtschaft zu fördern und den Ressourcenschutz zu stärken – z. B. durch Getrennsammlung, höhere Recyclingquoten und den Einsatz von Sekundärrohstoffen. Rechtsverordnungen konkretisieren das KrWG, ergänzt durch landesspezifische Vorgaben zur Abfallwirtschaftsplanung und -vollzug.

Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS)

Als zentraler Meilenstein wurde die NKWS Ende 2024 vom Bundeskabinett verabschiedet¹. Sie bildet den strategischen Rahmen für den Übergang zu einer zirkulären Wirtschaft in Deutschland. Die Strategie verfolgt drei übergeordnete Leitziele: die substanzielle Reduktion des Verbrauchs neuer Rohstoffe, die deutliche Steigerung des Anteils sekundärer Materialien und die Stärkung der Unabhängigkeit von Rohstoffimporten. Ergänzend soll die Abfallmenge durch langlebigere, reparaturfähigere Produkte und eine konsequentere Rohstoffführung im Kreislauf deutlich verringert werden. Neu ist die Einrichtung einer ressortübergreifenden Plattform, die gemeinsam mit Stakeholdern die Umsetzung koordiniert. Die NKWS sieht eine Roadmap 2030 vor sowie ein verbindliches Monitoring- und Evaluationssystem, das Fortschritte überprüft und Anpassungen ermöglicht. Damit werden Bund, Länder und Akteure entlang der Wertschöpfungskette klar in die Verantwortung genommen.

Abfallerzeuger und Abfallbesitzer

Nach § 3 Abs. 8 KrWG sind Abfallerzeuger natürliche oder juristische Personen, bei denen Abfälle direkt (Ersterzeuger) oder durch deren Behandlung (Zweiterzeuger) entstehen. Abfallbesitzer ist, wer die tatsächliche Sachherrschaft über die Abfälle innehat. Industrie und Gewerbe müssen ihre Abfälle – einschließlich gefährlicher oder massenhafter wie Bauabfälle – ordnungsgemäß verwerten oder beseitigen (Verursacherprinzip). Dies erfolgt meist über private Entsorgungs-

unternehmen. Für Abfälle aus Haushalten und bestimmte gewerbliche Beseitigungsabfälle besteht die Pflicht zur Überlassung an die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE).

Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (öRE)

Kreise, Städte und Gemeinden übernehmen im Rahmen der Daseinsvorsorge die Verantwortung für Haushaltsabfälle und bestimmte gewerbliche Beseitigungsabfälle. Ausnahmen gelten bei Rücknahmepflichten oder freiwilliger Produktverantwortung. Die Abfallbehandlung folgt der fünfstufigen Abfallhierarchie und kann selbst, interkommunal (z. B. im Rahmen von Zweckverbänden) oder über private Unternehmen erfolgen. Industrielle und gewerbliche Verwertungsabfälle unterliegen nicht der Überlassungspflicht, sondern werden häufig direkt von der privaten Entsorgungswirtschaft übernommen.

Hersteller und Inverkehrbringer

Hersteller und Handel sind durch Produktverantwortung gebunden: langlebige Designs, Rücknahme- und Verwertungspflichten, Einsatz von Sekundärrohstoffen, Kennzeichnungspflichten und Stoffverbote (z. B. Verpackungen, Batterien, Elektrogeräte, Altfahrzeuge). Mit der EU-Abfallrahmenrichtlinie 2018 wurde die Erweiterte Herstellerverantwortung (EPR) eingeführt, die finanzielle und/oder organisatorische Verantwortung für die Abfallphase ihrer Produkte regelt². Davon betroffen sind vor allem Hersteller und Inverkehrbringer von Produkten, die unter das Elektroggesetz (ElektroG), das Batteriegesetz (BattG) oder das Verpackungsgesetz (VerpackG) fallen.

Neue Herausforderungen durch die NKWS

Die NKWS erweitert die Verantwortung über den klassischen Abfallsektor hinaus. Neben den etablierten Akteuren gewinnen neue Schnittstellenakteure an Bedeutung: digitale Plattformanbieter für Produktpässe, Zertifizierungs- und Standardisierungsstellen, öffentliche Beschaffungsstellen, Forschungseinrichtungen, Start-ups und Innovationsnetzwerke. Sie alle unterstützen die Umsetzung innovativer Technologien, die die Materialsubstitution und eine effiziente Kreislaufführung ermöglichen. Die Strategie stärkt damit die gemeinsame Verantwortung von Staat, Wirtschaft und Gesellschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

¹ <https://www.bundesumweltministerium.de/download/nationale-kreislaufwirtschaftsstrategie-nkws>



² Artikel 2, Nr. 21 der EU-Abfallrahmenrichtlinie.

1.2 Abfallerfassung und Stadtreinigung



Ganzheitliche Konzepte für eine erfolgreiche Stadtbildpflege

Die Anforderungen an die Stadtreinigung nehmen in Städten und Gemeinden kontinuierlich zu. Gesellschaftliche Entwicklungen, veränderte Infrastruktur und steigender Kostendruck verlangen nach neuen Strategien und Strukturen. Effizienz kann dabei nur entstehen, wenn Zuständigkeiten gebündelt, digitale Werkzeuge konsequent genutzt und alle relevanten Akteure im öffentlichen Raum eingebunden werden. Ergänzend tragen Qualitätsmessungen dazu bei, Abläufe transparent zu gestalten und Optimierungspotenziale frühzeitig sichtbar zu machen.

Aktuelle Situation und Herausforderungen

Die Stadtreinigung sieht sich derzeit einer Vielzahl von Herausforderungen gegenüber. Gesellschaftliche und demografische Trends wirken sich unmittelbar auf das Arbeitspensum und das Aufgabenportfolio aus. Individualisierung und der Trend hin zur „Draußen-Kultur“ führen zu einer intensiveren Nutzung des öffentlichen Raums. Insbesondere im letzten Jahrzehnt ist eine deutliche Zunahme der Außen- und Gastronomie, von Grillpartys auf Grünflächen, Public-Viewing-Veranstaltungen sowie des Unterwegs-Konsums (z. B. Coffee-to-go, Fast Food) zu beobachten. Begleitet wird dies von unachtsamem Wegwerfverhalten (Littering) sowie von wilden Müllablagerungen³ auf Straßen, Spielplätzen und in Parks. Mit zunehmender Verschmutzung sinkt nicht nur das Image einer Stadt, auch das Sicherheitsempfinden in der Bevölkerung steht in Bezug zur Stadtsauberkeit.

Dieses veränderte Nutzungsverhalten hat auch Diskussionen über Wirtschaftlichkeit und Qualität der Stadtreinigung ausgelöst. Die Erwartungshaltung der Politik und Bürgerschaft steigt spürbar an. Hinzu kommen im Bereich Stadtreinigung häufig historisch gewachsene Strukturen mit geteilten Zuständigkeiten und zahlreichen Schnittstellen zwischen Akteuren, die Abläufe und Organisationsformen für die Öffentlichkeit oft wenig transparent machen.

Die Zunahme von Littering und wilden Abfallablagerungen hat nicht nur ökologische Auswirkungen, sie führt durch die Notwendigkeit intensiverer Reinigungsgänge und längerer Einsatzzeiten auch zu erheblichen Mehraufwänden und -kosten für die Kommunen. Besonders kritisch ist dabei der zunehmende Fachkräftemangel, der die Leistungsfähigkeit der Stadtreinigung zunehmend beeinflusst. Hohe Krankenstände und die Verschiebung der Altersstruktur der Mitarbeitenden verschärfen dies zusätzlich. In Kombination mit angespannten Haushaltslagen und

teilweise bestehenden Lieferengpässen bei Fahrzeugen und Technik verstärkt sich die Belastung für die Kommunen weiter.

Optimierungsansätze

Dem herausfordernden Status quo im Bereich der Stadtreinigung wird seit einiger Zeit durch verschiedene Maßnahmen entgegengewirkt, die sowohl Organisationsformen, Strukturen als auch Arbeitsweisen betreffen. Zudem spielt die Digitalisierung in diesem Kontext eine zentrale Rolle. Die Stadtreinigungsbetriebe sind daher seit Jahren bestrebt, das optimale Organisationsmodell mit einer effizienten Aufbau- und Ablauforganisation zu entwickeln und umzusetzen.

Viele Kommunen haben Reinigungsaufgaben daher schon zentral gebündelt oder sind im Prozess, alle Reinigungsaufgaben im Stadtbild durch einen Zuständigen, z.B. durch den Stadtreinigungsbetrieb, durchführen zu lassen („Reinigung aus einer Hand“). Darüber hinaus beschäftigen sich immer mehr Kommunen mit einem ganzheitlichen Ansatz, bei dem neben der klassischen Stadtreinigung (Straßenreinigung, Papierkorbleerung und Winterdienst) weitere wichtige kommunale Leistungsspektren, wie Grünflächenpflege und Straßenerhaltung in das Gesamtkonzept eingebettet werden. Die Stadtbildpflege verbindet neben den originären Reinigungsaufgaben dann auch Pflege- und Erhaltungsdienstleistungen sowie weitere Serviceangebote. Außerdem gewinnen „Masterpläne Stadtsauberkeit“ zunehmend an Bedeutung. Ziel dieser Konzepte ist es, Stadt und Verantwortliche ganzheitlich in den Blick zu nehmen sowie bereits bestehende Initiativen und weitere Maßnahmen koordiniert zusammenzuführen. Dabei wird ein klares Zielbild entwickelt, das Maßnahmen aus unterschiedlichen Handlungsbereichen integriert. Bestandteil solcher Masterpläne können unter anderem folgende Aspekte sein:

³ Im Rahmen des Statusberichts wird vorzugsweise der Begriff Abfall verwendet. Wo jedoch im Rahmen von statistischen Daten oder ähnlichen Veröffentlichungen, noch Begriffe wie Hausmüll verwendet werden, wird auch im Rahmen des Statusberichts aus Klarheitsgründen der Begriff Müll verwendet. So soll sichergestellt werden, dass jederzeit ein eindeutiger Bezug hergestellt werden kann.



Straßenreinigung zur Libori-Kirmes, Quelle: ASP

1. Strategische Maßnahmen

Die „Reinigung aus einer Hand“ und die Bündelung von Reinigungs- und Pflegeleistungen im gesamten Stadtgebiet gehören zu den zentralen strategischen Maßnahmen. Sie erhöhen in der Regel die Sauberkeit im öffentlichen Raum, verringern Schnittstellen und ermöglichen dadurch eine bessere Nutzung wirtschaftlicher Synergien. Gleichzeitig sorgen beide Ansätze für mehr Transparenz gegenüber den Bürgerinnen und Bürgern.

Mit der Einrichtung einer zentralen Steuerungseinheit zur Koordination unregelmäßiger Maßnahmen entsteht im Bereich der Stadtbildpflege die sogenannte „zentrale Steuerungsverantwortung“. Die Einheit bündelt alle Meldungen zu unregelmäßigen oder nicht planbaren Reinigungsmaßnahmen, bewertet sie nach Inhalt, Umfang und Zeithorizont und gibt die Aufträge anschließend an die zuständigen Stellen weiter. Diese Organisationsform führt in der Regel zu deutlich erhöhter Sauberkeit, schnelleren Reaktionszeiten und zu nochmals gesteigerter Transparenz für die Bürgerschaft und alle Akteure im Stadtgebiet. Basis zentraler Steuerungsverantwortung sind in der Regel vertragliche Vereinbarungen, weshalb diese unter anderem auch Vorteile im Bereich der Finanzierung mit sich bringt.

Darüber hinaus zeigt sich, dass Kennzahlen zunehmend strategisch für Monitoringzwecke sowie zur Identifikation von Optimierungspotenzialen genutzt werden. Dabei kommen unter anderem auch Benchmarks zum Einsatz, die einen Vergleich mit ähnlich aufgestellten Betrieben ermöglichen (vgl. Abschnitt „Aktuelle Betriebsdaten, Kennzahlen und Abfallzusammensetzungen“).

2. Operative Maßnahmen

Ein zentraler Ansatzpunkt zur Optimierung der Stadtreinigung liegt in der Überprüfung und Anpassung der

Reinigungsorganisation. In der Praxis hat sich gezeigt, dass Gruppenarbeit mit klar definierter Revierverantwortung sowohl zu einem verbesserten Sauberkeitszustand im öffentlichen Raum als auch zu einer höheren Mitarbeiterzufriedenheit beitragen können. Ergänzend hierzu stellen Sonderreinigungen – z. B. die Entfernung von Graffiti und die Beseitigung von Wildwuchs – einen wichtigen Bestandteil operativer Maßnahmen dar. Einige Kommunen haben hierfür flexible Einsatztruppen (z. B. „Kehrforce“) etabliert, die kurzfristig für Sonderaufträge eingesetzt werden können und dadurch eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit und Flexibilität gewährleisten.

Innerbetriebliche Umstrukturierungen eröffnen häufig weitere Optimierungspotenziale. So können innovative Arbeitszeitmodelle nicht nur die Zufriedenheit der Beschäftigten steigern, sondern auch zu einer flexibleren Einsatzplanung beitragen und gleichzeitig die Sichtbarkeit der Stadtreinigung für die Öffentlichkeit erhöhen. Darüber hinaus ermöglicht die fortschreitende Digitalisierung eine Effizienzsteigerung im operativen Geschäft: Die digitale Einsatzplanung und die mobile Rückmeldung zu erbrachten Leistungen reduzieren den organisatorischen Aufwand erheblich und ersetzen zeitintensive analoge Verfahren. Viele Stadtreinigungsbetriebe arbeiten daher derzeit intensiv an der Digitalisierung ihrer Prozesse und Abläufe.

3. Partizipative Maßnahmen

Stadtsauberkeit ist Gemeinschaftsaufgabe und liegt nicht nur in der Verantwortung der Stadtreinigungsbetriebe. Aus diesem Grund werden seit einiger Zeit auch partizipative Ansätze zur Verbesserung und nachhaltigen Sicherung von Stadtsauberkeit forciert. Ein zentrales Instrument stellt die Einrichtung von Kommunikationskanälen dar, z. B. in Form von zentralen Hotlines, Melde-Apps oder Social-Media-Kanälen. Diese ermöglichen es Bürgerinnen und Bürgern,

Verunreinigungen oder Schäden im öffentlichen Raum unkompliziert zu melden. Kommunikationskanäle bieten vielfältige Vorteile, bergen jedoch zugleich Risiken, die in der Planung und Umsetzung berücksichtigt werden müssen. Insbesondere ist zu vermeiden, dass sie durch missbräuchliche Nutzung zu einer Zunahme illegaler Ablagerungen beitragen, z. B. durch missbräuchliche Nutzung von Melde-Apps als Alternative zu regulären Sperrmüllterminen.

Darüber hinaus fördern gemeinschaftliche Aktionen wie sogenannte „Clean Ups“ das bürgerschaftliche Engagement, indem sie kollektive Verantwortung für die Sauberkeit des öffentlichen Raums stärken. Auch die Übernahme von Patenschaften für Grünflächen, Spielplätze oder Hundekot-Tütenspendern hat sich in vielen Städten bewährt. Solche Modelle entlasten die kommunalen Reinigungsdienste und fördern gleichzeitig Wahrnehmung von öffentlichem Raum als Gemeingut.

Ergänzend dazu bieten „Runde Tische“ zum Thema Stadtbild/Stadtsauberkeit eine Plattform für den Austausch zwischen Stadtreinigungsbetrieben, Bürgerinnen und Bürgern, Politik und weiteren Stakeholdern, z. B. der Gastronomie. Sie helfen, die Bedürfnisse und Ansprüche untereinander zu verstehen und fördern die Kooperation der teilnehmenden Akteure.

4. Repressive Maßnahmen

Repressive Maßnahmen standen lange Zeit weniger im Fokus, gewinnen jedoch vor dem Hintergrund aktueller Herausforderungen an Bedeutung und sind inzwischen wichtiger Bestandteil ganzheitlicher Stadtsauberkeitskonzepte. Immer häufiger wird das städtische Ordnungsamt in Teams sogenannter „Abfalldetektive“ oder „Waste Watcher“ eingebunden, damit Verstöße systematisch kontrolliert und unmittelbar geahndet werden können. Das Verhängen von Verwarnungs- und Ordnungsgeldern schafft einen klaren Sanktionsrahmen, wirkt in der Regel verhaltenslenkend und trägt zur Sensibilisierung der Bevölkerung bei. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen hängt dabei insbesondere von der konsequenten Durchsetzung ab. Ergänzend hierzu kann z. B. auch die Videoüberwachung an Hotspots wie Depotcontainerstandplätzen – falls erlaubt und möglich – als weitere repressive Maßnahme Beweise sichern und zusätzlich präventiv wirken.

5. Präventive Maßnahmen

Präventive Maßnahmen sollen die Verschmutzung des öffentlichen Raums bereits im Vorfeld verhindern sowie das Verantwortungsbewusstsein der Bevölkerung für das Stadtbild stärken. In einigen Städten werden bereits seit einiger Zeit sogenannte „Kümmerer“ eingesetzt, die im Stadtgebiet – beispielsweise in Grünanlagen – Präsenz zeigen. Ihre Aufgabe besteht weniger in der Sanktionierung von Fehlverhalten, sondern vielmehr in Aufklärung und

Sensibilisierung der Bürgerinnen und Bürger. Durch direkte Ansprache und Informationsvermittlung sollen sie die Bevölkerung für einen respektvollen Umgang mit den öffentlichen Räumen sensibilisieren.

Darüber hinaus bilden Info- und Imagekampagnen ein wichtiges Element präventiver Strategien. Öffentlichkeitsarbeit über verschiedene Kanäle, etwa durch Presseberichte, Plakataktionen oder digitale Formate, kann das Bewusstsein für die Bedeutung von Stadtsauberkeit schärfen. Ergänzend können Stimmungsbildabfragen und Zufriedenheitsanalysen eingesetzt werden, um die Wahrnehmung und die Bedürfnisse der Bevölkerung systematisch zu erfassen.

6. Weitergehende abfallwirtschaftliche Maßnahmen

Neben unmittelbar auf die Stadtsauberkeit ausgerichteten Maßnahmen existieren abfallwirtschaftliche Strategien, die zwar primär andere Zielsetzungen verfolgen, jedoch indirekt einen wesentlichen Einfluss auf das Thema Stadtsauberkeit haben. Anhand dieser Maßnahmen wird deutlich, dass die Kooperation unterschiedlicher Akteure sowie ein ganzheitlicher Ansatz von zentraler Bedeutung sind.

Ein Ansatzpunkt liegt z. B. in der Reduzierung der Wartezeiten für Sperrmülltermine. Eine schnelle und unkomplizierte Abwicklung kann dazu beitragen, illegale Ablagerungen zu verhindern. Ergänzend dazu kann eine Erweiterung der Entsorgungsmöglichkeiten – etwa durch zusätzliche Abholservices oder dezentrale Annahmestellen – weitere positive Effekte haben. Nicht zuletzt können auch verlängerte Servicezeiten auf Wertstoffhöfen sowie die generelle Förderung von Re-Use-Angeboten zu einem gepflegteren Stadtbild beitragen.

Die dargestellten Maßnahmenansätze entfalten häufig auch ohne Einbettung in eine übergeordnete Rahmenplanung ihre Wirkung. Nichtsdestotrotz haben bisherige Projekte und Erfahrungen gezeigt, dass ein ganz-

Leistungskategorien und Punkte (nach § 3 EWKFondsV)

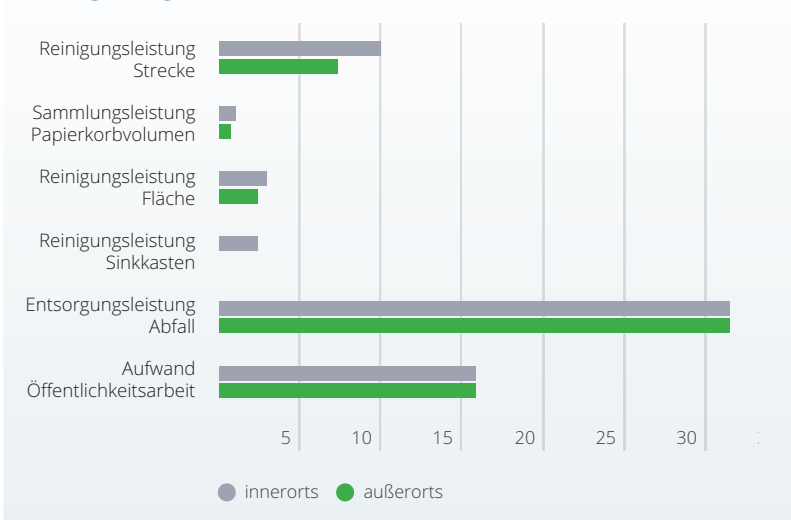


Abb. 1, Quelle: VKU, Information 111 - Stadtreinigung 2022, veröffentlicht Februar 2024

Abfallerfassung und Stadtreinigung

heitlicher „Masterplan Stadtsauberkeit“ besonders wirksam sein kann, da er als verbindlicher Fahrplan dient, der Transparenz schafft und Orientierung für alle Stadtakteure bietet. Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung ist die gemeinsame Erarbeitung des Masterplans mit allen relevanten Akteuren – darunter städtische Ämter und Fachbereiche, kommunale Betriebe, politische Entscheidungsträgerinnen und -träger, weitere Stakeholder sowie die Bürgerschaft.

Um implementierte Maßnahmen zu evaluieren, haben sich jüngster Vergangenheit zudem in vielen Städten Qualitätsmesssysteme bewährt, mit Hilfe derer Sauberkeit und die Unterhaltungszustände objektiv gemessen werden können. In vielen Kommunen ist ein solches Qualitätsmesssystem daher ein probates Kommunikationsmedium, um die Qualität der Stadtbildpflege objektiv zu beurteilen und Transparenz zu schaffen.

- ▶ Einbeziehung möglichst vieler Anliegerinnen und Anlieger in die städtische Leistungserbringung und Gesamtfinanzierung
- ▶ Abgrenzung sowie vereinfachende Verschiebungen von Leistungen zwischen Gebührenhaushalt und Stadthaushalt
- ▶ Einführung einer Grundgebühr als Sockelbetrag
- ▶ Einführung einer Klimaschutzgebühr
- ▶ Einbeziehung/Anknüpfung neuer Finanzierungselemente wie Einwegkunststofffonds, Verpackungssteuer, Tourismusabgaben etc.

Insbesondere der Finanzierungsbaustein Einwegkunststofffonds ist für viele Kommunen aktuell von großem Interesse. Hersteller bestimmter Einwegkunststoffprodukte sind seit 2024 bei Inverkehrbringung ihrer Produkte zu spezifischen Abgaben verpflichtet, die in einen nationalen Einwegkunststofffonds fließen. Die erweiterte Herstellerverantwortung gilt unter anderem für Fast-Food-Verpackungen, Getränkebecher, leichte Kunststofftragetaschen sowie für Zigarettenfilter. Die Fondsmittel werden jährlich an Anspruchsberechtigte, d. h. öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger und sonstige anspruchsberechtigte juristische Personen des öffentlichen Rechts, ausgeschüttet. Voraussetzung für den Erhalt von Fondsmitteln ist neben der Registrierung der Anspruchsberechtigten auf der Plattform DIVID des Umweltbundesamtes auch die jährliche Leistungsmeldung gemäß § 17 EWKFondsG. Anspruchsberechtigte melden darin in den per Rechtsverordnung festgelegten Kategorien (z. B. Reinigungsleistung Strecke, Sammlungsleistung Papierkorb etc.) ihre im Vorjahr erbrachten Leistungen und erhalten hierfür anteilig Mittel nach einem festgelegten Punktesystem (Abbildung 1). Die wissenschaftlichen Grundlagen für die Abgabesätze der Hersteller sowie das Punktesystem zur Mittelauskehr wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts des Umweltbundesamtes erarbeitet. Dabei flossen die im Jahr 2020 im Auftrag des Verbandes kommunaler Unternehmen (VKU e.V.) durchgeführten Analysen in 20 Städten und Gemeinden als Grundlage mit ein. Ursprünglich war geplant, die erste Mittelausschüttung im Jahr 2025 durchzuführen. Verschiedene technische Herausforderungen haben jedoch Registrierung und die erstmalige Leistungsmeldung verzögert, sodass mit einer erstmaligen Auszahlung erst im Jahr 2026 zu rechnen ist.

Einschätzung des Fachkräftemangels nach Berufsgruppen

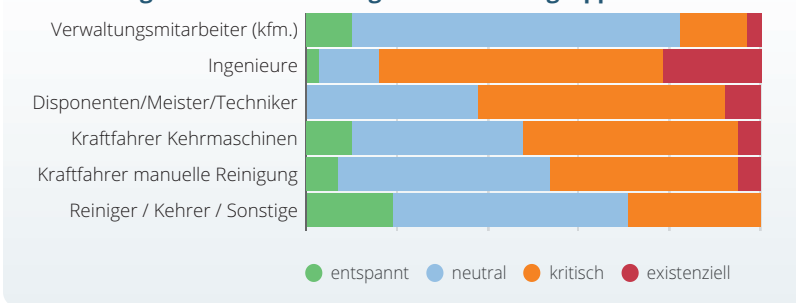


Abb. 2, Quelle: VKU, Information 111 - Stadtreinigung 2022, veröffentlicht Februar 2024

Finanzierung

Finanzierung ist zentraler Aspekt in allen Diskussionen und Konzeptionen rund um Stadtsauberkeit. Stadtreinigung wird in der Regel entweder durch den städtischen Haushalt finanziert oder in Form von Gebühren auf Bürgerinnen und Bürgern umgelegt. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Bausteine zur Entwicklung optimaler Finanzierungsstrukturen, die zum einen dabei helfen können, das bestehende Finanzierungssystem zu optimieren, zum anderen aber auch neue Ansätze liefern. Folgende Aspekte werden aktuell in Bezug auf die Finanzierung von Stadtreinigung häufig diskutiert und können entweder allein oder in Kombination eingesetzt werden:

- ▶ Betrachtung neuer Bemessungsgrundlagen zur Erhebung von Straßenreinigungsgebühren
- ▶ Neubewertung des öffentlichen Anteils (Kostenanteil der Straßenreinigung, den die Kommune selbst trägt) sowie Differenzierung des Öffentlichkeitsanteils in den Gebührensätzen
- ▶ Mehr Bedarfsorientierung u. a. über Reinigungsintervalle mit Flexibilisierungsansätzen

Aktuelle Betriebsdaten, Kennzahlen und Abfallzusammensetzungen

Dem Bedarf für eine objektive Quantifizierung der Daten in der Stadtreinigung wird unter anderem dadurch entsprochen, dass vom Verband kommunaler Unternehmen (VKU e.V.) in regelmäßigen Abständen eine bundesweite Betriebsdatenerfassung initiiert wird (Veröffentlichung letztmals 2024 mit Bezugsjahr 2022)⁴.

⁴ VKU, Information 111 - Stadtreinigung 2022: VKU-Umfrage zu Betriebsdaten in kommunalen Stadtreinigungsbetrieben, VKU_Broschuere_Info-111_final_web.pdf



Bevorzugte Wege der Personalgewinnung

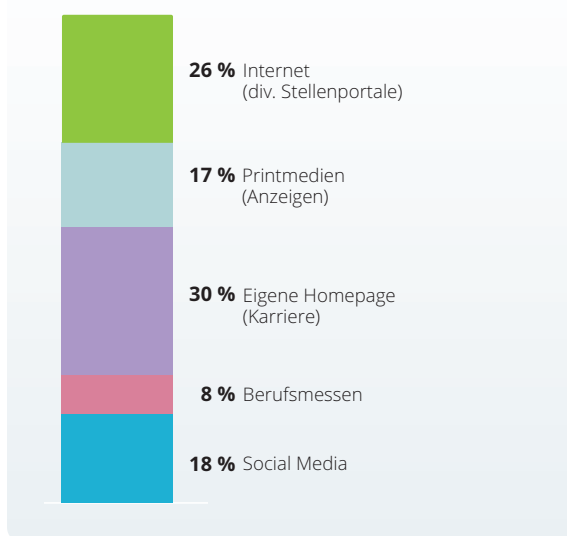


Abb. 3, Quelle: VKU, Information 111 - Stadtreinigung 2022, veröffentlicht Februar 2024

Damit die mit der Stadtreinigung beauftragten Betriebe den hohen Anforderungen gerecht werden können, ist ein kontinuierlicher Erfahrungsaustausch, aber auch der Vergleich konkreter Betriebsabläufe und angewandter Technologien hilfreich und wichtig. Dafür braucht es Bewertungskriterien, statistische Daten, Kennzahlen und vergleichende Leistungsbeschreibungen als Diskussionsgrundlage. Ebenso wichtig für den Erhalt der sauberen, sicheren und damit lebenswerten Städte ist die vorausschauende Planung des notwendigen Leistungsumfangs der Straßenreinigung. Diese muss sich an die Veränderungen, die sich aus dem unterschiedlichen Nutzungsverhalten und den Erwartungen der Stadtbewohnerinnen und -bewohner sowie Touristen, städteplanerischen und -baulichen Maßnahmen oder gesellschaftlichen Entwicklungen bei Konsum oder Freizeitverhalten ergeben, anpassen. Fragen nach sinnvollen personellen und maschinellen Kapazitäten im Verhältnis zu Anforderungsparametern wie Reinigungslängen und -flächen oder der Anzahl zu leerender Papierkörbe im öffentlichen Verkehrsraum können nur mit vergleichbaren statistischen Daten beantwortet werden.

In vielen Kommunen wird eine teilweise Übertragung der Reinigungsaufgaben (Gehweg- und/oder Fahrbahnreinigung) auf die Anlieger praktiziert. Ein Blick auf den Reinigungsumfang zeigt, dass der Anteil dieser sogenannten Anliegerreinigung in Kleinstädten am höchsten ist: 55 % der Straßennetzlänge sind hier auf die Grundstückseigentümer übertragen. In mittelgroßen Städten sind es lediglich 25 % und in Großstädten 27 %. Ein höherer Reinigungsumfang durch die Stadtreinigungsbetriebe in größeren Städten zeigt sich ebenso im Reinigungsumfang je Einwohner. In kleinen Städten werden ca. 253 m Reinigungslänge je Einwohner und Jahr gereinigt (normiert, d.h. inkl. Berücksichtigung der Reinigungsintervalle sowie der Papierkorbleerungen über Äquivalente). Mit 479 m werden in großen Städten deutlich mehr Reinigungs-

arbeiten durch die Stadtreinigungsbetriebe geleistet. Neben der Reinigung der Straßen und Gehwege ist die Papierkorbleerung ein wesentlicher Bestandteil der Stadtreinigung. Großstädte weisen mit 20,1 Papierkörben pro Quadratkilometer die höchste Papierkorbdichte auf, während in mittelgroßen Städten 9,5 und in kleinen Städten 6,3 Papierkörbe pro Quadratkilometer stehen. Standardpapierkörbe stellen hierbei den überwiegenden Anteil der aufgestellten Papierkörbe dar, während Papierkörbe mit Verdichtungseinrichtung und Unterflurpapierkörbe lediglich punktuell eingesetzt werden. Das geleerte Papierkorbvolumen je Einwohner und Jahr liegt in allen Stadtgrößen in etwa gleichauf (69–78 L pro Einwohner und Jahr).

Für die Aufgaben der Stadtreinigung werden in größeren Städten mehr Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eingesetzt als in kleineren Städten. So haben die Kleinstädte im Schnitt 2,32 operative Mitarbeitende je 10.000 Einwohner, während es in den mittelgroßen Städten bereits 3,54 und in den großen Städten etwa 4,26 operative Mitarbeitende sind.

Im Rahmen der letzten Betriebsdatenumfrage des VKU lag der Schwerpunkt darüber hinaus auf weiteren Kennzahlen rund um das Thema Personal. Ziel war es, den Fachkräftemangel als eine der größten aktuellen Herausforderungen im Bereich Stadtreinigung sowie den Umgang der Betriebe damit detailliert zu beleuchten.

Abbildung 2 zeigt in diesem Kontext die Einschätzung des Fachkräftemangels nach Berufsgruppen. Besonders deutlich wird in der Einschätzung der Mangel an Ingenieuren sowie an „Disponenten/Meistern/Technikern“. Im Bereich der „Reiniger/Kehrer/Sonstige“ sowie im Bereich der Verwaltungsmitarbeitenden wird die Lage eher als neutral eingeschätzt. Die insgesamt jedoch kritische Einschätzung verdeutlicht einmal mehr, dass dem Thema Personalgewinnung aktuell eine entscheidende Rolle zukommt. Vor diesem Hintergrund wurde in der Betriebsdaten-

Angewandte Methoden zur Mitarbeiterbindung

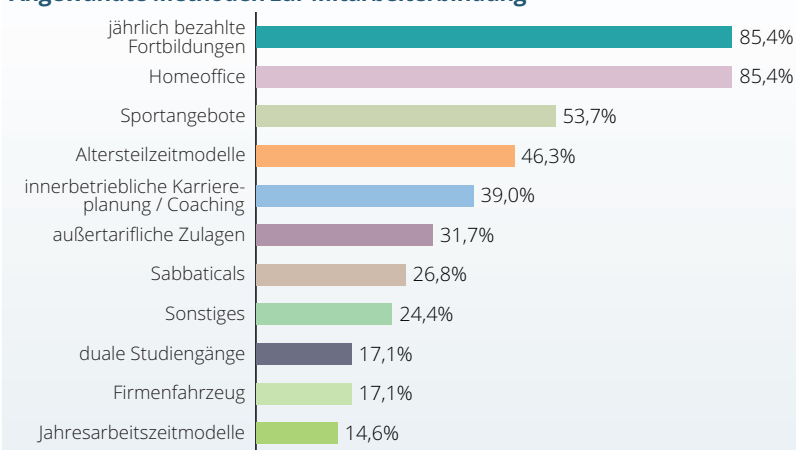


Abb. 4, Quelle: VKU, Information 111 - Stadtreinigung 2022, veröffentlicht Februar 2024

Abfallerfassung und Stadtreinigung

umfrage auch nach den erfolgreichsten Methoden zur Personalgewinnung gefragt. Die Umfrageergebnisse verdeutlichen, dass Anzeigen auf Stellenportalen im Internet, der eigenen Homepage und in Printmedien besonders häufig genutzt werden. Auch Social Media ist mittlerweile ein beliebtes Instrument in Bezug auf Personalgewinnung. Die detaillierten Ergebnisse sind Abbildung 3 zu entnehmen.

Darüber hinaus spielen auch Maßnahmen zur Mitarbeiterbindung in Stadtreinigungsbetrieben derzeit eine entscheidende Rolle. Abbildung 4 zeigt, welche Methoden besonders häufig genutzt werden. Der Fokus liegt hier auf bezahlten Weiterbildungsangeboten, auf Angeboten zu mobilem Arbeiten sowie auf Sportangeboten.

Neben den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern spielt in Stadtreinigungsbetrieben auch die technische Ausstattung eine entscheidende Rolle. So kommen verschiedene Kehrmaschinentypen zum Einsatz, wobei sich Anzahl der Kehrmaschinen zu etwa 40 % auf Groß- und mittelgroße Kehrmaschinen verteilt und zur Hälfte auf Klein- bzw. Kleinstkehrmaschinen. Die restlichen 10% entfallen auf handgeführte Geräte oder sonstige Spezialmaschinen. Großkehrmaschinen sind aufgrund ihrer robusteren Technik und damit verbundenen längeren Nutzungszeit im Mittel älter (5,9 Jahre) als mittelgroße und Kleinkehrmaschinen (5,3 bzw. 3,8 Jahre).

Die erfassten Straßenkehrmengen (inkl. Papierkorbabfälle) schwanken in Bezug auf die Ortsgrößen je Einwohner und Jahr. Die Zusammensetzung des von Kehrmaschinen aufgenommenen Straßenkehrmülls wird maßgeblich durch hohe Anteile an Laub/Blüten, sonstigen organischen Bestandteilen sowie inertem Material wie Splitt, Sand etc. bestimmt. Demgegenüber sind die Abfälle, die durch das Straßenreinigungspersonal manuell zusammengekehrt bzw. „gepickt“ werden, systembedingt mit höheren Anteilen an Papier, Pappe und Verpackungen, aber auch beispielsweise Zigarettenkippen durchsetzt. Auf Basis verschiedener Sortieranalysen zeigen sich für die Papierkorbabfälle im öffentlichen Raum jedoch mit Abstand die höchsten Anteile an Verpackungen aus PPK (Papier/Pappe/Kartonagen), Kunststoffen und Glas. Abbildung 5 verdeutlicht, dass der Verpackungsanteil in den untersuchten Papierkorbabfällen einer Großstadt bei ca. 35 Gew.-% liegt. Den größten Anteil daran haben mit etwa 20 Gew.-% die Glas-Verpackungen. Sonstiges/Restabfall in Säcken machen ca. 30 Gew.-% der Gesamtmenge aus. Organik ist zu ca. 9 Gew.-% enthalten.

Auch die im August 2020 abgeschlossenen und veröffentlichten Analysen zur Schaffung einer Datengrundlage für die Umsetzung der EU-Kunststoffrichtlinie (VKU-Verbundvorhaben mit 20 Städten) bestätigen die oben genannten Grundsatzaussagen zur Zusammensetzung. Einwegkunststoffe gemäß



Reinigung bei Libori-Kirmes, Quelle: ASP

EU-Einwegkunststoffrichtlinie (EWKRL) machen im bundesweiten Mittel innerorts einen Gewichtsanteil von 5,7 Gew.-% aus. Die Abfallzusammensetzung im öffentlichen Raum, sowie die Abfallmengen und die für die Reinigung entstehenden Kosten müssen im Rahmen der Evaluierung der Abgabesätze und des Punktesystems gemäß § 14 Abs. 3 Einwegkunststofffondsgesetz neu erhoben bzw. aktualisiert werden.

Digitalisierung

Die Digitalisierung hat auch in die Stadtreinigung Einzug erhalten und wird dort in Zukunft zunehmend an Bedeutung gewinnen. Folgende beispielhafte Aspekte haben sich in der Vergangenheit bereits bewährt und werden in vielen Betrieben in aktuell laufenden Projekten umgesetzt und erprobt:

- ▶ Touren- und Routenplanungsprogramme, die eine Echtzeitplanung ermöglichen
- ▶ mobile Leistungserfassungssysteme bzw. Bordcomputereinsatz zur Ermittlung von Betriebsdaten etc.
- ▶ Telematiksysteme zur digitalen Kommunikation zwischen Fahrzeug und Büro
- ▶ Mängelmelder-Apps bzw. -QR-Codes sowie Nutzung der Sozialen Medien zur digitalen Kommunikation mit Bürgerinnen und Bürgern/ Kundinnen und Kunden
- ▶ Sensorik zur Füllstandsmessung an Depotcontainern, Papierkörben etc.
- ▶ autonome Reinigungsmaschinen/Reinigungsroboter
- ▶ Objekt- und Bilderkennung hinsichtlich Sauberkeit, Standortverschmutzungen etc. (Data-Analytics-Methoden)

Zusammenfassung

Die Städte und Gemeinden sowie die von Ihnen beauftragten Stadtreinigungsbetriebe stehen derzeit und zukünftig aufgrund verschiedener Rahmenbedingungen (u. a. gesellschaftliche, demografische und finanzielle Entwicklungen, Zunahme von Littering, Digitalisierung) vor großen Herausforderungen und notwendigen Veränderungsprozessen. Die Betriebe sind daher bestrebt, optimale Organisationsmodelle umzusetzen und spezielle Konzepte zu entwickeln, die eine Qualitätssicherung und neue Stadtreinigungsprozesse enthalten (z. B. ganzheitliche Stadtbildpflege) sowie das Sauberkeitsbewusstsein in der Öffentlichkeit nachhaltig stärken, um hierdurch das Sauberkeitsbild und somit auch das damit in Verbindung stehende Sicherheitsempfinden und Stadtimage positiv zu beeinflussen.

Zusammensetzung von Papierkorbabfällen (Ergebnisbeispiel einer Großstadt, in %)

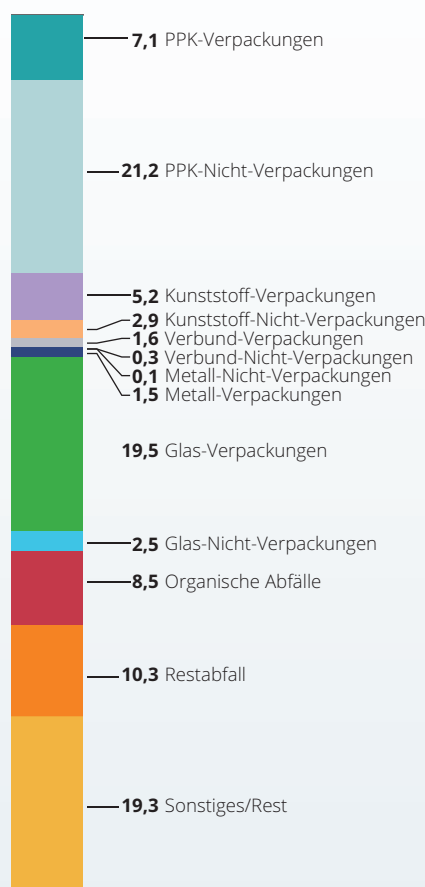


Abb. 5, Quelle: VKU, Information 111 - Stadtreinigung 2022, veröffentlicht Februar 2024

Auch in der Stadtreinigung wird den neuen Herausforderungen somit professionell Rechnung getragen. Neben relevanten Digitalisierungsschwerpunkten (z. B. transparente Kundenkommunikation, Telematikeinsatz, mobiles Auftragsmanagement) und einer weiter verbesserten Datenbasis (u. a. über Betriebsdatenerhebungen) gehört dabei auch die Abwägung von Finanzierungsmöglichkeiten sowie die Beschäftigung mit neuen rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. Einwegkunststofffondsgesetz) zum umfassenden Aufgabenportfolio der Stadtreinigungsbetriebe. Ganzheitliche und stadtweite Rahmenplanungen, z. B. „Masterpläne Stadtsauberkeit“, sollen dabei helfen, verschiedene Akteure in die Gemeinschaftsaufgabe „Stadtsauberkeit“ einzubeziehen und bestehende sowie neue Maßnahmen strukturiert zu bündeln.



Abfall ist eine Ressource – heute mehr denn je

Was wir als „Abfall“ bezeichnen, ist längst nicht nur ein zu entsorgendes Produkt, sondern eine potenzielle Quelle für Wertstoffe und Energie. Nach § 3 Abs. 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) gelten als Abfall bewegliche Sachen, die ihren ursprünglichen Zweck erfüllt haben oder deren Nutzung beendet ist – und deren Besitzerinnen und Besitzer sich ihrer entledigen wollen oder müssen. Die Entledigung erfolgt, wenn ein Stoff oder Gegenstand nicht mehr für seinen ursprünglichen Zweck verwendet wird. Doch gerade in dieser Phase beginnt die Chance zur Rückgewinnung wertvoller Ressourcen.

Die Einteilung von Abfällen erfolgt nach ihren wesentlichen Herkunftsbereichen: Dazu zählen Abfälle aus Produktion und Gewerbe, Bau- und Abbruchabfälle, Abfälle aus dem Bergbau sowie Siedlungsabfälle. Um diese Stoffströme rechtlich zu klassifizieren und ihre Gefährlichkeit zu bewerten, wurde im Jahr 2001 die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) eingeführt. Sie setzt den Europäischen Abfallartenkatalog aus dem Jahr 2000 in deutsches Recht um und definiert insgesamt 20 Herkunftsbereiche. Innerhalb dieser Systematik wird zusätzlich zwischen Primärabfällen – also Abfällen, die direkt aus Prozessen stammen – und Sekundärabfällen unterschieden, die bereits in Abfallbehandlungsanlagen verarbeitet wurden. Letztere sind insbesondere im Kapitel 19 der AVV aufgeführt.

Mit der zunehmenden Verknappung von Primärrohstoffen wird die Rückführung von Wertstoffen in den Wirtschaftskreislauf zu einem zentralen Maßstab für nachhaltiges Wirtschaften. Moderne Recyclingtechnologien ermöglichen die Rückgewinnung von Metallen, Kunststoffen, Glas und anderen Materialien – und was nicht stofflich verwertbar ist, wird energetisch genutzt.

1.3.1 Abfallaufkommen aus privaten Haushalten sowie Industrie und Gewerbe

Rechtsgrundlage und Erfassung von Abfalldaten

Die rechtlichen Grundlagen für die Erfassung von Daten zu Sammlung, Behandlung und Entsorgung von Abfällen sind im Umweltstatistikgesetz geregelt. Hauptsächlich werden dabei die Mengen erfasst, die von Betreiberinnen und Betreibern von Abfallbehandlungsanlagen angenommen werden. Nicht statistisch vollständig berücksichtigt werden bisher innerbetriebliche Wertstoffe, die direkt in den Produktionsprozess zurückgeführt werden, wie Eisen und Stahl, sowie Direktanlieferungen von Sekundärrohstoffen, etwa in der Papierindustrie.

Entwicklung des Aufkommens an Abfällen aus Haushalten (ohne Elektroaltgeräte, in Tsd t)

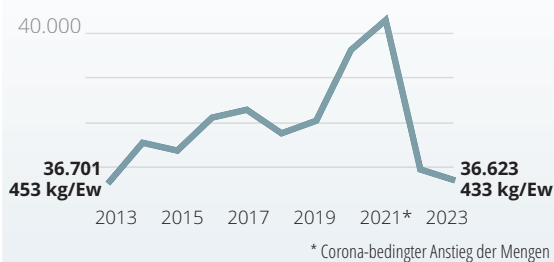


Abb. 6, Quelle: Statistisches Bundesamt, Genesis (Tabelle 32121-0001)

Datengrundlage des Kapitels 1: Das Kapitel widmet sich dem Gesamtaufkommen an Abfällen aus unterschiedlichen Herkunftsbereichen. Für eine bessere Vergleichbarkeit wird die einheitliche Datengrundlage aus dem Jahr 2023 genutzt.



Sammlung Tannenbäume, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Input in Abfallbehandlungsanlagen und Entsorgungswege 2023* (in Millionen Tonnen)

Input aus dem Inland

Siedlungsabfälle

Bergbauabfälle

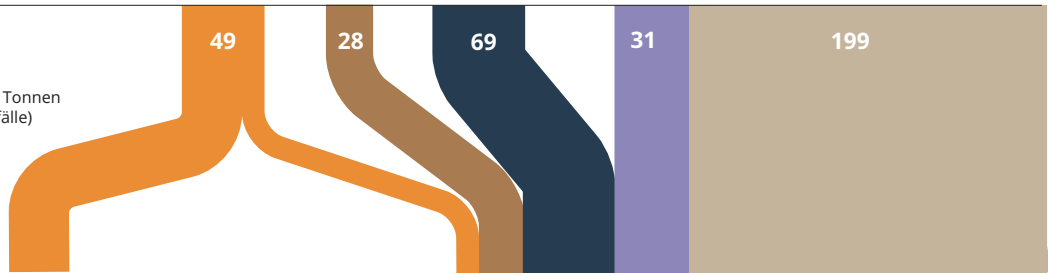
Abfallbehandlung (Sekundärabfälle)

Übrige Abfälle (insbesondere aus Industrie und Gewerbe)

Bau-/Abbruchabfälle (inkl. Aushub)

377

Mio. Tonnen
(davon 23 Mio. Tonnen gefährliche Abfälle)



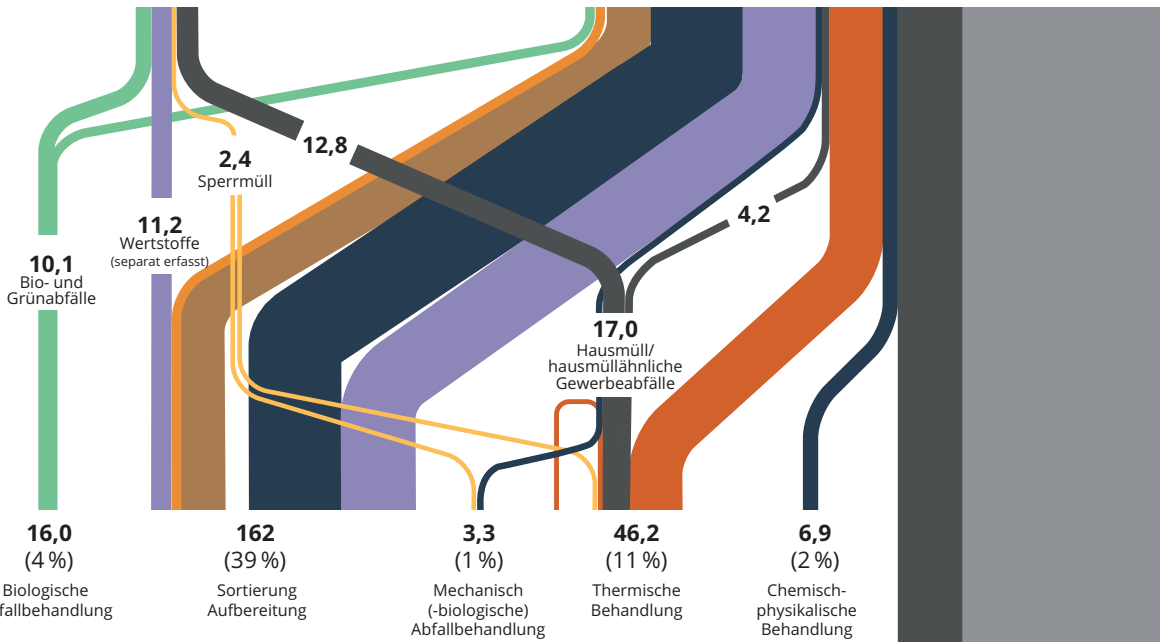
Import (davon 6,0 Mio. Tonnen notifizierungspflichtig)

8

21

Abfälle aus Haushalten

Abfälle aus Industrie und Gewerbe



Direktanlieferungen

Output



* Entgegen der vorangegangenen Jahren wurden alle 19er Schlüssel den Sekundärabfällen zugeordnet.

Abb. 7, Quelle: eigene Darstellung Prognos AG auf der Datengrundlage des Statistischen Bundesamtes (Genesis - 321 Abfallwirtschaft), Destatis UGR, Umweltbundesamt (Grenzüberschreitende Abfallstatistik)

Abfallmengen 2023

Im Jahr 2023 wurden insgesamt rund 377 Millionen Tonnen Abfälle aus dem Inland in Abfallbehandlungsanlagen entsorgt⁵. Hinzu kamen etwa 7,7 Millionen Tonnen Abfälle aus dem Ausland – darunter ca. 6 Millionen Tonnen notifizierungspflichtige und rund 1,7 Millionen Tonnen nicht notifizierungspflichtige Abfälle⁶. Der Anteil gefährlicher Abfälle betrug 25 Millionen Tonnen (6,6% des Gesamtinputs), davon 2,4 Millionen Tonnen aus dem Ausland. Weitere rund 11 Millionen Tonnen nicht notifizierungspflichtiger Abfälle aus anderen Staaten wurden direkt einer Verwertung zugeführt.⁷

Zusammensetzung der Abfälle

Die Abfälle, die 2023 in Abfallbehandlungsanlagen behandelt wurden, verteilen sich auf folgende Hauptgruppen:

- ▶ 199 Millionen Tonnen Bau- und Abbruchabfälle aus dem Inland (52%), davon rund 56% Boden und Steine
- ▶ 28 Millionen Tonnen Abfälle aus Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen (7%)
- ▶ 42 Millionen Tonnen sonstige Industrie- und Gewerbeabfälle (11%)
- ▶ 49 Millionen Tonnen Siedlungsabfälle⁸ aus dem Inland (13%), davon 37 Millionen Tonnen Haushaltsabfälle
- ▶ 59 Millionen Tonnen Sekundärabfälle aus Abfallbehandlungsanlagen (15%)
- ▶ 7,7 Millionen Tonnen Importabfälle (2%)

Abfälle aus privaten Haushalten und dem Gewerbe

Im Jahr 2023 erzeugten private Haushalte in Deutschland insgesamt 36,7 Mio. Tonnen Abfälle – das entspricht 433 kg pro Einwohner. Dabei zeigt sich eine klare Aufteilung zwischen gemischten Restabfällen und getrennt erfassten Abfallfraktionen:

- ▶ Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle: 12,8 Mio. t (151 kg/Einwohner; 35%). Diese Abfälle werden in der Regel als gemischter Restabfall entsorgt, können jedoch noch Stoffe enthalten, die wieder dem Wirtschaftskreislauf zugeführt werden könnten.
- ▶ Sperrmüll: 2,4 Mio. t (29 kg/Einwohner; 7%).
- ▶ Getrennt erfasste Bio- und Grünabfälle: 10,1 Mio. t (120 kg/Einwohner; 28%).
- ▶ Getrennt erfasste Wertstoffe (Papier, Glas, Leichtverpackungen, Metalle, Altholz, Textilien u. a.): 11,2 Mio. t (132 kg/Einwohner; 20%).⁹

Zwischen den Bundesländern zeigen sich deutliche Unterschiede beim Abfallaufkommen. So liegen Rheinland-Pfalz mit 483 kg pro Einwohner, Niedersachsen mit 476 kg und Schleswig-Holstein mit 468 kg deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt von 433 kg. Dagegen fallen die Mengen in den Stadtstaaten Berlin (353 kg) und Hamburg (393 kg) sowie in Sachsen (394 kg) deutlich niedriger aus.

Auch der Anteil der verschiedenen Abfallfraktionen variiert. Besonders auffällig ist dies bei den separat erfassten organischen Abfällen: Ihr Anteil liegt in Berlin bei nur rund 10%, während er in Rheinland-Pfalz fast 34% erreicht. Bei den Wertstoffen wie Papier,

⁵ Statistisches Bundesamt, Genesis 321-Abfallwirtschaft.

⁶ Umweltbundesamt: Statistik zur grenzüberschreitenden Abfallverbringung 2023.

⁷ ebd.

⁸ Unter Siedlungsabfällen werden nicht nur Abfälle aus privaten Haushalten verstanden, sondern auch hausmüllähnliche Abfälle aus Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und öffentlichen Einrichtungen (z. B. Schulen, Krankenhäuser, Verwaltungen). Ebenfalls einbezogen sind Sperrmüll, Bio- und Grünabfälle, getrennt erfasste Wertstoffe (Papier, Glas, Kunststoffe etc.), Marktabfälle sowie Straßenkehricht. Diese Definition ist deckungsgleich mit der EU-Definition von municipal waste gemäß Abfallrahmenrichtlinie (EU) 2018/851.

⁹ Statistisches Bundesamt, Genesis - Tabelle 32121-0003.



Sammlung von Sperrmüll, Quelle: ASP

Abfallmengen im Überblick

10 Statistisches Bundesamt, Regionalstatistik – Tabelle 32121-01-02-4-B.

11 <https://www.bundesumweltministerium.de/download/nationale-kreislaufwirtschaftsstrategie-nkws>



12 Umweltbundesamt: Statistik zur grenzüberschreitenden Abfallverbringung 2023, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/grenzueberschreitende-abfallverbringung/grenzueberschreitende-abfallstatistik>



13 ebd.

14 ebd.

Glas oder Leichtverpackungen sind die Unterschiede etwas kleiner, aber immer noch deutlich – von knapp 26 % in Bremen bis zu 44 % in Sachsen. Insgesamt zeigt sich: Die Menge und Qualität der getrennt erfassten Abfälle hängen stark von den regionalen Sammelsystemen, der Infrastruktur und dem Trennverhalten der Haushalte ab. Gleichzeitig bleibt bei den gemischten Restabfällen noch viel Potenzial, Abfälle zu vermeiden oder besser zu verwerten.¹⁰

Vor diesem Hintergrund setzt die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) klare Ziele für Siedlungsabfälle.

Das Pro-Kopf-Aufkommen an Siedlungsabfällen soll gegenüber dem Referenzjahr 2020 schrittweise gesenkt werden: um 10 % bis 2030 und um 20 % bis 2045. Im Jahr 2023 betrug das Siedlungsabfallaufkommen in Deutschland rund 49 Millionen Tonnen, also 577 kg pro Einwohner. Verglichen mit 2020 (613 kg/Einwohner) bedeutet dies, dass bis 2030 noch etwa 25 kg pro Einwohner vermieden werden sollen, bis 2045 sogar 86 kg pro Einwohner.¹¹

1.3.2 Grenzüberschreitende Abfallverbringung

Grundlage bilden das Basler Übereinkommen von 1989 zur Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und die Aktualisierungen zur grenzüberschreitenden Verbringung von Kunststoffabfällen aus dem Jahr 2019. Ferner sind der OECD-Ratsbeschluss von 2001 zur Verwertung bestimmte Abfälle sowie die EU-Verordnungen über die Abfallverbringungen zu berücksichtigen. Aktuell regelt dies die Verordnung (EU)2024/1157, die die bisherige Verordnung (EG) Nr.1013/2006 ersetzt und seit dem 20. Mai 2024 gilt. Ziel ist es, den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft zu unterstützen, indem Abfallverbringungen innerhalb der EU zur Wiederverwendung und zum Recycling erleichtert werden, gleichzeitig aber sichergestellt wird, dass ausgeführte Abfälle in den Bestimmungsländern umweltverträglich behandelt werden. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Bekämpfung illegaler Abfallverbringungen. Je nach Abfallart gelten vereinfachte Verfahren für ungefährliche und verwertbare Abfälle sowie strengere Notifizierungs- und Zustimmungsverfahren für gefährliche Abfälle oder Abfälle zur Beseitigung. Zudem werden die Verfahrensabläufe zunehmend digitalisiert, um Effizienz und Transparenz zu erhöhen. Die Verordnung tritt am 21. Mai 2026 in Kraft; bis dahin gelten Übergangsregelungen zur schrittweisen Anpassung.

Top-10-Herkunftsländer (Importe) und Top-10-Empfängländer (Exporte) 2023

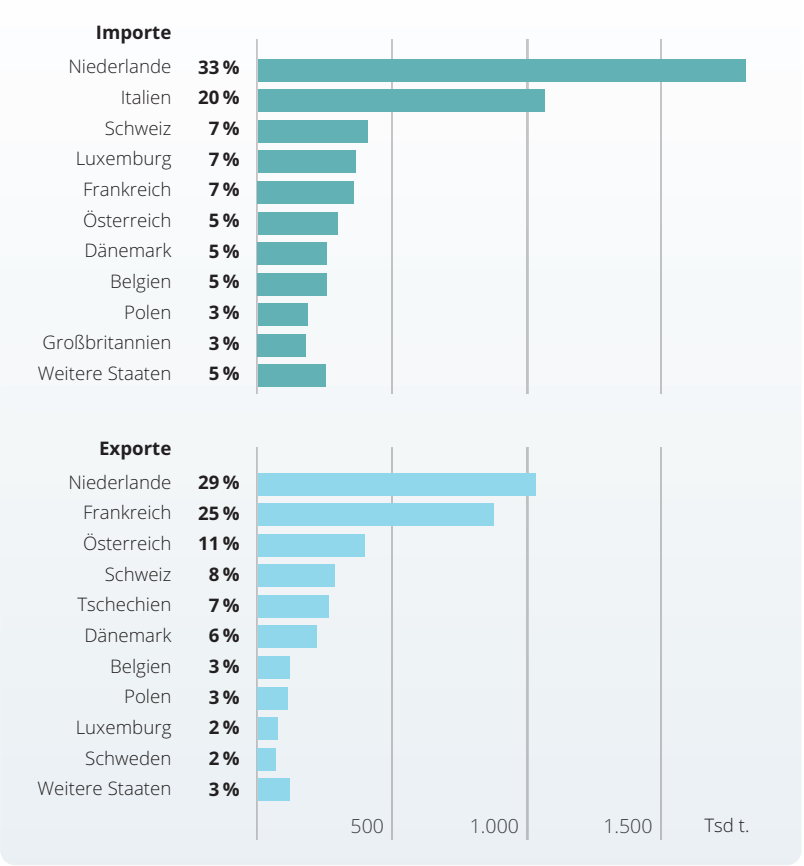


Abb. 8, Quelle: Umweltbundesamt: Statistik zur grenzüberschreitenden Abfallverbringung 2023

Deutschland ist Nettoexporteur von Abfällen. Im Jahr 2023 wurden insgesamt nahezu 21,0 Millionen Tonnen Abfälle importiert, davon nahezu 6,0 Millionen Tonnen notifizierungspflichtig. Dem standen 22,2 Millionen Tonnen Exporte gegenüber, wovon 3,6 Millionen Tonnen notifizierungspflichtig waren.¹²

Nicht notifizierungspflichtige Abfälle

Nicht notifizierungspflichtige Abfälle bilden den größten Teil des grenzüberschreitenden Handels innerhalb der EU. Von den 14,9 Millionen Tonnen Importen stammten rund 85 % aus EU-Mitgliedstaaten. Die wichtigsten Abfallarten waren Papierabfälle mit 4,3 Millionen Tonnen (27 %) und Abfälle/Schrott aus Eisen und Stahl mit 3,5 Millionen Tonnen (24 %). Holzabfälle sowie Schlacken und Aschen folgten mit 1,8 Millionen Tonnen bzw. 1,6 Millionen Tonnen im Jahr 2023.¹³

Bei den Exporten nicht notifizierungspflichtiger Abfälle dominieren Eisen- und Stahlschrott mit 7,9 Millionen Tonnen (43 %), gefolgt von Schlacken, Aschen und Walzzunder mit 3,3 Millionen Tonnen (18 %) sowie Holz- bzw. Papierabfällen mit nahezu 2,0 Millionen Tonnen (11 %) bzw. 1,6 Millionen Tonnen (9 %). Der Anteil der exportierten nicht notifizierungspflichtigen Kunststoffabfälle ist mit einem Anteil von 0,7 Millionen Tonnen (4 %) weiter rückläufig.¹⁴



Abfalltransport per Schiff, Quelle: iStock

Notifizierungspflichtige Abfälle

Die grenzüberschreitende Verbringung notifizierungspflichtiger Abfälle findet überwiegend innerhalb der EU statt. Wichtigste Herkunftsländer für Importe nach Deutschland waren 2023 die Niederlande (1,8 Millionen Tonnen) und Italien (1,1 Millionen Tonnen). Mit deutlichem Abstand folgte die Schweiz (0,4 Millionen Tonnen).

Bei den Importen standen Materialmischungen aus der mechanischen Abfallbehandlung (AVV 19 12 12) mit 0,65 Millionen Tonnen an erster Stelle. Ein Großteil davon stammt aus den Niederlanden und geht an die MVA Emlichheim an der deutsch-niederländischen Grenze. Daneben machten Holz (AVV 19 12 07, 0,59 Millionen Tonnen) sowie Böden und Steine (AVV 17 05 03 und 17 05 04, zusammen 0,62 Millionen Tonnen) den größten Anteil aus. Gleichzeitig sind die Niederlande das wichtigste Zielland für deutsche

Exporte (1,0 Millionen Tonnen), gefolgt von Frankreich (0,9 Millionen Tonnen) und Österreich (0,4 Millionen Tonnen).

Die Exporte notifizierungspflichtiger Abfälle werden vor allem von Holz (0,51 Millionen Tonnen, 14%), mechanisch behandelten Abfällen (0,43 Millionen Tonnen), Böden und Steinen ohne gefährliche Stoffe (0,49 Millionen Tonnen) sowie kohlenteeerhaltigen Bitumengemischen (0,48 Millionen Tonnen) bestimmt. Diese gehen nahezu vollständig in die Niederlande.¹⁵

¹⁵ ebd.

1.4 Vorbehandlung, Verwertung und Beseitigung



Hochwertige Rückgewinnung von Rohstoffen, umweltgerechte Energieerzeugung und sichere Ausschleusung von Schadstoffen – ressourcenschonend, effizient und digital vernetzt

Die Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe aus unterschiedlichsten Abfällen bis hin zur energetischen Verwertung der verbleibenden Reststoffe erfordert heute modernste Technologien, digitale Vernetzung und ein integriertes Zusammenspiel von ökologischen, wirtschaftlichen und gesetzlichen Anforderungen. Täglich werden neue Strategien geprüft und umgesetzt, um Klima- und Ressourcenschutz zu stärken. Nur durch diese kontinuierliche Weiterentwicklung konnte die Abfallwirtschaft bisher innovative, wirtschaftlich tragfähige und nachhaltige Lösungen schaffen, die gleichzeitig die Kreislaufführung fördern.

1.4.1 Anlagen und Mengen zur stofflichen Verwertung

Die wachsende Knappheit von Primärressourcen, die für Industrie, Technologie und gesellschaftlichen Fortschritt unverzichtbar sind, unterstreicht die Bedeutung der Rückgewinnung von Materialien aus Abfällen. Dies spiegelt sich auch in der fünfstufigen Abfallhierarchie wider: Abfälle sollen zunächst vermieden, dann wiederverwendet und anschließend stofflich verwertet werden.

Recycling ist kein neues Phänomen: Schon seit Jahrtausenden werden Metalle und Glas zurückgewonnen, im 19. Jahrhundert kamen Papier und Textilien hinzu. Heute erfordern steigende Mengen, komplexere Produkte und Abfallströme und strengere Qualitätsanforderungen deutlich effizientere, technologiegestützte Ansätze. Hochwertige Aufbereitungsanlagen müssen die Beschaffenheit der Abfälle sowie die Anforderungen an die Qualität der Sekundärrohstoffe berücksichtigen. Gleichzeitig spielen digitale Technologien eine zentrale Rolle, etwa für die Materialerfassung, Prozesssteuerung und Datenanalyse – dies erhöht die Effizienz, Nachverfolgbarkeit und Transparenz entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Die erfolgreiche Rückgewinnung von Rohstoffen erfordert die Zusammenarbeit aller Akteure: vom Design und der Produktion recyclingfähiger Produkte über die getrennte Erfassung und Sortierung der Materialien bis hin zur qualitätsgerechten Aufbereitung. Nur durch diese integrierte Vorgehensweise können hochwertige Sekundärrohstoffe gewonnen, die Kreislaufwirtschaft gestärkt und die thermische Verwertung der Reststoffe einschließlich Zerstörung oder Ausschleusung der Schad- und Störstoffe effizient und umweltgerecht umgesetzt werden.

1.4.1.1 Sortierung, Aufbereitung und Recycling

Deutschland verfügt über ein flächendeckendes Netz an Vorbehandlungs-, Sortier- und Aufbereitungsanlagen. Laut Statistischem Bundesamt wurden im Jahr 2023 rund 68,4 Millionen Tonnen Abfälle in Sortier- und Aufbereitungsanlagen behandelt. Davon entfielen 23,3 Millionen Tonnen auf 943 Sortieranlagen, 15,1 Millionen Tonnen auf 771 Schredderanlagen und Schrottscheren, 0,9 Millionen Tonnen auf 307 Zerlegeeinrichtungen für Elektro- und Elektronikaltgeräte und etwas mehr als 0,3 Millionen Tonnen auf 1.074 Demontagebetriebe für Altfahrzeuge. Weitere 28,7 Millionen Tonnen wurden unter der Kategorie „Sonstige Anlagen“ in der Statistik erfasst.¹⁶ Ziel ist es, das Potenzial an Sekundärrohstoffen zurückzugewinnen und Primärressourcen möglichst zu substituieren – ein zentraler Beitrag zur Kreislaufwirtschaft.

 Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32111-0003.

Standorte der Sortier- und Aufbereitungsanlagen in Deutschland

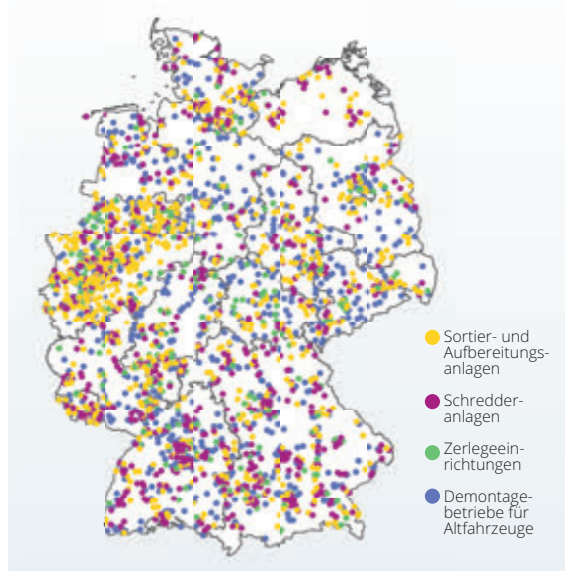


Abb. 9, Quelle: Entsorgungsfachbetriebsregister, Zusatzrecherchen Prognos AG; Kartengrundlage GfK GeoMarketing

Vorbehandlung, Verwertung und Beseitigung

Nordrhein-Westfalen führt mit 32 % aller Sortieranlagen Deutschlands, gefolgt von Bayern mit 14 %, Niedersachsen und Baden-Württemberg mit jeweils 7 %. Bezogen auf die angelieferten Abfallmengen entfielen im Jahr 2023 insgesamt 35 % auf Nordrhein-Westfalen, 14 % auf Bayern und 10 % auf Baden-Württemberg. Nordrhein-Westfalen verfügt zudem über den höchsten Anteil an Demontagebetrieben für Altfahrzeuge (18 %), gefolgt von Bayern (16 %) sowie Baden-Württemberg und Niedersachsen (je 12 %). Bei den Schredderanlagen und Schrottscheren liegt Bayern mit 25 % an der Spitze, gefolgt von Baden-Württemberg mit 15 % und Nordrhein-Westfalen mit 13 %.¹⁷

¹⁷ Statistisches Bundesamt, Genesis, Tabelle 32111-0011

¹⁸ https://www.laga-online.de/documents/m34_vollzugshinweise_gewabfv_endfassung_11022019_inh-red-aenderung_1554388381.pdf



Die Technologien in Vorbehandlungsanlagen, Sortieranlagen und Aufbereitungsanlagen werden dabei kontinuierlich weiterentwickelt. Heute werden bereits vollautomatische Sortieranlagen eingesetzt, die Infrarot-, Kamerasysteme und KI-gestützte Produkterkennung nutzen, um Materialien noch besser zu trennen und schadstoffbelastete Stoffe gezielt aus dem Kreis-

lauf auszuschleusen. Auch robotergestützte Systeme kommen zunehmend für schwer zu trennende Stoffströme zum Einsatz, insbesondere bei komplexen Abfallgemischen wie Elektro- und Elektronikschrott.

Digitale Vernetzung, Sensorik und KI-basierte Analyse ermöglichen bereits heute die Echtzeitüberwachung von Materialströmen, die Optimierung der Sortierquoten und die Verbesserung der Effizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Blockchain-Technologien werden zunehmend getestet, um die Herkunft und den Verbleib von Sekundärrohstoffen transparent zu dokumentieren und die Handelbarkeit auf den Sekundärrohstoffmärkten zu erhöhen.

Durch diese Entwicklungen wird die Kreislaufwirtschaft immer effizienter, ressourcenschonender und marktfähiger. Aber das Potenzial ist noch nicht ausgeschöpft. Die praktische Umsetzung vollzieht sich schrittweise, da Investitionszyklen, regulatorische Rahmenbedingungen und technische Komplexität die Geschwindigkeit der Einführung neuer Technologien bestimmen.

Abfallentsorgungs- und -behandlungsanlagen in Deutschland 2023

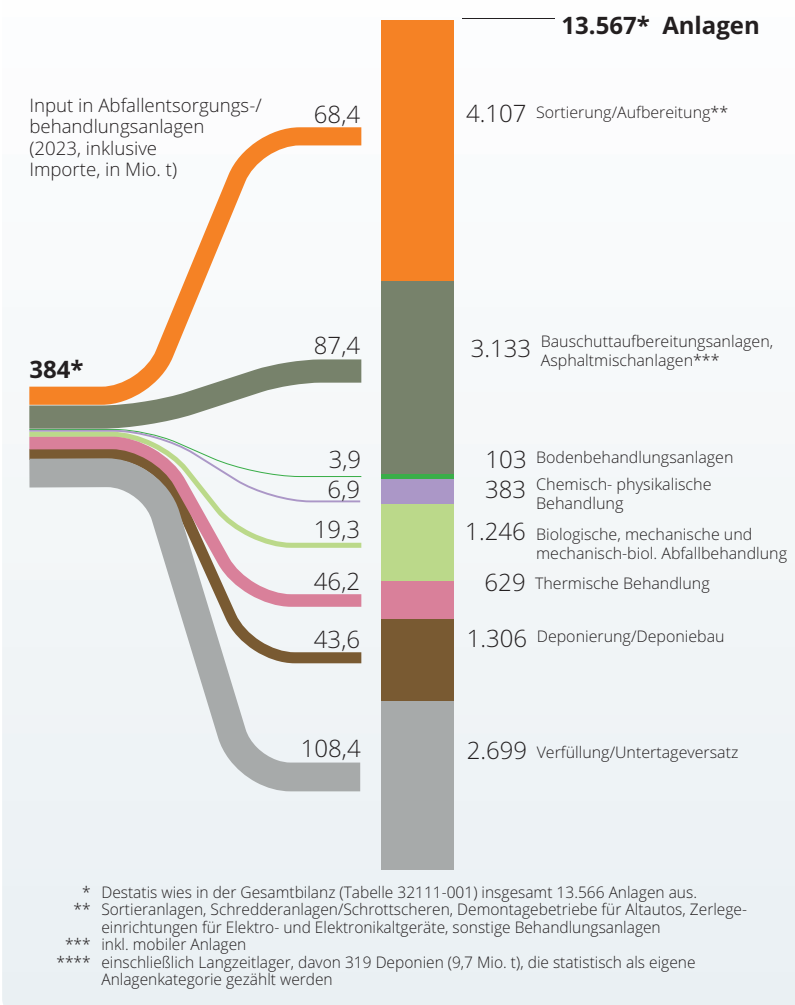


Abb. 10, Quelle: Statistisches Bundesamt, Genesis (Tabellen 32111-0003, 32141-0002), Destatis - UGR, eigene Darstellung

Seitens des Gesetzgebers wurden spezifische Anforderungen an die Mindestausstattung von Vorbehandlungsanlagen für Gewerbeabfälle definiert, um ein hochwertiges und schadloses Recycling der Materialien sicherzustellen. Die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV, §§ 6 und 10) legt hierfür die technischen Mindestanforderungen fest. Dazu gehören Anlagen zur Zerkleinerung und Separierung unterschiedlicher Materialien unter Berücksichtigung von Korngröße, Kornform und Korndichte, maschinell unterstützte manuelle Sortieraggregate sowie Einrichtungen zur effizienten Ausbringung von Metallen und Kunststoffen. So müssen Anlagen beispielsweise Eisen- und Nichteisenmetalle mit einer Ausbringung von mindestens 95 % und Kunststoffe mit mindestens 85 % separieren. Auch Holz, Papier und andere Fraktionen müssen entsprechend behandelt werden, um die Qualität der Sekundärrohstoffe zu gewährleisten. Die Pflicht zum Nachweis der Komponenten und Quoten gilt sowohl für Einzelanlagen als auch für mehrere Anlagen, die hintereinandergeschaltet betrieben werden und für welche dies entsprechend vertraglich dokumentiert ist.

Ergänzend verweisen die Vollzugshinweise der LAGA (M 34)¹⁸ auf praktische Aspekte der Umsetzung, wie den Vorrang der Vorbehandlung vor energetischer Verwertung, die Anforderungen an hintereinandergeschaltete Kaskadenvorbehandlungsanlagen, die Dokumentation der Sortierquoten und die Verantwortlichkeiten bei Transport durch Dritte. Die Vollzugshinweise dienen als Orientierungshilfe für Betreiber und Behörden, ohne die bestehenden Anforderungen der Verordnung zu verändern.



Vorsortierung, Quelle: ECOWEST VERBUND

Im Fachbetriebsregister sind mit Stand September 2025 bundesweit 164 Vorbehandlungsanlagen an 144 Standorten erfasst, die sämtliche Anforderungen gemäß §§ 6 und 10 GewAbfV erfüllen, und 309 Vorbehandlungsanlagen an 217 Standorten, die dies im Rahmen von hintereinandergeschaltet betriebenen Anlagen erfüllen¹⁹. Da die Entsorgungsfachbetriebsverordnung (EfbV) eine entsprechende Kennzeichnung der betroffenen Standorte nicht zwingend vorschreibt, sind diese Angaben nicht unbedingt vollständig.

Seit Inkrafttreten der GewAbfV gab es mehrere Novellierungen, zuletzt 2022 und 2023, die direkte Auswirkungen auf die Betreiber von Sortier- und Aufbereitungsanlagen haben.

- ▶ Die Novelle 2022 erweiterte den Anwendungsbereich und führte die Pflicht zu stichprobenartigen Eingangskontrollen ein, um sicherzustellen, dass angelieferte Abfälle den Vorbehandlungspflichten entsprechen.
- ▶ Die Novelle von 2023 führte zusätzliche Anforderungen für die Aufbereitung mineralischer Abfälle und Ersatzbaustoffe ein, um die Qualität der Sekundärrohstoffe zu sichern.

Für Anlagenbetreiber bedeutet dies: Prozesse müssen angepasst werden, um den gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden.

1.4.1.2 Mechanische und mechanisch-biologische Behandlung

Mit der Einführung der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) im Jahr 1993 begann eine grundlegende Veränderung in der deutschen Abfallwirtschaft: gemischte Siedlungsabfälle und alle anderen instabilen Abfälle sollten nicht mehr unbehandelt deponiert werden, sondern stets verwertet oder zumindest durch eine Vorbehandlung stabilisiert werden, sei es thermisch, biologisch, mechanisch, physikalisch oder chemisch, um die Freisetzung klimaschädlicher Gase bzw. Sickerwässer maßgeblich zu minimieren. Diese Vorgabe führte zur Entwicklung und zum Einsatz der mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA), die seitdem eine wichtige Säule der Abfallwirtschaft bilden.

MBA-Anlagen erfüllen zwei zentrale Aufgaben: zum einen sichern sie die Einhaltung des Deponierungsverbots für unbehandelte Siedlungsabfälle, zum anderen leisten einen Beitrag zur Ressourcenschonung und Energiegewinnung. In der mechanischen Stufe werden Metalle abgetrennt. Die biologische Behandlung stabilisiert organische Bestandteile und erzeugt, je nach Verfahrenstyp, zusätzlich Biogas. Damit sind MBA-Anlagen nicht nur Vorbehandlungs- und Entsorgungsanlagen, sondern auch Energie- und Rohstofflieferanten.

Die Verfahren unterscheiden sich je nach Standort und Zielsetzung: Rotte, Vergärung, biologische Trocknung oder mechanisch-physikalische Stabilisierung. Heute sind viele Anlagen so umgerüstet, dass sie

¹⁹ <https://fachbetriebsregister.gadsys.de/fachbetriebsregister/>



Standorte von mechanischen bzw. mechanisch-biologischen Abfallanlagen für die Behandlung kommunaler Restabfälle in Deutschland



Abb. 11, Quelle: ASA e.V., und eigene Recherchen der Prognos AG; Kartengrundlage: GfK GeoMarketing

auch Gewerbeabfälle gemäß der geltenden Gewerbeabfallverordnung behandeln können. Einige Anlagen haben ihre biologische Stufe auf die Verarbeitung getrennt erfasster Bioabfälle umgestellt, andere setzen auf hybride Konzepte, die sowohl Rest- als auch Bioabfälle in verschiedenen Verarbeitungslinien getrennt verarbeiten. Historisch bedingt wurden mechanisch-biologische Behandlungsanlagen vor allem im Norden Deutschlands konzipiert und gebaut und werden weiterhin dort betrieben. Im Süden von Deutschland, Baden-Württemberg und Bayern, werden überwiegend thermische Verwertungsanlagen betrieben.

Laut Destatis waren 2023 bundesweit 44 mechanisch-biologische Behandlungsanlagen in Betrieb, die rund 3,3 Millionen Tonnen Abfälle (vor)behandelten. Die Anzahl der Anlagen ist durch Stilllegungen rückläufig. In den letzten Jahren hat sich die Anlagenzahl stabil gehalten und viele Anlagenbetreiber haben bereits Umnutzungen oder Modernisierungen durchgeführt. Der Anteil der (vor)behandelten Siedlungsabfälle lag bei 2,5 Millionen Tonnen (rund 76 % des Gesamt-Inputs).²⁰

Etwa 51 % der Abfälle wurden als Ersatzbrennstoffe energetisch verwertet – in EBS-Kraftwerken, Kohlekraftwerken, Zementwerken sowie Müllverbrennungsanlagen. Die erzeugten Biogasmengen werden überwiegend in Blockheizkraftwerken genutzt; die Reststoffe werden deponiert. Von den aktuell in Betrieb befindlichen MBA behandelten 37 Anlagen kommunale Restabfälle bzw. Sperrmüll²¹, während andere vollständig auf Bioabfallbehandlung oder auf rein mechanische Verfahren umgestellt haben. Einige Anlagenbetreiber haben, z.T. bereits vor längerer Zeit, vollständig auf die Bio- oder Gewerbeabfallbe-

handlung umgestellt. Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen unterliegen für die Abluftbehandlung der 30. BImSchV. Die vorgegebenen Grenzwerte werden in Echtzeit überwacht und zuverlässig unterschritten.

Aktuelle Herausforderungen und Entwicklungen

Auch die mechanisch-biologische Abfallbehandlung steht heute vor komplexen Anforderungen, die weit über ihre ursprüngliche Aufgabe hinausgehen. Unabhängig von der Anpassung der Kapazitäten oder Verfahrensarten sind MBA ein zentraler Baustein einer nachhaltigen Kreislauf- und Abfallwirtschaft. Durch die komplexen Sortierprozesse eröffnen sie die Möglichkeit, die zunehmende Bedeutung von Sekundärrohstoffen und höheren Recyclingquoten technisch zu ermöglichen. Ein zentrales Thema ist der Klimaschutz: Der durchschnittliche Netto-Primärwirkungsgrad liegt derzeit bei rund 36 Prozent²², unterscheidet sich jedoch zwischen den einzelnen Anlagentechnologien. Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung leistet bereits einen erheblichen Beitrag zur Energiegewinnung, hat aber noch Potenzial für Verbesserungen – etwa durch eine optimierte Nutzung des erzeugten Biogases, eine effizientere Wärmerückgewinnung oder eine weiterentwickelte Abluftreinigung.

Der allgemeine technologische Fortschritt eröffnet auch für die MBA-Anlagen, die zu prüfen sind: Verfahren wie Power-to-Gas, die Methanisierung von CO₂ aus Biogas sowie Ansätze zur CO₂-Abscheidung und -Nutzung (CCU/CCS) können möglicherweise die Klimabilanz der Anlagen deutlich verbessern und ihre Rolle als Schnittstelle zwischen Abfallwirtschaft und Energieversorgung stärken.²³

Bestehende Strukturen hatten in der Vergangenheit und werden auch in Zukunft ihre Berechtigung haben, daher werden auch mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen weiterhin sachgerechte Lösungen liefern und gemeinsam mit allen Akteuren der Kreislaufwirtschaft die Entsorgungssicherheit gewährleisten.

²⁰ Statistisches Bundesamt, Genesis, Tabelle 32111-0003.

²¹ Daten der ASA.

²² Umweltbundesamt (UBA), Weiterentwicklung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) mit den Zielen der Optimierung der Ressourceneffizienz und Minimierung von Treibhausgasen (Texte 156/2023), 2023.

²³ Büscher, Katrin; Henze, Stefan; Weppel, Johanna, Effektiver Brandschutz in stoffspezifischen Abfallbehandlungsanlagen, In: Müll und Abfall, 11/2023.

1.4.1.3 Biologische Behandlungsanlagen

In Deutschland wurden im Jahr 2023 rund 16 Millionen Tonnen getrennt gesammelte Bioabfälle in insgesamt rund 1.200 biologischen Behandlungsanlagen²⁴ verwertet. Davon stammten 63 % aus Siedlungen (Kapitel 20 AVV), 25 % aus der Land- und Forstwirtschaft sowie der Lebensmittelindustrie; die übrigen Mengen stammen aus sonstigen Herkunftsbereichen.²⁵ Aus dieser Behandlung gingen nahezu 4,6 Millionen Tonnen spezifikationsgerechter Kompost sowie rund 3,8 Millionen Tonnen Gärückstände hervor, die überwiegend in der Landwirtschaft, daneben auch im Garten- und Landschaftsbau sowie in Erdenwerken eingesetzt werden.

Für die Verwertung stehen unterschiedliche Anlagentypen zur Verfügung. Bundesweit existieren rund 266 Bioabfallkompostierungsanlagen sowie kombinierte Kompostierungs- und Vergärungsanlagen, in denen jährlich etwa 5,1 Millionen Tonnen Bioabfälle behandelt werden können. Hinzu kommen etwa 612 Grünabfallkompostierungsanlagen. Rund ein Drittel der biologischen Abfälle wird in Biogas- und Vergärungsanlagen eingesetzt, wodurch neben Gärresten auch energetisch nutzbares Biogas entsteht. Dieses wird in Strom und Wärme umgewandelt und trägt mit weiteren biogenen Stoffströmen zur Energiewende bei. Damit diese künftig noch stärker zur Energiewende beitragen können, ist es ausschlaggebend die Potenziale der abfallstämmigen Biomasse

Ablauf einer Bioabfallbehandlung

in Mio. t im Jahr 2023

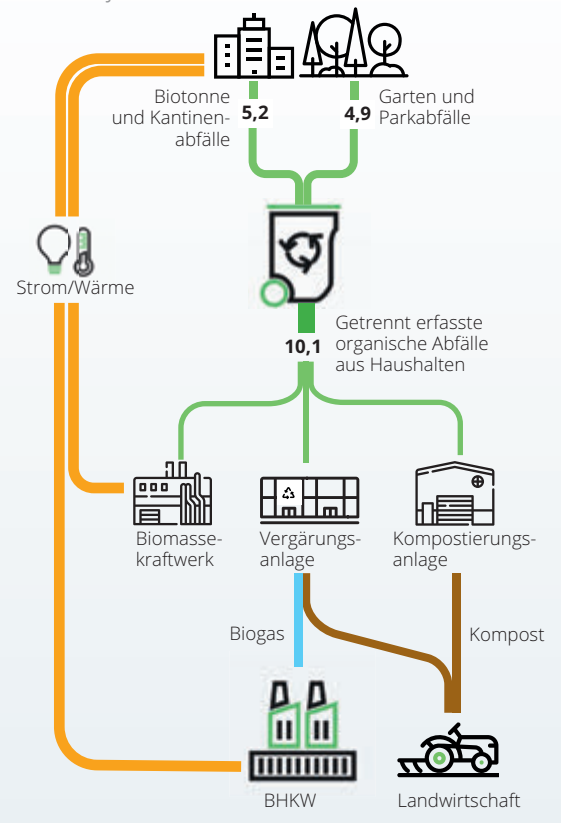


Abb. 12, Quelle: Statistisches Bundesamt, Destatis, Tabelle 32121-001

konsequent zu nutzen und regulatorische Rahmenbedingungen entsprechend auszugestalten, dass diese die Nutzung fördern.

Standorte von Vergärungsanlagen in Deutschland



Abb. 13, Quelle: ASA e.V., Kartengrundlage: GfK GeoMarketing

Auf europäischer Ebene gilt die EU-Abfallrahmenrichtlinie, die seit 2015 die getrennte Sammlung von Bio- und Grünabfällen sowie hohe Recyclingquoten für kommunale Siedlungsabfälle vorgibt. In Deutschland ist dies im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) umgesetzt, das die flächendeckende Getrenntsammlung von Bioabfällen verbindlich macht. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Behandlung von Bioabfällen sind in den letzten Jahren deutlich verschärft worden.

Besonders wichtig ist die Bioabfallverordnung (Bio-AbfV), die Qualitätsanforderungen an Komposte und Gärreste festlegt. Am 1. Mai 2025 traten neue Vorgaben zur Fremdstoffentfrachtung. Für Bioabfälle aus der Biotonne, die der Stufe der biologischen Behandlung zugeführt werden, definiert die Bioabfallverordnung einen Kontrollwert von 1,0 % Gesamtkunststoffe (bezogen auf die Frischmasse). Abfälle mit mehr als 3 % Fremdstoffen dürfen von den Behandlungsanlagen zurückgewiesen werden. Damit wird dazu beigetragen, die Qualität der produzierten Gärreste und Komposte zu sichern und deren Verwertung auf Böden zu stärken..

Zusätzlich zu den gesetzlichen Vorgaben existieren freiwillige Gütesicherungssysteme, die strengere Anforderungen als die gesetzlichen Grenzwerte vorsehen. Sie sorgen für ein hohes Qualitätsniveau, das insbesondere für den offenen Einsatz in der Umwelt von Bedeutung ist.

Technisch setzen die Anlagen zunehmend auf kombinierte Verfahren: Während die Kompostierung für die stoffliche Verwertung geeignet ist, erlaubt die Vergärung die zusätzliche energetische Nutzung der

²⁴ Biologische Behandlungsanlagen umfassen laut Destatis Bioabfallkompostierungsanlagen, Grünabfallkompostierungsanlagen, kombinierte Kompostierungs- und Vergärungsanlagen, Klärschlammkompostierungsanlagen, Biogas- und Vergärungsanlagen, sowie sonstige biologische Behandlungsanlagen.

²⁵ Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32111-0004.

Vorbehandlung, Verwertung und Beseitigung

Abfälle. Moderne Sortier- und Abscheidetechniken, Hygienisierungsverfahren und eine verbesserte Fremdstoffentfrachtung sorgen dafür, dass die gesetzlichen Anforderungen eingehalten werden.

Für die Zukunft gilt: Ein immer größerer Anteil der dafür geeigneten Bioabfälle sollte in Anlagen mit Vergärungsstufe behandelt werden, um das vorhandene stoffliche und energetische Potenzial optimal auszuschöpfen. Entscheidend bleibt dabei die Qualität der eingesammelten Bioabfälle – je geringer der Fremdstoffanteil, desto effizienter und nachhaltiger ist die Verwertung.

Biologische Abfallbehandlungsanlagen nach Art der Anlage (Inputmenge und Anzahl 2023)

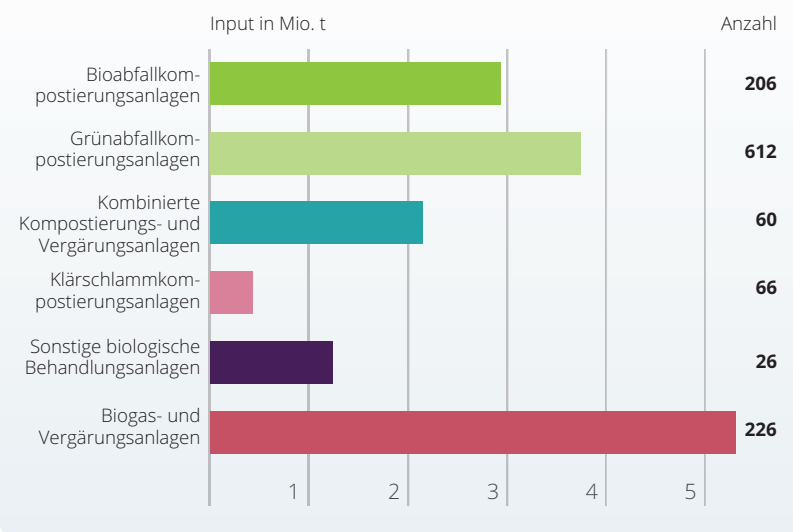


Abb. 14, Quelle: Statistisches Bundesamt, Genesis (Tabelle 32111-0003), eigene Darstellung

1.4.1.4 Sonstige Behandlungsanlagen

Neben den vorab beschriebenen Anlagentypen umfasst die deutsche Kreislaufwirtschaft ein breites Spektrum weiterer spezialisierter Anlagentypen, die unterschiedliche Stoffströme erfassen und verarbeiten.

Im Bereich der Bau- und Abbruchabfälle standen im Jahr 2022 rund 651 stationäre bzw. semimobile und 2.029 mobile Bauschuttzubereitungsanlagen zur Verfügung, die zusammen etwa 73 Millionen Tonnen Abfällen behandelten²⁶, darunter auch Straßenaufbruch und kohlenleerhaltige Bitumengemische. Die Gesamtkapazität der Anlagen lag bei 105 Millionen Tonnen. Ergänzt wird diese Infrastruktur durch 453 Asphaltmischanlagen, die 14,5 Millionen Tonnen Ausbauphosphat stofflich verwerten²⁷. Seit Inkrafttreten der Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV) im August 2023 gelten erstmals bundeseinheitliche Standards für die Herstellung und den Einsatz mineralischer Ersatzbaustoffe. Damit wird nicht nur die Qualitätssicherung gestärkt, sondern auch die Nachfrage nach Sekundärbaustoffen unterstützt. Technisch entwickeln sich die Anlagen zunehmend in

Richtung KI-gestützter Sortiertechnik und digitaler Prozesssteuerung, um eine höhere Ausbeute an hochwertigen Ersatzbaustoffen zu erzielen.

In 103 Bodenbehandlungsanlagen wurden im Jahr 2023 etwa 3,9 Millionen Tonnen verunreinigter Böden verarbeitet, überwiegend mittels thermischer, biologischer oder mechanisch-chemischer Behandlung (Bodenwäsche mit Lösungsmitteln, Fällungsmitteln usw.). Mit der novellierten Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, die seit 2023 in Kraft ist, rücken neben chemischen Schadstoffen auch physikalische Aspekte wie Verdichtung oder Erosion in den Vordergrund. Zunehmend kommen hybride Verfahren zum Einsatz, die biologische und thermische Ansätze kombinieren. Parallel werden erste Projekte erprobt, die auf eine Rückgewinnung von Metallen und Nährstoffen aus belasteten Böden abzielen.²⁸

Für die Behandlung überwiegend chemischer Abfälle standen 2023 insgesamt 383 chemisch-physikalische Behandlungsanlagen (CPB) bereit, in denen rund 6,9 Millionen Tonnen Abfälle behandelt wurden²⁹. Eingesetzt werden u. a. Extraktion, Destillation, chemische Neutralisation, Verdampfung, Trocknung oder Kalzinierung. Die Zahl der CPB-Anlagen ist gegenüber früheren Jahren rückläufig. Rechtlich wirken sich hier insbesondere die Anforderungen aus dem Abfallrecht aus, die eine lückenlose Dokumentation und höhere Energieeffizienzstandards fordern. Im Vordergrund stehen zunehmend integrierte Prozessketten, die neben der Schadstoffbehandlung auch eine Rückgewinnung von Wertstoffen ermöglichen.

Darüber hinaus wurden in 1.039 weiteren Behandlungsanlagen im Jahr 2023 fast 29,2 Millionen Tonnen Abfälle verarbeitet³⁰. Dazu zählen Ersatzbrennstoff- und Schlackeaufbereitungsanlagen, Kabel- und Kunststoffverwertungsanlagen, Klärschlammfaulbehälter mit Co-Vergärung sowie Anlagen zur stofflichen Verwertung von Altöl. Besonders dynamisch entwickelt sich derzeit der Bereich Klärschlamm Entsorgung, da ab 2029 größere und ab 2032 mittelgroße Kläranlagen zur Phosphorrückgewinnung verpflichtet sind. Auch Ersatzbrennstoffe gewinnen an Bedeutung, etwa in der energieintensiven Industrie, wobei die enge Kopplung zur Klima- und Energiepolitik den Einsatz zunehmend prägt. Insgesamt lässt sich ein klarer Trend zur Sektorkopplung erkennen: Abfälle werden nicht mehr nur entsorgt, sondern als Ressource für Energie, Rohstoffe und Materialien genutzt.

Im Bereich der bergbaulichen Abfälle wurden 2023 rund 27,4 Millionen Tonnen bergbaulicher Abfälle in 13 Anlagen entsorgt, überwiegend durch den Versatz in aktive oder stillgelegte Gruben. Hinzu kamen 80,9 Millionen Tonnen bergbaufremder Abfälle, die in 2.656 über- und untertägigen Abbaustätten abgelagert wurden, zumeist mineralische Reststoffe³¹. Der

²⁶ Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32141-0001; die Datenerfassung erfolgt alle 2 Jahre

²⁷ ebd.

²⁸ Statistisches Bundesamt, Genesis (Tabellen 32111-0003)

²⁹ ebd.

³⁰ ebd.

³¹ ebd.

klassische Abraum aus dem direkten Abbauprozess ist hierbei nicht enthalten. Zunehmend gewinnen Nachnutzungskonzepte an Bedeutung, etwa die Umwandlung ehemaliger Bergwerke in Energiespeicher oder Geothermie-Standorte. Parallel dazu wird auf europäischer Ebene die Regulierung im Rahmen des geplanten EU-Bodengesundheitsgesetzes („Soil Health Law“) diskutiert, das auch für den Umgang mit Abfällen aus dem Bergbau neue Anforderungen bringen dürfte.

1.4.2 Anlagen und Mengen zur energetischen Verwertung

Die Bewirtschaftung von Abfällen in Deutschland folgt gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz der fünfstufigen Abfallhierarchie: von der Abfallvermeidung über die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling bis hin zu sonstigen Verwertungsverfahren und schließlich der Beseitigung. Dieses Prinzip bildet die Grundlage für eine ressourcenschonende und klimafreundliche Abfallwirtschaft.

Die thermische Abfallbehandlung ist dabei eine unverzichtbare Säule – insbesondere für Abfälle, die sich nicht hochwertig stofflich verwerten lassen. Sie wird in Monoverbrennung und Mitverbrennung unterschieden. Zu den Monoverbrennungsanlagen zählen die klassischen Müllverbrennungsanlagen sowie Ersatzbrennstoffkraftwerke, und spezialisierte Anlagen für die Verbrennung von Klärschlamm, Sonderabfälle oder Altholz. Die Mitverbrennung erfolgt vor allem in Zementwerken und Industriekraftwerken, während der Einsatz in Kohlekraftwerken aufgrund des Kohleausstiegs stark rückläufig ist.

Im Jahr 2023 wurden in Deutschland rund 45,6 Millionen Tonnen kommunale sowie Industrie- und Gewerbeabfälle thermisch behandelt.³² Moderne thermische Anlagen übernehmen heute weit mehr als die reine Entsorgung: Sie sind Teil der Energieversorgung, tragen zur Rückgewinnung von Rohstoffen bei und entwickeln sich zunehmend zu Knotenpunkten für Defossilisierung und Kreislaufwirtschaft.

1.4.2.1 Thermische Abfallbehandlung (MVA/EBS-Kraftwerke)

Die thermische Abfallbehandlung steht heute für Innovation, Energieeffizienz und Ressourcenschutz – doch ihre Wurzeln liegen in einer ganz anderen Realität: dem Kampf gegen Gesundheitsgefahren. Epidemien wie Cholera machten deutlich, dass Abfallbeseitigung überlebenswichtig war. Die erste Abfallverbrennungsanlage in Nottingham (1874) und die erste deutsche Anlage in Hamburg (1894) waren Antworten auf diese Bedrohung.

Input von thermischen Abfallentsorgungsanlagen 2023 (in Mio. Tonnen)

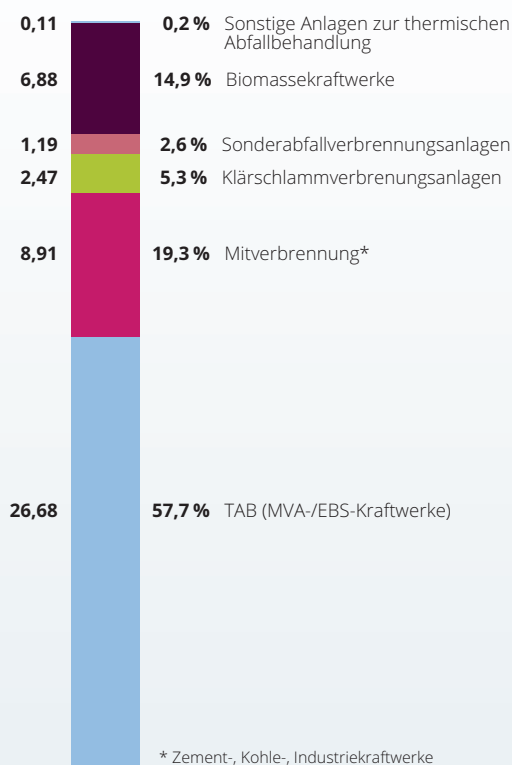


Abb. 15, Quelle: Statistisches Bundesamt, Genesis (Tabellen 32111-0003), eigene Darstellung

Aus dieser Notwendigkeit entwickelte sich ein System, das sich in den vergangenen 130 Jahren grundlegend gewandelt hat: von der reinen Volumenreduktion und Hygienisierung hin zu einem multifunktionalen Baustein der Kreislaufwirtschaft. Heute sind Thermische Abfallbehandlungsanlagen (TAB), zu denen die MVA und EBS-Kraftwerke gezählt werden, nicht nur Schadstoffsinken, sondern auch Energie-Hubs und in gewissem Umfang Sekundärrohstofflieferanten.

³² Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32111-0003.

Standorte von MVA und EBS-Kraftwerken in Deutschland

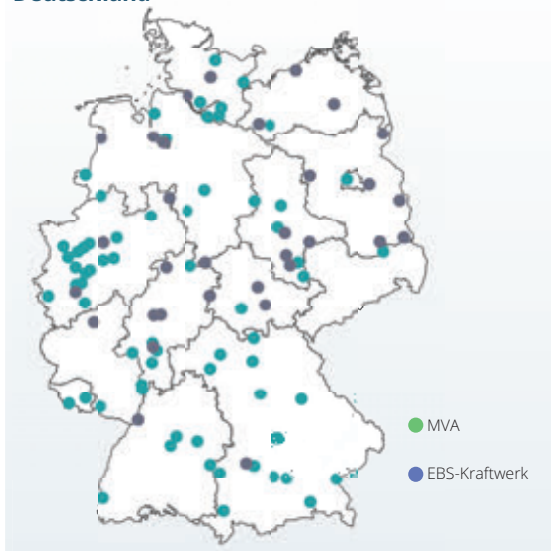


Abb. 16, Quelle: ITAD, Zusatzrecherchen Prognos AG; Kartengrundlage GfK GeoMarketing

Vorbehandlung, Verwertung und Beseitigung

Sie arbeiten hocheffizient und erzeugen Strom und Wärme im Kraft-Wärme-Kopplungsbetrieb. Mit Technologien zur Metallrückgewinnung, Wasserstoffproduktion und KI-gestützter Prozessoptimierung werden sie zu bedeutenden Akteuren für Klimaschutz und Versorgungssicherheit.

³³ Das statistische Bundesamt weist in Summe für die TAB (Abfallverbrennungsanlagen und Ersatzbrennstoffwerke) mehr Anlagen aus, was an der unterschiedlichen Klassifizierung liegt.

³⁴ eigene Hochrechnungen Prognos auf Basis ITAD und Destatis.

Während die ersten Anlagen vor allem der sicheren Abfallbeseitigung dienten, veränderte sich ihre Rolle mit der Erdölkrise der 1980er Jahre grundlegend: Die energetische Nutzung des Abfallpotenzials rückte in den Mittelpunkt und machte die TAB zu wichtigen Akteuren der Energieversorgung.

Einen entscheidenden Impuls für die Entwicklung der TAB in Deutschland gab die Technische Anleitung Siedlungsabfall (1993), die das Ablagerungsverbot für unbehandelte Siedlungsabfälle einführte. Verbot für noch nicht stabilisierte und kohlenstoffreiche Abfälle am 1. Juni 2005 in Kraft.

Heute umfasst der TAB-Bestand in Deutschland 98 Anlagen³³ mit einer genehmigten Gesamtkapazität von rund 27,5 Millionen Tonnen pro Jahr. Die regionale Verteilung ist unterschiedlich: Nordrhein-Westfalen verfügt mit 7,2 Millionen Tonnen über die höchsten Kapazitäten, Bayern und Baden-Württemberg zusammen über 5,3 Millionen Tonnen, die neuen Bundesländer über 5,7 Millionen Tonnen. Das Durchschnittsalter der Verbrennungslinien liegt bei rund 22 Jahren, wobei die Anlagen im Osten der Bundesrepublik tendenziell jünger sind.

Auch bei hohen Recyclingquoten entstehen Abfälle, die sich nicht stofflich verwerten lassen – etwa schadstoffbelastete Materialien, Sortierreste oder Fein-

fraktionen aus Bau- und Abbruchabfällen. TAB übernehmen hier eine doppelte Aufgabe: Sie entfernen Schadstoffe sicher aus dem Kreislauf und nutzen gleichzeitig den Energiegehalt dieser Abfälle. Damit sind sie nicht nur „Restentsorger“, sondern ein integraler Bestandteil der Kreislaufwirtschaft.

Im Jahr 2023 wurden rund 26 Millionen Tonnen Abfälle aus Haushalten, Industrie und Gewerbe thermisch behandelt. Den größten Anteil hatten gemischte Siedlungsabfälle (46 %, nahezu 12 Millionen Tonnen), gefolgt von brennbaren Sekundärabfällen (AVV-Nr. 19 12 10 und 19 12 12) mit 39%.³⁴

Aktuelle Herausforderungen und Entwicklungen

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Funktion der TAB stark weiterentwickelt: Neben der Entsorgung tragen sie heute durch Strom-, Prozess- und Fernwärmeauskopplung, Metallrückgewinnung aus Verbrennungsrückständen und die Nutzung von Aschen als Ersatzbaustoffe wesentlich zu Klima- und Ressourcenschutz bei. Die meisten Anlagen arbeiten im Kraft-Wärme-Kopplungsbetrieb (KWK) und leisten damit auch einen Beitrag zur Versorgungssicherheit.

Die Zukunft bringt neue Herausforderungen und Chancen: Die EU-Dekarbonisierungsstrategie und der „Green Deal“ erfordern eine schnellere Schließung von Deponien, da die Kreislaufwirtschaft vergleichsweise kostengünstige CO₂-Minderungen ermöglicht. TAB werden stärker in Energiesysteme integriert – etwa durch Wärmespeicher, Wasserstoffproduktion und Systemdienstleistungen. Die Rückgewinnung von Metallen sowie die Kreislaufführung von Kohlenstoff rücken in den Fokus. Digitalisierung und KI optimieren Prozesse und Emissionsüberwachung. Gleichzeitig entstehen neue Abfallströme wie POP-haltige Materialien, Feinfraktionen aus Bau- und Abbruchabfällen und Sortierreste aus Recyclingprozessen, die die Rolle der TAB als Schadstoffsenke weiter stärken.

Bei der thermischen Abfallbehandlung entstehen unvermeidbare CO₂-Emissionen. Zukünftig wird man dieses CO₂ aus dem Rauchgas abscheiden und dann entweder sicher speichern (CCS-Technologie) oder als Rohstoff nutzen (CCU-Technologie) können. Da ein Teil dieses CO₂ aber nicht aus fossilen Kunststoffen, sondern biogenen Abfällen stammt, können TAB künftig sogar Negativemissionen erzielen und aktiv zur Klimaneutralität beitragen – ein Schritt, der ihre Rolle weit über die klassische Entsorgung hinaus erweitert.

Damit bleiben TAB ein unverzichtbarer Bestandteil der Kreislaufwirtschaft – mit wachsender Bedeutung für Klimaschutz, Ressourceneffizienz und Energiesystemintegration.

Standorte von MVA und EBS-Kraftwerken in Deutschland

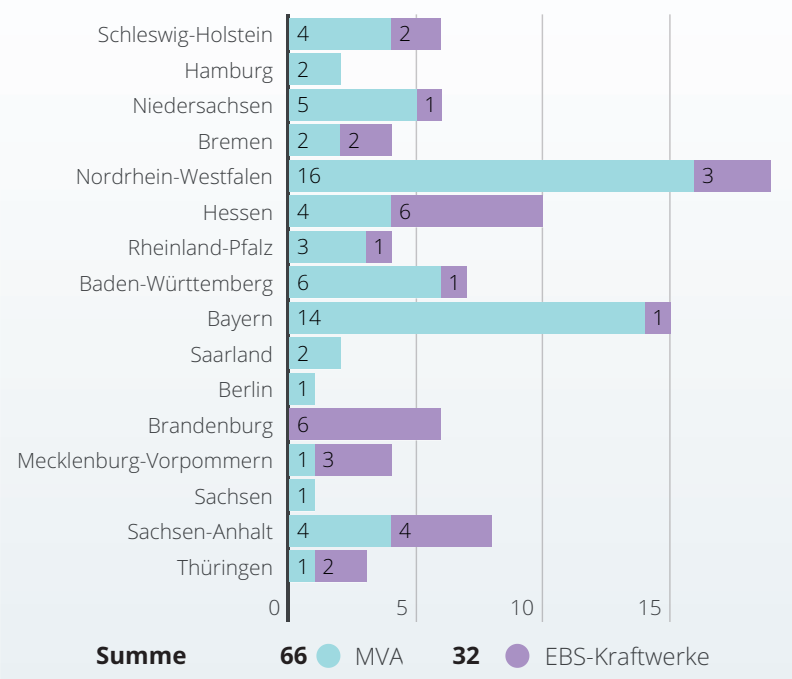


Abb. 17, Quelle: ITAD, Zusatzrecherchen Prognos AG; Kartengrundlage GfK GeoMarketing



MVA Premnitz, Quelle: eew

1.4.2.2 Mitverbrennung in Zement- und Kohlekraftwerken

Der Bedarf der Industrie, die Energieversorgung teilweise über die Nutzung von Abfällen zu sichern oder zu flankieren, hat insbesondere vor dem Hintergrund stark gestiegener Preise für fossile Energieträger deutlich zugenommen. Dies betrifft alle energieintensiven Sektoren wie die Papierindustrie, Chemieparks oder die Zementherstellung. Durch die energetische Verwertung nicht stofflich hochwertig nutzbarer Abfälle lassen sich fossile Brennstoffe ersetzen und Treibhausgasemissionen reduzieren. Parallel steigt mit der zunehmenden Verknappung von Primärrohstoffen das Interesse an alternativen Rohstoffen für die industrielle Produktion.

Mitverbrennung in Zementwerken³⁵

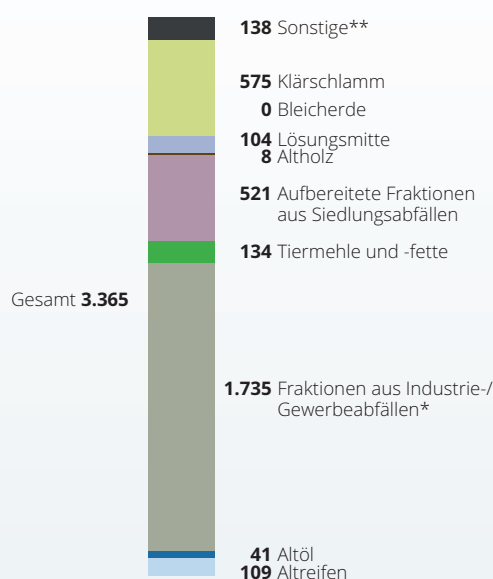
Die Zementindustrie zählt zu den rohstoff- und energieintensivsten Industriezweigen in Deutschland. Etwa ein Fünftel der jährlich eingesetzten Primärrohstoffe entfällt auf die Produktion von Zement und Beton. Vor diesem Hintergrund ist die Branche seit Jahrzehnten bestrebt, den Ressourceneinsatz zu reduzieren und fossile Brennstoffe durch alternative Energiequellen zu substituieren.

Bereits seit den 1970er Jahren werden in der Klinkerproduktion alternative Brennstoffe eingesetzt, darunter aufbereitete Fraktionen aus Gewerbe- und Siedlungsabfällen, Klärschlämme, Altreifen, Altöl, Tiermehle und -fette sowie Lösemittel. Im Jahr 2023 lag der Anteil alternativer Brennstoffe am gesamten Energieeinsatz bei rund 72%, die mit nahezu 3,4 Millionen Tonnen Abfall zugeführt wurden. Die Klinkerproduktion arbeitet mit Nettowirkungsgraden von über 70%, da neben der energetischen Nutzung auch die stoffliche Komponente eine Rolle spielt: Die

mineralischen Anteile der Aschen werden direkt in den Zementklinker eingebunden und ersetzen jährlich 200.000 bis 250.000 Tonnen Primärrohstoffe.

Darüber hinaus setzt die Zementindustrie seit Jahrzehnten Sekundärrohstoffe in der Herstellung von Klinker, Zement und Beton ein. Im Jahr 2022 (letztes verfügbares Jahr) wurden rund 8,2 Millionen Tonnen verwendet, darunter 7,1 Millionen Tonnen Hütten- sande sowie 0,3 Millionen Tonnen Flugaschen und

Zusammensetzung der in Zementwerken 2023 eingesetzten alternativen Brennstoffe (in Tsd. Tonnen)



Anteil alternativer Rohstoffe am Brennstoffeinsatz insgesamt: **72%**

* z.B. Zellstoff, Papier und Pappe, Kunststoff, Abfälle aus der Textilindustrie, sonstige

** z.B. Ölschlamm, Organische Destillationsrückstände

³⁵ VDZ, Ressourcen der Zukunft für Zement und Beton – Potenziale und Hemmnisse, 2020, Zementindustrie im Überblick 2023 / 2024.

Abb. 18, Quelle: Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ), Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2023



Sonderabfallverbrennung in Bramsche, Quelle: REMONDIS

0,2 Millionen Tonnen Gießereisande. Diese Stoffströme tragen maßgeblich dazu bei, natürliche Ressourcen wie Kalkstein, Ton oder Bauxit zu substituieren.

Die Zementindustrie ist zugleich ein bedeutender Akteur innerhalb der Kreislaufwirtschaft. Durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen aus Gewerbe-, Siedlungs- und Industrieabfällen werden nicht nur fossile Energieträger ersetzt, sondern auch relevante Abfallströme hochwertig verwertet. Mineralische Sekun-

und Forschungsprojekte, um weitere Abfallströme – etwa Rotschlämme oder ölhaltige Böden – für die Zementherstellung zu erschließen.

Langfristige Ziele der Branche sehen vor, den Anteil alternativer Brennstoffe bis 2030 auf 75 % zu steigern. Parallel soll der Anteil alternativer Rohstoffe bis 2050 bei der Betonherstellung 26 % und bei der Zementproduktion 22 % erreichen. Gleichzeitig steht die Industrie vor strukturellen Herausforderungen: Mit dem Ausstieg aus der Kohleverstromung fallen REA-Gips und Flugaschen künftig weg, und die Verfügbarkeit von Hüttensanden wird durch die Umstellung der Stahlproduktion auf wasserstoffbasierte Direktreduktionsverfahren voraussichtlich um rund 40 % sinken. Zur Nutzung der neuen Schlacken wird derzeit mit guten Ergebnissen intensiv geforscht. Notwendig ist aber auch eine pragmatische Anpassung des Regelwerks, um Kreislaufwirtschaft in einer transformierten Industriegesellschaft auf hohem Niveau weiter zu ermöglichen.

Zusammensetzung der in Zementwerken 2022 eingesetzten alternativen Rohstoffe (in Tsd. Tonnen)

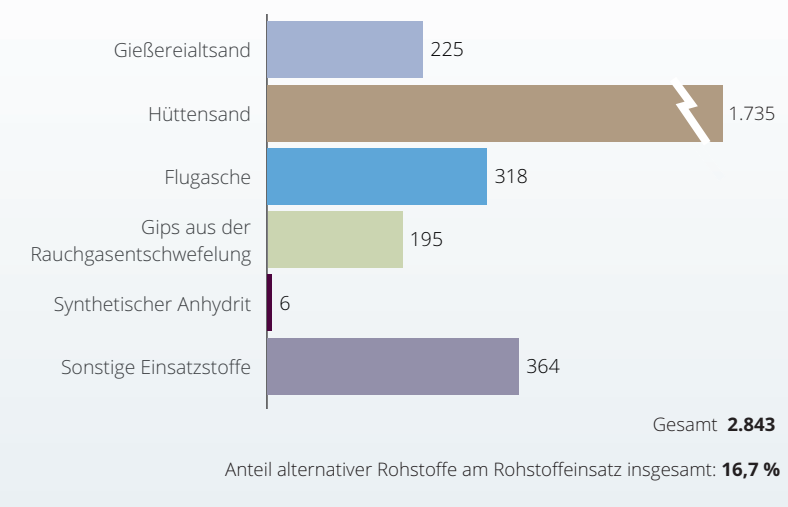


Abb. 19, Quelle: Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ), Zementindustrie im Überblick 2023/2024

därrohstoffe, wie Schlacken und Aschen, werden direkt in den Klinker eingebunden und ersetzen Primärrohstoffe, wodurch die Kreislaufführung von Abfällen gestärkt wird. Aktuell laufen zahlreiche Pilot-

Die Zementindustrie verknüpft damit Ressourcenschonung, Abfallverwertung und Klimaschutz. Neben der Substitution von Primärrohstoffen gewinnt auch die Integration von CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS) sowie CO₂-Nutzung (CCU) an Bedeutung, um die Klimaneutralität der Branche langfristig sicherzustellen. Somit nimmt die Zementindustrie sowohl innerhalb der industriellen Ressourceneffizienz als auch in der Kreislaufwirtschaft eine Schlüsselrolle ein: Sie reduziert nicht nur den eigenen Rohstoff- und Energieverbrauch, sondern verwandelt Abfallströme aus anderen Sektoren in wertvolle Ressourcen für die Bauwirtschaft.

Mitverbrennung in Kohlekraftwerken

Die Mitverbrennung von Abfällen in Kohlekraftwerken war in Deutschland bis vor wenigen Jahren eine gängige Praxis zur energetischen Verwertung von Abfallstoffen. Im Jahr 2017 verfügten noch 20 Braun- und Steinkohlekraftwerke über Genehmigungen zur Mitverbrennung von Abfällen, mit einer geschätzten Gesamtkapazität von rund 4,2 Millionen Tonnen jährlich. Allerdings lag der tatsächliche Durchsatz nur bei etwa 40 bis 50% der genehmigten Kapazität.

Seitdem hat sich die Situation jedoch erheblich verändert. Im Zuge der Energiewende und der schrittweisen Reduzierung der Kohleverstromung gemäß dem Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG) bis spätestens 2038 wurden zahlreiche Kohlekraftwerke stillgelegt oder umgerüstet.

Die verbleibenden Kapazitäten zur Mitverbrennung von Abfällen sind daher begrenzt, und es müssen alternative Entsorgungswege gefunden werden, um die energetische Verwertung von Abfällen weiterhin sicherzustellen.



Ablagerungsbetrieb Deponie Vereinigte Ville, Quelle: AVG Breer

zugänglichen sowie rein betrieblichen Einrichtungen eingesetzt und sichern insbesondere der produzierenden Wirtschaft – vor allem der chemischen Industrie – die schadlose Entsorgung gefährlicher Produktionsrückstände.

Auch aus privaten Haushalten über die kommunalen Schadstoffsammlungen, aus der Aufbereitung von Gewerbeabfällen oder aus der Altlastensanierung kommen gefährliche und schadstoffhaltige Abfälle sicher in die Anlagen. Bei der thermischen Behandlung verunreinigter Verbundstoffe, übernehmen die Sonderabfallverbrennungsanlagen eine zentrale Rolle.

Technisch setzen die Anlagen überwiegend auf das bewährte Drehrohrofen-System mit Nachbrennkammer, das seit über 50 Jahren in Betrieb ist. Verbrennungstemperaturen über 1.000 °C und nachgeschaltete, mehrstufige Rauchgasreinigungssysteme aus Elektrofiltern, Wäschern, Katalysatoren und Aktivkohlefiltern gewährleisten die vollständige Zerstörung organischer Schadstoffe sowie die effektive Abscheidung von Schwermetallen. Organische Verbindungen werden in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt, anorganische Schadstoffe in unschädliche oder abscheidbare Bindungsformen überführt. Feste Rückstände können nach entsprechender Vorbehandlung auf zugelassenen Deponien abgelagert, bei der Abwasserbehandlung entstehende Flüssigkeiten in mehrstufigen Systemen gereinigt werden.

Die Anlagen erfüllen die strengen Grenzwerte der 17. BImSchV zuverlässig und unterschreiten diese in der Praxis meist deutlich. Gleichzeitig wird die bei der Verbrennung freigesetzte überschüssige Energie konsequent genutzt, etwa für die Dampferzeugung oder Stromproduktion, wodurch die Gesamtenergieeffizienz der Anlagen erhöht wird. Darüber hinaus ermöglicht die thermische Behandlung auch die Rückgewinnung von wertvollen Rohstoffen, und leistet so einen Beitrag zur Reduktion der Abhängigkeit von Primärrohstoffen. Mit kontinuierlichen Investitionen in moderne Technologien, der Einhaltung

1.4.2.3 Sonderabfallverbrennung

Die Sonderabfallverbrennung ist ein wichtiger Bestandteil einer modernen und nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. Sie ermöglicht die sichere und umweltverträgliche Behandlung gefährlicher Abfälle, die nicht stofflich verwertet werden können, und trägt so sowohl zur Schonung von Ressourcen als auch zum Schutz von Ökosystemen bei.

In Deutschland verfügen Sonderabfallverbrennungsanlagen über eine jährliche Behandlungskapazität von rund 1,6 Millionen Tonnen und gehören europaweit zu den technologisch führenden Anlagen. Sie werden in öffentlich zugänglichen, teilweise öffentlich

Standorte von Sonderabfallverbrennungsanlagen in Deutschland



Abb. 20, Quelle: Eigene Recherchen Prognos AG; Kartengrundlage GfK GeoMarketing

Vorbehandlung, Verwertung und Beseitigung

strenger Umweltstandards und der Nutzung der erzeugten Energie bleibt die Sonderabfallverbrennung ein unverzichtbarer Bestandteil der sicheren und nachhaltigen Abfallwirtschaft.

Zukünftig werden in Sonderabfallverbrennungsanlagen zunehmend neue Stoffströme behandelt, die durch technologische Entwicklungen und den Wandel in Industrie und Gesellschaft entstehen. Dazu zählen insbesondere Reste aus der Aufbereitung von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen, die nach der stofflichen Rückgewinnung von Metallen wie Lithium, Kobalt und Nickel verbleiben und aufgrund ihrer Restgehalte an organischen Lösungsmitteln, Elektrolyten oder Schadstoffen spezielle Sicherheits- und Verbrennungstechnologien erfordern. Weiterhin wurde ein Verfahren zur Rückgewinnung von Iod aus Sonderabfällen entwickelt. Das zurückgewonnene Iod wird der chemischen Industrie als Rohstoff zur Produktion von Iod-Chemikalien geliefert und ist ein Paradebeispiel für das Schließen eines Wirtschaftskreislaufs für das Element Iod. Auch hochbelastete Abfälle, die per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) enthalten, können nur in entsprechend ausgerüsteten Anlagen umweltgerecht zerstört werden.

36 Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32111-0003.

1.4.3 Deponien

Deponien fungieren neben Abfallverbrennungsanlagen als wichtige Schad- und Störstoffsenken, da eine vollständige Verwertung der Abfälle und Kreislauf-führung der Rohstoffe auf Grund der teilweise ent-

haltenen Schadstoffe nicht erwünscht ist. Seit Mitte der 60er Jahre haben sich die Anforderungen sowohl an die Deponietechnik als auch das abzulagernde Abfallspektrum deutlich weiterentwickelt.

Anfang der 1970er Jahre gab es in Deutschland mehr als 65.000 zum Teil unkontrollierte Müllkippen, die sogenannten „Bürgermeisterdeponien“. Mit dem ersten Abfallgesetz 1972 begann der Übergang zur geordneten Deponierung. Heute sind Deponien komplexe technologische Bauwerke die unter anderem mit Multibarriersystemen, verschiedenen Abdichtungssystemen und Sickerwassersystemen ausgestattet sind, die verhindern, dass Schadstoffe in die Umwelt gelangen.

Mit der Ablagerungsverordnung (2001) und der Deponieverordnung (2002) wurden die EU-rechtlichen Vorgaben der Deponie-Richtlinie aus dem Jahr 1999 im deutschen Recht umgesetzt. 2009 gingen beide Verordnungen in der neugefassten Deponieverordnung auf.

Die Deponieverordnung schreibt den Betreibern detaillierte Anforderungen an die Technik, den Betrieb und die Organisation vor, die sich auf den gesamten Lebenszyklus einer Deponie – von der Errichtung bis zur Nachsorge – beziehen. Deponien, die den Sicherheitsstandards nicht entsprechen, mussten nachgerüstet werden oder wurden geschlossen.

In Deutschland besteht seit 2005 ein Deponierungsverbot für unbehandelte organische Abfälle, um die Freisetzung schädlicher Gase bzw. Sickerwässer maßgeblich zu minimieren. Seit dem 01.01.2024 gilt zudem ein Ablagerungsverbot für recyclebare und verwertbare Abfälle auf Deponien (§7 Abs.3 DepV). Je nach Schadstoffgehalt werden die Abfälle auf fünf verschiedenen Deponieklassen (DK) abgelagert.

- ▶ DK 0 für mineralische Abfälle mit geringem Schadstoffgehalt (z. B. unbelastete Böden)
- ▶ DK II für belastete und ausgewählte genehmigte gefährliche Abfälle
- ▶ DK III für gefährliche Abfälle (oberirdische Ablagerung)
- ▶ DK IV für gefährliche Abfälle (Untertageab-lagerung)

Im Jahr 2023 waren in Deutschland 987 Deponien in Betrieb. Diese verteilten sich zu 70 % (693 Deponien) auf die Deponiekategorie DK 0, zu 12 % (122) auf DK I und 15 % (147) auf DK II. 21 Deponien (2 %) gehören zur Deponiekategorie DK III und 4 (< 1 %) zur Deponiekategorie DK IV.³⁶

Anzahl der Deponien und abgelagerten Menge nach Bundesländern 2023

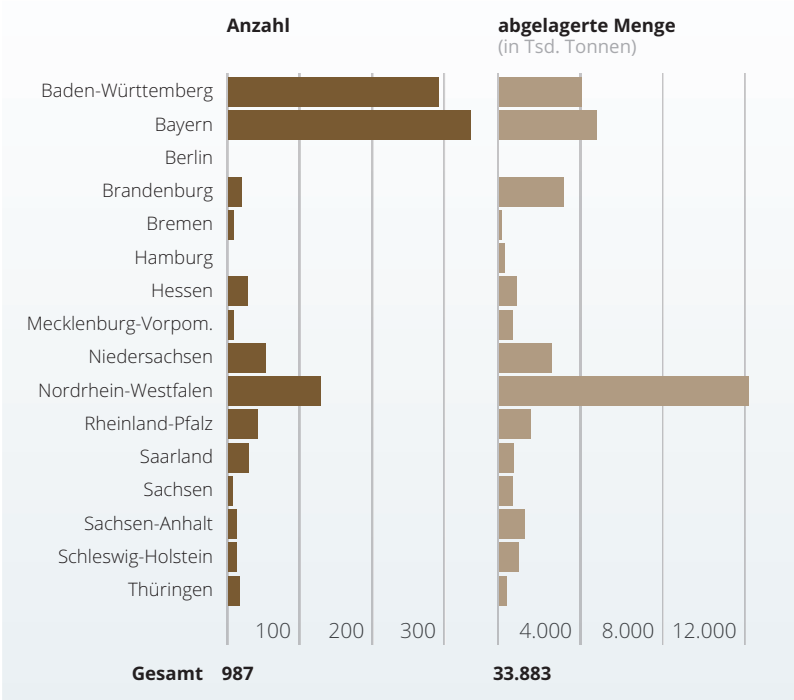


Abb. 21, Quelle: Statistisches Bundesamt, Regionalstatistik (Tabellen 32111-02-03-4-B, 86121-Z-03), Destatis (Tabelle 32111-0003), Destatis (Tabelle 32111-06, 32111-10)

Insgesamt wurden im Jahr 2023 33,9 Millionen Tonnen auf Deponien abgelagert. Mehr als drei Viertel wurde auf Deponien der Klasse DK 0 (38 %) und DK I (38 %) abgelagert. Der mengenmäßig größte Anteil entfiel dabei auf mineralische Bau- und Abbruchabfälle (57,1 %, 19,3 Millionen Tonnen). Der Anteil von Boden und Steinen an den Bau- und Abbruchabfällen betrug 12 Millionen Tonnen (62 %). Weitere mengenmäßig relevante Abfälle sind Abfälle aus thermischen Prozessen (21 %, 6,9 Millionen Tonnen), darunter insbesondere Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken (2,3 Millionen Tonnen)³⁷.

Neben der Ablagerung werden Abfälle auf Deponien auch für Deponiebaumaßnahmen eingesetzt, so z. B. für die Errichtung von Abdichtungs- sowie Drainage- und Rekultivierungsschichten. Im Jahr 2023 wurden 9,7 Millionen Tonnen an Abfällen für Deponiebaumaßnahmen verwertet. Zum Einsatz kamen überwiegend mineralische Bau- und Abbruchabfälle (58 %, 5,6 Millionen Tonnen) und Abfälle aus Abfall- und Abwasserbehandlungsanlagen (37 %, 3,6 Millionen Tonnen).³⁸

Das genehmigte Restvolumen für Deponien der Klasse 0 lag Ende 2023 bei 147,3 Millionen Kubikmeter, für Deponien der Klasse I bei 175,2 Millionen Kubikmeter und bei Deponien der Klasse II bei 78,4 Millionen Kubikmeter. Für die Deponiekategorie III und IV standen noch 37,4 Millionen Kubikmeter Restvolumen zur Verfügung.³⁹ Die Entsorgungssituation in Deutschland hat sich verbessert, zum einen durch den Zubau von Deponien, zum anderen den leichten Rückgang bei den auf den Deponien abzulagernden Mengen.

In den letzten Jahren wurden die Deponiekapazitäten in den einzelnen Bundesländern einer Prüfung in Bezug auf den zukünftigen Bedarf unterzogen. Die Deponiesituation für die Klassen 0 bis II hat sich insbesondere in Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Schleswig-Holstein sowie Berlin und Brandenburg verbessert. Thüringen und Hessen sowie Bremen haben Bedarf bei den Deponiekapazitäten für die Klassen 0 und I. Sachsen weist zudem einen Bedarf bei der Deponiekategorie II auf. Für die Deponiekategorie III stehen nicht in jedem Bundesland Deponien zur Verfügung. Es bestehen jedoch bundeslandsübergreifende Kooperationen.⁴⁰

Der regionale Bedarf in den Bundesländern ist sehr unterschiedlich, da die vorhandenen bzw. geplanten Deponiestandorte in der Regel nicht gleichmäßig verteilt sind. Dies kann innerhalb der Bundesländer zu weiten Transporten und damit verbunden zu steigenden Entsorgungskosten führen.

Für stark belastete Abfälle gibt es in Deutschland derzeit insgesamt vier abfallrechtlich genehmigte Untertagedeponien bzw. Deponien der Klasse IV im Salzgestein, die sich in ehemaligen Abbaukammern von Kali- oder Steinsalzbergwerken befinden.

Gefährliche Abfälle aus thermischen Prozessen, wie Filterstäube und manche Aschen, können auch in für den Untertageversatz (UTV) ausgewiesenen Bergwerksbereichen in Kali- oder Steinsalzbergwerken oder Salzkavernen sicher verwertet werden. Für den Untertageversatz stehen in Deutschland 13 Anlagen zur Verfügung. Geologisch bedingt konzentrieren sich die UTV-Anlagen in den Salzabbaugebieten in Mitteldeutschland (Hessen, Sachsen-Anhalt und Thüringen) sowie Baden-Württemberg.



Ablagerungsbetrieb Deponie Vereinigte Ville, Quelle: AVG Breer

Aktuelle Herausforderung & Entwicklungen

Am 1.8.2023 ist die Mantelverordnung in Kraft getreten, die aus mehreren Teilen besteht, wie der Ersatzbaustoffverordnung, der Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Im Zusammenhang mit der Verordnung wurden auch die Deponieverordnung und Gewerbeabfallverordnung angepasst. Auswirkungen der Verordnung für die zu deponierenden Mengen sind aktuell statistisch noch nicht erkennbar. Es findet jedoch aktuell die Evaluierung der Mantelverordnung statt. Es wird erwartet, dass der in der Verordnung festgeschriebene Wegfall der bergrechtlichen Verfüllgenehmigungen ab dem Jahr 2031 einen wesentlichen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung der Deponiekapazitäten haben wird. Demgegenüber kann sich die Umsetzung der aktuellen Forderung, für mineralische Ersatzbaustoffe das Ende der Abfalleigenschaft festzustellen, positiv auf die Akzeptanz und die zukünftigen Einsatzmöglichkeiten für Ersatzbaustoffe auswirken.

Eine weitere Reduzierung des vorhandenen Deponievolumens kann durch die Zwischenlagerung von Abfallströmen erfolgen. Aktuell wird diskutiert, Klärschlammverbrennungsaschen bis zur Verfügbarkeit geeigneter Techniken für die Rückgewinnung des darin enthaltenen Phosphors auf Deponien „zwischenzulagern“. In diesem Zusammenhang bestehen diverse rechtliche, technische und wirtschaftliche Fragen, die bislang noch offen sind.

³⁷ Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32111-0004.

³⁸ Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32111-06.

³⁹ Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32111-10.

⁴⁰ Hartmut Haeming (InwesD), Aktuelle Situation der Deponiekapazitäten – mögliche Einflussfaktoren auf die zukünftige Entwicklung, 35. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar, 2025.



Stoffströme schließen auf dem Weg zu einer Circular Economy

Die Rückgewinnung von Wertstoffen aus Abfallströmen gestaltet sich je nach Material und Prozess unterschiedlich anspruchsvoll. Dies betrifft sowohl die logistische Organisation der Sammlung als auch die Auswahl und Anwendung geeigneter technischer Verfahren sowie die anschließende Nutzung der gewonnenen Sekundärrohstoffe. Um Stoffkreisläufe zu schließen, werden bereits zahlreiche Anstrengungen unternommen, Hemmnisse zu senken sowie die Akzeptanz und Verfügbarkeit von Rezyklaten zu steigern. Dabei ist eine ganzheitliche Betrachtung erforderlich, die die physikalischen und chemischen Materialeigenschaften sowie die ökologischen, ökonomischen und regulatorischen Aspekte einbezieht.

1.5.1 Leichtverpackungen

Leichtverpackungen (LVP) spielen eine zentrale Rolle in unserem modernen Alltag und für die Kreislaufwirtschaft. Zu ihnen gehören Verpackungen aus Kunststoffen, Metallen oder Verbunden wie beispielsweise Getränkekartons. Sie schützen Produkte, verlängern deren Haltbarkeit und ermöglichen einen effizienten Transport. Besonders im Lebensmittelbereich tragen sie zur Hygiene und zur Reduzierung von Verschwendung bei. Neben der Schutzfunktion informieren sie über das verpackte Produkt sowie, immer häufiger, die korrekte Trennung und Entsorgung der Verpackung. Bei der Gestaltung von LVP spielen Aspekte wie die Anwenderfreundlichkeit, die Materialersparnis sowie die Recyclingfähigkeit eine Rolle.

Die im Kreislaufwirtschaftsgesetz und Verpackungsgesetz verankerte Produktverantwortung der Hersteller und Inverkehrbringer regelt das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die Verwertung von LVP. Hersteller und Inverkehrbringer müssen sich bei der Zentralen Stelle Verpackungsregister (ZSVR) registrieren. Zudem sind sie verpflichtet, ihre Verpackungen bei einem der zehn Duale Systeme zu lizenzieren und für die Verpackungen material- und verpackungsspezifische Lizenzgebühren zu zahlen. Die dualen Systeme gewährleisten deutschlandweit die Organisation der Sammlung, Sortierung und Verwertung der LVP. Die ZSVR überwacht die Mengenströme, die Einhaltung gesetzlicher Pflichten sowie die Einhaltung ökologischer Ziele, wie bspw. die Erfüllung der vorgeschriebenen Recyclingquoten.

Im Jahr 2023 wurden knapp 2,6 Millionen Tonnen LVP von privaten Endverbrauchern erfasst, was rund 2/3 der Gesamtmenge an LVP ausmacht⁴¹. Im Vergleich zum Vorjahr ist das ein leichter Rückgang, der mit der anhaltenden Rezession und der zurückhal-

Entwicklung des LVP-Verpackungsaufkommens (in Tausend Tonnen¹)

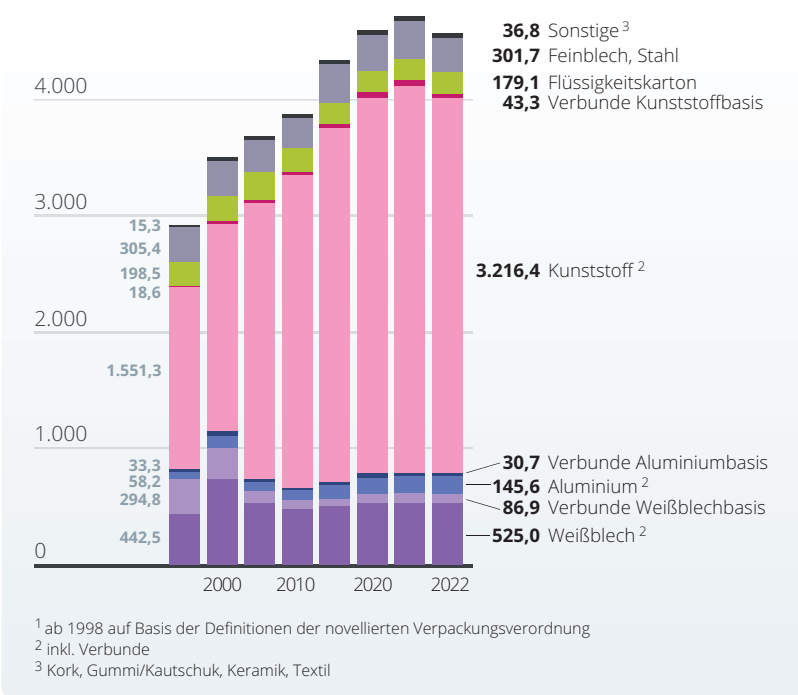


Abb. 22, Quelle: Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH

tenden Konsumstimmung begründet werden kann. Deutschland liegt damit weiterhin im europäischen Vergleich auf einem hohen Niveau. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das hohe Aufkommen einerseits auf die flächendeckende Erfassung der Materialien und andererseits auf das hohe Wohlstands- bzw. Konsumniveau zurückzuführen ist. Zu dem hohen Aufkommen tragen jedoch auch Fehlwürfe wie Restabfall bei, die etwa 30 % ausmachen.

Die Durchführung der Sammlung erfolgt durch von den dualen Systemen beauftragte öffentliche und private Entsorgungsunternehmen in enger Abstimmung mit den Kommunen. Gesammelt werden LVP

⁴¹ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Abfallwirtschaft/Tabellen/liste-systembeteiligungspflichtige-gesammelte-verpackungen.html#1407348>





Nick Fewings, Quelle: unsplash

⁴² <https://pure.unileoben.ac.at/de/publications/neue-wege-in-der-leichtverpackung-lvp-sortierung-innovative-ident>



⁴³ <https://www.muelltrennung-wirkt.de/de/ueber-uns/presse/presseartikel/zum-schutz-von-klima-und-ressourcen-duale-systeme-verwerten-55-millionen-tonnen-verpackungsabfaelle/>



überwiegend haushaltsnah im Holsystem in gelben Säcken und gelben Tonnen. In Bayern und Baden-Württemberg werden vereinzelt Wertstoffhöfe im Rahmen des Bringsystems genutzt. Daneben gibt es die Erfassung von Getränkeverpackungen mittels Pfandsystemen (PET, Aluminium und aufgrund der Pfandpflicht für Milchgetränke seit Anfang 2024 auch PS und HDPE) und die so genannten Branchenlösungen. Branchenlösungen nehmen die Sammlung von speziellen Stoffströmen in eigenen Systemen vor, wie bspw. Öldosen, die von der Gebinde-Verwertungsgesellschaft der Mineralölwirtschaft mbH (GVÖ) gemanagt werden.

Die Sortierung und Aufbereitung der LVP erfolgt in speziellen Sortieranlagen in mehrstufigen mechanischen und sensorbasierten Prozessen. Bundesweit stehen rund 40 Sortieranlagen für LVP zur Verfügung.⁴² Aus dem komplexen Stoffgemisch werden sortenreine Materialien und Stoffgruppen hergestellt. 2023 betrug die Recyclingquote 68,9%⁴³. Der Output wird in über 20 verschiedene Fraktionen unterteilt, teilweise sogar individuell für Abnehmer konfiguriert und europaweit gehandelt. Diese Leistung ist eine Grundvoraussetzung für ein hochwertiges Recycling.

Gleichzeitig erschwert die Komplexität und Heterogenität des Stoffgemisches die Detektion, Identifikation und mechanische Separation der Materialien, sodass einige Verpackungen nur thermisch verwertet werden können.

Ein Teil der Leichtverpackungsabfälle lässt sich nach der Sortierung und weiteren Aufbereitung zu hochwertigen Rezyklaten verarbeiten und erneut in den Wertstoffkreislauf integrieren. So entstehen aus Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) bspw. vielseitig einsetzbare Produkte für den Hoch- und Tiefbau – darunter Rohre, Schächte, Bühnen, Pfosten und Rasengittersteine. Aus PE- und PP-Granulaten entstehen Alltagsgegenstände wie Textmarker oder Verpackungen für Reinigungsmittel. Diese Produkte gelangen nach Gebrauch, Sammlung und Sortierung erneut in den Recyclingprozess und substituieren somit den Einsatz von fossilen, meist energieintensiveren Primärrohstoffen. Auch andere Kunststoffarten wie Polyethylenterephthalat (PET) und Polystyrol (PS) zeichnen sich durch eine gute Sortierbarkeit aus und werden zu hochwertigen Granulaten verarbeitet. Die Kunststoff-zu-Kunststoff-Recyclingfähigkeit eines jeden Kunststoffes ist jedoch auf wenige Wiederholungen begrenzt.

Im Verpackungsgesetz sind für Deutschland die Verwertungsquoten für die zu lizenzierenden Fraktionen festgelegt. Für Verpackungen aus Aluminium und Eisenmetall beträgt die stoffliche Verwertungsquote gemessen an der Lizenzmenge jeweils 90%, für Getränkekartonverpackungen 80% und für Verbundverpackungen 70%. Die erreichten Quoten lagen im Jahr 2023 jeweils bei 120,5%, 103,6%, 71,3% und 56,1%. Somit konnten die Quoten für Getränkekartons und Verbundverpackungen nicht erreicht werden. Quoten über 100% weisen darauf hin, dass

mehr Verpackungen verwertet als lizenziert wurden.⁴⁴ Gemäß § 21 VerpackG müssen Duale Systeme über die Lizenzentgelte Anreize für recyclingfähige und ökologische Verpackungen schaffen, was in der Praxis aufgrund des Kartellrechts jedoch zu Herausforderungen führt. Die ZSVR veröffentlicht jährlich Mindeststandards, für die Recyclingfähigkeit von Verpackungen.

Ab dem 12. August 2026 muss die neue europäische Verpackungsverordnung (Packaging and Packaging Waste Regulation – PPWR) in allen EU-Mitgliedsstaaten angewendet werden, die unter anderem umfangreiche Neuerungen zu Recyclingfähigkeit, Mindestzyklanteilen, Mehrwegquoten und Kennzeichnungspflichten mit sich bringt. Bis dahin gilt in Deutschland noch das VerpackG, das über eine Durchführungsverordnung angepasst werden muss. Gleichzeitig muss die aktive Mitarbeit der Verbraucherinnen und Verbraucher bei der getrennten Sammlung weiter verbessert werden. Die im März 2020 gestartete bundesweite Öffentlichkeitskampagne der dualen Systeme „Mülltrennung wirkt“⁴⁵ liefert einen wichtigen Beitrag für die öffentliche Aufklärung. Das Bundesumweltministerium hat im November 2025 einen Referentenentwurf für ein neues Verpackungsrecht-Durchführungsgesetz (VerpackDG) vorgestellt. Die Verabschiedung des VerpackDG ist für das zweite Quartal 2026 geplant und stellt die größte Reform des deutschen Verpackungsrechts seit 35 Jahren dar.

1.5.2 Glas

Altglas kann beliebig oft und nahezu ohne Qualitäts- und Reinheitsverluste recycelt werden. Voraussetzung dafür ist die richtige Sammlung und Vorsortierung. Dabei muss zwischen Behälterglas (bspw. Getränkeflaschen und Schraubgläser) und Flachglas (bspw. Scheiben für Gebäude und Fahrzeuge oder Photovoltaikmodule) unterschieden werden.

Recycling von Glas am Input in das letzte Recyclingverfahren (in %, seit 2020 vorgeschriebene Berechnungsmethode)

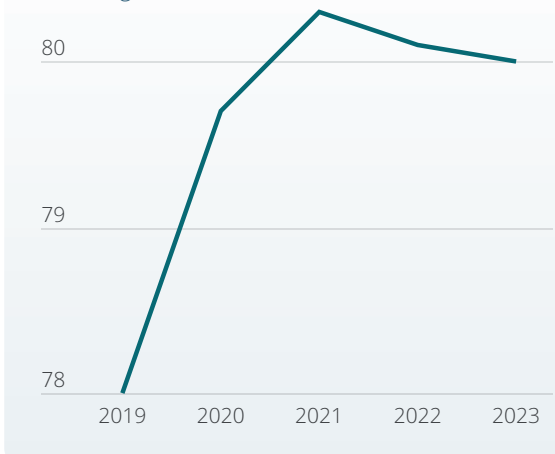


Abb. 23, Quelle: Umweltbundesamt, Verpackungsabfälle 2025

Kreislauf des Glasrecyclings

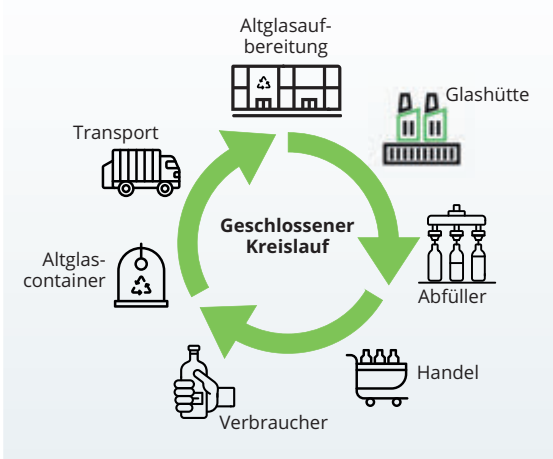


Abb. 24, Quelle: <https://www.glasaktuell.de/nachhaltigkeit/recycling/>

In der Behälterglasindustrie ist Recyclingglas bereits heute der wichtigste Rohstoff. Die in Deutschland hergestellten Flaschen und Gläser bestehen zu über 60 % aus „Alt“-Scherben, bei Grünglas liegt der Anteil sogar bei bis zu 90%.⁴⁶ In der Produktion eingesetzte Primärrohstoffe sind Sand, Soda, Kalk, Dolomit und Feldspat. Der Einsatz von Altglas reduziert deren Anteil und schont somit natürliche Ressourcen. Außerdem sinkt der Energieaufwand pro 10 % Altglaseinsatz um 3 % sowie der CO₂-Ausstoß um 7 %, da das Einschmelzen von Scherben eine geringere Schmelztemperatur erfordert als das von Primärrohstoffen.

Die bundesweite Sammlung von Behälterglas wurde bereits 1974 eingeführt. Heute organisieren die Dualen Systeme die Sammlung, Sortierung und Verwertung von gebrauchten Glasverpackungen. Dafür stehen rund 250.000 Altglascontainer⁴⁷ im Bringsystem und zum Teil auch im Holsystem zur Verfügung. Bei der Sammlung wird in die Farben weiß, grün und braun unterschieden, was Grundvoraussetzung für die erneute Produktion von farbechten Behältern in den Glashütten ist. Weißglas benötigt bei einer Altglasscherbenzugabe von 50 % eine Farbreinheit von 99,7 %, während Grünglas einen Fehlfarbenanteil von 15 % verträgt⁴⁸. Störstoffe wie Keramik, Steine und Porzellan, schwer ablösbare Etiketten sowie lackierte Flaschen oder Flaschen mit eingebauter LED-Beleuchtung erschweren und gefährden das Recycling.

Im Jahr 2023 wurden in Deutschland aus privaten Haushalten 1,92 Millionen Tonnen Behälterglas erfasst, was einem einwohnerspezifischen Wert von 23 Kilogramm entspricht (2021: 2,01 Millionen Tonnen, 24 Kilogramm pro Einwohner).⁴⁹ Damit bewegen sich die Sammelmengen auf einem konstanten Niveau. Im Vergleich zum Beginn der 90er Jahre zeigt sich nahezu eine Halbierung des erfassten Behälterglasaufkommens. Das liegt zum einen daran, dass die Glasflaschen heute im Durchschnitt rund 30 %

⁴⁴ <https://www.muelltrennung-wirkt.de/de/ueber-uns/presse/presseartikel/zum-schutz-von-klima-und-ressourcen-duale-systeme-verwerten-55-millionen-tonnen-verpackungsabfaelle/>



⁴⁵ <https://www.muelltrennung-wirkt.de/de/>



⁴⁶ Vetropack, Glas bleibt Glas, 2022. https://www.vetropack.com/fileadmin/doc/01_publications/04_Brochures/German/recycling_d_rz.pdf



⁴⁷ <https://www.glasaktuell.de/nachhaltigkeit/recycling/>



⁴⁸ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewahlter-abfallarten/glas-altglas#stoffliche-verwertung-von-behaeltermglaes>



⁴⁹ Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32121-0001.



Grünes Hohlglas, kommunale Sammlung, Quelle: Reiling

⁵⁰ Umweltbundesamt, Verpackungsabfälle, 2025

⁵¹ https://www.glasstec.de/Media_News/Presse/Pressematerial/Fachartikel/Fachartikel_Nr_4_Flachglas-Recycling



⁵² <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehler-abfallarten/glas-altglas#autoscheiben-werden-geschreddert>



leichter sind als noch vor 20 Jahren. Zum anderen hat sich der Nutzungszyklus von Behälterglas durch den Einsatz von Mehrwegsystemen teilweise verlängert und alternative Materialien (z. B. PET) haben zu einer Verlagerung beigetragen. Auch das Konsumverhalten hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Behälterglasindustrie. So führt ein abnehmender Alkoholkonsum, vor allem von Bier, zu einem Rückgang. Der Trend zur Abfüllung in Dosen statt in Glasflaschen führt ebenfalls zu einem geringeren Einsatz von Glas. Dies gilt vor allem für Grünglas, das für Bier- und Weinflaschen genutzt wird. Da generell weniger Behälterglas produziert und verkauft wird, sind auch die Sammel- und Wiedereinsatzmenge gesunken.

Gemäß EU-Verpackungsrichtlinie müssen bis zum 31. Dezember 2025 mindestens 70% der Glasverpackungen recycelt werden, bis zum 31. Dezember 2030 steigt die Quote auf 75% an. Diese Vorgabe wurde im Jahr 2022 von Deutschland mit 81,4% übertroffen.⁵⁰ Das deutsche VerpackG schreibt eine Quote von 90% vor, die nicht erreicht werden konnte. 200.000 Tonnen Altglas aus Verpackungen müsste zusätzlich getrennt gesammelt werden, um die Quote zu erreichen. Ein stärkeres Bewusstsein bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie mehr und attraktivere Standplätze für Glas-Sammelcontainer, beispielsweise direkt beim Handel, könnten zur Zielerreichung beitragen.

Flachglasabfälle aus Bau-, Renovierungs- und Abbruchtätigkeiten werden über private Entsorger gesammelt und nicht statistisch erfasst. Für die Glashütten sind diese Abfallströme relevante Rohstoffquellen, vor-

ausgesetzt, sie werden störstofffrei gesammelt und aufbereitet. Denn die Qualitätsanforderungen an saubere und farbreine Scherben sind in der Flachglasproduktion um ein Vielfaches höher als für das Behälterglas, da Flachglas im kontinuierlichen Floatverfahren produziert wird und Qualitätsmängel zu hohen Ausfallkosten führen. Niedrigere Scherbenqualitäten kommen in der Behälterglasindustrie sowie zur Herstellung von Dämmwolle oder Schaumglas zum Einsatz. Es bestehen beim Flachglas vor allem Potenziale, die Erfassung und das Recycling aus dem Baubereich auszuweiten und dann den Einsatz von Scherben in der Produktion zu erhöhen. Gegenwärtig werden nur ca. 20% des Flachglases in das Floatverfahren zurückgeführt.⁵¹

Die Glasindustrie steht aktuell vor der Herausforderung der fehlenden Absatzmärkte für Grünglasscherben, hohen Energiekosten, einer zunehmenden Konkurrenz günstigerer Hersteller aus dem Ausland sowie alternativer Packmittel (bspw. Dosen). Dies hat in den vergangenen Jahren in Deutschland zur Schließung von Glaswannen sowohl für Behälter- als auch für Flachglas geführt.

Potentiale für zusätzliche Stoffströme liegen in der Verwertung von ausgedienten Solarmodulen sowie rückgebauten Autoglasscheiben. Es gibt die Überlegung zu einer Rückbauverpflichtung im Autorecycling. Trotz verpflichtender Demontage werden aufgrund von Ausnahmen nur rund 7% (rund 780 Tonnen, Wert aus 2022)⁵² der Scheiben demontriert. Die verbleibenden Scheiben werden mit dem Fahrzeug geschreddert und im Stahlrecycling als Schlacke ausgetragen. Die Nachfrage nach Scherben könnte insbesondere durch das Anziehen der Baukonjunktur in Deutschland und Europa, unter anderem auch durch die Reparatur und den Wiederaufbau von Kriegsschäden, steigen.

1.5.3 Papier, Pappe, Kartonagen

Das Recycling von Papier, Pappe und Kartonagen (PPK) bildet seit den 80er Jahren die Grundlage für die Rohstoffversorgung in der Produktion neuer PPK-Produkte. Altpapier ist seit langem der mengenmäßig wichtigste Rohstoff. Unterschieden wird bei PPK-Produkten in vier Gruppen: Verpackungspapiere, Grafische Papiere (z. B. Zeitungen, Druckerpapier), Hygienepapiere (z. B. Toilettenpapier) und Spezialpapiere (z. B. Teebeutel, technische Filterpapiere, Banknoten).

In Deutschland wurden im Jahr 2024 insgesamt rund 12,4 Millionen Tonnen PPK über Altpapiercontainer, Tonnen, Bündelsammlung oder Recyclinghöfe im Bring- und Holsystem über öffentliche und gewerbliche Sammler erfasst. Im Vergleich zu 2023 (12,6 Millionen Tonnen) ist das ein Rückgang von 1,4%. Der Altpapierverbrauch für die Produktion von PPK lag

2024 bei 16 Millionen Tonnen (15,5 Millionen Tonnen in 2023), was einer Altpapiereinsatzquote von 84 % entspricht (v1990 lag die Quote bei 49 %).⁵³

Im Vergleich zu den 80er Jahren hat sich die Nutzung von PPK aufgrund von gesellschaftlichen Trends stark verändert. Der PPK-Anteil aus der haushaltsnahen Sammlung betrug im Jahr 2023 insgesamt rund 4,7 Millionen Tonnen, durchschnittlich 56 Kilogramm je Einwohner.⁵⁴ Das spezifische Aufkommen aus Haushalten ist im Vergleich zu 2020 um 10 Kilogramm je Einwohner zurückgegangen. Grund dafür sind die weiter voranschreitende Digitalisierung, wodurch vor allem die Mengen an grafischen Papieren zurückgeht, sowie der starke Versandhandel, der zu wachsenden Mengen von Pappen und Kartonaugen führt, die im Vergleich zu grafischen Papieren eine geringere Dichte und somit ein geringeres Gewicht bei größerem Volumen aufweisen. Zunehmend kommen neue Verpackungsmaterialien auf den Markt, die Auswirkungen auf die Sammelqualität des Altpapiers haben. Vor allem Verbundverpackungen, nassfeste Papiere und selbstklebende Etiketten erschweren das Recycling. Alternative Fasern aus Kürbis bis Gras oder Baumwolle stören den Prozess eher weniger, da sie bisher nur in geringen Mengen eingesetzt werden.

Die Altpapieraufbereiter und -aufbereiter stellen die erforderlichen Altpapierqualitäten sicher, teilweise unter Einsatz moderner Sortieranlagen. Altpapier lässt sich mehrfach zur Produktion von neuem Papier und neuer Pappe verwenden, jedoch im Gegensatz zu Glas oder Stahl nicht beliebig oft. Auf Grund der sich bei jedem Recyclingprozess verkürzenden Papierfaser ist eine Wiederverwendung maximal nur bis zu ca. sieben Mal möglich. Auch Behandlungsschritte wie das Schreddern von Papier, was eine besonders hohe Datensicherheit gewährleistet, beeinträchtigen die Faserlänge und die Möglichkeiten



Altpapiersortieranlage, Quelle: Römbke AVG Köln

Papierverbrauch nach Produktgruppen (in Mio. t)

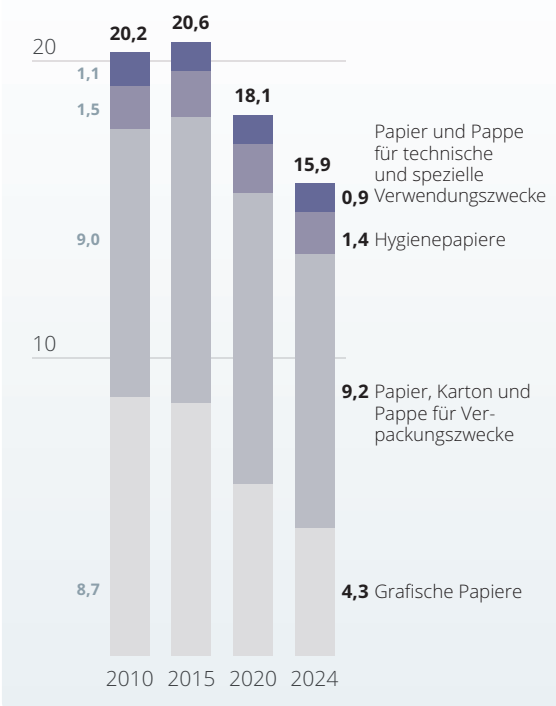


Abb. 25, Quelle: DIE PAPIERINDUSTRIE e.V.

des anschließenden Recyclings. In Europa werden die Fasern durchschnittlich vier Mal wiederverwendet. Ausgeschleuste Fasern sowie Reststoffe (Kunststoffanteil von Verpackungen) gehen in die energetische Verwertung.

Der deutsche Altpapiermarkt hat sich von einem Export- zu einem Importmarkt verändert. Im Zeitraum 2000 - 2024 hat der Import von Altpapier um knapp 300 % zugenommen, während der Export um knapp 60 % zurückging. Im Jahr 2024 hatte Deutschland einen Netto-Importüberschuss von 3,7 Millionen Tonnen Altpapier (5,4 Millionen Tonnen Import, 1,7 Millionen Tonnen Export), ein Plus von 26,5 % zum Vorjahr. Das zeigt, dass die Binnenmarktsammlung den Bedarf der Papierfabriken nicht decken kann. Mit seinen modernen Papierproduktionsstandorten und deren weiterem Ausbau in den letzten Jahren zählt Deutschland weltweit zu den bedeutendsten Abnahmemärkten für Altpapier. Im europäischen Vergleich liegt Deutschland mit einer Rücklaufquote von 78 % (Jahr 2024) gut im Europäischen Vergleich (durchschnittliche Rücklaufquote: 75,1 %).⁵⁵

Die Möglichkeiten des Altpapiereinsatzes sind bei den bestehenden Papierfabriken und dem Produktionsspektrum weitestgehend ausgereizt. Die Auslastung der Anlagen liegt aktuell jedoch nur bei 70 - 80 %, was auf die geringe allgemeine Nachfrage zurückzuführen ist. Dies führt dazu, dass auch die Sammler und Aufbereiter von PPK geringere Mengen absetzen können. Der Absatz für PPK verzeichnete im Inland einen Rückgang um 0,7 %, während er im Ausland um 4,4 % anstieg.

⁵³ https://www.papierindustrie.de/fileadmin/0002-PAPIERINDUSTRIE/07_Dateien/XX-LB/PAPIER_2025_Leistungsbericht_digital.pdf



⁵⁴ Statistisches Bundesamt, Genesis – Tabelle 32121-0001.

⁵⁵ <https://www.bvse.de/papier-recycling-2/recyclingquote.html>



1.5.4 Kunststoffe

Kunststoffe sind aus unserem Leben kaum noch wegzudenken. Als Verpackungsmaterialien schützen sie Industrie- und Konsumgüter. In der Automobilindustrie tragen Kunststoffbauteile zur Gewichtsreduktion bei und ermöglichen komplexe Designs, die die Fahrzeugsicherheit verbessern. Im Bauwesen kommen witterungsbeständige Kunststoffe in langlebigen Produkten wie Fensterprofilen, Rohrleitungen und Wärmedämmungen zum Einsatz. In Elektro- und Elektronikgeräten sorgen Kunststoffe für schlagfeste, isolierende Gehäuse. Die Medizin nutzt Kunststoffe in sterilen Einwegprodukten, Implantaten und diagnostischen Geräten. Zum Beispiel in der Windenergie spielen auf Kunststoffbasis eine tragende Rolle, da sie leicht, stabil und korrosionsbeständig sind – ideal für den Einsatz unter extremen Bedingungen.

Hochentwickelte Kunststoffbranche steht vor großen Herausforderungen

Die Kunststoffindustrie inklusive der stofflichen und energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen ist technologisch auf einem hohen Niveau und stellt einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor dar. Gleichzeitig ist die Branche mit Herausforderungen wie hohen Energiepreisen, rechtlichen Unsicherheiten, einer schwachen Konjunktur sowie günstigen Importen aus dem Ausland konfrontiert. Die Kunststoffproduktion ist in Europa infolgedessen in den Jahren 2018 bis 2022 um knapp über 13 % zurückgegangen, während der Verbrauch an Kunststoffen weiter steigt. Auch das Kunststoffrecycling steht unter Druck und hat in Europa seit 2023 rund eine Million Tonnen Recyclingkapazität durch Werksschließungen verloren.⁵⁶

In Deutschland wurden im Jahr 2023 rund 8,8 Millionen Tonnen Kunststoffe basierend auf fossilen Rohstoffen erzeugt – ein Rückgang von knapp 18 % im Vergleich zu 2021. Dies ist auf einen Rückgang der Nachfrage, eine Verlagerung von Produktionskapazitäten ins Ausland sowie rückläufigen Exportmengen zurückzuführen. Zusätzlich wurden insgesamt knapp über 2 Millionen Tonnen Rezyklat aus Post-Consumer- (82 %) und Post-Industrial-Mengen (18 %) hergestellt. Von den recycelten Post-Consumer-Mengen machen Verpackungen mit rund 81 % den größten Anteil aus. An zweiter Stelle stehen Bauabfälle mit knapp über 6 %. Insgesamt wurden 2023 11,4 Millionen Tonnen Kunststoffe in Deutschland produziert und verarbeitet, ein Rückgang von gut 11 % im Vergleich zu 2021.⁵⁷

Die Menge an gesammelten Kunststoffabfällen betrug im Jahr 2023 5,91 Millionen Tonnen, was ein spezifisches Aufkommen von 70 Kilogramm pro Einwohner bedeutet. Die Verwertungsquote lag bei mehr als 99 %: knapp 38 % wurden stofflich (überwiegend mechanisch) und mehr als 61 % energetisch verwertet.⁵⁸

Im Hinblick auf den internationalen Handel bringt die Novelle der EU-Abfallverbringungsverordnung, die ab Mai 2026 Anwendung findet, eine Reihe von Herausforderungen für die Altpapierwirtschaft mit sich. Sie reglementiert den Export von nicht-gefährlichen Abfällen wie Altpapier in Nicht-OECD-Länder, was zu einem Überschuss an Altpapier in Europa und in der Folge zu niedrigen Preisen und unwirtschaftlichem Recycling führen könnte. Der Export von Altpapier an Papierproduzenten außerhalb Europas, vor allem nach Asien, hat eine stabilisierende Wirkung auf den Markt. Zudem fallen neue Nachverfolgungs- und Dokumentationspflichten an, die den bürokratischen Aufwand erhöhen könnten.

Eine Harmonisierung des Rechtsstatus könnte den Handel stärken und vereinfachen. In einigen Ländern (z. B. Spanien, Italien) kann Altpapier unter bestimmten Bedingungen den Abfallstatus verlieren („Ende der Abfalleigenschaft“), was Exporte erleichtert. Eine EU-weite Harmonisierung fehlt jedoch noch. Auch in Deutschland bestehen Unterschiede bei der Auslegung und Anwendung des Bundesrechts. So ist es in Bayern, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen möglich, dass aufbereitetes Altpapier als Produkt und nicht mehr als Abfall eingestuft wird.

Altpapier ist ein werthaltiger Abfall, durch dessen Sammlung, Aufbereitung und Verwendung CO₂ und Energie eingespart sowie Ressourcen geschont werden. Zudem stellt es einen unverzichtbaren Baustein der deutschen Kreislaufwirtschaft dar.

⁵⁶ <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/kunststoffbranche-schlaegt-alarm-und-warnt-eu-kommission-vor-tiefgreifendem-strukturbruch-040925/>



⁵⁷ <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/kurzfasung-stoffstrombild-2023.pdf>



⁵⁸ Neue Berechnungsmethode auf Basis des EU-Durchführungsbeschlusses 2019/665 im Verpackungsbereich.

Kunststoffaufkommen nach Herkunftsbereichen (in Tsd. t)

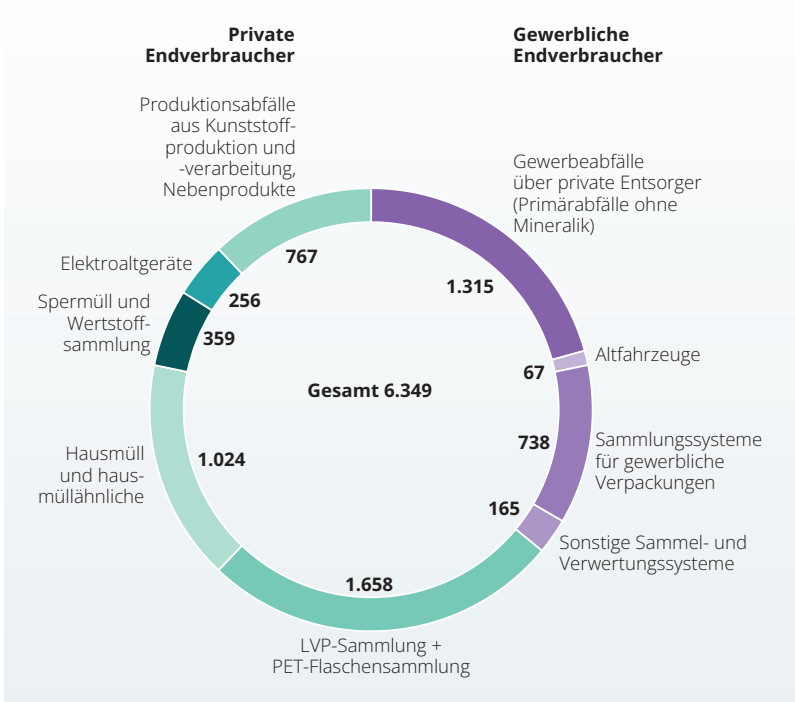


Abb. 26, Quelle: Conversio Market & Strategy GmbH: Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2023 - Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen, November 2024



Aufbereitung von HDPE-Abfällen aus Haushalten, Industrie und Gewerbe, Quelle: Veolia

Die Altkunststoffexporte hatten 2023 einen historischen Tiefstand erreicht und stiegen im Jahr 2024 wieder an. Im ersten Halbjahr 2025 löste die Türkei (14 %) Malaysia (13 %) als wichtigsten Abnehmer deutscher Kunststoffabfälle ab. Das wichtigste europäische Abnehmerland, welches ebenfalls als Transitland fungiert, sind die Niederlande (12 %), gefolgt von Polen (8 %). Bei den Ein- und Ausfuhren machte Polyethylen (PE) den größten Anteil aus.

Für grundlegende Veränderungen wird die EU-Abfallverbringungsverordnung sorgen, die ab dem 21. Mai 2026 Wirkung entfaltet. Abfälle dürfen dann nur noch mit vorheriger Benachrichtigung und Zustimmung exportiert werden. Exporte in Nicht-OECD-Länder sind ab dem 21. November 2026 komplett verboten. Diese Maßnahmen sind Teil der EU-Strategie zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und zur Reduzierung von Umweltbelastungen durch Kunststoffabfälle.⁵⁹

Hochwertiges Kunststoffrecycling erfordert sortenreine Erfassung und modernste Technologien

Eine zentrale Voraussetzung für effizientes und hochwertiges Kunststoffrecycling ist die sortenreine und saubere Trennung der Kunststofffraktionen an der Anfallstelle. Je stärker unterschiedliche Kunststoffarten vermischt oder durch Fremdstoffe verunreinigt sind, desto geringer ist die Eignung des Gemisches für ein werkstoffliches Recycling. Die Sammlung erfolgt über verschiedene Systeme wie Pfandlösungen für PET-Flaschen, die LVP-Sammlung sowie branchenspezifische Rücknahmesysteme, etwa die

Fenster-Recycling-Initiative Rewindo⁶⁰ oder das Rücknahmekonzept für Erntekunststoffe ERDE⁶¹ (Initiative Erntekunststoffe Recycling Deutschland). Nach der Erfassung werden die Kunststoffe von Störstoffen befreit. Die anschließende Sortierung und Aufbereitung erfolgt weitgehend automatisiert. Sensorbasierte Technologien wie Nahinfrarotspektroskopie (NIR) und Hyperspectral Imaging (HSI) ermöglichen eine präzise Identifikation von Kunststofftypen, Farben und Größen – auch bei dunklen Materialien. Ergänzt werden diese Systeme zunehmend durch KI-gestützte Verfahren, die Sortierprozesse optimieren und die Qualität der Rezyklate erhöhen. Aktuelle Entwicklungen zeigen, dass die Digitalisierung und künstliche Intelligenz eine Schlüsselrolle für die Zukunft des Recyclings spielen. Neue Systeme ermöglichen eine Echtzeitüberwachung und datenbasierte Prozesssteuerung. Die Kombination aus intelligenter Erfassung, automatisierter Sortierung und digitaler Prozessoptimierung ist entscheidend, um die ambitionierten Recyclingziele der EU zu erreichen und die Qualität von Rezyklaten zu sichern. Hierzu sind weitere Investitionen notwendig, die angesichts der aktuellen Marktlage kaum getätigt werden.

Vielfältige Einsatzmöglichkeiten für die Rezyklate

Die Verarbeitung von Rezyklat einschließlich Wiederverwendung von Nebenprodukten erfolgte 2023 insbesondere in den Bereichen Bau (37 %), Verpackungen (29,6 %) und Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwirtschaft (11,1 %).⁶² Das werkstoffliche Recycling von Kunststoffabfällen ist anderen Verwertungswegen immer dann überlegen, wenn dabei Material-

⁵⁹ <https://www.euwid-recycling.de/news/maerkte/belebter-aussenhandel-mit-altkunststoff-fen-im-ersten-halbjahr-020925/>



⁶⁰ <https://rewindo.de/>



⁶¹ <https://www.erde-recycling.de/>



⁶² <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/kurzfasung-stoffstrombild-2023.pdf>





PET-Ballenlager, Quelle: Reiling

qualitäten erzeugt werden, die Neuware substituieren können. Gleichzeitig gibt es das sogenannte Downcycling, bei dem Kunststoffe in vermeintlich minderwertigen Produkten wie Parkbänken oder Bakenfüßen eingesetzt werden. Dabei wird oft verkannt, dass Kunststoffe diese Produkte mitunter langlebiger, widerstandsfähiger und leichter machen und zudem andere Primärmaterialien substituieren. Der Bedarf an Kunststoffrecyklaten wächst, vor allem aufgrund der neuen gesetzlichen Vorgaben der EU im Rahmen der PPWR und der End-of-Life Vehicles (ELV) Richtlinie. Es wird prognostiziert, dass der Bedarf an Rezyklaten das Angebot in Deutschland und Europa bis 2030 um 30 % übersteigen wird.⁶³ Neue Verfahren wie das chemische Recycling, deren Ziel die Rückgewinnung der chemischen Grundbausteine oder Basischemikalien zur Herstellung von Kunststoffen ist, werden aktuell als mögliche Lösung diskutiert, allerdings weichen die Einschätzungen hier stark voneinander ab. Im Jahr 2023 hatte das chemische Recycling in Deutschland einen Anteil an der stofflichen Verwertung von 0,2 %.⁶⁴

Ab dem 12. August 2026 muss die PPWR in allen EU-Mitgliedsstaaten angewendet werden. Bis dahin gilt in Deutschland noch das VerpackG. Zu den wichtigsten Neuerungen der PPWR zählen neue Standards zur Recyclingfähigkeit, Mindestrezyklatanteilen, Mehrwegquoten und Kennzeichnungspflichten. Die Branche erhofft sich durch die Umsetzung und die neuen gesetzlichen Vorgaben eine steigende Nachfrage nach recycelten Kunststoffen und eine Stabilisierung des Marktes. Aufgrund von günstigeren Kunststoffimporten ist das Recycling in den letzten zwei Jahren immer mehr in ökonomische Schieflage geraten, was zu einer Reihe von Anlagenschließungen und einer damit verbundenen Verringerung von

Kapazitäten geführt hat. Um die ambitionierten Vorgaben aus der PPWR zu erreichen, ist neben dem Öko-Design von Produkten und einer verbesserten Sortiertechnik vor allem die sortenreine Erfassung der Kunststoffabfälle an der Anfallstelle wichtig. Zudem sollte die Wirtschaftlichkeit der Verwertungskette analysiert werden, um Optimierungspotenziale zu identifizieren.

Die ELV-Richtlinie wird voraussichtlich ebenfalls zu einer steigenden Nachfrage nach hochwertigen Rezyklaten führen, da sie verbindliche Rezyklateinsatzquoten vorsieht. Im Trilog zur EU-Altfahrzeugverordnung ist eine schrittweise Erhöhung der Rezyklatquote in Kunststoffen von Neufahrzeugen vorgesehen (zunächst 15 %, später 25 %). Ergänzend soll eine Closed-Loop-Vorgabe von 20 % sicherstellen, dass ein Teil der Rezyklate aus dem Recycling von Altfahrzeugen stammt.

Eine wichtige Rolle bei der Steigerung der Nachfrage und Produktion zirkulärer Produkte und Kunststoffrecyklaten spielt besonders der öffentliche Beschaffungsmarkt, der durch eine stärkere Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Vergabe – auch bekannt als „Green Public Procurement“ – Anreize setzen könnte.

EU-Gesetzgebung zielt auf mehr Kreislaufwirtschaft bei Kunststoffen

Die EU-Gesetzgebung gewinnt immer mehr an Bedeutung in den Mitgliedsstaaten. Grundlage bilden die im Januar 2018 vorgelegte „EU-Strategie für Kunststoffe in einer Kreislaufwirtschaft“⁶⁵ mit dem Ziel, ab 2030 unter anderem die Recyclingfähigkeit aller Kunststoffverpackungen zu gewährleisten, sowie der 2019 vorgestellte Green Deal, das zentrale strategische Rahmenwerk der EU für eine nachhaltige und klimaneutrale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft. Letzterer hat Anfang 2025 durch den Clean Industrial Deal eine strategische Kurskorrektur erhalten, in dem ein größerer Fokus auf die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit gelegt wird.

Der Clean Industrial Deal umfasst einen detaillierten Fahrplan, der neben der Gesetzgebung zum Klimaschutz auch eine neue EU-Industriestrategie, einen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft und eine Strategie für nachhaltige Produkte mit Fokus auf die Textil-, Bau-, Elektronik- und Kunststoffsektoren vorsieht. Der für 2026 geplante Circular Economy Act konkretisiert die im Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft angekündigten Maßnahmen und hat das Ziel diese in EU-Recht zu überführen. Zu seinen Inhalten zählen die Schaffung eines Binnenmarktes für Sekundärmaterialien, eine Vereinheitlichung von Standards für Recycling und Produktdesign, eine Integration bestehender Regelungen wie der Abfallrahmenrichtlinie und die Förderung der Defossilisierung durch zirkuläre Prozesse.

⁶³ <https://www.bkv-gmbh.de/files/bkv/studien/250213%20Kurzfassung%20Marktprognose%20Rezyklatverf%C3%BCbarkeit.pdf>



⁶⁴ <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/kurzfasung-stoffstrombild-2023.pdf>



⁶⁵ European Commission, A European Strategy for Plastics in a Circular Economy (16.01.2018); <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2018:28:FIN>



In Europa fallen pro Jahr mehr als 50 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle an, wovon mehr als ein Drittel Verpackungsabfälle sind.⁶⁶

Ein weiterhin wichtiges Ziel der EU welches mit der SUPD adressiert wird, ist die Bekämpfung von Umweltbelastungen durch Kunststoffe in Böden, Flüssen und Meeren. Auf Ebene der Vereinten Nationen fand 2025 die sechste Verhandlungsrunde für ein UN-Plastikabkommen statt, das jedoch ergebnislos blieb.

1.5.5 Fe-Metalle

Eisen und die daraus hergestellten Stahl- und Gusserzeugnisse bilden eine wichtige Basis für eine hochtechnologisierte Industriegesellschaft und haben einen wachsenden Stellenwert für die wirtschaftliche Entwicklung. Die Reduzierung der Importabhängigkeit von Eisenerz aus Drittländern sowie die CO₂-Vermeidung und Schonung von Ressourcen liefern starke Anreize, den Einsatz von Schrott in der Stahlproduktion zu erhöhen und so die Abhängigkeiten auch im gesamtwirtschaftlichen Interesse zu verringern. Das Recycling von Metallschrotten ist im Vergleich zur Gewinnung und Verwendung von Primärrohstoffen sowohl wirtschaftlicher als auch umweltfreundlicher. Metallschrotte sind beliebig oft und nahezu ohne Qualitätsverluste wieder einsetzbar. Primärrohstoffe werden geschont, der Energieaufwand für den Abbau und die Aufbereitung entfällt und die damit verbundenen CO₂-Emissionen werden vermieden. Durch den Einsatz einer Tonne (Kohlenstoff-) Stahlschrott werden 1,67 Tonnen CO₂ bei der Rohstahlproduktion eingespart.⁶⁷

Schrottanfall und -sammlung

Die Rohstahlproduktion in Deutschland lag im Jahr 2024 bei 37 Millionen Tonnen und damit erneut unter dem Durchschnitt von rund 40 Millionen Tonnen pro Jahr.⁶⁸ Der durchschnittliche Stahlschrotteinsatz lag in diesem Zeitraum bei rund 17 Millionen Tonnen und ist damit in den letzten Jahren angestiegen.⁶⁹ Dies entspricht einer Einsatzquote von rund 46%. Insgesamt erzeugte Deutschland 28,7% (37,2 Millionen Tonnen) der europäischen Stahlproduktion, gefolgt von Italien (15,4%) und Spanien (9,1%).⁷⁰

Eisen- und Stahlschrott wird in Eigen-, Neu- und Altschrott unterschieden:

- ▶ Eigenschrotte sind in der Regel Kreislaufmaterialien, die in den Stahlwerken anfallen und dort durch Einschmelzen in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden.
- ▶ Produktionsabfälle in der Industrie, die beispielsweise beim Zuschnitt und Stanzen anfallen, werden als sogenannter Neuschrott wieder eingeschmolzen.

- ▶ Darüber hinaus fallen große Mengen an sogenanntem Altschrott an, der sich aus nicht mehr genutzten Verbrauchsgütern (Konsumgüter-schrott) und Industriegütern sowie Bauschrott zusammensetzt. Nach Sortierung und Aufbereitung wird dieser wieder dem Rohstoffkreislauf zugeführt.

Weltweit haben sich zwei Verfahren zur Stahlerzeugung durchgesetzt. Dabei ist das jeweilige Verfahren entscheidend für die mögliche Einsatzquote von Stahlschrott: Bei dem Oxygenstahlverfahren wird der Rohstahl im Konverter aus einer Mischung von Roheisen und einem etwa 10%igen bis maximal 28%igen Schrottzuschlag erzeugt. Das Elektro Stahlverfahren kann zur Erzeugung von Rohstahl bis zu 100% Stahlschrott einsetzen.

In den letzten Jahren wurden jährlich etwa 7,0 bis 8,0 Millionen Tonnen Stahlschrott exportiert, dem stand eine jährliche Importmenge von etwa 3,5 bis 4 Millionen Tonnen gegenüber.⁷¹ Das jährliche Delta von knapp 4 Millionen Tonnen zwischen Export und Import kann darauf zurückgeführt werden, dass in Deutschland die Nachfrage von Stahlschrott durch den überwiegenden Anteil des Oxygenstahlverfahrens (Marktanteil rund 70%) begrenzt ist und die Stahlschrottmengen vermehrt durch Länder nachgefragt werden, die überwiegend das Elektro Stahlverfahren einsetzen.

Ein neues Verfahren, das aufgrund der Transformation der Stahlindustrie hin zu einer klimaneutralen Produktion entwickelt und von den Stahlproduzenten in Deutschland eingeführt wird, ist das wasserstoff- oder erdgasbasierte Direktreduktionsverfahren. Aus dem Primärrohstoff Eisenerz wird Eisenschwamm (Direct Reduced Iron (DRI) bzw. Hot Briquetted Iron (HBI)) erzeugt. Dieser wird anschließend im Elektrolichtbogenofen bzw. alternativen Schmelzaggregaten zusammen mit Schrott oder anderen Eisenträgern zu Rohstahl erschmolzen.⁷² Die Verfahren zur Stahlherstellung sollen neben geringeren Auswirkungen auf die Umwelt den technologischen Fortschritt fördern und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Stahl-

Anteil von Sekundärrohstoffen bei der Produktion von Aluminium, Blei und Kupfer

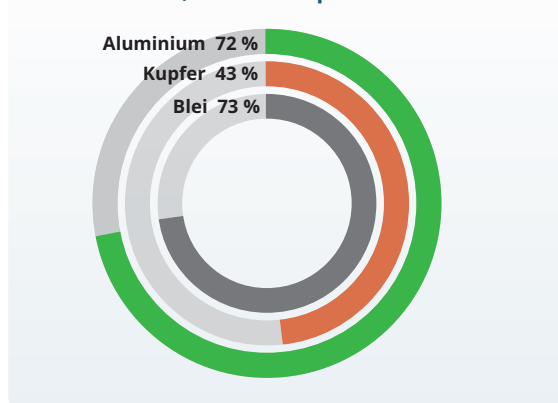


Abb. 27, Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Deutschland - Rohstoffsituation 2023

⁶⁶ <https://www.statista.com/topics/5141/plastic-waste-in-europe/#topicOverview>



⁶⁷ Fraunhofer Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen (IMW) im Auftrag des BDSV: Schrottbonus - Externe Kosten und fairer Wettbewerb in den globalen Wertschöpfungsketten der Stahlherstellung, 2020.

⁶⁸ Wirtschaftsvereinigung Stahl, Daten und Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland, <https://www.wstahl.de/stahl-in-zahlen/>



⁶⁹ Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen (BDSV), Deutsche Stahlrecyclingbilanz 1980 bis 2024, 2025.

⁷⁰ Eurofer, Steel production in figures 2025, Eurofer, Steel production in figures 2025, https://www.eurofer.eu/assets/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2025/European-Steel-in-Figures-2025_23062025.pdf



⁷¹ Wirtschaftsvereinigung Stahl, Statistischer Bericht – Stahlschrott 2024, https://www.wstahl.de/wp-content/uploads/2024/0114_Stahlschrott_Bericht_NEU.pdf



⁷² <https://www.bvse.de/schrott-elektronikgeraete-recycling/pressemitteilungen-schrott/7459-gruener-stahl-braucht-hochwertigeren-schrott.html>



und Stahlrecyclingindustrie sichern. Ein zentraler Aspekt dabei ist der Einsatz von umweltfreundlichem Stahlschrott.

Aufbereitung

Die Sammlung und Aufbereitung des Stahlschrotts erfolgt durch eine Vielzahl von mittelständisch geprägten Unternehmen, die über die erforderlichen Schrottaufbereitungsanlagen verfügen. Entsprechend den Anforderungen der Abnehmer in der Stahl- und Gießereindustrie wird der Stahlschrott sortiert, zerkleinert, klassifiziert und konfektioniert.

Sortenreiner, großstückiger Schrott wird durch Scheren, Pressen oder Brenner chargierfähig gemacht und kann direkt wieder in Stahlwerken und Gießereien eingesetzt werden. Konsumgüterschrott, der in der Regel aus komplexen Materialverbänden besteht, muss über einen technisch aufwändigeren Schredderprozess in seine einzelnen Bestandteile zerlegt werden, um die definierten Qualitätsanforderungen der Abnehmer zu erfüllen. Die Schrottaufbereitung und -verwertung unterliegt in Deutschland strengen gesetzlichen Anforderungen und wird daher von zertifizierten Fachbetrieben durchgeführt. Der in Deutschland aufbereitete Stahlschrott, der nicht in den Export geht, wird in den 25 in Deutschland aktiven integrierten Hütten- und Stahlwerken⁷³ eingeschmolzen, gegossen und gewalzt sowie in Gießereien als Grundlage für neue Produkte und Erzeugnisse genutzt.

Die sortenreine Trennung zur Sicherstellung einer hochwertigen Verwertung und die Aussortierung von unerwünschten Begleitstoffen ist wichtige Voraussetzung, um die Qualitätsanforderungen der Abnehmerindustrien zu erfüllen.

Herausforderungen der Branche

Aktuell steht die deutsche Stahlindustrie vor großen Herausforderungen: Die Transformation hin zu einer klimaneutraleren Produktion in Deutschland mittels DRI-Verfahren erfordert umfangreiche Umstrukturierungen und hohe Investitionen in die Anlagen. Gleichzeitig sind einige Rahmenbedingungen noch unklar, u. a. die zukünftig zu erwartende Qualität des erzeugten Rohstahls, die Einsatzmöglichkeiten von Stahlschrotten und die erzeugten Abfallprodukte.

Die neuen Zollbestimmungen in den USA führen zu einem zunehmenden Konkurrenzdruck u. a. von China auf dem europäischen Markt und zu einem Rückgang der erzielbaren Rohstahlpreise. Kombiniert mit weiter steigenden Energiekosten verliert die Stahlproduktion in Deutschland an Attraktivität.

Die neue EU-Abfallverbringungsverordnung (Verordnung (EU) 2024/1157) ist am 20. Mai 2024 in Kraft getreten. Ihre wesentlichen Bestimmungen, darunter die Digitalisierung des Notifizierungsverfahrens und neue Exportvorgaben, gelten ab dem 21. Mai 2026. Aktuelle Diskussionen drehen sich u. a. um die möglichen Beschränkungen des Zugangs von Sekundärrohstoffen zu den internationalen Märkten. Das Ziel einer internationalen Kreislaufwirtschaft könnte aufgrund der aufwendigen Audit- bzw. Notifizierungsverfahren für Sekundärrohstoffe erschwert werden, was den Einsatz von Primärrohstoffen in Drittländern statt zu reduzieren eher fördern könnte. Die tatsächlichen Auswirkungen auf die Recyclingwirtschaft sowie den weltweiten Handel und den Export von Sekundärrohstoffen sind aktuell jedoch schwer absehbar.

⁷³ Wirtschaftsvereinigung Stahl, Daten und Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland, https://www.wvstahl.de/wp-content/uploads/WV-Stahl_Daten-und-Fakten-2024_RZ-Web.pdf



Stahlproduktion und Schrottverbrauch in Deutschland (in Mio. t)

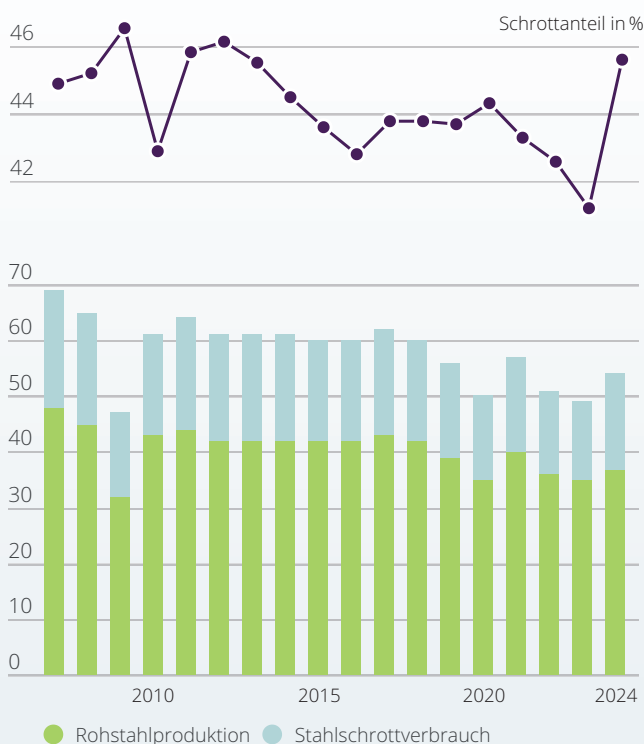


Abb. 28, Quelle: Bundesvereinigung deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V., Deutsche Stahlrecyclingbilanz 1980 bis 2024, 2025 (eigene Darstellung)

1.5.6 NE-Metalle

Als Nichteisen-Metalle werden alle Metalle außer Eisen bezeichnet. Zu ihnen gehören Aluminium, Magnesium, Kupfer, Titan, Blei, Gold und Silber. Sie spielen eine zentrale Rolle für moderne Schlüsselindustrien – von der Elektronik, Automobiltechnik, Solar- und Windkrafttechnik bis zur Luft- und Raumfahrt. Gesellschaften und Industrien sind weltweit auf diese Metalle angewiesen, da sie essenzielle Bausteine des technologischen Fortschritts sind. Und der Bedarf steigt, da insbesondere der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Elektromobilität von ihnen abhängt. Die verarbeitende Industrie benötigt qualitativ hochwertige Metalle, die vom Metallhandel zur Verfügung gestellt werden. Der Metallhandel steht allerdings global aufgrund von geopolitischen Unsicherheiten und restriktiven Zollpolitiken unter

Druck. Eine leistungsfähige Kreislaufwirtschaft wird zur strategischen Notwendigkeit für die kontinuierliche Versorgung der Industrie mit NE-Metallen.

Der Handel mit Metallen aus dem Recycling wird als Altmetall- oder Sekundärmetallhandel bezeichnet. Der klassische Altmetallhändler ist jedoch vor allem Aufbereiter. Die Unternehmen verfügen über eine erhebliche Aufbereitungsleistung und sind ein unverzichtbarer Teil der Kreislaufwirtschaft.

NE-Metalle aus dem Recycling sind hochtechnologische Rohstoffe mit einem hohen wirtschaftlichen Wert, und das Metallrecycling spart, verglichen mit der Primärproduktion, enorme Mengen an Energie und vermeidet CO₂-Emissionen. Durch den Einsatz von Recyclingmaterialien konnte die NE-Metallindustrie ihre CO₂-Emissionen von 14,3 Millionen Tonnen im Jahr 2000 um 85 % auf heute 2,2 Millionen Tonnen senken⁷⁴. Das Metallrecycling ist Voraussetzung für eine ressourcenschonende und klimabewusste Industriepolitik. Zudem ist es wirtschaftlich unverzichtbar, um die Industrie international wettbewerbsfähig, unabhängig und resilient zu machen. Ein starkes NE-Metallrecycling ist ein strategischer Vorteil im globalen Wettbewerb, da die Primärvorkommen an NE-Metallen ungleich verteilt sind und deren Gewinnung aufwändig und teuer ist. Somit wird die Abhängigkeit von Primärrohstoffen wie Bauxit und Kupfererzen reduziert. Aufgrund ihrer einzigartigen Eigenschaften können Metalle ohne Qualitätsverluste immer wieder recycelt werden. Metallhandels- und Recyclingunternehmen bereiten die Abfallprodukte auf, sodass den Schmelzwerken am Prozessende die gewünschte Menge und Qualität an Metallen angeboten werden kann. Recyclingquoten für Aluminium, Kupfer und Zink aus dem Baubereich sowie Blei aus Altbatterien liegen bei 95 %, Getränkedosen aus Aluminium werden zu 99 % recycelt⁷⁵. Die Recyclingquote variiert je Metall, ist allerdings sehr niedrig. Laut einer Studie des EU-Projektes FutuRaM besteht ein Potential von jährlich 1 Millionen Tonnen kritischer Rohstoffe in ausrangierten Elektronikprodukten, die durch bessere Sammel- und Recyclingsstrukturen zurückgewonnen werden könnten.⁷⁶

Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2023 rund 6 Millionen Tonnen NE-Metalle verarbeitet und produziert, was im Vergleich zum Vorjahr ein Minus von 10 % darstellt. Grund für den Rückgang der Produktion sind unter anderem hohe Preise für Energie und Strom sowie die schwache Konjunktur. Der größte Teil des deutschen Absatzes, rund 88 %, der aufbereiteten Metalle, verbleibt innerhalb der EU und rund 53 % in Deutschland, dem größten Absatzmarkt. Bei der Rohstoffversorgung mit Erzen, Konzentraten und Rohmetallen führt Deutschland deutlich mehr Waren ein, als es exportiert und ist abhängig von Importen. Bei Halbzeugen ist Deutschland Nettoexporteur, exportiert also mehr, als es importiert.⁷⁷

Hauptverwendungsbereiche für NE-Metalle weltweit im Jahr 2023

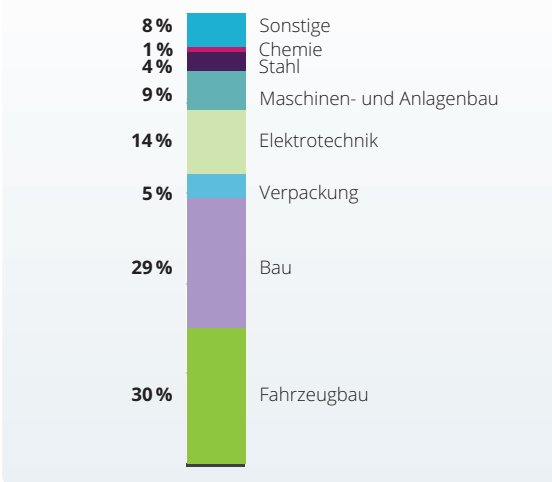


Abb. 29, Quelle: ILZSG; Gesamtverband der Aluminiumindustrie; GDB; World Bureau of Metal Statistics; Statista 2025

Aluminium

Aluminium zählt zu den bedeutendsten Werkstoffen der modernen Industriegesellschaft. Seine physikalischen Eigenschaften – geringes Gewicht, hohe Korrosionsbeständigkeit, gute elektrische Leitfähigkeit und Formbarkeit – machen es zu einem vielseitig einsetzbaren Metall, bspw. im Verkehrssektor, der Bauindustrie, der Elektrotechnik sowie der Verpackungsindustrie.

Die Herstellung von Primäraluminium ist energieintensiv: Für eine Tonne werden durchschnittlich 170 Gigajoule Primärenergie benötigt. Der Rohstoff Bauxit stammt überwiegend aus Australien, Guinea, China und Brasilien. Das Recycling von Aluminium bietet demgegenüber erhebliche ökologische und ökonomische Vorteile. Sekundäraluminium benötigt nur etwa 5 % der Energie der Primärproduktion und vermeidet je nach Verfahren zwischen 7,5 und 11 Tonnen CO₂ pro Tonne Aluminium.⁷⁸ Der Recyclingprozess beginnt mit der Sammlung und Sortierung von Altaluminium. Moderne Schmelzanlagen ermöglichen die Rückgewinnung selbst aus verunreinigten oder komplexen Verbundmaterialien. Insgesamt sind etwa 75 % des jemals produzierten Aluminiums noch im Umlauf.

In Deutschland lag die Rohaluminiumproduktion im Jahr 2023 bei knapp 814.000 Tonnen und ist damit im Vergleich zu 2022 rückläufig. Der Anteil des recycelten Aluminiums lag bei rund 42 % (Primär: 473.000 Tonnen; Sekundär: 341.000 Tonnen)⁷⁹ und ist ebenfalls im Vergleich zum Vorjahr zurückgegangen. Gründe sind unter anderem die im internationalen Vergleich hohen Energiekosten sowie die schwache Konjunktur. Dies führt auch zu einem Rückgang der verarbeiteten Mengen und des Imports von recycelten Rohstoffen. Der deutsche Außenhandel mit Aluminiumschrotten weist im Jahr 2023 einen leichten Exportüberschuss auf (Exportplus von 2,87 % auf 1.177.620 Tonnen. Importminus von -2,89 % auf 1.021.798 Tonnen).⁸⁰

⁷⁴ <https://www.klimaschutz-industrie.de/themen/branchen/nichteisenmetallindustrie/>



⁷⁵ <https://www.wmetalle-geschaeftsbericht.de/23-24/k-s-die-deutsche-nichteisen-metallindustrie>



⁷⁶ <https://futuram.eu/download/2050-critical-raw-materials-outlook/>



⁷⁷ <https://www.wmetalle-geschaeftsbericht.de/23-24/k-s-die-deutsche-nichteisen-metallindustrie>



⁷⁸ https://www.vdm.berlin/wp-content/uploads/2022/01/VDM_Magazin_Nr-706_WEB_Einzeln-1-1.pdf, S. 13 bis 18



⁷⁹ <https://de.statista.com/themen/2514/aluminium/#topicOverview>



⁸⁰ <https://www.vdm.berlin/2024/03/26/aussenhandel-mit-metall-schrotten-leichte-verschiebungen-im-aluminium-und-kupfer-schrotthandel-im-jahr-2023/>



⁸¹ <https://metltrading.info/kapitel-25-9/>



Die drei wichtigsten Abnehmerländer für deutschen Aluminiumschrott im Jahr 2024 sind Italien, Österreich und die Niederlande. Die drei wichtigsten Lieferländer für Aluminiumschrott nach Deutschland sind die Niederlande, Polen und Frankreich.⁸¹

Die drei wichtigsten Lieferländer für Kupferschrott im Jahr 2024 nach Deutschland sind die Niederlande, die Schweiz und Frankreich. Die drei wichtigsten Abnehmerländer für deutschen Kupferschrott sind 2024 Polen, Belgien und China (nach Mengen geordnet).⁸⁵ Der wichtigste Handelspartner für Kupfererz ist Brasilien mit einem Anteil von 26%.⁸⁶

⁸² <https://de.statista.com/themen/4784/kupfer/#topicOverview>



Kupfer

Kupfer spielt heutzutage aufgrund seiner elektrischen und thermischen Leitfähigkeit eine wichtige Rolle in der Elektronik-, Automobil- und Bauindustrie. Aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten wächst die Nachfrage. Das Recycling von Kupfer ist, wie bei anderen NE-Metallen auch, für Deutschland von großer ökonomischer Bedeutung, da keine eigenen Vorkommen bestehen und die Distanz zu den Handelspartnern groß sind. Der Anteil von recyceltem Kupfer lag zuletzt bei 40%.⁸² Heutzutage sind noch fast vier Fünftel des jemals geförderten Kupfers im Umlauf.⁸³

Strategische Sondermetalle

Die EU definiert in der im Mai 2024 in Kraft getretenen europäischen Verordnung zu kritischen Rohstoffen (Critical Raw Materials Act, CRMA) eine Liste mit kritischen und strategischen Rohstoffen. Zu den strategischen Rohstoffen gehören unter anderem Kupfer, Aluminium, Lithium oder Titan. Zu den kritischen Rohstoffen gehören unter anderem Beryllium, Kobalt, seltene Erden, oder Magnesium. Die strategische Bedeutung wird auf Grundlage der Bedeutung eines Rohstoffs für den grünen und digitalen Wandel sowie für Verteidigungs-, Luft- und Raumfahrtanwendungen bestimmt.⁸⁷

⁸³ https://www.vdm.berlin/wp-content/uploads/2022/01/VDM_Magazin_Nr-705_WEB_JAN2022-1.pdf, S. 13 bis 15



In Deutschland wurden im Jahr 2023 knapp 1,3 Millionen Tonnen Kupfer produziert, ein Rückgang von zehn Prozent gegenüber dem Vorjahr.⁸⁴ Dabei steht die Kupferindustrie vor den gleichen Herausforderungen wie die Aluminiumindustrie.

Bei den gelisteten Metallen ist die Wirtschaft besonders auf Importe angewiesen. Gleichzeitig steigt die globale Nachfrage durch die technische Entwicklung der Volkswirtschaften. Die meisten strategischen Metalle sind weder über die Börsen noch über europäische Produzenten zu beziehen, sondern müssen am Weltmarkt eingekauft werden. Hier stehen die Unternehmen im Wettbewerb mit Marktteilnehmern aus vielen anderen Ländern. Der Aus- und Aufbau von Recyclingkapazitäten sowie ein funktionierender Binnenmarkt sind daher von strategischer Bedeutung. Der CRMA setzt auf allen Ebenen der Wertschöpfungsketten für kritische Rohstoffe an und setzt unter anderem auf Diversifizierung. Höchstens 65 % des Jahresverbrauchs der EU dürfen aus einem einzigen Drittland stammen. Zudem sollen die Recyclingkapazitäten der EU es ermöglichen, mindestens 25 % des jährlichen Verbrauchs durch das Recycling von Abfällen zu erzeugen. Es sollen zudem Maßnahmen ergriffen werden, um die Sammlung von Abfällen, die kritische Rohstoffe enthalten, zu verbessern und deren Recycling sicherzustellen. Darüber hinaus soll die Ressourceneffizienz unter anderem durch Forschung und Innovation, technologischen Fortschritt, Substitution und Sensibilisierung verbessert werden. Große, strategische Unternehmen werden zudem zur Risikovorsorge verpflichtet.

⁸⁴ <https://kupfer.de/kupfer-werkstoffe/kupfer/wirtschafts->



Der deutsche Außenhandel mit Kupferschrotten weist im Jahr 2023, wie auch in den Vorjahren, einen Importüberschuss auf (Export: 367.164 Tonnen, Import: 496.186 Tonnen). Sowohl der Export als auch der Import von Kupferschrotten ist damit im Vergleich zu 2022 zurückgegangen.

Deutscher Außenhandel mit Aluminium- und Kupferschrotten in den Jahren 2018 bis 2023 (in Tonnen)

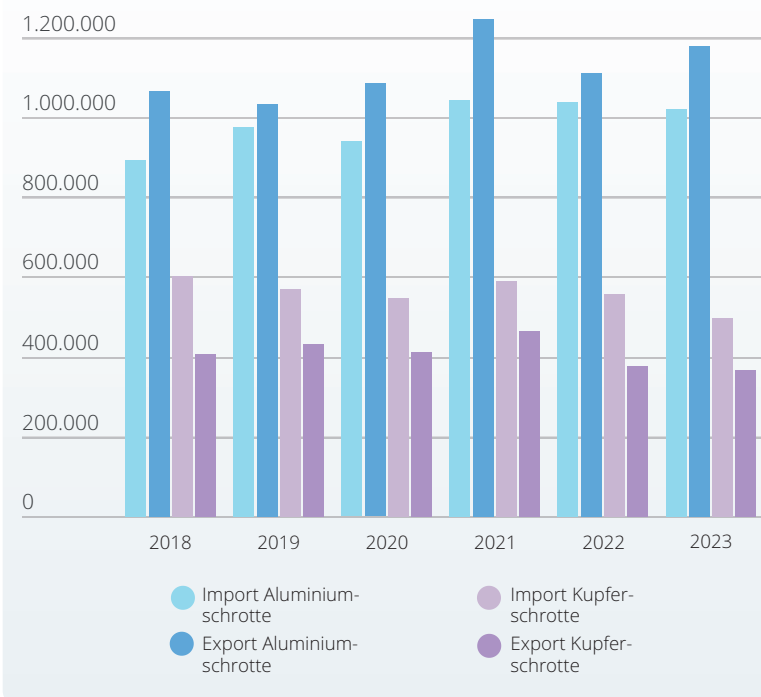


Abb. 30, Quelle: Destatis, eigene Darstellung

Gleichzeitig wird der internationale Handel von Primärrohstoffen weiterhin notwendig sein und gewährleistet die Diversifizierung des Angebots. Dafür werden strategische Partnerschaften aufgebaut und Handelsabkommen geschlossen.



Textilien, Quelle: Unsplash

1.5.7 Textilien

Die Branche für gebrauchte Textilien ist mit zunehmenden Herausforderungen im Bereich der Sammlung, der Qualität der Alttextilien sowie Veränderungen des Rechtsrahmens konfrontiert. Der Trend der schnelllebigen Mode – "Fast Fashion" – sowie der Online-Handel nehmen einen zunehmend festen Platz im Konsumverhalten der Verbraucherinnen und Verbraucher ein. Insbesondere der Online-Handel macht den Kunden Mode aus weiten Teilen des Globus zugänglich. Aus diesen Entwicklungen resultieren eine starke Kurzlebigkeit der Textilien, da diese kaum getragen und schnell ersetzt werden. Die Quantität an Alttextilien nimmt zu und die Qualität der Textilien wird durch synthetische Mischfasern sowie einer zunehmenden Schadstoffbelastung geringer. Das Recycling wird dadurch zunehmend erschwert.

Konsumverhalten und Lebensdauer der Textilien

Die Inlandsverfügbarkeit an Bekleidungsartikeln und Schuhen betrug in Deutschland für das Jahr 2023 rund 3,8 Milliarden⁸⁸ Stück und ist im Vergleich zum Vorjahr deutlich gesunken (-20%). Hinzu kommen mehr als eine Milliarde Bekleidungsstücke, die über den Online-Handel direkt an die Verbraucher und Verbraucherinnen gehen. Schätzungen gehen davon aus, dass pro Einwohner und Jahr 52 neue Bekleidungsstücke (inkl. Sport- und Berufsbekleidung, ohne Schuhe, Lederbekleidung und Haustextilien) erworben werden. Der Großteil (62%) davon sind Kleinteile wie Strumpfwaren/Strumpfhosen, Wäsche/

Dessous, Handschuhe, Schals, Mützen sowie T-Shirts/Unterhemden, die eine eher geringe Lebensspanne aufweisen. Größere Teile haben einen Anteil von 38%.⁸⁹

Die Nachhaltigkeit von Textilien beginnt bei ihrer Herstellung mit umweltfreundlichen sowie recyclingfreundlichen Materialien und Herstellungsverfahren sowie einer Produktion unter Beachtung von sozioökonomischen Aspekten wie Menschenrechten und der Bezahlung von fairen Löhnen. Durch eine hochwertige Erfassung und Sortierung der Materialien wird nach dem Ende der Tragedauer eine nachhaltige Nutzung ermöglicht. Die Sammlung der Textilien und Schuhe erfolgt sowohl durch gewerbliche und gemeinnützige als auch durch kommunale Akteure. Dabei wird die Sammlung überwiegend über Altkleidercontainer realisiert. Ein weiterer Teil der Alttextilien und Schuhe wird über Straßensammlungen, oder Sozialkaufhäuser erfasst.

Die private Weitergabe von qualitativ hochwertigen Altkleidern, welche die Quantität und Qualität der Sammelmenge beeinflusst, hat in den letzten Jahren an Bedeutung zugenommen. Gleichzeitig führen die sinkende Qualität der Textilien sowie die unsachgemäße Nutzung von Textilien durch die Verbraucher während der Tragedauer zu einem verkürzten Lebenszyklus und einer starken Einschränkung der Wiederverwendung sowie zu einem erschwerten Absatz der Sammelware nach der Sortierung. Dies hat insbesondere Auswirkungen auf die kostenlose Sammlung von Alttextilien durch Unternehmen, die sich wirtschaftlich tragen muss.

⁸⁶ <https://de.statista.com/themen/4784/kupfer/#topicOverview>



⁸⁷ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401252



⁸⁸ BTE Handelsverband Textil, Schuhe, Lederwaren, Pressemitteilung vom 24.07.2024, https://www.bte.de/bte-sch%C3%A4tzung-deutsche-kaufen-2023-eine-milliarde-modeartikel-und-schuhe-bei-shein-temu-and-co/?utm_source=chatgpt.com



⁸⁹ BTE Handelsverband Textil, Schuhe, Lederwaren, Pressemitteilung am 08.08.2023, https://www.bte.de/2023/08/08/inlandsverf%C3%BCgbarkeit-52-bekleidungssteile-pro-einwohner-in-2022/?utm_source=chatgpt.com



Verwertungswege für Alttextilien (in %)

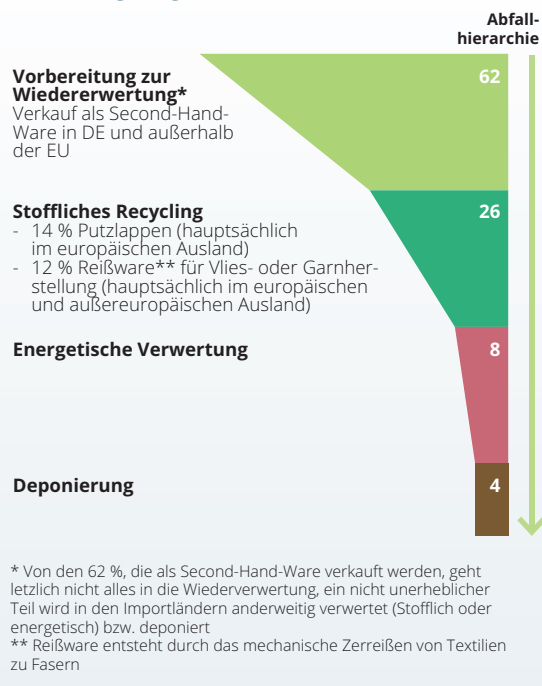


Abb. 31, Quelle: Öko-Institut, Textilrecycling – Status Quo und aktuelle Entwicklungen, 2024

Kopf im Jahr 2023. Der Großteil der erfassten Textilien und Schuhe wurde im Jahr 2023 innerhalb der EU vor allem nach Polen, in die Niederlande und nach Belgien sowie außerhalb der EU insbesondere in die Vereinigten Arabischen Emirate und in die Türkei exportiert.⁹²

Politische Entwicklungen, Herausforderungen und Zukunftsfragen

Seit Januar 2025 gilt die EU-weite Getrenntsammlungspflicht von Alttextilien. Die Entsorgung von Alttextilien im Restmüll ist untersagt. Deutschland verfügt bereits über ein etabliertes Sammelsystem, das in den einzelnen Kommunen unterschiedlich ausgestaltet ist (kommunale, gemeinnützige und gewerbliche private Akteure) und sich bisher auf verwertbare Alttextilien beschränkt. Für stark verschmutzte oder zerschlissene Textilien fehlt ein geeignetes Sammel- und Verwertungssystem. Dem erwarteten Anstieg des Aufkommens an Alttextilien stehen logistische Herausforderungen bei der Sammlung, Lagerung und Sortierung sowie aktuell begrenzten technologischen Möglichkeiten für das Recycling von minderwertigen Textilien gegenüber.

Zahlen und Fakten zum Aufkommen und zur Wiederverwendung

Jährlich fallen rund eine Million Tonnen getrennt erfasste Alttextilien in den privaten Haushalten in Deutschland an.⁹⁰ Nach der Sammlung werden die Alttextilien nach Art und insbesondere Qualität sortiert. Die Sortierung erfolgt noch überwiegend händisch. Die Entwicklung moderner Technologien nimmt ständig zu und wird bei entsprechender Marktreife Einzug in die klassische Altkleidersortierung nehmen. Die Qualifizierung und das Know-how der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter trägt neben der Zusammensetzung, der Qualität und der Langlebigkeit der Sammelware sowie der Marktnachfrage in bedeutendem Umfang dazu bei, wie viele Gebrauchstextilien tatsächlich noch in ihrer ursprünglichen Form als Secondhandware weitergenutzt werden können.

Der Großteil der erfassten Alttextilien wird als Gebrauchstextilien weitergenutzt. Darüber hinaus werden Alttextilien stofflich zu Putzlappen weiterverarbeitet oder finden Einsatz in der Reißspinnstoffindustrie, wo diese zu Fasern beispielsweise für Malervlies und zu Dämmstoffen für die Autoindustrie aufbereitet werden. Ein geringer Teil wird energetisch verwertet oder fällt als Abfall im Rahmen der Sortierung an.⁹¹

Die insgesamt gesammelte Menge an Alttextilien übersteigt den Bedarf in Deutschland deutlich. Insgesamt wurden im Jahr 2023 rund 452.000 Tonnen Altkleider und andere gebrauchte Textilwaren exportiert. Umgerechnet auf die Zahl der Bevölkerung hierzulande entspräche das einer exportierten Menge gebrauchter Textilien von 5,3 Kilogramm pro

Durch die zunehmende Digitalisierung verändern sich die Konsumwünsche in den Abnehmerländern. Das steigende Bedürfnis nach aktuellen Modetrends führt zu einem Nachfragerückgang beim Absatz von gebrauchten Kleidungsstücken. Daran gekoppelt ist ein Rückgang der erzielbaren Preise für Alttextilien in den Abnehmerländern, was die Finanzierung der kostenfreien Sammlung, Sortierung und Lagerung der Alttextilien in Deutschland erschwert. Insbesondere gemeinnützige Organisationen können sich keine Sammlung mehr leisten und ziehen Sammelcontainer in einigen Regionen bereits zurück.

Im September 2025 wurden Änderungen der Richtlinie über Abfälle 2008/98/EG durch das Europäische Parlament beschlossen. Diese enthalten die erweiterte Herstellerverantwortung im Textilsektor, die Hersteller, Importeure und Händler finanziell für die Sammlung, die Wiederverwertung und das Recycling von Alttextilien in die Verantwortung nimmt. Die Regelung muss 30 Monate nach Inkrafttreten von den Mitgliedsstaaten umgesetzt werden. Die lange Umsetzungsfrist und die nicht klar definierte Aufgabenverteilung zwischen den einzelnen Akteuren stellen bereits jetzt eine Herausforderung für das etablierte Sammelsystem in Deutschland dar.

Für die deutsche Alttextilbranche stellen sich weitere Zukunftsfragen wie die Verlagerung bestehender Handelsstrukturen oder wirtschaftliche und globale Entwicklungen wie Importverbote, Zollerhöhungen, Währungsschwankungen, Devisenknappeit, volatile Bankgebühren und sinkende Rohstoffpreise, die den Handel und die wirtschaftliche Situation der Unternehmen belasten.

⁹⁰ Umweltbundesamt: Evaluation der Erfassung und Verwertung ausgewählter Abfallströme zur Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft, 2022.

⁹¹ Öko-Institut, Textilrecycling – Status Quo und aktuelle Entwicklungen, 2024

⁹² https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/01/PD25_N004_51_32.html





Textilrecycling Vorsortierung, Quelle: bvse

Die Ökodesignverordnung sowie auf europäischer Ebene zum Abfallende sowie ein Maßnahmenkatalog der EU, der u. a. die Einführung von Informationsanforderungen und einen digitalen Produktpass sowie die Entwicklung von Kriterien zur Unterscheidung zwischen Abfällen und bestimmten gebrauchten Textilwaren⁹³ enthält, gewinnen weiter an Bedeutung. Hinzu kommt das ab Juli 2026 geltende Vernichtungsverbot von unverkaufter Bekleidung, Accessoires und Schuhe für große Hersteller (Art. 25 Abs. 1 der Ökodesign-Verordnung) Die Auswirkungen dieser Regelungen auf die Branche sind aktuell noch nicht absehbar.

Innovative Forschungs- und Entwicklungsprojekte können neue Märkte und Anwendungsfelder für die Textilrecyclingindustrie erschließen. Es besteht das langfristige Ziel, durch geeignete Recyclingverfahren die Fasern der Textilien zurückzugewinnen. Die technischen Lösungen für ein Faser-to-Faser-Recycling, wie Depolymerisierungsverfahren, Pyrolyse oder Gasification existieren, sind wirtschaftlich aktuell noch nicht rentabel.

Im Interesse der Erhaltung eines jahrzehntelangen hochwertigen und den Standards entsprechenden Textilrecyclings in Deutschland ist die Entwicklung einer zukunftsfähigen Strategie (u.a. Einbeziehung der Herstellerverantwortung) verbunden mit einem weiterhin konsequenten politischen und wirtschaftlichen Handeln notwendig.

1.5.8 Altholz

Holz ist ein zentraler biogener Rohstoff, der in vielen Bereichen der Wirtschaft eingesetzt wird – insbesondere im Bauwesen, in der Möbel- und Verpackungsindustrie, in der Zellstoff- und Papierproduktion sowie als Energieträger. Aufgrund seiner Erneuerbarkeit und breiten Anwendung spielt Holz eine wichtige Rolle in der Transformation; die Kreislauf-

wirtschaft ist mit Blick auf Klima- und Ressourcenschutz eine wesentliche Säule.

Entlang der gesamten Wertschöpfungskette Holz entstehen verschiedene Rest- und Abfallstoffe aus Holz. Bereits in der Verarbeitung von Rohholz – in Sägewerken – fallen Sägespäne, Hackschnitzel und Rinde an. Die Nebenprodukte werden zum Teil betriebsintern (Wärme) genutzt. Der größte Teil wird vermarktet und geht in die stoffliche Verwertung in der Holzwerkstoff, Papier- und Zellstoffindustrie oder die energetische Verwertung als Holzpellets.

Am Ende der Nutzungsphase von Holzprodukten entsteht Altholz, das in der Abfallstatistik nach Hauptherkunftsbereichen differenziert ausgewiesen wird. Das Aufkommen umfasst dabei alle erfassten Mengen aus Bau-, Gewerbe- und Haushaltsbereichen, sowie der Holzverarbeitenden Industrie.

Das statistisch erfasste Gesamtaufkommen lag im Jahr 2023 bundesweit bei rund 9 Mio. Tonnen⁹⁴. Der Altholzanfall ist stark konjunkturabhängig. Gegen Ende der Corona-Pandemie 2022 und 2023 wurde noch viel in Möbel und Baustoffe investiert, was zu vorgezogenen Sondereffekten bei den Herstellern und Altholzerwertern geführt hat. Die Konsumententwicklung und vor allem die Bautätigkeiten sind in den letzten Jahren jedoch stark gesunken (-3,7% im Jahr 2024⁹⁵), was zu sinkenden Altholzmengen sowie einer geringeren Nachfrage nach Holzprodukten geführt hat. Gleichzeitig steigt die Nachfrage nach Altholz, vor allem für die energetische Nutzung.

Altholz wird in vier Kategorien untergliedert, die sich entsprechend ihrer Qualität entweder für das Recycling oder die energetische Verwertung eignen. Die Untergliederung ist Grundlage für die Kaskadennutzung, beginnend mit der stofflichen und endend mit der energetischen Verwertung, und bildet die fünfstufige Abfallhierarchie ab. Abbildung 32 zeigt die Kreislauf- und Kaskadenführung des Rohstoffs Holz - vom bewirtschafteten Wald über die verschiedenen Stufen der stofflichen Nutzung bis hin zur abschließenden energetischen Verwertung. Um eine hochwertige stoffliche Verwertung zu gewährleisten, muss das Altholz erfasst, sortiert und aufbereitet werden. Es wird entweder direkt an der Anfallstelle sortenrein bereitgestellt, wie auf Baustellen oder dem Recyclinghof, oder ist Bestandteil anderer Abfallgemische wie Sperrmüll, so dass eine Sortierung nachgeschaltet werden muss.

Die **Altholzverordnung** (AltholzV) legt fest, wie Altholz nach den Kategorien A I bis A IV zu behandeln ist, um eine hochwertige stoffliche oder energetische Verwertung sicherzustellen. Sie definiert insbesondere Anforderungen an die Getrennthaltung, die Lagerung, die Klassifizierung und die zulässigen Verwertungswege für die einzelnen Altholzkategorien. Die **Gewerbeabfallverordnung** enthält ergänzen-

⁹³ Europäische Kommission: EU-Strategie für nachhaltige und kreislauffähige Textilien, Brüssel, 2022

⁹⁴ Hochrechnung auf der Grundlage von Statistisches Bundesamt, Genesis 321-Abfallwirtschaft

⁹⁵ https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2025/ak-03-2025-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2



de Vorgaben für gewerbliche Siedlungsabfälle sowie für Bau- und Abbruchabfälle, insbesondere hinsichtlich des selektiven Rückbaus und der Getrennthaltung an der Anfallstelle. Spezifische Sortierquoten für Altholz, z. B. nach den Altholzkategorien der Altholzverordnung, sind darin nicht enthalten. In der praktischen Umsetzung zeigen sich weiterhin Herausforderungen, sowohl bei der Auslegung einzelner Bestimmungen als auch bei der konsequenten Anwendung durch Abfallerzeuger und Vollzugsbehörden. Eine stärkere Nutzung marktwirtschaftlicher Anreize – etwa durch die Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen in öffentlichen Ausschreibungen oder durch präzisere Vorgaben zur stofflichen Verwertung – könnte zur weiteren Steigerung der Verwertungsqualität und vor allem -quantität beitragen. Aktuell gibt es Bestrebungen, die Altholzverordnung weiter zu novellieren. Ein auf Basis eines wissenschaftlichen Berichts erarbeiteter Entwurf der Novelle wurde durch den Gesetzgeber bisher nicht vorgebracht und das Potential einer Novelle daher nicht gehoben. Die geplante Novelle zielt darauf ab, die technischen Anforderungen an die Aufbereitung, die Probenahme und Analyse sowie die Qualitätssicherung anzupassen.

 <https://ecorefibre.eu/>



Ergänzend soll die **nationale Biomassestrategie (NABIS)** vom Dezember 2022 in Form eines Eckpunktepapiers einen übergeordneten strategischen Rahmen für die Nutzung biogener Ressourcen, einschließlich Holz und Altholz liefern. Dieses Dokument bildet die Grundlage für die Entwicklung einer

umfassenden Strategie zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse in Deutschland. Die Verabschiedung der vollständigen Strategie war ursprünglich für 2023 geplant, verzögerte sich jedoch. Aktuell liegt ein Entwurf vom Februar 2024 vor, der jedoch noch nicht verabschiedet wurde. Dieser zielt darauf ab, die Ressourceneffizienz zu erhöhen, die stoffliche Nutzung von Biomasse zu priorisieren und gleichzeitig den Beitrag zur Energiewende zu maximieren. Im Kontext der Altholzverwertung würde NABIS die Umsetzung der Vorgaben der Altholzverordnung unterstützen, indem sie Leitplanken für die hochwertige stoffliche und energetische Nutzung setzt und damit die Sortier-, Verwertungs- und Getrennthaltungsanforderungen im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft flankiert.

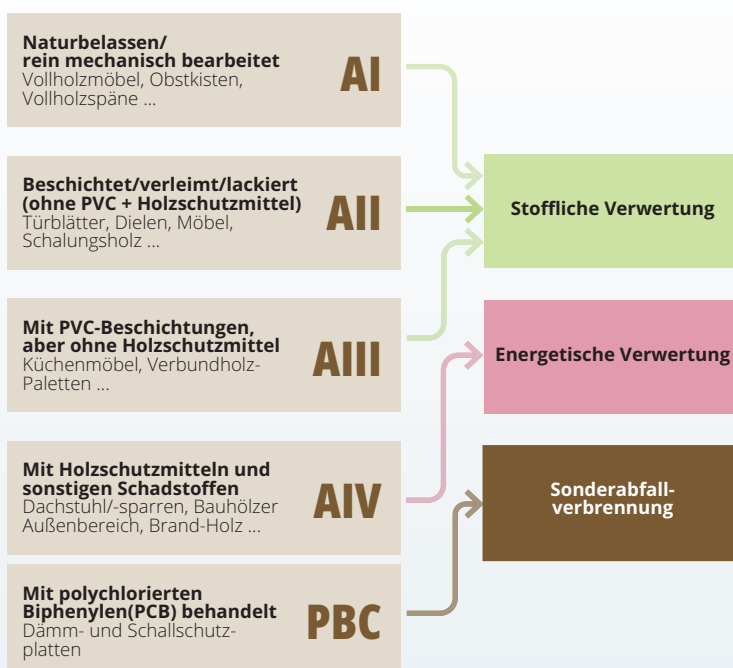
Auch wenn Holz eine nachwachsende Ressource ist, kann es nur in begrenztem Umfang bereitgestellt werden. Daher stehen der effiziente Umgang mit der Ressource Holz und auch Altholz und seine Kaskadennutzung zunehmend im Mittelpunkt. Die möglichst effiziente Rohstoffnutzung von Altholz beginnt mit dem Ausbau der Getrennthaltung zur Steigerung der Quantität und Qualität der erfassten Altholzmengen. Dabei rücken auch Leasing- oder Rücknahmesystemen in den Blickpunkt, die im Rahmen der Umsetzung der neuen europäischen Verpackungsverordnung PPWR und der Kreislaufführung von Gewerbeverpackungen wichtiger werden.

Nach der möglichst umfassenden Erfassung der Altholzpoteziale ist im Einklang mit der fünfstufigen Abfallhierarchie der stofflichen Verwertung der Vorrang einzuräumen, denn in der stofflichen Verwertung hat Altholz durch den Speichereffekt und den Substitutionseffekt das größte Klimaschutzpotenzial. Soweit möglich, ist die sogenannte Kaskadennutzung zu fördern, das heißt vorrangig die stoffliche Verwertung des Altholzes. Erst wenn Altholz nicht mehr stofflich verwertet werden kann, ist es einer effizienten thermischen Verwertung zuzuführen.

Bei der stofflichen Nutzung wird Altholz aufbereitet, gereinigt und als Ausgangsmaterial für neue Holzprodukte eingesetzt, beispielsweise in Spanplatten, oder Bauprodukten. Dieser Ansatz ermöglicht eine Verlängerung des Lebenszyklus von Holz und trägt zur Reduktion des Primärholzverbrauchs bei. Der konjunkturbedingte geringere Altholzfall sowie die steigende Nutzungskonkurrenz mit der energetischen Verwertung sorgen derzeit für freie Sortier- und Verwertungskapazitäten auf dem Markt.

Trotz des Potenzials der stofflichen Nutzung stoßen aktuelle Recyclingverfahren, etwa bei Faserplatten, noch an technische Grenzen, da das Auftrennen der Fasern sehr energieintensiv ist. Projekte wie EcoReFibre forschen daran, wie dieser Materialkreislauf zukünftig geschlossen werden kann.⁹⁶ Die Bioökonomie kann für den Einsatz von Althölzern zusätzliche

Die 5 Altholzkategorien und deren Verwertungswege gemäß der Altholzverordnung.



PCB-Altholz ist entsprechend den Vorschriften der PCB/PCT-Abfallverordnung zu entsorgen.



Werk zur Altholzaufbereitung, Quelle: Reiling

Chancen eröffnen, innovative Produkte und Verfahren nicht nur für reine Nebenprodukte aus der Säge- und Papierindustrie, sondern perspektivisch auch für den Einsatz von Althölzern zu entwickeln.

Als regenerativer und CO₂-neutraler Energieträger wird Altholz zunehmend zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Insbesondere Holzfraktionen, die aufgrund von Schadstoffbelastungen nicht stofflich verwertet werden können, finden hier ihren Einsatz. Während also hochwertige Althölzer möglichst stofflich weiter verwertet werden, werden die nicht mehr recyclingfähigen Anteile (wie ausgeleimte Bahnschwellen) in der Verbrennung sicher entsorgt und ihr Energiegehalt zurückgewonnen. Gleichzeitig ist ein konjunkturbedingter Rückgang des Altholzansfalls zu beobachten. Zunehmende Waldkalamitäten (Stürme, Schädlinge) führen kurzfristig zu mehr Frischholz, befeuern mittelfristig aber die Verknappung des Materials. Zudem bindet die zunehmende Produktnutzung von Holz das Material länger in Produkten, wodurch weniger Holz für die energetische Verwertung zur Verfügung steht. Durch gezielte Sammlung, verbesserte Aufbereitung und konsequente Kaskadennutzung könnte das geringere Aufkommen effizienter genutzt werden.

1.5.9 Elektro-/Elektronikgeräte und Batterien

Elektro- und Elektronikaltgeräte (EAG) sowie Batterien zeichnen sich durch komplexe Materialverbünde aus. Sie enthalten Kunststoffe, wichtige Metalle und Edelmetalle sowie Seltene Erden, aber auch umwelt- und gesundheitsgefährdende Substanzen wie Kadmium und Quecksilber. Diese Produkte sollten so

lange wie möglich in der Nutzungsphase gehalten werden. Das muss zum einen über das Produktdesign gewährleistet werden, zum anderen über die schonende Nutzung durch die Verbraucherinnen und Verbraucher.

Das EAG

Das Inverkehrbringen, die Rücknahme sowie das Recycling und die Entsorgung der EAG werden durch das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) geregelt. Sie unterliegen der sogenannten geteilten Produktverantwortung, die zum einen öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger verpflichtet, Sammelstellen einzurichten und die Altgeräte zur Abholung für die Verwertung bereitzustellen. Hersteller und Händler können zudem eigene Rücknahmesysteme betreiben. Unter bestimmten Bedingungen ist der Handel zur Rücknahme verpflichtet. Die Verantwortung für Entsorgung und Verwertung bleibt jedoch beim Hersteller. Sie sind nach Maßgabe des ElektroG verpflichtet, sich bei der „Gemeinsamen Stelle der Hersteller“, der „Stiftung elektroaltgeräte register“ (Stiftung ear) zu registrieren. Die ear koordiniert die Bereitstellung von Behältnissen für Übergabestellen und die Abholung der Altgeräte bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern. Des Weiteren werden der Stiftung ear die im Kalenderjahr gesammelten und verwerteten Altgerätemengen gemeldet.

Die Sammelquote für EAG von mindestens 65% (Basis ist das gemittelte Gesamtgewicht der in den drei Vorjahren in Verkehr gebrachten Elektro- und Elektronikgeräte) wurde im Jahr 2023 nicht erreicht. Es wurden zwar rund 900.000 Tonnen Elektroaltgeräte gesammelt. Gleichzeitig bleiben aber die inverkehrgebrachten Mengen auf einem hohen Niveau

Verwertungswege in der Kreislaufwirtschaft

(über 3,2 Millionen Tonnen in 2023), was zu einem Rückgang der Sammelquote auf 29,5 % führte (Sammelquote 2021: 38,7 %, 2022: 31,7 %, nicht erfasst werden B2B Mengen).⁹⁷

⁹⁷ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehelter-abfallarten/elektro-elektronikaltgeraete#w0-steht-deutschland>



Insbesondere bei der Erfassung bestehen noch große Potenziale zur Erreichung der Sammelquote. Kleingeräte werden häufig noch über die Restabfall- oder Wertstofftonne entsorgt, was nicht nur die Rückgewinnung von Ressourcen erschwert, sondern auch eine enorme Gefahr für die Anlagen darstellt. Beschädigte Lithium-Ionen Akkus können zu Bränden führen, die für die Betreiber existenzielle Risiken bergen. Andere Geräte bleiben lange ungenutzt in den Haushalten liegen (zum Beispiel Handys). Hier besteht großer Informations- und Aufklärungsbedarf bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie allen, die für die Sammlung verantwortlich sind. Es müssen weiterhin niedrigschwellige und vielfältige Abgabemöglichkeiten für eine vereinfachte und zerstörungsfreie Rückgabe von EAG geschaffen und der nachhaltige Umgang mit den Geräten sowie deren

„Thekenmodell“ vor. Dabei müssen EAG an den Sammelstellen durch Fachpersonal entgegengenommen werden, wodurch eine Vorsortierung und Entnahme von Batterien zur Reduzierung der Brandgefahr gewährleistet wird. Zudem macht das Gesetz neue Vorgaben für Vertreiber von elektronischen Einweg-Zigaretten. Sie sind verpflichtet, diese Altgeräte unentgeltlich zurückzunehmen.

Am Ende ihres Lebenszyklus durchlaufen EAG einen vielschichtigen Verwertungsprozess, der sowohl der Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe als auch der sicheren Entfernung umwelt- und gesundheitsgefährdender Stoffe dient. In Behandlungsanlagen werden die Geräte manuell oder automatisiert demontiert, um schadstoffhaltige Komponenten wie Batterien oder quecksilberhaltige Bauteile zu entfernen. Anschließend erfolgt die mechanische Zerkleinerung, gefolgt von komplexen Sortierverfahren – darunter magnetische, optische und sensorbasierte Technologien – sowie metallurgischen Prozesse zur Trennung und Rückgewinnung von Metallen. Die zurückgewonnenen Materialfraktionen, insbesondere Eisen, Kupfer und Aluminium, erreichen Recyclingquoten von über 95 %. Die Metalle werden direkt in Produktionsprozesse zurückgeführt. Bei der Rückgewinnung von kritischen Rohstoffen wie Seltenen Erden, Tantal, Indium oder Gold, die in Geräten oft nur in Spuren enthalten sind, bestehen erhebliche Potenziale.

Die europäische Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte gibt verbindliche Quoten vor: Je nach Gerätekategorie müssen zwischen 75 % und 85 % der jährlich gesammelten Altgeräte verwertet und zwischen 55 % und 80 % recycelt oder zur Wiederverwendung vorbereitet werden. Um die stoffliche Rückgewinnung weiter zu optimieren, sind innovationsfreundliche rechtliche Rahmenbedingungen und wirtschaftliche Anreize erforderlich. Dazu zählen die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Recycling- und Aufbereitungstechnologien, die Etablierung digitaler Produktpässe zur besseren Identifikation von verbauten Materialien sowie die Stärkung von Sekundärrohstoffmärkten.

Sammelmenge und -quote für Elektro-/Elektronikaltgeräte 2023

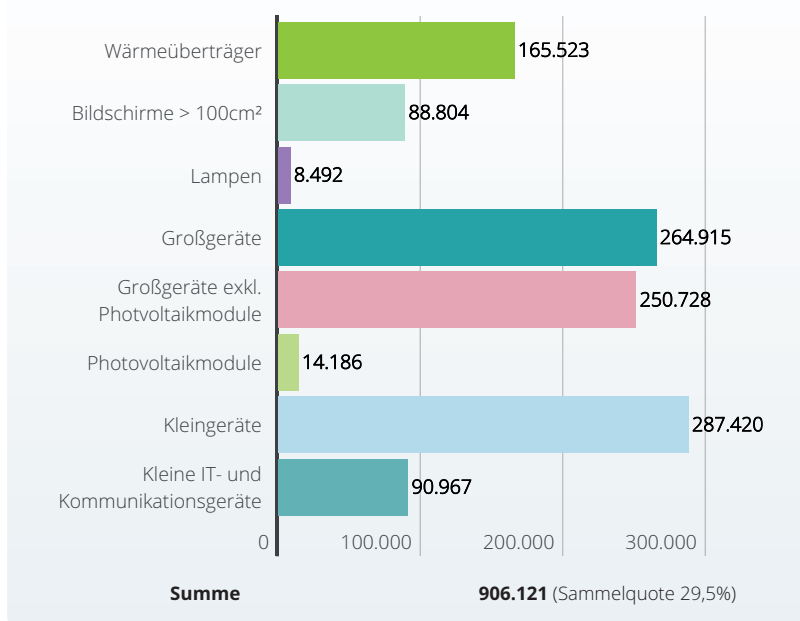


Abb. 33, Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehelter-abfallarten/elektro-elektronikaltgeraete#w0-steht-deutschland>

korrekte Entsorgung in den Vordergrund gestellt werden. Dazu gehören auch neue Nutzungskonzepte, wie Leasing- und Sharingangebote. Zudem braucht es den weiteren Ausbau der erweiterten Herstellerverantwortung, die stärkere Anreize zur Prävention von Fehlwürfen und daraus folgenden Batteriebränden setzt.

⁹⁸ https://www.koalitionsvertrag2025.de/sites/www.koalitionsvertrag2025.de/files/koav_2025.pdf



Die Optimierung der Sammlung von Batterien und Elektroaltgeräten ist explizit Teil des Koalitionsvertrages.⁹⁸ Im November 2025 wurde eine Novelle des ElektroG im Bundestag verabschiedet. Diese sieht unter anderem eine Ausweitung und eine Kennzeichnungspflicht von Sammelstellen sowie das

Batterien

Das Batteriegesetz (BattG) regelt seit 2009 das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Verwertung und Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren. Unterschieden wird zwischen Geräte-, Fahrzeug- und Industriebatterien. Im Rahmen der Produktverantwortung sind Hersteller und Inverkehrbringer von Batterien verpflichtet, sich bei der Stiftung ear zu registrieren.

Die europäische Batterieverordnung, die seit Februar 2024 gilt, machte eine Anpassung des deutschen Batterierechts notwendig. Am 11. September 2025 wurde das Batterierecht-EU-Anpassungsgesetz vom Bundestag beschlossen, das die gesetzgeberi-



Elektrorecycling in Lünen, Quelle: REMONDIS

sche Grundlage für die Umsetzung der neuen EU-Vorgaben in deutsches Recht enthält sowie die Aufhebung des BattG und die Einführung des neuen Batterierecht-Durchführungsgesetz (BattDG) vorsieht. Dieses bringt einige Neuerungen mit sich. So werden zwei neue Batteriekategorien eingeführt (Elektrofahrzeugbatterien und Leichtverkehrsbatterien (z. B. E-Bikes, E-Scooter), Hersteller sind verpflichtet, sich ab 2026 an einer Organisation für Herstellerverantwortung (OfH) zu beteiligen, und sie müssen Angaben zur chemischen Zusammensetzung der Batterien in der Registrierung ergänzen.

Die Sammlung erfolgt ab dem 16. Januar 2026 nur noch über zugelassene OfH oder herstellereigene Rücknahmelösungen. Dafür müssen OfH und Hersteller bei der stiftung ear eine Zulassung für die Sammlung und Verwertung beantragen. Kommunale Sammelstellen sind dann verpflichtet, alle Batteriekategorien anzunehmen. Zudem werden die Sammelquoten bis 2027 auf 63% und bis 2030 auf 73% angehoben. Für eine sachgerechte Sammlung stehen in Deutschland aktuell mehr als 170.000 Sammelstellen, unter anderem in Supermärkten, Discountern, Drogerie- und Baumärkten, zur Verfügung. Die Erfassung erfolgt dort in speziellen Batteriesammelboxen.

Für jeden Batterietyp existieren spezifische Recyclingverfahren, die eine sortenreine Sortierung voraussetzt. Im Jahr 2023 wurden rund 213.595 Tonnen an Altbatterien, davon Blei-Säure-Altbatterien (185.285 Tonnen), Nickel-Cadmium-Altbatterien (1.138 Tonnen) und sonstige Altbatterien (27.172 Tonnen), einem speziellen Recyclingverfahren zugeführt.

Daraus konnten 166.709 Tonnen Sekundärrohstoffe, vor allem Blei, Schwefelsäure, Stahl, Ferromangan, Nickel, Zink Cadmium und Quecksilber, wiedergewonnen werden. Für Gerätebatterien sank die Sammelmenge in 2023 auf 50,4 %, womit die nach BattG geltende Sammelquote von 50 % erfüllt werden konnte. In 2024 stieg die Quote hingegen wieder leicht auf rund 54 %. Das bedeutet, dass kontinuierlich fast die Hälfte aller Batterien falsch entsorgt wird. Trotz der gesetzlichen Verpflichtung, Batterien an den eingerichteten Sammelstellen zurückzugeben, befindet sich immer noch große Mengen im Restabfall sowie in nahezu allen anderen Fraktionen des Siedlungsabfalls entsorgt. Im Zuge der Umsetzung des BattDG sollen generelle Informationen zur Batterierücknahme im Handel besser sichtbar werden, um die Verbraucherinnen und Verbraucher zu sensibilisieren.

Laut der EU-Batterieverordnung müssen Gerätebatterien ab dem 18. Februar 2027 mit normalen Werkzeugen entnehmbar und austauschbar sein. Damit können Geräte länger genutzt werden und Batterien leichter einer sachgemäßen Verwertung zugeführt werden.

1.5.10 Altfahrzeuge

Die Hersteller und Inverkehrbringer aller Altfahrzeuge sind zur Rücknahme von Altfahrzeugen gemäß Altfahrzeug-Verordnung (AltfahrzeugV) verpflichtet. Dies erfolgt über ein kostenloses flächendeckendes Rücknahmenetz. Die GESA – Gemeinsame Stelle für

Verwertungswege in der Kreislaufwirtschaft

Altfahrzeuge der Bundesländer – erfasst die Adressdaten und die von den Sachverständigen gemeldeten Zertifikate der Demontage- und Schredderanlagen sowie den sonstigen Anlagen zur weiteren Behandlung von Altfahrzeugen.

Altfahrzeuge bestehen zu 75 % des Gewichts aus Fe- und NE-Metallen. Nach der Annahme und Demontage werden die Restkarossen geschreddert. Anschließend werden eine schwere Fe-Metallfraktion und eine leichte NE-Metallfraktion aussortiert. Dann wird die gemischte sog. Schredderleichtfraktion (SLF), die Kunststoffe, Gummi, Holz, Folien, Verbundwerkstoffe usw. umfasst, als Gemisch energetisch verwertet. Die Aussortierung einzelner Kunststoffe ist zwar möglich, in der Praxis aber insgesamt irrelevant. Die Aufbereitung der Schredderleichtfraktion erfolgt mit dem Ziel, NE-Metalle, wie Kupfer und Blei, und weitere Rohstoffe, wie Kunststoffe und Gummi, zurückzugewinnen.

Im Jahr 2023 fielen 37.000 Tonnen Schredderleichtfraktion (inkl. Kunststofffraktionen) in Schredderanlagen mit Restkarossenverwertung an, die zu 45 % energetisch und 40 % stofflich verwertet wurden.¹⁰⁶ Ein rein werkstoffliches Recycling oder die Nutzung der spezifischen Materialeigenschaften der darin enthaltenen Stoffe erfolgt nicht. Vielmehr erfolgt die Verwertung im Bergversatz oder im Rahmen von Deponiebaumaßnahmen.¹⁰⁷

Die Anforderungen zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes und der Reduzierung des Fahrzeuggewichtes haben zu einer leichten Veränderung der Anteile von Fe- und NE-Metallen im Fahrzeugbau zu Gunsten der NE-Metalle, insbesondere Aluminium, geführt. Gleichzeitig stieg der Anteil an hochfesten Stählen gegenüber anderen Stählen in den letzten Jahrzehnten deutlich an. Die zunehmende Nutzung von Speziallegierungen, die Materialvielfalt und -kombination erhöhen den Aufwand für die Trennung der Materialien am Ende des Lebenszyklus. Dies stellt die Demontage- und insbesondere die Schredderanlagen weiter vor Herausforderungen.

Die geplante EU-Vorgabe, dass ab dem Jahr 2035 nur noch Neufahrzeuge ohne CO₂-Ausstoß in der EU zugelassen werden dürfen, wird aktuell überarbeitet. Es wird diskutiert, die 100 % CO₂-Reduktion auf 90 % zu senken, damit u.a. Hybridvarianten nach 2035 weiter zugelassen werden können. Die aktuellen Entwicklungen zeigen bereits jetzt einen Anstieg von Elektrofahrzeugen, der sich durch die gesetzlichen Vorgaben erhöhen wird. Elektrofahrzeuge weisen, höhere Anteile an elektrischen (Motoren und Batterien) und elektronischen Komponenten in den Fahrzeugen auf. Die Rücknahme und Demontage von Elektrofahrzeugen erfolgt aktuell aufgrund der erst kürzlichen Anschaffungen und der langen Lebenszyklen von Fahrzeugen nur in Einzelfällen (u. a. Unfälle). Die bestehenden Recyclingprozesse müssen an Elektrofahrzeuge angepasst werden und erfordern ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit von der Recyclingwirtschaft, da über einen längeren Zeitraum Recyclingprozesse sowohl für Verbrennungsmotoren als auch Elektrofahrzeuge vorgehalten werden müssen. Veränderungen ergeben sich zudem durch

⁹⁹ BMUV/UBA: Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2023, 2025

¹⁰⁰ ebd.

¹⁰¹ ebd.

¹⁰² inklusive Schätzungen

¹⁰³ BMUV/UBA: Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2023, 2025

¹⁰⁴ ebd.

¹⁰⁵ ebd.

¹⁰⁶ ebd.

¹⁰⁷ UBA: Evaluierung und Fortschreibung der Methodik zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten durch Schredderversuche unter der EG-Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG, Januar 2020.

Bundesweit stehen für die Demontage von Altfahrzeugen 9447 Demontagebetriebe zur Verfügung.⁹⁹ Im Jahr 2023 wurden insgesamt rund 253.200 Altfahrzeuge aus dem In- und Ausland verwertet.¹⁰⁰ Dies sind deutlich weniger als im Jahr 2020 (-38 %). Die seit 2015 geltenden EU-Vorgaben wurden im Bereich Wiederverwendung und Verwertung (mindestens 95 % des durchschnittlichen Fahrzeuggewichts pro Jahr) im Jahr 2023 mit 93,2 % leicht verfehlt. Die Quotenvorgabe der EU für Wiederverwendung und Recycling von Altfahrzeugen (mindestens 85 %) wurde mit 86,1 % erreicht.¹⁰¹

Rund 2,3 Millionen Gebrauchtfahrzeuge¹⁰² wurden im Jahr 2023 exportiert, davon 1,9 Millionen Gebrauchtfahrzeuge in EU-Staaten, wie Tschechien, Frankreich, Niederlande, Rumänien und Polen.¹⁰³ Der Export in Nicht-EU-Staaten war in den letzten Jahren leicht rückläufig und lag 2023 bei rund 0,18 Millionen Gebrauchtfahrzeugen, 20 % davon nach Westafrika, 17 % nach Nordafrika, 9 % in die Schweiz und 32 % in Staaten der ehemaligen Sowjetunion (ohne Baltikum).¹⁰⁴ Der tatsächliche Verwendungszweck in den Zielländern ist aufgrund der fehlenden Nachverfolgung nicht bekannt. Die zweckgemäße Verwendung muss jedoch aufgrund der teilweise mangelnden Qualität der Gebrauchtfahrzeuge bezweifelt werden. Für weitere rund 0,1 Millionen Altfahrzeuge ist der Verbleib statistisch nicht nachweisbar und wurde durch das BMUV und UBA abgeschätzt.¹⁰⁵

Durchschnittliche Zusammensetzung eines PKW (in %)

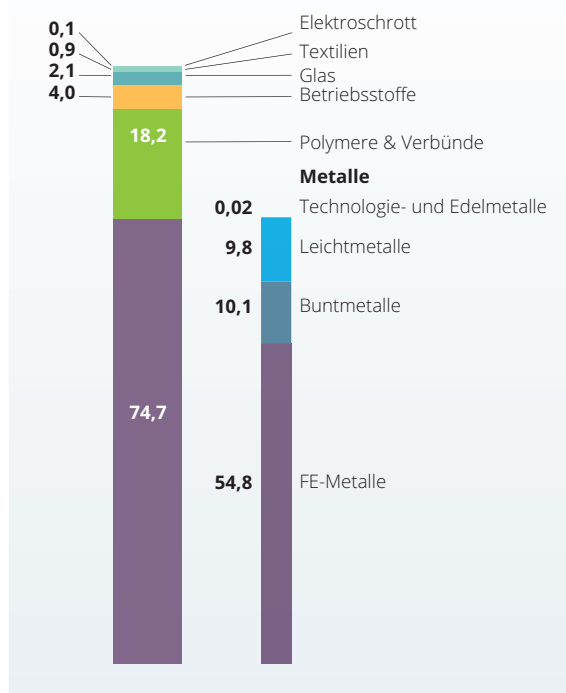


Abb. 34, Quelle: Faulstich, M./Prognos AG, Perspektiven des Altautorecyclings. Untersuchung im Auftrag der Scholz Recycling GmbH und der TSR Recycling GmbH & Co. KG, Mai 2018

die unterschiedliche Zusammensetzung der Fahrzeuge und der daraus zurückgewonnenen Fraktionen, u. a. fallen weniger Fe-Metalle durch den Wegfall des Motorblocks an und der Anteil an Kunststoffen nimmt zu. Dies wird sich auch auf die Kosten- und Erlösstrukturen auswirken.

Die aktuell diskutierten Änderungen der Altfahrzeugverordnung, u. a. Erweiterung der Verordnung auf andere Fahrzeugtypen (z. B. schwere Lastkraftwagen, Motorräder, Kleinfahrzeuge und spezielle Fahrzeuge), Definition und zukünftige Trennung von Geraucht- und Altfahrzeug, die Einführung von Mindestzyklatgehalten für Kunststoffkomponenten in neuen Fahrzeugtypen oder Anforderungen an das Fahrzeugdesign in Bezug auf eine bessere Verwertbarkeit, wirken sich direkt auf Hersteller von Fahrzeugen (Fahrzeugdesign, Strategien) und die Recyclingwirtschaft aus (u. a. Kapazitäten der Anlagen, Zusammensetzung der Altfahrzeuge).

Auch für die Herstellung von Fahrzeugbatterien sind die sogenannten „kritischen Rohstoffe“ unverzichtbar. Mindestens acht von ihnen, wie Cerium und Neodym, werden in modernen Hybrid-Elektroautos verbaut.¹⁰⁸ Damit die Recyclingwirtschaft ihrer Rolle als Rohstofflieferant gerecht werden kann, bedarf es neben innovativer Recyclingverfahren auf Seiten der Hersteller der Entwicklung eines kreislauf- und demontagegerechten Fahrzeugdesigns, um künftig eine Rückgewinnung gerade auch kleinster Mengen an kritischen Rohstoffen sicherstellen zu können.

1.5.11 Altreifen

Altreifen bestehen aus Gummi, Stahl, Textilien, Ruß, Additiven und weiteren Bestandteilen. Sie werden im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) als Abfall definiert, wenn sie im deutschen Straßenverkehr nicht mehr gebraucht werden, und werden als nicht gefährliche Abfälle unter den Abfallschlüsseln 16 01 03 (Reifen) und 19 12 04 (Kunststoff und Gummi) geführt.

In Deutschland fielen im Jahr 2023 439.000 Tonnen Altreifen an. Zusammen mit den Reifen aus der Fahrzeugverwertung und importierten Gebrauchtreifen wurden rund 504.000 Tonnen Altreifen in Deutschland verwertet.¹⁰⁹

Eine Pflicht zur Registrierung von Altreifen gibt es für Abfallerzeuger, -besitzer, -beförderer und -sammler von Altreifen gemäß KrWG aktuell nicht. Es besteht jedoch eine Anzeigepflicht für den Transport, die Sortierung, die Lagerung und die Verwertung der Altreifen bei der zuständigen Behörde. Altreifenentsorgungsbetriebe können sich zudem durch eine technische Überwachungsorganisation oder eine Entsorgungsgemeinschaft zertifizieren lassen. Im Gegensatz zu anderen Produkten, wie Verpackungen, Fahrzeugen, Batterien, Elektro- und Elektronik-

geräten oder (Mineral-) Ölen, fehlen aktuell eindeutige Regelungen, um eine ordnungsgemäße und umweltgerechte Entsorgung der Altreifen zu regeln.

Im Lebenszyklus von Reifen kann die Abfallhierarchie auf verschiedene Arten und in verschiedenen Phasen umgesetzt bzw. gestärkt werden: Die Produktion von Niederquerschnittsreifen führt zu einem geringeren Rohstoffeinsatz und unterstützt die Abfallvermeidung. Die Runderneuerung von Reifen (rund 28.000 Tonnen¹¹⁰) entspricht der 2. Stufe der Abfallhierarchie: „Aufbereitung zur Wiederverwendung“. An dritter und an vierter Stelle der Abfallhierarchie stehen die stoffliche und die energetische Verwertung. Die stoffliche Verwertung in der Form von Granulaten und Gummimehl hatte im Jahr 2023 den größten Anteil an der Altreifenentsorgung (rund 166.000 Tonnen). Der Reifentyp hat einen großen Einfluss auf die Verwertungsmöglichkeiten. Pkw-Reifen weisen einen höheren Textilanteil als Lkw-Reifen auf und sind aufgrund dessen schwieriger zu recyceln. Die aus der stofflichen Verwertung gewonnenen Granulate und Gummimehle werden bspw. für die Produktion von Kunstrasen, Asphalt, Sport- und Spielplatzmatten verwendet.

Die nicht recycelbaren brennbaren Anteile von Altreifen (Textil, Gummi) werden energetisch, u. a. in der Zementindustrie, verwertet. Im Jahr 2023 waren dies rund 109.000 Tonnen, was einem Anteil von 21 % an der gesamten Verwertungsmenge entspricht.

Im Jahr 2023 wurden insgesamt 68.000 Tonnen nicht vollständig abgenutzter Altreifen zur Weiter- und Wiederverwendung exportiert.¹¹¹ Der Export erfolgt in Länder, die keine strengen Vorgaben für die Sicherheit von Reifen haben, u. a. nach Marokko, Türkei, Pakistan, Indien oder Südkorea. Der Export von runderneuertem Reifen erreichte im Jahr 2023 eine Größenordnung von 49.000 Tonnen.

Der Export von Altreifen in Nicht-OECD-Staaten soll mit der im Mai 2027 in Kraft tretenden EU-Verord-



Altreifen, Quelle: unsplash

¹⁰⁸ Molycorp Inc. 2010 – nach British geological Survey, rare Earth Elements, June 2010.

¹⁰⁹ Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V., Altreifenverwertung in Deutschland, September 2024

¹¹⁰ ebd.

¹¹¹ ebd.

Verwertungswege in der Kreislaufwirtschaft

nung zur Abfallverbringung (2024/1157) grundsätzlich verboten werden, wenn diese die EU-Umweltstandards nicht erfüllen. Der Export in OECD-Staaten bleibt bestehen, wird jedoch strenger überwacht. Dies eröffnet in geringem Umfang auch neue Potenziale für das Recycling von Altreifen in Deutschland und der EU.

Deutschland verfügt über gute Voraussetzungen für ein hochwertiges Recycling des komplexen Materialverbunds von Altreifen, die jedoch in der Umsetzung an ihre Grenzen stößt.

Die Verwendung von Gummimehlen aus Altreifen ist seit über 30 Jahren bei der Asphaltherstellung bekannt, hat sich jedoch noch nicht flächendeckend durchgesetzt. Gründe hierfür sind unter anderem, dass Interessen der weiterverarbeitenden Erdölindustrie den Einsatz von gummimodifiziertem Asphalt beschränken oder Straßenbaubehörden die neuen Materialien nur zögerlich in Ausschreibungen zulassen oder gar fordern. Der Einsatz der gewonnenen Rezyklate aus der Altreifenverwertung bei der Reifenproduktion erfolgt nicht, da die hohen Anforderungen an die Materialeigenschaften nicht erfüllt werden können. Eine weitere Herausforderung ist die hohe Konkurrenz von Neumaterialien gegenüber Rezyklaten, da das Recycling von Altreifen meist teurer als die Nutzung von Primärmaterial ist. In Deutschland gibt es zudem für Altreifen noch keine gesetzliche Recyclingquote, und es gibt nur wenige spezialisierte Anlagen in Deutschland für ein hochwertiges Gummirecycling. Die Verwertung erfolgt daher oft thermisch (z. B. in Zementwerken). Das Recycling von Altreifen erfährt im Vergleich zu anderen Abfallströmen wie Kunststoff oder Elektroschrott, eine deutlich geringe Aufmerksamkeit, und politische Maßnahmen, wie Pfandsysteme, oder Ökodesign-Anforderungen, fehlen.

Recycling Europe (früher European Recycling Industries' Confederation - EuRIC) fordert daher die Einfüh-

rung von verbindlichen Mindestquoten für den Einsatz von recyceltem Gummi in neuen Reifen, strengere Ökodesign-Vorgaben für Reifen, eine Beschränkung von besorgniserregenden Stoffen sowie eine verpflichtende Möglichkeit zur Runderneuerung von Reifen auf EU-Ebene.¹¹²

Die aktuell unter der EU-Chemikalienverbotsverordnung REACH formulierten Grenzwerte für Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Aufgrund der in der EU-Chemikalienverbotsverordnung REACH formulierten Grenzwerte für Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und der Gehalte an PAK in den Reifengranulaten ist der Einsatz der Granulate nur in wenigen Erzeugnissen zulässig. Dies schränkt das Wachstumspotenzial für den Einsatz von Reifengranulaten stark ein.

Für neue Perspektiven der Altreifenverwertung werden Änderungen in der Regulierung, der Wirtschaft und in weiteren Bereichen notwendig sein (z. B. eine Altreifenverordnung). Es besteht darüber hinaus weiterer Bedarf an einem flächendeckend funktionierenden Kontrollmechanismus, der eine umweltgerechte Entsorgung der Reifen sicherstellt. Ebenso spielt für das zukünftige Recycling von Reifen die Einbindung der Reifenhersteller eine wichtige Rolle, um bereits in der Designphase das spätere Recycling der Altreifen zu erleichtern und diese frühzeitig in die Kreislaufwirtschaft einzubinden.

1.5.12 Mineralische Abfälle und industrielle Nebenprodukte

Mineralische Abfälle stellen die massenmäßig größte Abfallgruppe in Deutschland dar. Sie werden in nicht gefährliche und gefährliche mineralische Bau- und Abbruchabfälle sowie die sogenannten industriellen Nebenprodukte, zu denen insbesondere Flugaschen aus Kohlekraftwerken und Eisenhüttenschlacken zählen, unterteilt.

Mineralische Bau- und Abbruchabfälle

Mit rund 207,9 Millionen Tonnen im Jahr 2022 haben die Bau- und Abbruchabfälle den bedeutendsten Anteil an den mineralischen Abfällen. Mit 122,1 Millionen Tonnen hatten Boden und Steine (einschließlich Baggergut und Gleisschotter) den größten Anteil, gefolgt von Bauschutt (55,2 Millionen Tonnen), Straßenaufbruch (17,1 Millionen Tonnen) sowie mineralischen Baustellenabfällen (12,9 Millionen Tonnen).¹¹³

Die Initiative „Kreislaufwirtschaft Bau“ setzt sich seit 25 Jahren erfolgreich für die Verwertung mineralischer Bauabfälle ein. Sie ist ein Verbund von Verbänden der Bauwirtschaft und gehörte zu den ersten Selbstverpflichtungen der Industrie in Deutschland. Die Erzeugung von hochwertigen Sekundärbaustoffen durch Sortierung, Aufbereitung und Recycling von mineralischen Bauabfällen schont die knapper

¹¹² EURIC: EU Recyclers' Manifesto: For a competitive tyre recycling sector, 2025 Link: <https://euric.org/resource-hub/reports-studies/eu-recyclers-manifesto-for-a-competitive-tyre-recycling-sector>



¹¹³ Kreislaufwirtschaftsträger Bau e.V., Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2022, Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022, 2024



Werk zur Altholzaufbereitung, Quelle: Reiling

werdenden Primärrohstoffe. Im Jahr 2022 wurden 75,3 Millionen Tonnen Sekundärbaustoffe, u. a. aus Bauschutt (45,1 Millionen Tonnen), Straßenaufbruch (5,9 Millionen Tonnen) sowie Boden und Steinen (14,0 Millionen Tonnen), hergestellt. Sekundärbaustoffe werden unter anderem in der Asphalt- und Betonherstellung, im Straßen- und Erdbau sowie im Garten- und Landschaftsbau eingesetzt.¹¹⁴ Bevor diese Sekundärbaustoffe in Verkehr gebracht werden dürfen, müssen sie geprüft, güteüberwacht und zertifiziert werden. Verschiedene, teils bundesweit (z.B. QUBA-Qualitätsicherung Sekundärbaustoffe GmbH, Bundesüberwachungsverband Bauprodukte e.V. (BÜV BauPro)) oder teils auf Länderebene (z. B. BÜV NW, BÜV Nord oder Qualitätssicherungssystem RecyclingBaustoffe Baden-Württemberg (QRB)) organisierte Verbände und Organisationen sind darin tätig.

75 % der Böden und Steine sowie 13 % des Bauschutts werden für die Verfüllung übertägiger Abgrabungen (Gruben oder Tagebaue, aus denen Rohstoffe wie Kies, Sand, Ton, Braunkohle oder ähnliche Materialien gewonnen werden) im Rahmen der Wiedernutzbarmachungs- und Rekultivierungsmaßnahmen bzw. im Deponiebau eingesetzt. Das entspricht rund 48 % der im Jahr 2022 erzeugten 207,9 Millionen Tonnen mineralischer Abfälle.¹¹⁵

Mineralische industrielle Nebenprodukte

Ein Großteil der industriellen Nebenprodukte entsteht bei der Kohleverstromung und der Stahlproduktion. Bei der Rauchgasentschwefelung (REA) von Kohlekraftwerken entsteht REA-Gips, der eine hohe Qualität aufweist und als Alternative zum Naturgips in der Gips- und Zementindustrie oder auch als Düngemittel eingesetzt wird. Im Jahr 2023 wurden rund 3,4 Millionen Tonnen REA-Gips erzeugt¹¹⁶. Mit dem im Zuge der Energiewende stattfindenden Kohleausstieg wird das Aufkommen an REA-Gips sowie Flugaschen stark zurückgehen bzw. komplett wegfallen und über die Gewinnung von Primärrohstoffen oder Recyclinggips kompensiert werden müssen.

Bei der Produktion von Roheisen und Stahl entstehen Eisenhüttenschlacken, die als Rohstoff in der Herstellung von Zement, Beton, als Straßenbaustoff oder Düngemittel eingesetzt werden. Eisenhüttenschlacken werden in Hochofenschlacke (auch Roheisenschlacke), die bei der Roheisenproduktion mittels Eisenerz und Zuschlägen entsteht und sich je nach Abkühlungsart zu kristalliner Hochofenstückschlacke oder glasigem Hüttensand entwickelt, und Stahlwerksschlacke, die bei der Herstellung von Stahl aus Roheisen, Stahlschrott und weiteren Stoffen entsteht. Im Jahr 2024 fielen in Deutschland 7,1 Millionen Tonnen Hochofenschlacke und 4,7 Millionen Tonnen Stahlwerksschlacke entsteht.¹¹⁷ Hochofenschlacke wird zu über 73 % in der Zementherstellung verwendet, Stahlwerksschlacken vor allem im Tiefbau (knapp 46 %) sowie für die Herstellung von Dünge-

mitteln (knapp 14 %). Sie ähneln sowohl in ihrem Aussehen als auch in ihren Eigenschaften natürlichem Gestein wie Basalt oder Granit und ihr Einsatz als Baustoff bietet eine nachhaltige Alternative zum Abbau von Primärrohstoffen.

Im Rahmen der Defossilisierung der Stahlproduktion wird die Hochofenroute in Deutschland schrittweise eingestellt und durch alternative Technologien wie die wasserstoffbasierte Direktreduktion und die Elektrostahlroute ersetzt. Das führt zu einem kompletten Wegfall des Hüttensandes sowie zu einem Rückgang der Menge an Roheisenschlacke. Die Mengen an Stahlwerksschlacken werden hingegen zunehmen, da in der Roheisenschlacke aufgrund der Direktreduktion Bestandteile des Eisenerzes enthalten sein werden. Zudem werden neue Nebenprodukte entstehen, deren Einsatz wiederum zum Klima- und Ressourcenschutz beitragen können.

Aufteilung der mineralischen Abfälle (in Mio. Tonnen) (in %)

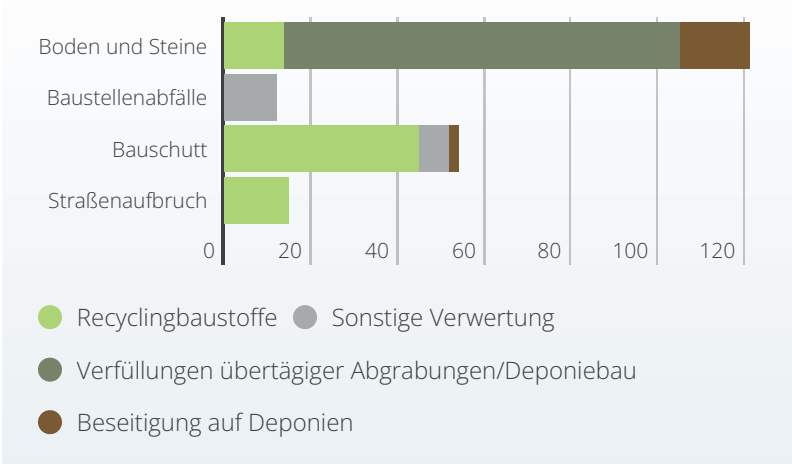


Abb. 35, Quelle: Kreislaufwirtschaftsträger Bau e.V.: Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022- Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022, 2024

Aktuelle Entwicklungen

Die sogenannte Mantelverordnung ist seit August 2023 in Kraft. Sie umfasste mehrere Teile, u. a. neu erlassene Ersatzbaustoffverordnung sowie die Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Die Ersatzbaustoffverordnung regelt die Vorgaben für die Herstellung und den Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen (Sekundärbaustoffen) in technischen Bauwerken und enthält u. a. Vorgaben für die Güteüberwachung sowie eine einheitliche Materialklassifizierung. Damit verrecklicht sie die seit Jahrzehnten in der Produktion von Sekundär und Baustoffen bewährten Verfahren zur Qualitätssicherung bezüglich der umweltrelevanten Eigenschaften. Aktuell steht die Branche noch vor einigen Herausforderungen bei der praktischen Umsetzung, u. a. die Umstellung auf die neuen Analyseverfahren und Materialklassifikationen, die weiterhin geringe Nachfrage nach Ersatzbaustoffen und weiterhin bestehende Unsicherheiten in Bezug auf den Einsatz von Sekundärbaustoffen.

¹¹⁴ Kreislaufwirtschaftsträger Bau e.V., Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2022, Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022, 2024

¹¹⁵ ebd.

¹¹⁶ https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Rohstoffe/Downloads/Downloads-MR/aktuelle_Publikationen/Gips_2025.html



¹¹⁷ FEHS – Institut für Baustoff-Forschung e.V. 10.2025, Report 2024, Erzeugung und Nutzung von Eisenhüttenschlacken in Deutschland im Jahr 2023 (Autor Dr.-Ing. Th. Merkel), 2024, [https://www.fehs.de/presse-meldungen-aktuell/stahlindustrie-2024-eisenhuetenschlacken-sparen-11-mio-tonnen-naturgestein-und-46-mio-tonnen-co2%E2%82%82/](https://www.fehs.de/presse-meldungen-aktuell/stahlindustrie-2024-eisenhuetenschlacken-sparen-11-mio-tonnen-naturgestein-und-46-mio-tonnen-co2)



Verwertungswege in der Kreislaufwirtschaft

In den letzten Jahren gibt es eine Vielzahl an Recyclingbemühungen u. a. für Ziegel- und gipshaltige Abfälle. Aufwändigere und teurere Verwertungsverfahren, u. a. die Nassklassierung von Bodenaushub, Bau-schutt oder Beton, werden aufgrund der knapper werdenden Primärressourcen rentabler und gewinnen an Attraktivität. Unterstützt werden die Entwicklungen von einem langsamen Umdenken bei der Politik und den Genehmigungsbehörden in Richtung eines vermehrten Einsatzes von Sekundärbaustoffen.

Die aktuell diskutierte Abfall-Ende-Regelung, die definiert, wann ein Abfall nach der Behandlung nicht mehr als Abfall, sondern als Produkt gilt und somit strengere abfallrechtliche Vorgaben für Transport, Lagerung und Einsatz entfallen, bietet zahlreiche Vorteile für Umwelt, Wirtschaft und die Baupraxis. Sie fördert die Akzeptanz von Sekundärbaustoffen, bietet neue Vermarktungschancen, reduziert Entsorgungskosten, trägt zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft bei und reduziert den Bedarf an Primärrohstoffen.

118 Statistisches Bundesamt, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Tabellen/oeffentliche-aba-7kBJ2022.html>



119 Statistisches Bundesamt, Destatis (Tabelle 32214-0010)

1.5.13 Klärschlamm

120 ebd.

Klärschlamm besteht zum Großteil aus organischen und mineralischen Stoffen, die bei der Reinigung von Abwässern durch Sedimentation anfallen und enthält neben wertvollen Nährstoffen wie Stickstoff und Phosphor unter Umständen auch Schadstoffe wie Schwermetalle und zunehmend auch Arzneimittelrückstände sowie Kunststoffe. Es wird zwischen kommunalen und industriellen Klärschlämmen unterschieden.

Standorte von Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen sowie Anlagen mit alternativen thermischen Verfahren zur Entsorgung von Klärschlamm 2022

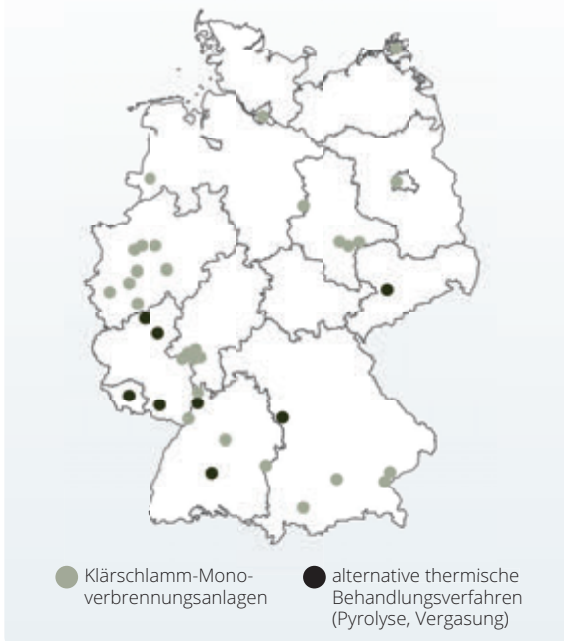


Abb. 36, Quelle: RWTH Aachen, UBA Texte 56/2025, Zusatzrecherchen Prognos AG (Kartengrundlage GfK GeoMarketing)

Kommunale Abwasserbehandlungsanlagen

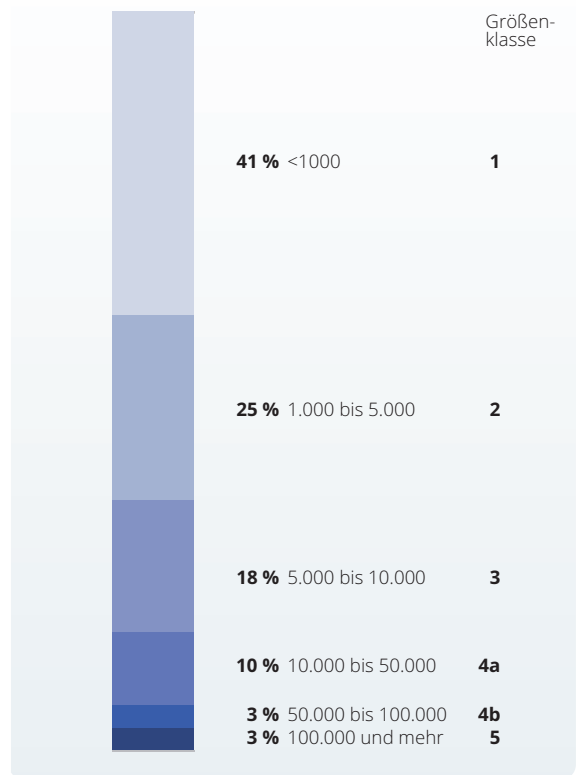


Abb. 37, Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 19, Reihe 2.1.3

Kommunale Klärschlämme

Für die Reinigung kommunaler Abwässer stehen in Deutschland mehr als 8.659 öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen (ab 50 Einwohnerwerten) zur Verfügung, die in Abhängigkeit von der Anzahl der angeschlossenen Einwohnerinnen und Einwohner in verschiedene Größenklassen unterteilt werden.¹¹⁸

Im Jahr 2023 fielen bundesweit 1,63 Millionen Tonnen Tonnenmasse an kommunalen Klärschlämmen aus der biologischen Abwasserbehandlung an. Das aufkommensstärkste Bundesland ist Nordrhein Westfalen mit einem Anteil von 21 % (0,34 Millionen Tonnen TM), gefolgt von Bayern mit 17 % (0,27 Millionen Tonnen TM) und Baden-Württemberg mit rund 13 % (0,21 Millionen Tonnen TM).¹¹⁹ Die Entwicklung der vergangenen Jahre zeigt eine rückläufige Tendenz. Seit dem Jahr 2011 hat sich das Aufkommen an Klärschlamm um 16 % bzw. rund 0,32 Millionen Tonnen TM verringert. Gründe liegen u. a. in den technischen Entwicklungen, die zu Effizienzsteigerungen bei den Anlagen geführt haben, dem Ausbau der anaeroben Schlammstabilisierung sowie der Verwendung effektiverer Abscheider.

Die kommunalen Klärschlämme wurden im Jahr 2023 mit nahezu 1,3 Millionen Tonnen TM (81 %) überwiegend thermisch in Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen bzw. in Kraftwerken, Zementwerken und Abfallverbrennungsanlagen entsorgt. Die verbleibenden 0,3 Millionen Tonnen TM (18 %) wurden stofflich verwertet, d. h. in der Landwirtschaft oder bei landbaulichen Maßnahmen eingesetzt.¹²⁰

In Deutschland stehen für die thermische Behandlung aktuell 29 Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen zur Verfügung. Anlagen werden ausschließlich für die Entsorgung industrieller Klärschlämme genutzt. Die genehmigte Gesamtkapazität beträgt 1,13 Millionen Tonnen TM pro Jahr für kommunale Klärschlämme in den verbleibenden 22 Anlagen.¹²¹ Bis zum Jahr 2029 sollen weitere Monoverbrennungskapazitäten dazukommen.

Neben den klassischen Mono- und Mitverbrennungsanlagen werden Klärschlämme in acht Anlagen mit alternativen thermischen Verfahren wie Vergasung bzw. Pyrolyse behandelt. Eine Anlage davon befindet sich aktuell nicht in Betrieb. Die Kapazität der sieben Anlagen beträgt 11 Tausend Tonnen TM.¹²²

Phosphorrückgewinnung aus kommunalen Klärschlämmen

Phosphate sind für den Menschen ein wichtiger Baustein für den Zellaufbau und werden als Dünger für das Pflanzenwachstum eingesetzt. Von der EU wurde Phosphor auf die Liste der kritischen Rohstoffe gesetzt, da der Großteil der Phosphataufkommen außerhalb der EU (China, Afrika, Jordanien) liegen und Phosphate derzeit überwiegend importiert wird.

Die Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung aus dem Jahr 2017 zielt vor allem auf die Rückgewinnung von Phosphor aus dem kommunalen Klärschlamm bzw. aus der Asche von Monoverbrennungsanlagen ab. Diese verbietet die bodenbezogene Verwertung für Klärschlämme ab 2029 aus kommunalen Kläranlagen mit mehr als 100.000 Einwohnerwerten (Größenklasse 5) und ab 2032 für Kläranlagen mit mehr als 50.000 Einwohnerwerten (Größenklasse 4b).

Die gängigsten der P-Rückgewinnung umfassen die direkte biologische Struvit-Fällung, nasschemische Ascheverfahren sowie thermochemische Verfahren. Ein wichtiger Bestandteil dieser Verfahren ist die Monoverbrennung, von Klärschlamm um die phosphorhaltige Asche zu gewinnen. Neben diesen Verfahren gibt es Versuche, Phosphor direkt aus dem Klärschlamm zurückzugewinnen.

Schlämme aus der Abwasserbehandlung

Klärschlämme entstehen auch bei der Reinigung von Abwasser in industriellen Betrieben, beispielsweise in der Papier- und Zellstoffindustrie, der Lebensmittelproduktion, der Metallverarbeitung sowie in chemischen und petrochemischen Anlagen. Je nach Branche können die Schlämme Schwermetalle, organische Schadstoffe oder andere problematische Stoffe enthalten.

Die Behandlung dieser Schlämme ist anspruchsvoll. Ein zentrales Problem ist der sehr hohe Wassergehalt – oft über 95 %. Das macht Transport und Entsorgung kostenintensiv. Hinzu kommt die Notwendigkeit, Schadstoffe sicher zurückzuhalten. Für industrielle Klärschlämme gibt es keine gesetzliche Pflicht zur Phosphorrückgewinnung, wie sie für kommunale Schlämme gilt. Dennoch kann die Rückgewinnung von Wertstoffen wie Phosphor oder Metallen wirtschaftlich interessant sein und wird in Einzelfällen umgesetzt.

Im Abfallverzeichnis werden diese Schlämme primär unter Kapitel 19 („Abfälle aus Abwasserbehandlungsanlagen“), aber auch branchenspezifisch geführt. Danach wurden im Jahr 2023 nahezu 2,5 Millionen Tonnen FM behandelt, darunter nahezu 0,6 Millionen Tonnen FM gefährliche betriebliche und industrielle Schlämme aus der Abwasserbehandlung.¹²³ Der Anteil der thermischen Verwertung dieser Schlämme lag bei rund 30 %.

Die Aufbereitung erfolgt in mehreren Schritten: Zunächst wird der Schlamm mechanisch entwässert und gegebenenfalls getrocknet. Laut Umweltbundesamt kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Organisch belastete Schlämme können biologisch stabilisiert werden, wobei Biogas entsteht. Stark belastete Schlämme werden meist thermisch behandelt, etwa in Monoverbrennungsanlagen oder durch Mitverbrennung in Kraftwerken. Aus der Asche lassen sich wertvolle Rohstoffe zurückgewinnen, sofern dies technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist.

¹²¹ Umweltbundesamt (Text 56/2025), Evaluierung verfügbarer Kapazitäten thermischer Klärschlammbehandlung sowie zur Phosphorrückgewinnung, 2025

¹²² ebd.

¹²³ Statistisches Bundesamt, Genesis, Tabelle 32111-0004, Hochrechnung Prognos über Abfallschlüssel

Entsorgung von Klärschlamm aus der öffentlichen Abwasserbehandlung 2023 (Tsd. Tonnen Trockenmasse)

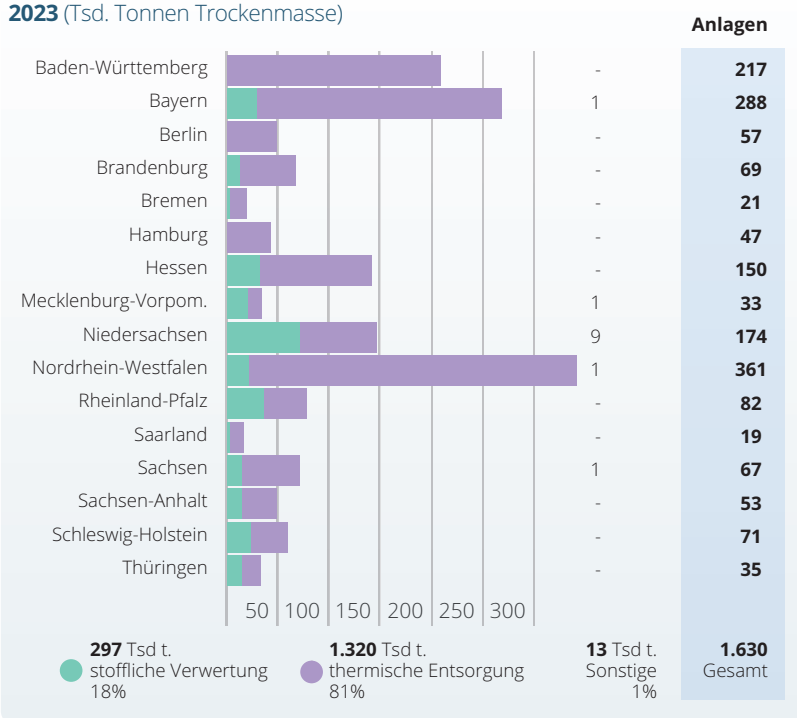


Abb. 38, Quelle: Statistisches Bundesamt, Destatis (Tabelle 32214-0010)

Aktuelle Herausforderungen

Für die Betreiber von Kläranlagen kommen mit der überarbeiteten Urban Waste Water Treatment Directive (UWWTD), die im April 2025 in Kraft trat, weitere Herausforderungen dazu. Die Verordnung verpflichtet die Betreiber von Kläranlagen gestaffelt nach Anlagengröße zu einer vierten Reinigungsstufe, um Mikroverunreinigungen um mindestens 80 Prozent zu entfernen. Zudem werden die Grenzwerte für Stickstoff und Phosphor verschärft und die Energieneutralität der Kläranlagen bis 2040 gefordert. Die EU-Mitgliedstaaten müssen diese Verordnung bis zum 31. Juli 2027 in nationales Recht umsetzen.

1.5.14 Altöle

Altöle sind gemäß der Altölverordnung (AltöIV) gebrauchte Öle, die aus verschiedenen Anwendungen wie Motoren, Getrieben, Hydraulikanlagen und anderen industriellen Prozessen stammen. Sie umfassen eine Vielzahl von Ölarten, darunter Mineralöle, synthetische Öle und biologisch abbaubare Varianten. Während der Nutzungsphase verlieren die Öle ihre Wirkung, aufgrund derer sie eingesetzt werden, u. a. Reibungsminderung, Schwingungsdämpfung, Korrosionsschutz und Dichtwirkung. Sie reichern sich mit Abrieb, Kraftstoffresten, Ruß und Aschen an, was ihren regelmäßigen Austausch notwendig macht. Die größten Mengen entfallen auf Motoren-, Getriebe- und Hydrauliköle. Aufgrund ihres Schadstoffgehaltes, etwa durch Schwermetalle, PCB oder Halogene, können Altöle bei unsachgemäßer Entsorgung Umweltschäden verursachen. Deshalb werden sie als gefährlich eingestuft.

Die Verwertung und Entsorgung von Altölen ist in Deutschland streng geregelt. Maßgeblich ist die Altöl-



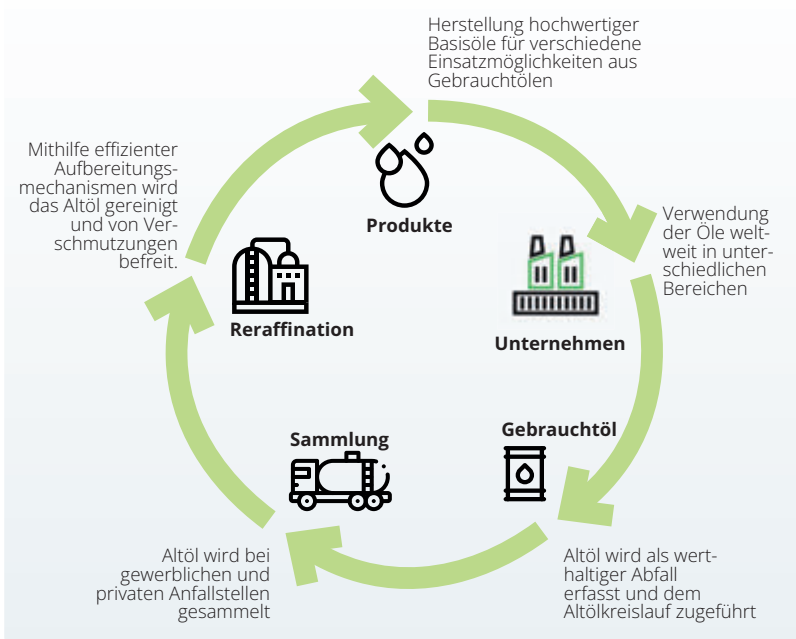
Ölwechsel, Quelle: unsplash

verordnung, zuletzt novelliert im Jahr 2020, welche die Anforderungen an die stoffliche und energetische Verwertung sowie die Beseitigung von Altölen definiert und den Aufbereitungsvorrang festlegt. Verantwortlich für die Einhaltung der Regelungen sind Hersteller, Vertreiber, Erzeuger, Besitzer, Sammler und Beförderer von Altöl sowie Betreiber von Altölbehandlungs- und -entsorgungsanlagen und öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger. Auf EU-Ebene ist die Altölbewirtschaftung in der Abfallrahmenrichtlinie in Artikel 21 festgelegt.

Die AltöIV schreibt vor, dass Altöle sortenrein gesammelt und nicht mit anderen Abfällen vermischt werden dürfen. Dadurch werden Verunreinigungen anderer Abfälle vermieden und höherwertige Recyclingverfahren ermöglicht. Zur Erleichterung der Verwertung werden Altöle in vier Sammelkategorien unterteilt: Altöle der Sammelkategorie 1 (SK1) sind für die Aufbereitung geeignet, während die Kategorien SK2 bis SK4 nur eingeschränkt oder gar nicht stofflich verwertet werden dürfen.

Die Altölverwertung erfolgt grundsätzlich auf zwei technologischen Wegen. Der erste Weg beschreibt die stoffliche Verwertung (Reraffination), in der das Altöl durch Filtration, Zentrifugation, Destillation und Raffination von Verunreinigungen, Wasser und Additiven befreit wird. Dabei entstehen wiederverwendbare Basisöle, die zur Herstellung neuer Schmierstoffe eingesetzt werden können. Dieser Form der Verwertung wird im Sinne der Abfallhierarchie der Vorrang eingeräumt. Der zweite Weg stellt die energetische Verwertung dar, in der das Altöl als Ersatzbrennstoff in Industrieanlagen, beispielsweise in Zement- oder Kalkwerken genutzt wird. Die Mengen, die in die energetische Verwertung gehen, sind in den letzten Jahren rückläufig.

Kreislauf des Recyclings von Altöl



In Deutschland anfallende Mengen an Altölen

Die Entwicklung des Altölaufkommens steht in engem Zusammenhang mit dem Schmierstoffabsatz. Im Jahr 2024 wurden in Deutschland rund 654.900 Tonnen Schmierstoffe verkauft – ein Rückgang von 14 % gegenüber dem Vorjahr. Besonders deutlich fiel der Rückgang bei Motorenölen aus, deren Absatz im Jahr 2024 um fast 20 % sank. Ursache hierfür ist die rückläufige Automobilproduktion sowie der anhaltende Strukturwandel hin zur Elektromobilität, die den Bedarf an klassischen Schmierstoffen deutlich reduziert. Hinzu kommt eine insgesamt schwache Industrieproduktion, insbesondere im verarbeitenden Gewerbe, die den Schmierstoffbedarf ebenfalls dämpft.

Im Jahr 2024 fielen in Deutschland inklusive der Importe rund 516.400 Tonnen Altöl zur Behandlung an. Unter Berücksichtigung des Außenhandels ergibt sich ein potentiell mögliches Altölaufkommen von 516.400 t, aus dem die Raffinerien knapp 290.000 t CO₂-reduzierte Schmierstoffe für Wirtschaft und Industrie hergestellt haben. Rund 68.800 Tonnen wurden anderweitig verwertet und etwa 24.740 Tonnen in der Zement- und Kalkindustrie energetisch verwertet.¹²⁴

Herausforderungen bei der Verwertung von Altöl

Deutschland verfügt mit den modernsten Raffinerien weltweit über eine leistungsfähige und spezialisierte Infrastruktur zur Altölverwertung, die auf hochwertige Aufbereitung und Recyclingprozesse ausgerichtet ist und Basisöle in virgin-like Qualität herstellen kann. Maßgeblich für die Rezyklierbarkeit von Altöl ist dessen Qualität. Die Vermischung von Altölen höherwertiger Qualität mit solchen geringerer Qualität erschwert die Aufbereitung massiv und wirkt sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Verfahren aus. Eine strikte Einhaltung des Vermischungsverbots ist deshalb unbedingt geboten. Neue Anforderungen bei Regularien und Auflagen sowie lange Genehmigungsverfahren sorgen zudem bei den Anlagenbetreibern für finanzielle Herausforderungen.

Dennoch bietet die Altölverwertung erhebliche ökonomische und Umweltschutzpotenziale. Durch die Aufbereitung zu Basisöl, Schmierstoffen und anderen Produkten können wertvolle Ressourcen zurückgewonnen werden, was den Rohölverbrauch reduziert und die Umweltbelastung verringert. Die Herstellung von Basisölen aus Gebrauchttölen statt aus Rohöl reduziert die CO₂-Emissionen sowie den Energiebedarf, die Feinstaubbelastung und das Versauerungspotential um jeweils mindestens 90 %.¹²⁵

Aktuell gibt es weder auf europäischer noch auf deutscher Ebene verbindliche Recyclingquoten. Laut Artikel 21 der Abfallrahmenrichtlinie müssen Altöle jedoch entsprechend der Abfallhierarchie vorrangig recycelt werden. Die Aufnahme einheitlicher Sammel- und Recyclingquoten in die Abfallrahmenrichtlinie

könnte das Altölrecycling weiter fördern und helfen, die beschriebenen Potenziale auszuschöpfen. Zwischen 2019 und 2023 hat die Europäische Kommission umfangreiche Studien zur Bewirtschaftung von Altölen in der EU durchgeführt. Im Ergebnis fordert die Kommission die Mitgliedsstaaten auf, die Umsetzung der EU-Vorschriften für Altöle auf nationaler Ebene zu verbessern. Je nach Umsetzung der Abfallrahmenrichtlinie in den Mitgliedsstaaten erwägt die EU weitere Maßnahmen, bspw. die verbindliche Einführung von Sammel- und Recyclingquoten für mehr Recycling, weniger Verbrennung und mehr Markttransparenz.

¹²⁴ Bundesverband Altöl E.V.

¹²⁵ Updated LCA for regeneration of waste oil to base oil, ifeu 2022

Schematische Übersicht zum Altölaufkommen und den Verwertungswegen 2024 (in Tonnen)

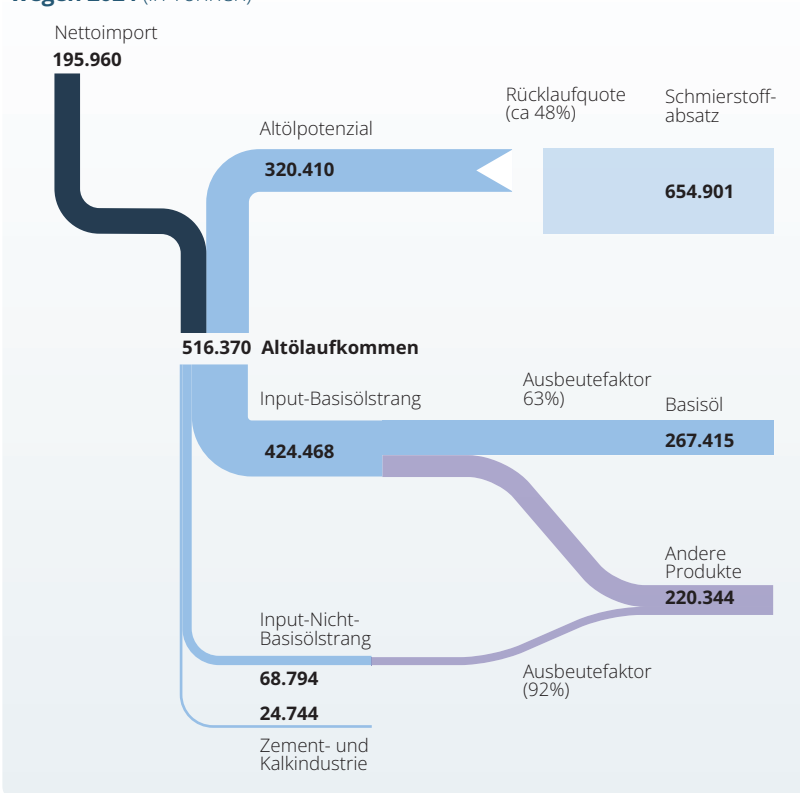


Abb. 40, Quelle: Bundesverband Altöl E.V. mit Daten von BAfA, UBA, Ökopol, VDZ, BVK, eigenen Berechnungen

Altöl ist ein werthaltiger Abfall, der auf den nationalen und internationalen Märkten nach strengen Regeln gehandelt wird. Die stoffliche Verwertung durch Reraffination bietet ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber der Herstellung von Schmierstoffen aus Rohöl und die deutsche Sammlung und Aufbereitung von Altöl gewährleistet die erforderliche Entsorgungssicherheit sowie hohe ökologischen Anforderungen. Die konsequente Umsetzung der Kreislaufwirtschaft auf allen Ebenen sowie technologische Innovationen sind entscheidend, um das volle Potenzial der Altölverwertung auszuschöpfen. Für die Altölindustrie, insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen, sind schnelle Genehmigungsverfahren und die Vereinfachung bürokratischer Auflagen, etwa bei Berichtspflichten, von großer Bedeutung.

1.5.15 Gefährliche Abfälle

Ob Bau, Chemie oder Energie: In nahezu allen Wirtschaftsbereichen sowie in Kleinstmengen in privaten Haushalten entstehen Abfälle, die aufgrund verschiedenster Eigenschaften gefährlich sind. Ein Abfall ist z. B. gefährlich, wenn er oder ein Bestandteil explosiv, entflammbar oder giftig ist. Sie sind ein unvermeidbarer Bestandteil unserer Produktions- und Konsumprozesse und stellen zugleich ökologische sowie sicherheitstechnische Herausforderungen dar. Entscheidend ist daher, wie wir mit diesen Stoffen umgehen: sicher, ressourcenschonend und im Einklang mit den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft.

Viele gefährliche Abfälle enthalten neben Schadstoffen auch Materialien, die für die Industrie wertvoll oder sogar unverzichtbar sind. Ihre Rückgewinnung und die nachhaltige Entsorgung nicht verwertbarer Reste erfordern technologische Spitzenleistungen und die Zusammenarbeit aller Akteure – von Produzenten und Konsumenten über Aufbereiter und Entsorger bis hin zu politischen Entscheidungsträgern.

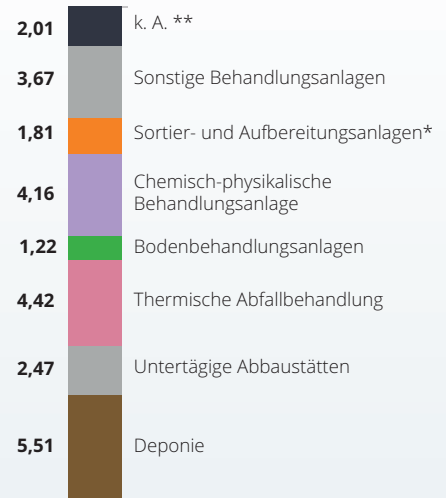
Von den insgesamt 842 Abfallarten im europäischen Abfallverzeichnis gelten 408 als gefährlich. Sie umfassen aufgrund der sehr unterschiedlichen Arten der Gefährlichkeit, der Vielzahl an Stoffen und Produkten, Zusammensetzungen usw. ein breites Spektrum – von alltäglichen Abfällen wie Altölen bis hin zu komplexen medizinischen Abfällen wie zytotoxischen und zytostatischen Arzneimitteln.



Medizinische Abfälle, Quelle: unsplash

Entsorgungswege für gefährliche Abfälle 2023

(inkl. von aus dem Ausland angelieferter Abfälle; in Mio. Tonnen)



* Sortieranlagen, Demontagebetriebe für Altfahrzeuge, Schredderanlagen
 ** Differenzmenge, die aus Datenschutzgründen den einzelnen Entsorgungswegen nicht zugeordnet wurde und Schrottscheren, Zerlegeeinrichtungen

Abb. 41, Quelle: Statistisches Bundesamt, Destatis (Tabelle 32111-0004); eigene Darstellung

Im Jahr 2023 wurden rund 25,5 Millionen Tonnen gefährlicher Abfälle in Deutschland behandelt, darunter nahezu 2,5 Millionen Tonnen aus anderen Staaten. Das entspricht einem Anteil von 6,6 % an der Summe der in Abfallbehandlungsanlagen behandelten Abfällen.¹²⁶

Zu den gefährlichen Abfallarten zählen Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen und öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen (Kapitel 19 des Abfallartenkataloges) mit 9,2 Millionen Tonnen (36 %), gefolgt von Bau- und Abbruchabfällen (Kapitel 17) mit 7,8 Millionen Tonnen (31 %). Weitere relevante Mengen sind Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen (Kapitel 07) mit 1,2 Millionen Tonnen (5 %) sowie Ölabbfälle und Abfälle aus flüssigen Brennstoffen (Kapitel 16) mit 1,2 Millionen Tonnen (knapp 5 %).

Der Umgang mit gefährlichen Abfällen ist streng geregelt – national und europäisch. In Deutschland bildet das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) die Grundlage und schreibt die fünfstufige Abfallhierarchie vor. Ergänzend gelten die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV), und die Nachweisverordnung (NachwV). Zusätzlich bestehen in einigen Bundesländern besondere Vorgaben: In Berlin, Brandenburg, Hamburg, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg gilt eine Andienungspflicht, während in Bayern eine Überlassungspflicht an die GSB-Sonderabfall-Entsorgung Bayern GmbH vorgeschrieben ist. Auf EU-Ebene setzt die Abfallrahmenrichtlinie verbindliche Ziele für Vermeidung und Recycling, während die POP-Verordnung die Behandlung persistenter organischer Schadstoffe regelt. Zukünftige Herausforderungen entstehen durch strengere Grenzwerte, neue Stoffverbote im Chemikalienrecht und die



Schadstoffannahme, Quelle: ASP

Umsetzung der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie. Hinzu kommen digitale Nachweissysteme und innovative Technologien, die die Prozesse effizienter und sicherer machen.

Die Komplexität und Toxizität gefährlicher Abfälle stellen die Entsorgungswirtschaft vor erhebliche Herausforderungen. Für eine umweltgerechte und ressourcenschonende Behandlung steht bundesweit ein Netzwerk spezialisierter Verfahren zur Verfügung – von der Ablagerung auf gesicherten Deponien über thermische Prozesse bis hin zu werkstofflicher und rohstofflicher Verwertung. Mehr als 2.600 Behandlungs- und Entsorgungsanlagen arbeiten nach hohen technischen Standards und sind international anerkannt.

Mit komplexen Verfahren in Hochtechnologie-Anlagen werden beispielsweise Lösemittel und Basisöle recycelt, Altöle zu Hydraulik- oder Getriebeölen aufbereitet. Flüssige und pastöse Abfälle werden in chemisch-physikalischen Anlagen vorbehandelt, um Schadstoffe abzutrennen – 2023 waren das rund 4,0 Millionen Tonnen.¹²⁷

Im Jahr 2023 wurden rund 4,4 Millionen Tonnen gefährlicher Abfälle thermisch verwertet oder beseitigt. Dazu zählen beispielsweise Althölzer der Kategorie A IV, Schlämme aus der industriellen Abwasserbehandlung sowie vorgemischte Abfälle.

2023 wurden rund 5,5 Millionen Tonnen gefährlicher Abfälle auf speziell gesicherten Deponien abgelagert. Den größten Anteil bildeten kohlenteeerhaltigen Bitumengemischen (1,2 Mio. Tonnen), gefolgt von belasteten Böden und Steinen (1,1 Mio. Tonnen), und asbesthaltigen Baustoffen (0,5 Mio. Tonnen). Weitere 2,1 Millionen Tonnen wurden direkt in untertägige Abbaustätten verbracht – ein Verfahren für besonders kritische Materialien.

Aufgrund der hohen Spezialisierung und teilweise geringen Mengen einzelner Abfallarten ist eine überregionale – zwischen den einzelnen Bundesländern – und internationale Zusammenarbeit erforderlich. Diese Mengen unterliegen den Bestimmungen des Basler Übereinkommens, das seit 1995 gilt.

Für den zukünftigen Ausbau der Kreislaufführung nutzbarer gefährlicher Abfälle braucht es nicht nur klare rechtliche Rahmenbedingungen und eine enge Zusammenarbeit über Ländergrenzen hinweg, sondern auch Investitionen in innovative Technologien, digitale Nachweissysteme und eine konsequente Ausrichtung auf Ressourcenschonung. Künstliche Intelligenz (KI) wird dabei eine Schlüsselrolle spielen: Sie kann gefährliche Stoffe in komplexen Materialströmen identifizieren, Entsorgungswege optimieren und Kapazitäten in Spezialanlagen effizient steuern.

 Statistisches Bundesamt, Genesis, Tabelle 32111-0004

1.6 Marktteilnehmer in der Kreislaufwirtschaft



Organisation der Aufgaben und Leistungen der Kreislaufwirtschaft

In Deutschland wird die Kreislaufwirtschaft durch ein Zusammenspiel verschiedener Akteure getragen: öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, Betriebe, private Unternehmen und Öffentlich-Private Partnerschaften (ÖPP) arbeiten gemeinsam daran, die Entsorgungs- und Verwertungsprozesse effektiv und zu gestalten. Diese Organisationen stellen die notwendigen Kapazitäten und Technologien bereit – von der Sammlung und dem Transport über die stoffliche und energetische Verwertung bis hin zur sicheren Beseitigung von Schadstoffen. Das Ergebnis ist eine moderne Daseinsvorsorge, die auf der intelligenten Verbindung von Erfahrung, Effizienz und wirtschaftlicher Tragfähigkeit basiert.

1.6.1 Betriebswirtschaftliche Kennzahlen

Bundesweit sind rund 9.500 kommunale¹²⁸ und private Unternehmen in der Kreislaufwirtschaft tätig (Stand 2023).¹²⁹ Sie beschäftigen rund 322.000 Erwerbstätige. Die Zahl der Unternehmen verteilt sich auf die verschiedenen Marktsegmente (rund 3.100 auf „Abfallbehandlung und -verwertung“, rund 2.900 auf „Großhandel mit Altmaterialien“ und rund 2.300 auf „Abfallsammlung, Transport und Straßenreinigung“). Nur das Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ fällt mit rund 1.200 Unternehmen deutlich kleiner aus, was auf einen signifikanten Anteil von großen Unternehmen mit einer hohen Zahl an Erwerbstätigen schließen lässt. Im Gegensatz dazu finden sich im „Großhandel mit Altmaterialien“ besonders viele Unternehmen mit vergleichsweise wenig Erwerbstätigen.

Insgesamt nimmt die Zahl der Unternehmen ab, im Durchschnitt um 1,2 % pro Jahr. Im Ergebnis ist die Gesamtzahl gegenüber 2010 damit um etwa 2.000 zurückgegangen. Am deutlichsten fällt der Rückgang sowohl absolut als auch relativ in den beiden unternehmensstarken Marktsegmenten „Großhandel mit Altmaterialien“ (-25 %) und „Abfallbehandlung und -verwertung“ (-21 %) aus. Für die Branche ist die rückläufige Entwicklung bei der Zahl der Unternehmen jedoch kein ausschließlich negatives Signal. Da gleichzeitig die Zahl der Erwerbstätigen, mit Ausnahme des mit Altmaterialien, in allen Segmenten wächst, kann die Entwicklung vielmehr als Ausdruck einer wirtschaftlichen Konzentrierung eingeordnet werden.

Zwischen den Marktsegmenten bestehen teils deutliche Unterschiede in Bezug auf den Umsatz der Unternehmen. Die höchsten Umsätze werden im Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ erzielt. Der mittlere Umsatz liegt hier bei rund 16 Mil-

lionen Euro pro Unternehmen und 360.000 Euro je Erwerbstätigem, was insbesondere auf den Vertrieb von Sekundärmaterialien zurückzuführen ist. Auch das Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ ist mit 13,1 Millionen Euro pro Unternehmen sehr umsatzstark, hier lag der durchschnittliche Wert pro Erwerbstätigem bei ca. 280.000 Euro. Der niedrigste Wert pro Erwerbstätigem entfällt auf das Marktsegment „Abfallsammlung, Transport und Straßenreinigung“ mit ca. 200.000 Euro, was in einem durchschnittlichen Umsatz von 8,8 Millionen Euro pro Unternehmen resultiert. Das Marktsegment „Großhandel mit Altmaterialien“ nimmt in dieser Betrachtung eine Sonderrolle ein, da es mit 6,8 Millionen Euro den niedrigsten Umsatz pro Unternehmen verzeichnet, gleichzeitig mit über 950.000 Euro aber den höchsten Umsatz je Erwerbstätigem aufzeigt. Dies spiegelt die allgemein niedrige Anzahl an Beschäftigten im Großhandel wider.

¹²⁸ Inklusive kommunaler Eigenbetriebe sowie Anstalten öffentlichen Rechts.

¹²⁹ Diese Zahl umfasst umsatzsteuerpflichtige Unternehmen sowie öffentlich-rechtliche Betriebe. Kleinunternehmen unter 22.000 Euro Jahresumsatz sind nicht berücksichtigt.



Restabfallsammlung mit Rollcontainern, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Marktteilnehmer in der Kreislaufwirtschaft

Statistisches Bundesamt (2025): Jahresabschlüsse der kaufmännisch buchenden Extra-haushalte und der kaufmännisch buchenden sonstigen öffentlichen Fonds, Einrichtungen und Unternehmen

Die Spannweite der Umsatzwerte hängt stark mit den unterschiedlichen Vorleistungsbezügen in den Marktsegmenten zusammen. Die Bruttowertschöpfung (BWS) erlaubt daher eine treffendere Einordnung der wirtschaftlichen Beiträge der Betriebe. Mit rund 5,6 bzw. 5,5 Millionen Euro pro Unternehmen und 127.000 bzw. 123.000 Euro pro Erwerbstätigem fällt diese in den klassischen Marktsegmenten „Abfallsammlung, Transport und Straßenreinigung“ und „Abfallbehandlung und -verwertung“ am höchsten aus. Die Wertschöpfung im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ mit knapp 4,6 Millionen Euro pro Unternehmen und 101.000 Euro je Erwerbstätigen liegt. Mit 546.000 Euro je Unternehmen und 80.000 Euro je Erwerbstätigen fällt die Wertschöpfung im Verhältnis deutlich geringer aus.

Kernaktivitäten, also insbesondere insbesondere in den Bereichen Abfallsammlung und -transport sowie Verwertung und Beseitigung eine signifikante Rolle. Insgesamt waren im Jahr 2022 in diesen Marktsegmenten zusammen über 600 öffentliche Einrichtungen und Unternehmen tätig (> 11 %). Davon waren ca. 90 % auf Ebene von Gemeinden und Gemeindeverbänden aktiv, während die restlichen 10 % auf Länderebene verortet sind. Die Umsatzerlöse dieser öffentlichen Einrichtungen und Unternehmen lagen im Jahr 2023 über 16 Milliarden Euro (22 %).¹³⁰ Mit einem durchschnittlichen Umsatzerlös von über 25 Millionen Euro pro Einrichtung und Unternehmen erzielen sie deutlich größere Umsätze pro Einheit, als die privaten Akteure erwirtschaften.

Der deutlich überwiegende Teil der Kreislaufwirtschaft ist in privatwirtschaftlichen Unternehmen organisiert. Dennoch spielen öffentliche Einrichtungen und Unternehmen in den abfallwirtschaftlichen

Unternehmen, Erwerbstätige, Umsätze und Bruttowertschöpfung in der Kreislaufwirtschaft – Vergleich nach Marktsegmenten

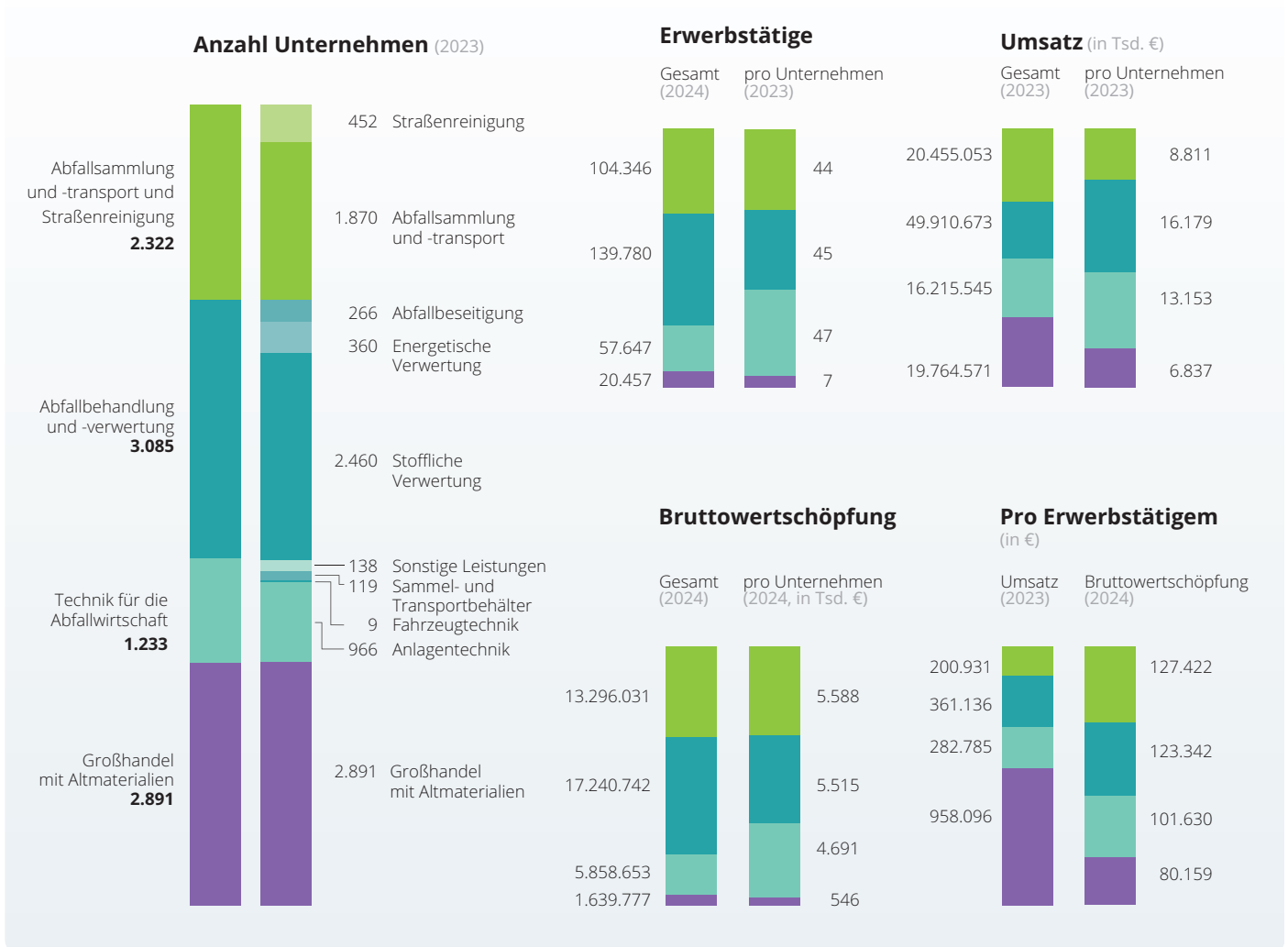


Abb. 42, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit und Statistisches Bundesamt



Sammlung mit Hecklader, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

1.6.2 Arbeitsteilung in der Kreislaufwirtschaft – Marktanteile kommunaler und privater Entsorgungsunternehmen

1.6.2.1 Sammlung und Transport

Die Verantwortung für die Entsorgung von Restabfällen aus privaten Haushalten sowie hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen ist in Deutschland im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) verankert. Kommunen übernehmen diese Aufgabe über ihre öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger. Die Leistungen können entweder in Eigenregie oder durch Beauftragung Dritter erfolgen. Beauftragte Dritte können ÖPPs oder private Entsorgungsunternehmen sein. In der Regel geht der Vergabe dann ein öffentliches Ausschreibungsverfahren voran.

Darüber hinaus können Eigenleistungen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger im Rahmen der interkommunalen Zusammenarbeit auf Zweckverbände übertragen werden. Zweckverbände sind Körperschaften des öffentlichen Rechts, in denen mehrere Entsorgungsträger Aufgaben gemeinsam wahrnehmen. Bei der Eigenleistung ist zwischen Anstalten öffentlichen Rechts, Regiebetrieben, Eigenbetrieben und kommunalen Unternehmen (100 % kommunale Beteiligung) zu unterscheiden.

Der Teilmarkt „Sammlung und Transport kommunaler Restabfälle“ war lange Zeit überwiegend kommunal geprägt. Mit dem Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes im Jahr 1996 begann jedoch eine Phase der Liberalisierung und Privatisierung. In der Folge sank der kommunale Anteil zunächst deutlich und lag 2003 bei rund 35 % (bezogen auf die ange-

schlossenen Einwohner). Seitdem hat sich der Marktanteil kommunaler Unternehmen wieder erhöht und liegt heute bei etwa 50 %. Weitere Anteile entfallen auf ÖPP-Gesellschaften. Zwischen den Bundesländern bestehen jedoch deutliche Unterschiede: In Bayern und Baden-Württemberg liegt der kommunale Anteil an der Restabfallsammlung zwischen 30 % und 40 %, während er in Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt sowie Berlin/Brandenburg bei 60 % bis nahezu 80 % liegt. Die Ursachen für diese Entwicklung liegen u. a. in der Rückübernahme privater Verträge durch kommunale Unternehmen sowie in einer positiven demografischen Entwicklung in Städten und Ballungsräumen, wo die Sammlung überwiegend kommunal erfolgt.

Kommunale Unternehmen haben auch bei der Sammlung von Bio- und Grünabfällen (knapp 50 %) sowie Altpapier, Pappe und Kartonagen (rund 45 %) einen hohen Anteil. Hier spielt die Nähe zu Bürgerinnen und Bürgern sowie die Integration in kommunale Wertstoffhöfe eine Rolle. Demgegenüber wird die Sammlung von Leichtverpackungen und Glas überwiegend von privaten Unternehmen durchgeführt (Marktanteile über 85 % bzw. 90 %). Dies hängt mit den Vorgaben des Verpackungsgesetzes und den dualen Systemen zusammen, die privatwirtschaftlich organisiert sind.

Zahlreiche kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die in bestimmten Regionen – etwa Bayern – traditionell stark vertreten sind. Gerade KMU übernehmen häufig Spezialaufgaben oder flexible Leistungen, was ihre tatsächliche wirtschaftliche Bedeutung erhöht. Zudem ist es gängige Praxis, dass Teilleistungen aus Verträgen an Subunternehmer weitergegeben werden.

1.6.2.2 Sortier- und Aufbereitungsanlagen

Im Marktsegment für Sortier-, Schredder- und Aufbereitungsanlagen dominieren privatwirtschaftliche Strukturen mit einem geschätzten Marktanteil von 85 % bis 90 %.¹³¹ Die genaue Bestimmung der Kapazitäten ist jedoch schwierig, da belastbare Daten fehlen und die Abgrenzung einzelner Anlagen oft uneinheitlich erfolgt.

Die Unternehmenslandschaft ist stark klein- und mittelständisch geprägt. Viele Betriebe sind familiengeführt und beschäftigen häufig weniger als 20 Mitarbeitende. Ihr Tätigkeitsbereich ist meist regional begrenzt, und es besteht eine deutliche Spezialisierung auf einzelne oder wenige Abfallarten. Diese Spezialisierung ermöglicht zwar hohe Fachkompetenz, erhöht aber die Abhängigkeit von Marktschwankungen.

Zwischen den Teilmärkten für Schredder-, Sortier- und Aufbereitungsanlagen bestehen strukturelle Unterschiede: Je höher die technischen Anforderungen an die Sortierung und Aufbereitung bestimmter Abfallfraktionen, desto geringer ist der Anteil kleinerer Unternehmen – bedingt durch den hohen Investitionsbedarf. Dies führt zu einer zunehmenden Konzentration auf kapitalkräftige Anbieter, die komplexe Technologien wie KI-gestützte Sortierung oder robotergestützte Trennung implementieren können.

Die Branche steht vor einer Reihe von komplexen Herausforderungen, die ihre zukünftige Entwicklung maßgeblich beeinflussen. Zum einen steigen die Anforderungen an die Qualität der Sortierung und Aufbereitung kontinuierlich, getrieben durch strengere gesetzliche Vorgaben und ambitionierte Recyclingquoten. Dies erfordert Investitionen in moderne Technologien wie automatisierte Sortiersysteme, KI-gestützte Verfahren und energieeffiziente Anlagen. Gleichzeitig nimmt der administrative Aufwand

zu, etwa durch umfangreiche Dokumentations- und Nachweispflichten, was insbesondere kleinere Unternehmen stark belastet.

Hinzu kommt der Fachkräftemangel, der sich sowohl bei technischen Spezialisten als auch im operativen Bereich bemerkbar macht. Die Gewinnung und Bindung qualifizierter Mitarbeiter wird zunehmend zu einem strategischen Erfolgsfaktor. Parallel dazu müssen Unternehmen den Generationenwechsel bewältigen: Viele familiengeführte Betriebe stehen vor der Frage, wie die Unternehmensnachfolge gesichert werden kann. Fehlende Nachfolger führen nicht selten zu Unternehmensverkäufen oder Fusionen, was die Marktkonzentration weiter verstärkt.

Darüber hinaus steigt der Druck, die eigenen Prozesse an Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsziele anzupassen. Der Umstieg auf emissionsarme Technologien und die Reduktion des Energieverbrauchs sind nicht nur regulatorische Anforderungen, sondern auch entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit. Schließlich verschärft sich der Wettbewerb durch internationale Anbieter, die mit technologisch fortschrittlichen Lösungen und Skaleneffekten punkten. Für kleine und mittelständische Unternehmen bedeutet dies, dass Innovationsfähigkeit, Flexibilität und Kooperationen wichtiger werden als je zuvor.

Zunehmende Brände in Recyclinganlagen gefährden die Kreislaufwirtschaft

Der BDE und der bvse gehen bundesweit von ca. 30 batteriebedingten Bränden in Recyclinganlagen pro Tag aus, von denen die meisten gelöscht werden können, einige aber zu Großschäden führen. Dies ist zu einer ernststen Gefahr für den Betrieb der Recyclinganlagen in Deutschland geworden.¹³²

Lithium-Ionen-Akkus in Elektro- und Kleingeräten verursachen zunehmend sicherheits- und system-

¹³¹ Eigenrecherchen Prognos AG

¹³² siehe dazu und zu den möglichen Maßnahmen: ["https://www.bde.de/documents/760/2025-07-14_bvse_BDE_Br%C3%A4nde_durch_Batterien.pdf"](https://www.bde.de/documents/760/2025-07-14_bvse_BDE_Br%C3%A4nde_durch_Batterien.pdf)



Marktanteile kommunaler und privater Entsorgungsunternehmen nach Bereichen

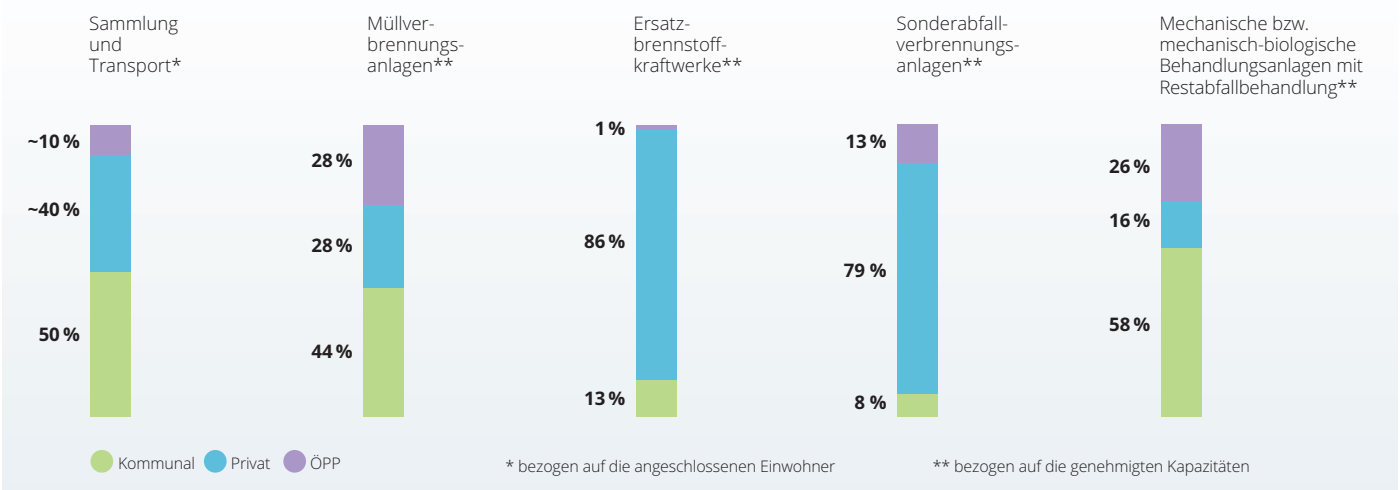


Abb. 43, Quelle: Marktbeobachtung Prognos, Remondis

relevante Risiken in der deutschen Kreislaufwirtschaft. Fehlwürfe führen dazu, dass sie unbemerkt in Abfallströme gelangen und in Sammelfahrzeugen, Sortier- und Behandlungsanlagen Brände oder Explosionen auslösen. Akkubedingte Brandereignisse zählen mittlerweile zu den häufigsten Störfällen in Entsorgungsbetrieben und gefährden Personal, Anlagenverfügbarkeit und die Entsorgungssicherheit.

Da Akkus im Materialstrom schwer erkennbar sind, steigt der Bedarf an wirksamer Vorsortierung und moderner Detektionstechnologie. Sensorbasierte Systeme – etwa mit KI und Röntgentechnik – können das Risiko signifikant reduzieren, werden aber bislang nicht flächendeckend eingesetzt.

Zunehmende Brandereignisse belasten die Wirtschaftlichkeit der Betriebe: zusätzliche Personal- und Brandschutzaufwände, steigende Versicherungsprämien und Deckungslücken bringen insbesondere mittelständische Anlagenbetreiber unter Druck. Auch der Abfalltransport ist betroffen, da Spediteure bestimmte Fraktionen bereits verweigern.

Damit entsteht ein struktureller Handlungsauftrag für Politik und Verwaltung: notwendig sind verbesserte Sammel- und Rückgabewege für Akkus, eine Förderung innovativer Detektions- und Schutztechnologien, klare regulatorische Leitplanken zur Risikominimierung sowie Maßnahmen zur Sicherung der Versicherbarkeit und damit der Funktionsfähigkeit der Entsorgungsinfrastruktur.

1.6.2.3 Mechanische bzw. mechanisch-biologische Behandlungsanlagen

Die mechanischen und mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen (MBA), die kommunale Restabfälle vorbehandeln dürfen, verfügen in Deutschland über eine Gesamtkapazität von rund 5,2 Millionen Tonnen pro Jahr. Etwa die Hälfte dieser Kapazität – rund 2,7 Millionen Tonnen – wird von rein kommunalen Unternehmen betrieben. Die übrigen Anlagenkapazitäten verteilen sich zu rund 16 % auf private Unternehmen und 26 % auf ÖPP-Gesellschaften.

Eine differenzierte Betrachtung der regionalen Verteilung zeigt deutliche Unterschiede: In Niedersachsen (90 %), Brandenburg (89 %) und Rheinland-Pfalz (63 %) dominieren kommunal geführte Anlagen. In Thüringen und Rheinland-Pfalz hingegen werden jeweils rund 40 % der Kapazitäten von privaten Betreibern geführt. Berlin, Sachsen und Schleswig-Holstein weisen eine Mehrheit von ÖPP-Gesellschaften auf.



Schadstoffverbrennung, Quelle: REMONDIS

1.6.2.4 Thermische Abfallbehandlungsanlagen

Müllverbrennungsanlagen werden in Deutschland von kommunalen und privaten Entsorgungsunternehmen sowie von Energieversorgern betrieben. Derzeit entfallen rund 44 % der Gesamtkapazitäten (9,4 Millionen Tonnen pro Jahr) auf rein kommunale Gesellschaften. Private Unternehmen halten einen Anteil von 28 % (5,9 Millionen Tonnen pro Jahr), während die verbleibenden 28 % (5,8 Millionen Tonnen pro Jahr) durch ÖPP-Gesellschaften geführt werden.

Die kommunalen Kapazitäten konzentrieren sich auf die Stadtstaaten Hamburg und Berlin sowie Thüringen (jeweils 100 % der Landeskapazitäten), Nordrhein-Westfalen und Bayern. In den beiden bevölkerungsreichen Flächenländern liegt der Anteil bei 53 % (3,5 Millionen Tonnen pro Jahr) bzw. 86 % (nahezu 2,9 Millionen Tonnen pro Jahr). Diese starke Präsenz ist historisch bedingt: Bereits in den 1960er-Jahren errichteten öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger die ersten Anlagen. Ein weiterer Ausbau erfolgte in mehreren Bundesländern im Vorfeld des Deponierungsverbots für unbehandelte Siedlungsabfälle, das 2005 in Kraft trat.

Private Betreiber dominieren hingegen in Baden-Württemberg mit einem Anteil von 84 % (1,40 Millionen Tonnen pro Jahr) und in Niedersachsen mit 80 % (1,39 Millionen Tonnen pro Jahr). Bei den ÖPP-Gesellschaften liegt Hessen mit 84 % (1,04 Millionen Tonnen pro Jahr) vorn, gefolgt vom Saarland (63 %, 0,20 Millionen Tonnen pro Jahr) und Rheinland-Pfalz (49 %, 0,40 Millionen Tonnen pro Jahr).

Ersatzbrennstoff-Kraftwerke spielen eine zentrale Rolle bei der Versorgung energieintensiver Industrien – etwa der Papierproduktion – sowie von Industrieparks mit Strom und Prozesswärme. Der Einsatz von (in eigener Regie) aus Abfällen zurückge-

Neue Anlagen – alte Probleme: Kommunikation senkt Widerstände.

Egal, ob es um Sammlung, Sortierung und Aufbereitung oder Behandlung und Beseitigung geht: Kommunale wie privatwirtschaftliche Vorhabenträger stoßen mit Anlagenplänen in der Öffentlichkeit auf wenig Verständnis. Das gilt nicht nur für den Bau neuer Anlagen, sondern auch für Modernisierungsmaßnahmen. Von ausbleibenden politischen Bedarfsfeststellungen über administrativen Widerstand auf regionaler Ebene bis hin zu Protesten der Anwohnerschaft: Die Formen der Ablehnung sind vielfältig. Dennoch können die zugrundeliegenden Ursachen identifiziert und kommunikativ adressiert werden.

Für kommunale Verwaltungen und Behörden stellt sich die Frage, welche Infrastruktur errichtet werden soll. Die Kreislaufwirtschaft steht in direkter Flächenkonkurrenz zu anderen industriellen oder gewerblichen Nutzungen sowie zu Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien oder kommunalen Flächen. Denn viele alternative Flächennutzungen werden in der öffentlichen Wahrnehmung positiver wahrgenommen. Damit benötigte neue Anlagen gebaut und Flächennutzungspläne bei Bedarf angepasst werden können, bedarf es einer engen Abstimmung zwischen Betreiber und Kommune. Auch dank der starken lokalen Verankerung der Branche besteht zumeist eine Offenheit für objektiv nachvollziehbare Sachlagen.

Sachliche Argumente gibt es auch für die Kommunikation gegenüber der lokalen Öffentlichkeit. Ein sauberes Stadtbild als Voraussetzung einer hohen Lebensqualität kann nur als Folge eines eng verzahnten, gemeinsamen Handelns von öffentlicher Hand, Kreislaufwirtschaft, Industrie sowie den Bürgern entstehen. Zwar zeigt das zunehmend verantwortungsvolle Handeln aller Beteiligten ein entsprechendes Verständnis, dennoch treffen konkrete Vorhaben vor Ort auf große Vorbehalte. Dieses als NIMBY (not in my backyard) bekannt gewordene Muster bezeichnet ein Verhalten, bei dem ein gesellschaftliches Ziel zwar grundsätzlich unterstützt wird, negative Auswirkungen im eigenen Umfeld jedoch abgelehnt werden.

Die Erfahrung zeigt jedoch, dass es sich dabei nicht um ein pauschalisierbares Verhalten handelt. Im Einzelfall liegen konkrete Ängste, Sorgen und spezifische Bedürfnisse zugrunde, etwa in Bezug auf Emissionen, den Schutz von Menschen, Flora und Fauna, Entschädigungspraktiken, Standortfragen sowie Auswirkungen von Baumaßnahmen und Kompensationsmaßnahmen. Ein transparenter und proaktiver Umgang mit diesen Themen kann die Akzeptanz für Vorhaben und Vorhabenträger erhöhen.

Zudem hat sich eine veränderte Erwartungshaltung an die frühzeitige Beteiligung bei Infrastrukturvorhaben entwickelt, die in die eigene Lebenswelt eingreifen. Gefordert wird eine aktive Mitsprache, um die eigenen Interessen früh in der Planungsphase vertreten zu können. Auch den Genehmigungsbehörden ist diese Entwicklung bewusst. Um öffentlichen Eskalationen und langwierigen Genehmigungsverfahren entgegenzuwirken, erwarten die Behörden eine frühzeitige Öffentlichkeitsbeteiligung noch vor Beginn des offiziellen Verfahrens.

Für den Vorhabenträger ergeben sich zugleich mehrere Vorteile: Nicht nur können Missverständnisse in der regionalen Öffentlichkeit reduziert werden. Durch ein transparentes Vorgehen und die Aufnahme lokaler Hinweise können potenzielle Konflikte identifiziert und ausgeräumt, die Anzahl von Einwendungen und Stellungnahmen im Verfahren sowie von anschließenden Klagen reduziert und damit die Planungssicherheit erhöht werden.

Fünf einfache Grundsätze haben sich als zentrale Erfolgskriterien einer widerstandsminimierenden Kommunikation bewährt, mit denen verschiedenste Anlagen der Kreislaufwirtschaft in Richtung Inbetriebnahme gebracht werden können:

- ▶ Frühzeitig Themen setzen, noch bevor aus Sicht der Bürgerinnen und Bürger Entscheidungen getroffen wurden
- ▶ Transparent alle, auch kritische Aspekte ansprechen
- ▶ Einen persönlichen Austausch auf Augenhöhe etablieren
- ▶ Eingegangene Anfragen zuverlässig beantworten
- ▶ Die eigene Kommunikation auf lokale politische, wirtschaftliche und sozioökonomische Rahmenbedingungen anpassen

Was bedeutet das für die Praxis? – Vielfach bewährte Abläufe

Bereits im Rahmen der technischen Planung neuer Anlagen und damit deutlich vor Beginn des Genehmigungsverfahrens wird der Kontakt zu zentralen Stakeholdern gesucht: Sobald ein Planungsstand vorliegt, der die Dimensionen neuer Anlagen für Betroffene greifbar macht, werden diese informiert – in der Reihenfolge ihres potenziellen Einflusses auf die Vorhabenrealisierung. MdB und MdL werden über die Tragweite informiert, Kommunalpolitik und -verwaltung werden die Pläne im Detail in Hintergrundgespräche vorgestellt, für Anwohnende werden Informationsveranstaltungen durchgeführt und Infomaterialien erstellt. Sobald alle Stakeholder durch einen persönlichen Kontakt zum Vorhaben informiert wurden, werden die breite Öffentlichkeit sowie lokale Medien einbezogen. Die Durchführung einer solchen „Informationskaskade“ ermöglicht zudem die Aufnahme ergänzender Informationen, die in die weitere Planung einfließen können. Zu jedem späteren Projektmeilenstein, wie etwa der Einreichung von Antragsunterlagen, dem Baubeginn sowie der Inbetriebnahme, wird dieses Vorgehen wiederholt. So werden Veränderungen in der Planung, die auch auf zuvor geäußerte Anliegen durch die Stakeholder zurückzuführen sind, transparent gemacht.





Zugangskontrolle, Quelle: Newwaste

wonnener Energie ist betriebswirtschaftlich von großem Vorteil gegenüber dem Einkauf von Strom, Dampf oder Wärme auf dem Markt. Entsprechend befinden sich 5,6 von 6,5 Mio. t Gesamtkapazität (86 %) und liegen überwiegend in nordwestdeutschen Bundesländern. Lediglich 1 % (0,1 Millionen Tonnen pro Jahr) entfällt auf ÖPP-Gesellschaften, bei denen die kommunalen Partner die Mehrheit halten.

Etwas mehr als ein Drittel der Kapazitäten an **Mono-verbrennungsanlagen für Klärschlämme** wird von kommunalen Unternehmen betrieben, während rein private Betreiber über 50 % halten. Der Rest entfällt auf ÖPP-Gesellschaften. Angesichts gesetzlicher Vorgaben zur Begrenzung der landwirtschaftlichen Ausbringung und zur verpflichtenden Phosphorrückgewinnung ist ein deutlicher Ausbau der Gesamtkapazität erforderlich. Hier engagieren sich sowohl private als auch kommunale Akteure.

1.6.2.5 Sonderabfallverbrennungsanlagen

Die Industrie betreibt teilweise eigene SAV-Anlagen. Die genehmigten Kapazitäten liegen mit 1,3 Mio. t (79 %) überwiegend in der Hand privater Betreibergesellschaften. Diese Kapazitäten befinden sich überwiegend im Besitz der chemischen Industrie.

Weitere 13 % (0,2 Millionen Tonnen) entfallen auf ÖPP-Gesellschaften. Die verbleibenden 8 % (etwas mehr als 0,1 Millionen Tonnen) werden von rein kommunalen Betreibergesellschaften geführt.

1.6.3 Die Transformation der Kreislaufwirtschaft: Daten als Schlüssel für die Circular Economy¹³³

Die Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft hin zu einer umfassenden Circular Economy ist ein laufender Prozess. Mit jedem Schritt steigen die Anforderungen: Die Fragestellungen werden komplexer und müssen in immer kürzeren Abständen beantwortet werden. Diesen Prozess, der eine Vielzahl politischer, privater und gesellschaftlicher Akteure umfasst, im „Blindflug“ zu steuern, wird nicht funktionieren. Verlässliche Datengrundlagen sind unverzichtbar, insbesondere dort, wo es um die Kreislaufführung von Stoffen und die Schnittstellen zu anderen Infrastrukturbereichen geht. Statistische Daten bilden die Basis, um die Wirksamkeit von Strategien und Maßnahmen zu messen, Ziele anzupassen sowie Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zu erkennen. Deshalb braucht es eine zentrale Datenstrategie mit klaren Standards und Verantwortlichkeiten.

Dabei geht es nicht nur um Daten, die innerhalb der Kreislaufwirtschaft erhoben werden – etwa für das Monitoring von Abfallaufkommen und -entsorgung, die rechtskonforme Nachweisführung oder Investitionsentscheidungen. Es geht ebenso um Daten, die für die Rückgewinnung von Ressourcen bzw. den Beitrag zum Klimaschutz benötigt werden, sowie um Informationen, die die Kreislaufwirtschaft anderen Akteuren bereitstellt und damit die branchenübergreifende Vernetzung ermöglicht. Hierfür sind interoperable Systeme und Schnittstellen entscheidend, die den Datenaustausch erleichtern.

¹³³ Aktualisierung des Beitrages von Dr. Bärbel Birnstengel / Dr. Jochen Hoffmeister, Daten zur Kreislaufwirtschaft – Es besteht Handlungsbedarf, In ENTSORGA 2, Mai 2023; mit freundlicher Genehmigung des ENTSORGA-Magazins

Der Bedarf an belastbaren und gut nutzbaren Daten steigt kontinuierlich. Zugleich zeigt sich eine gegenläufige Entwicklung: Seit 1995 werden Daten zum Abfallaufkommen, zu Entsorgungswegen sowie zu standortbezogenen Anlagenkapazitäten auf Kreisebene erhoben und fortgeschrieben. Auf Basis dieses langjährigen Datenbestands beobachten wir, dass zwar zahlreiche Informationen aus statistischen Ämtern, Umweltbehörden, Genehmigungsstelle und Verbänden vorliegen – deren Qualität jedoch erheblich variiert.

Insbesondere hinsichtlich Vergleichbarkeit, Nachvollziehbarkeit, Verfügbarkeit, Nutzungsmöglichkeiten und Aktualität erfüllen die vorhandenen Daten die Anforderungen der anstehenden Transformation häufig nicht. Um Doppelstrukturen und Mehrfacherhebungen zu vermeiden sowie Berichtspflichten zu reduzieren, sind einheitliche Definitionen und Formate auf nationaler und europäischer Ebene dringend notwendig.

Bei der Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit kommen wir nur langsam voran. Unterschiedliche Definitionen, Klassifikationen und Methoden erschweren die Zusammenführung zu einem Gesamtbild. Einheitliche Standards sind notwendig, um Mehrfacherhebungen zu vermeiden und Berichtspflichten zu reduzieren. Dies schafft Kapazitäten für zusätzliche, dringend benötigte Daten. Gleichzeitig stellen wir fest, dass die öffentliche Datenverfügbarkeit an einigen Stellen besser, an vielen wichtigen Stellen jedoch geringer wird – nicht nur für die Fachöffentlichkeit, sondern teilweise auch für den Informationsaustausch zwischen Behörden. Unter Verweis auf die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) wird vieles eingeschränkt, was früher selbstverständlich war. Hier braucht es pragmatische, DSGVO-konforme Lösungen, die den Informationsfluss nicht blockieren.

Was nützt eine umfassende Datenbasis, wenn sie nur schwer oder verzögert nutzbar ist? Digitalisierung ist in der Kreislaufwirtschaft längst kein Fremdwort mehr, doch viele Probleme sind hausgemacht, weil nicht aus Sicht der Datennutzer gedacht wird. Beispiel: Siedlungsabfallbilanzen. Die Daten werden jährlich von den Bundesländern veröffentlicht – oft als PDF, manchmal mit Kopierschutz. Ein Fortschritt sind die bundesweiten Daten des Statistischen Bundesamtes für 15 Abfallarten. Aber warum werden diese auf Landes- und Kreisebene wieder auf sechs Kategorien reduziert? Viele Akteure investieren viel Zeit, um Daten aus PDFs in Excel zu übertragen und zu harmonisieren – eine Verschwendung von Ressourcen und Zeit. Daten müssen künftig maschinenlesbar und zentral verfügbar sein, um eine effiziente Weiterverarbeitung zu ermöglichen.

Aktuell beobachten wir, dass Daten immer stärker aggregiert werden und die Veröffentlichung bereits vorliegender Daten eingestellt wird – teils mit, teils ohne DSGVO-Bezug. Durch unsere Erfahrung können wir Lücken noch durch Analogieschlüsse und Marktinformationen schließen. Doch wenn die Transparenz weiter sinkt, verlieren Daten für Investitionsentscheidungen ihre Aussagekraft. Die kontinuierliche Veröffentlichung granularer Daten ist daher unverzichtbar.

Interoperabilität als Fundament.

Um Daten für die Circular Economy vergleichbar, maschinenlesbar und schnell nutzbar zu machen, sind standardisierte Schnittstellen erforderlich. Als offener, hersteller- und plattformunabhängiger Standard stellt OPC UA (IEC 62541) eine gemeinsame Sprache für Maschinen und Anlagen bereit und ermöglicht deren interoperable Vernetzung über System- und Ebenengrenzen hinweg. Durch semantische Informationsmodelle (u. a. branchenspezifische Companion Specifications, die gemeinsam mit Industrieverbänden wie dem VDMA und seinen Mitgliedsunternehmen erarbeitet werden) lassen sich Maschinendaten einheitlich beschreiben und herstellerübergreifend interpretieren.

Darauf aufbauend etabliert die EU mit der Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) den Digitalen Produktpass, der standardisierte Produkt- und Lebenszyklusdaten verfügbar macht; für bestimmte Akkukategorien wird ein digitaler Batteriepass ab dem 18. Februar 2027 verpflichtend. Europäische Datenräume schaffen den Rahmen für einen souveränen, unternehmensübergreifenden Datenaustausch, während Material- und Gebäudepässe diese Daten für zirkuläre Entscheidungen nutzbar machen.

Bis zu einem gewissen Grad ist es verständlich, dass es Grenzen für den öffentlichen Zugang geben muss. Wenn aber selbst politische Entscheidungsträger, die für Entsorgungssicherheit und die Steuerung der Transformation verantwortlich sind, kaum Zugriff auf Daten haben, stellt sich die Frage nach dem Verhältnis von Aufwand und Nutzen. Politische Entscheidungsträger müssen priorisierten Zugang zu relevanten Daten erhalten, um handlungsfähig zu bleiben.

Wenn es darum geht, die Rolle der Kreislaufwirtschaft und ihren Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz zu quantifizieren, müssen neue Daten erhoben und zusammengeführt werden. Ein Beispiel ist die Berechnung der „Circular Material Use Rate“ – nicht nur auf Bundes-, sondern auch auf regionaler Ebene und für spezifische Wertstofffraktionen. Dafür braucht es ein europäisches Monitoringsystem, das Vergleichbarkeit und Transparenz sicherstellt. Ein weiteres Beispiel betrifft die Bewertung der deponierten Siedlungsabfälle in den europäischen

Marktteilnehmer in der Kreislaufwirtschaft

Mitgliedsstaaten. Aus den verfügbaren statistischen Daten (Eurostat, WASMUN) lässt sich derzeit nicht erkennen, welcher Anteil der deponierten Mengen auf direkt abgelagerte Restabfälle mit hohem organischen Anteil entfällt und welcher Anteil auf sogenannte Sekundärabfälle aus der mechanisch-biologischen Vorbehandlung. Für die Bewertung der Klimarelevanz sind solche Informationen jedoch unverzichtbar.

Damit die Kreislaufwirtschaft ihre Aufgabe als Lieferant von Recyclingrohstoffen und Energie sowie ihre Funktion als Schadstoffsene erfüllen kann, benötigt sie nachvollziehbare, vergleichbare und schnell verfügbare Daten – und das nicht nur national, sondern mindestens auch europäisch. Eine gemeinsame europäische Datenstrategie ist der Schlüssel für die erfolgreiche Transformation zur Circular Economy.

1.6.4 Systeme zur Qualitätssicherung in der Kreislaufwirtschaft

Unternehmen in der Kreislaufwirtschaft arbeiten unter strengen gesetzlichen Vorgaben. Zahlreiche Gesetze, Verordnungen und Richtlinien regeln nicht nur den Umgang mit Abfällen, sondern auch den Schutz der menschlichen Gesundheit und Wasser, Boden, Luft sowie die Arbeitssicherheit. Entsprechend groß ist die Verantwortung für einen ordnungsgemäßen Umgang mit Abfällen.

Diese Pflicht endet nicht mit der Übergabe an ein beauftragtes Unternehmen, denn Abfallerzeuger bleiben bis zur rechtmäßigen und schadlosen Entsorgung in der Verantwortung. Daher müssen Abfallbesitzer schon vor der Beauftragung sicherstellen, dass die Entsorgung im Einklang mit allen rechtlichen Vorgaben und auf einem hohen technischen Standard erfolgt.



Zugangskontrolle, Quelle: Newwaste

Die nationalen und internationalen Normen für Qualitäts- und Managementsysteme haben in der Kreislaufwirtschaft einen breiten Eingang gefunden und die zusätzliche, freiwillige Selbstkontrolle der Unternehmen ist zu einem Erfolgsmodell geworden. Bereits seit über 30 Jahren sichern die Betriebe über diese Systeme eine qualitativ hochwertige, rechtssichere und umweltgerechte Durchführung der Dienstleistungen ab.

Die Zertifizierung als „Entsorgungsfachbetrieb“ ist das am weitesten verbreitete Managementsystem in der Branche. Der Begriff ist in § 56 Abs. 2 KrWG verankert, die konkreten Anforderungen ergeben sich aus der Entsorgungsfachbetriebsverordnung (EfbV), die seit 1996 die Voraussetzungen für das Zertifikat festlegt.

Betriebe, welche die in der Verordnung festgelegten Voraussetzungen erfüllen, können sich als Entsorgungsfachbetrieb zertifizieren lassen. Das Zertifikat „Entsorgungsfachbetrieb“ wird von externen Sachverständigen oder von Entsorgungsgemeinschaften vergeben und dient als sichtbarer Nachweis, etwa auf Geschäftspapieren oder Abfallsammelfahrzeugen, dass Organisation, Prozesse und Dokumentation den Vorgaben des KrWG und der gültigen EfbV entsprechen.

Bei der bvse-Entsorgungsgemeinschaft sind mehr als 300 Unternehmen, überwiegend kleine und mittelständische Betriebe, als Entsorgungsfachbetriebe zertifiziert. Die Unternehmen erhalten umfassende Unterstützung und können im Rahmen der Begutachtung gleichzeitig Prüfungen gemäß der Altfahrzeug-Verordnung, der Gewerbeabfallverordnung sowie dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz abnehmen lassen. Bei der Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e. V. (EdDE e. V.) sind derzeit mehr als 300 Unternehmen mit über 800 Standorten als Entsorgungsfachbetrieb zertifiziert. Daneben existieren spezialisierte Entsorgungsgemeinschaften, die sich auf bestimmte Stoffströme konzentrieren, wie die Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Stahl- und NE-Metall-Recyclingwirtschaft e. V. (ESN) mit fast 400 Mitgliedern. Die Einhaltung der Anforderungen sowie die Fachkunde der Entsorgungsfachbetriebe werden jährlich durch unabhängige Sachverständige überprüft.

Die Zertifizierung kann für verschiedene Tätigkeiten der Kreislaufwirtschaft erfolgen: Sammeln, Befördern, Lagern, Behandeln, Verwerten, Beseitigen. Zertifikate können auch an Betriebe vergeben werden, die Abfälle handeln oder makeln.

Die Zertifizierung als Entsorgungsfachbetrieb bietet Unternehmen, der Kundschaft sowie weiteren Ansprechpartnern zahlreiche Vorteile. Sie verschafft den Entsorgungsunternehmen eine breite Anerkennung bei Abfallerzeugern, Behörden und Verbänden.

In der Branche gilt die Zertifizierung inzwischen als Standard und wird bei Ausschreibungen häufig als Kriterium für die Qualitätssicherung vorausgesetzt. Im Zuge des Zertifizierungsprozesses können Betriebe ihre Abläufe – etwa die betriebliche Dokumentation, den Versicherungsschutz, die Genehmigungslage sowie die Fach- und Sachkunde des Personals – prüfen und bei Bedarf verbessern. Dadurch entsteht ein zusätzlicher betriebsinterner Nutzen. Zudem entfallen für zertifizierte Unternehmen bestimmte Nachweispflichten gegenüber den Abfallbehörden.

Viele Betriebe der Kreislaufwirtschaft sind außerdem über Qualitätsmanagementsysteme, z. B. nach der DIN ISO 9001, zertifiziert. Hier stehen die Kundenorientierung und die Organisation der internen Prozesse im Vordergrund. Die Wirksamkeit der Prozesse wird regelmäßig intern und extern durch Auditoren überprüft. Mit der Revision 9001:2015 wurde der Schwerpunkt stärker auf ein effektives Prozessmanagement mit allen Wechselwirkungen sowie ein risikobasiertes Denken und Handeln gelegt. Für die derzeit in Vorbereitung befindliche Revision wird über die Einführung einer sogenannten Design-Spezifikation diskutiert. Diese soll globale Veränderungen, technologische Entwicklungen sowie Aspekte von Umwelt, sozialer Verantwortung und Governance (ESG) stärker berücksichtigen. Damit könnte künftig eine engere Verbindung zu Nachhaltigkeitsberichten geschaffen werden.

Einige Betriebe der Kreislaufwirtschaft verfügen zusätzlich über ein Umweltmanagementsystem, das sich z. B. an der DIN ISO 14001 orientiert und zertifiziert wird. Dieses System lässt sich gut mit der DIN ISO 9001 kombinieren. Ein weiteres System ist unter der Bezeichnung EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) oder auch „Öko-Audit“ bekannt. EMAS umfasst die Anforderungen der DIN ISO 14001, geht über sie jedoch hinaus: So müssen Umweltleistungen systematisch erfasst und in einer veröffentlichten Umwelterklärung dargestellt werden. Zudem wird die Einhaltung der Umweltvorschriften im Rahmen der Validierung durch unabhängige Umweltgutachter überprüft, wobei auch die zuständigen Behörden einbezogen werden können.

Insgesamt geht der Trend in der Kreislaufwirtschaft aktuell in Richtung unternehmensspezifisch integrierter Managementsysteme, die auch weitere Aspekte umfassen, wie Risikomanagement, auch Energiemanagement, Arbeitssicherheitsmanagement, Genehmigungsmanagement, Dokumentenmanagement oder auch Ertragsmanagement.

Integrierte Managementsysteme werden jeweils an die spezifische Organisation angepasst. Das Ziel ist es, die Vielzahl an Regelwerken zu berücksichtigen und deren Umsetzung im Unternehmen sicherzustellen. Parallel zur fachlichen Koordination dieser anspruchsvollen Instrumente sind die Unternehmen

zudem gefordert, in den kommenden Jahren die Digitalisierung ihrer Prozesse weiter voranzutreiben.

Auch für das Ende der Abfalleigenschaft (vgl. KrWG § 5 Abs. 2) können Rechtsverordnungen Qualitätskriterien vorsehen, deren Einhaltung durch geeignete Managementsysteme nachzuweisen ist. Dazu gehören unter anderem Anforderungen an die Qualitätskontrolle, die Eigenüberwachung sowie – soweit erforderlich – an Formen der Fremdüberwachung.



Mitarbeiter bei der Kontrolle, Quelle: eew

Neben Managementsystemen existieren auch spezielle Qualitätssicherungssysteme für Abfälle. Exemplarisch ist die Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz (BGS e. V.), die seit mehr als 20 Jahren das RAL-Gütezeichen 724 für Sekundärbrennstoffe vergibt. Das Gütesicherungssystem basiert auf einer Kombination aus Eigen- und Fremdüberwachung, mit festgelegten Qualitätskriterien und regelmäßigen Analysen. Diese gütegesicherten Sekundärbrennstoffe werden in Industrieanlagen wie Zement-, Kalk- und Großkraftwerken eingesetzt. Ein weiteres Beispiel ist die Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK e. V.), die ein RAL-Gütezeichen für Komposte und Gärprodukte vergibt. Diese freiwillige Produktzertifizierung wird von Herstellern von Düngemitteln und Bodenverbesserungsmitteln genutzt. Die Qualitätssicherung von Bioabfällen und Klärschlamm ist zudem in § 12 KrWG ausdrücklich gesetzlich vorgeschrieben. Für Altöle sieht die Altölverordnung elf Sortengruppen und vier Sammelkategorien vor, die eine getrennte Erfassung und damit eine sachge-

Marktteilnehmer in der Kreislaufwirtschaft

rechte Aufbereitung sicherstellen. Auch die Qualität für Schrotte, Altpapier und Altholz wird an verschiedenen Qualitätsstufen (Sorten) für die Marktteilnehmer definiert.

Die Gütegemeinschaft Rezyklate aus haushaltsnahen Wertstoffsammlungen e.V. kennzeichnet mit dem Gütezeichen %-Recycling-Kunststoff den Einsatz von Sekundärrohstoffen aus der haushaltsnahen Getrennterfassung. So wird dokumentiert, dass Kunststoffe aus dem Gelben Sack bzw. der Gelben Tonne (oder ähnlichen Systemen) hochwertig verwertet und in neuen Verpackungen und Produkten eingesetzt werden. Hierbei wird der genaue prozentuale Anteil ausgewiesen. Zudem hat der bvse drei Qualitätssiegel für Akten- und Datenvernichtung, Textilrecycling und Altholzrecycling entwickelt, mit denen ein verlässlicher und transparenter Qualitätsstandard innerhalb der Recycling- und Entsorgungsbranche sichergestellt wird. Ziel dieser Siegel ist es, eine klare Orientierung zu geben und bei der Auswahl besonders qualifizierter und seriöser Entsorgungsunternehmen zu unterstützen.



Wie geht Sammlung, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Bei der Erfassung von Haushaltsabfällen, insbesondere Bioabfällen, kommen zur Qualitätssicherung zunehmend Systeme mit Sensorik und teilweise künstlicher Intelligenz zum Einsatz, um Fehlwürfe im Bioabfall zu erkennen und den Fremdstoffgehalt langfristig zu verringern. Solche technischen Lösungen werden immer wichtiger, da die novellierte Bioabfallverordnung seit dem 1. Mai 2025 strengere Anforderungen vorgibt: Wird bei der Sichtkontrolle ein Gesamt-Fremdstoffanteil von über 3% (Frischmasse) festgestellt, besteht ein Rückweisungsrecht der Anlage. Bei Abfällen aus der Biotonne sind nur noch 1% Kunststoffe (> 20 mm) im Input der biologischen Behandlung zulässig. Neben technischen Lösungen zur Erkennung von Fehlwürfen gewinnt auch die systematische Messung der Entsorgungsqualität an Bedeutung. Mit Instrumenten wie dem

INFA-DSQE wird die Dienstleistungsqualität, etwa beim Sammelprozess, standardisiert erfasst und dargestellt. So entsteht mehr Transparenz und Vergleichbarkeit – auch in der politischen und öffentlichen Diskussion über die Qualität der Abfallentsorgung.

Das Thema „Nachhaltigkeit“ gewinnt für Unternehmen zunehmend an Bedeutung, da es die ökonomische, ökologische und soziale Unternehmensführung verbindet. Viele Betriebe haben bereits Nachhaltigkeitsberichte nach dem Deutschen Nachhaltigkeitskodex (DNK) veröffentlicht. Da sich der DNK künftig auf Unterstützungsangebote für die europäische Berichterstattung konzentriert, rückt der Fokus stärker auf andere Rahmenwerke. Mit der Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) wurden 2022 die bisherigen Vorgaben (NFRD) ersetzt und der Kreis berichtspflichtiger Unternehmen erheblich ausgeweitet. Welche konkreten Folgen dies für die Kreislaufwirtschaft hat, hängt noch von weiteren regulatorischen Ausgestaltungen ab. Unabhängig von einer gesetzlichen Pflicht wird erwartet, dass viele Unternehmen den freiwilligen VSME-Standard („Voluntary Sustainability Reporting Standard for non-listed SMEs“) nutzen, den die EU speziell für kleine und mittlere, nicht CSRD-pflichtige Unternehmen entwickelt hat, um eine vereinfachte und praxisnahe Berichterstattung zu ermöglichen.

1.6.5 Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft – Strategien und Berichterstattung

Mit der im Jahr 2015 verabschiedeten Agenda 2030 hat sich die Weltgemeinschaft unter dem Dach der Vereinten Nationen zu 17 globalen Zielen für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, kurz SDGs) verpflichtet. Leitbild der Agenda 2030 ist es, weltweit ein menschenwürdiges Leben zu ermöglichen und gleichzeitig die natürlichen Lebensgrundlagen dauerhaft zu bewahren. Dies umfasst ökonomische, ökologische und soziale Aspekte. Dabei unterstreicht die Agenda 2030 die gemeinsame Verantwortung aller Akteure: Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft – und jedes einzelnen Menschen. Die meisten dieser Ziele werden auch durch die Aktivitäten der Abfall- und Kreislaufwirtschaft unterstützt. Die getrennte Erfassung sowie die Aufbereitung und das Recycling unterschiedlicher Abfälle, welche eine umfassende Kreislaufwirtschaft erst ermöglichen, sowie die energetische Verwertung nicht recycelbarer Abfälle führen zu nachhaltiger Produktion (Ziel 12) und leisten einen Beitrag zum Klimaschutz (Ziel 13). Die Art der Abfallsammlung und -behandlung hat direkten Einfluss auf die Nachhaltigkeit von Städten und Gemeinden (Ziel 11) und enthält ggf. die Produktion erneuerbarer Energie (Ziel 7). Darüber hinaus ermöglichen Städte, Kreise und Abfallwirtschaftsbetriebe als Arbeitgeber Menschen mit unterschiedlichsten Hintergründen eine menschenwürdige Arbeit (Ziel 8). Durch die sowohl



Energieberg, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

an die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer als auch an Schulen und Vereine gerichteten Angebote wird schon seit langer Zeit ein Beitrag zur Bildung (Ziel 12) geleistet. Aber auch der Beitrag zu Gesundheit und Wohlergehen (Ziel 3), und der Schutz von Ökosystemen und Biodiversität (Ziel 15) lassen sich anhand der Aktivitäten der Kreislaufwirtschaft unterstützen.

Die Ausrichtung der Unternehmen der Kreislaufwirtschaft in Richtung Nachhaltigkeit nimmt einen immer höher werdenden Stellenwert ein. Neben dem erforderlichen und aktuell vielfach thematisierten Umdenkungsprozess (ausgelöst durch Klimawandel, zu hohem Ressourcenverbrauch etc.) wird damit auch Arbeitgeberverantwortung zum Ausdruck gebracht und Arbeitgeberattraktivität für die Mitarbeiterrekrutierung gesteigert. In die Entwicklung von Nachhaltigkeitskonzepten sollten daher die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer der Unternehmensgruppe stets mit eingebunden werden. Einige Betriebe setzen bereits auf eigens eingestellte Nachhaltigkeitsmanager, die daran mitarbeiten, den Nachhaltigkeitsgedanken fest in den Unternehmensalltag zu verankern und Maßnahmen strukturiert und konsequent umzusetzen. Hierbei bietet sich auch an, die eigenen Bestrebungen in der Geschäfts- und Unternehmensstrategie sowie darüber hinaus in Nachhaltigkeitsberichten zu verankern.

In Nachhaltigkeitsberichten werden alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – ökologische, ökonomische und soziale – gleichermaßen adressiert. Die Berichte dienen einer transparenten und nachvollziehbaren Kommunikation, die sich sowohl an die Öffentlichkeit, die Politik und die Wirtschaft als auch an die eigenen Mitarbeitenden richtet. Über ihre kommunikative Funktion hinaus stellen Nachhaltigkeitsberichte ein zentrales Steuerungsinstrument dar, mit

dem Unternehmen ihre Nachhaltigkeitsaktivitäten systematisieren, weiterentwickeln und den kontinuierlichen Verbesserungsprozess unterstützen können.

Bislang bestand eine Berichtspflicht ausschließlich für börsennotierte Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitenden. Mit der Einführung der Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) sollte der Kreis der berichtspflichtigen Unternehmen in zeitlicher Staffelung erheblich erweitert werden. Die Umsetzung war insbesondere im Jahr 2025 allerdings von großen Unsicherheiten geprägt: Fristen und Schwellenwerte wurden mehrfach angepasst, sodass Unternehmen teilweise auch wieder aus dem Geltungsbereich herausgenommen wurden. Die Anpassungen wurden im Rahmen des sogenannten Omnibus-Verfahrens der EU vorgeschlagen, mit dem Ziel des Bürokratieabbaus und der Sicherung von Wettbewerbsfähigkeit in der EU. Auch die European Sustainability Reporting Standards (ESRS), die künftig als verbindliche Grundlage für CSRD-pflichtige Unternehmen gelten, befanden sich in einer erneuten Überarbeitungsphase.

Für die Unternehmen der Abfallwirtschaftsbranche führte dies zu einer unklaren Situation hinsichtlich ihrer Berichtspflicht. Während zunächst umfangreiche bürokratische Anforderungen befürchtet wurden, hat sich die Lage inzwischen etwas entschärft. Dennoch gilt: Nachhaltigkeit und Nachhaltigkeitsberichterstattung sind längst feste Bestandteile der Branche und haben sich als unverzichtbare Grundlage für betriebliche Entscheidungsprozesse etabliert. Zahlreiche Betriebe, darunter Stadtreinigung Hamburg, AWB Köln, AWM München, awm Münster, AWISTA Düsseldorf, Stadtreinigung Leipzig, TBZ Flensburg u. v. m., veröffentlichen bereits seit Jahren freiwillig Nachhaltigkeitsberichte.

Freiwillige Nachhaltigkeitsberichte basieren auf unterschiedlichen Standards und werden zum Beispiel häufig in Ergänzung zu Lage- oder Geschäftsberichten erstellt. In der Vergangenheit fanden insbesondere der Standard des Deutschen Nachhaltigkeitskodex (DNK) und der Standard der Global Reporting Initiative Anwendung. Auch Bezüge zu den Sustainable Development Goals (SDGs) waren häufig Basis freiwilliger Berichterstattung. Der DNK hat seinen Standard inzwischen eingestellt und konzentriert sich auf Unterstützungsangebote für die Berichterstattung nach EU-Standards. Die EU-Kommission hat mit den ESRS nicht nur Standards für CSRD-Berichtspflichtige geschaffen, sondern mit dem VSME („Voluntary Sustainability Reporting Standard for non-listed SMEs“) auch einen freiwilligen Standard für kleine und mittlere Unternehmen geschaffen, die ihre Nachhaltigkeitsaktivitäten strukturiert darstellen möchten. Der VSME-Standard verfolgt einen praxisnahen Ansatz, indem er ein zweistufiges Modell vorsieht: das Basismodul mit den zentralen Kerndaten sowie ein optionales umfassendes Modul für eine vertiefte Berichterstattung. Dadurch ermöglicht der VSME eine flexible Anwendung, die sowohl den begrenzten Ressourcen vieler KMU als auch den wachsenden Erwartungen von unterschiedlichen Interessengruppen an die Transparenz Rechnung trägt.

Darüber hinaus wurden auch auf Branchenebene bereits verschiedene Leitfäden entwickelt, um Unternehmen den Einstieg in die Berichterstattung zu erleichtern. So veröffentlichte der Verband kommunaler Unternehmen (VKU) 2016 einen Branchenleitfaden zum Nachhaltigkeitskodex für die Abfallwirtschaft und Stadtreinigung sowie 2018 einen entsprechenden Leitfaden für die Energiewirtschaft. Auch themenspezifische Vorlagen, wie etwa der Leitfaden „Beitrag zu den 17 UN-Nachhaltigkeitszielen“, wurden erarbeitet. Die Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD) legte 2022 einen eigenen Branchenleitfaden vor, der die Zuordnung der UN-Nachhaltigkeitsziele zu den Prozessen und Maßnahmen der thermischen Abfallbehandlung erleichtern soll. Ergänzend wurde im Sommer 2023 eine ITAD-Arbeitsgruppe „Nachhaltigkeit“ gegründet, die Mitgliedsunternehmen bei der Umsetzung und strategischen Ausrichtung unterstützt.

Entscheidend in jedem Standard und jeder Vorlage ist, dass Nachhaltigkeitsberichte mit messbaren Kennzahlen und Indikatoren unterlegt werden. Diese ermöglichen ein systematisches Monitoring und bilden die Grundlage für konkrete Optimierungsmaßnahmen, etwa die Steigerung von Recyclingquoten, die Reduktion von Treibhausgasemissionen durch den Einsatz emissionsarmer Antriebstechnologien bei Fahrzeugen, die energetische Optimierung von Anlagen oder die Förderung von Wiederverwendungs- und Reparaturangeboten. Auch ökonomische Maßnahmen wie eine nachhaltige Beschaffungspolitik, die Berücksichtigung ökologischer und sozialer Kriterien in Vergabeprozessen sowie Effizienzsteigerungen zur Ressourcenschonung und Kostenreduktion können hier verankert werden. Ergänzend spielen soziale Maßnahmen eine Rolle, darunter gezielte Mitarbeiterschulungen im Bereich Nachhaltigkeit, die Förderung von Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz sowie eine transparente Kommunikation mit Bürgerinnen und Bürgern zur Stärkung von Vertrauen und gesellschaftlicher Akzeptanz.

Die systematische Ableitung von Optimierungspotenzialen aus Kennzahlen und Indikatoren stellt sicher, dass Nachhaltigkeitsberichte nicht ausschließlich als formale Dokumente erstellt, sondern als praktische Instrumente im betrieblichen Alltag genutzt werden können. In diesem Zusammenhang wurden im Rahmen des 14. Benchmarks Abfallwirtschaft und Stadtreinigung für VKU-Mitgliedsbetriebe (Bezugsjahr 2023) erstmals spezifische Nachhaltigkeitskennzahlen für die Branche erhoben, um Vergleichbarkeit herzustellen und den Betrieben einen Mehrwert für das interne Controlling zu bieten. Das Thema der branchenspezifischen Nachhaltigkeitskennzahlen wird auch in Zukunft von großer Bedeutung sein und sollte daher sukzessive weiterentwickelt werden.





2

Wirtschaftliche Bedeutung



Dynamik

Die Kreislaufwirtschaft setzt den Wachstumskurs der vergangenen Jahre teilweise unvermindert fort. Zu dieser anhaltend positiven Entwicklung tragen ein zunehmendes gesellschaftliches Bewusstsein für die Relevanz von stofflichen Verwertungs- und Recyclingprozessen, höheren Anforderungen an die Bereitstellung von Sekundärrohstoffen sowie steigende Erwartungen an die energetische Verwertung bei. Im Jahr 2024 beschäftigte der private Sektor der Kreislaufwirtschaft rund 322.000 Erwerbstätige und erzielte damit einen Zuwachs von 16% gegenüber 2010. Er umfasst damit nahezu das Vierfache der Beschäftigtenzahl der Wasser- und Abwasserwirtschaft oder mehr als ein Drittel der Beschäftigten im Fahrzeugbau (WZ29). Mit einer Bruttowertschöpfung von mehr als 38,8 Milliarden Euro im Jahr 2024, was einem Anstieg von 64% seit 2010 entspricht, ist die Kreislaufwirtschaft über ihre Funktion in der Daseinsvorsorge hinaus ein zentraler wirtschaftlicher Leistungsträger. Darüber hinaus hat die Kreislaufwirtschaft im privatwirtschaftlichen Bereich im Jahr 2023 einen Umsatz von rund 106 Milliarden € erwirtschaftet, was einem Wachstum von 47% gegenüber 2010 entspricht. Weitere 16 Milliarden Euro Umsatzerlöse wurden im selben Jahr von öffentlichen Einrichtungen und Unternehmen im Bereich der Abfallwirtschaft, wie beispielsweise der Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen und der Rückgewinnung von Wertstoffen generiert.

Unternehmen und Wertschöpfung

Dabei sind die wirtschaftlichen Effekte nicht nur in Kernaktivitäten wie dem Sammeln, Transportieren und Entsorgen von Abfällen messbar, sondern auch die vor- und nachgelagerten Tätigkeiten der Technik und des Handels tragen ihren spürbaren Beitrag zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft bei. Die klassischen Marktsegmente „Abfallsammlung, -transport und Straßenreinigung“ und „Abfallbehandlung und -verwertung“ vereinen mit über 5.400 von insgesamt 9.500 Unternehmen einen Großteil der in der Kreislaufwirtschaft aktiven Akteure. Das Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ umfasst weitere 1.200 Unternehmen, während im Bereich „Großhandel mit Altmaterialien“ 2.900 Unternehmen den Kreislauf sekundärer Rohstoffe aus der Abfallwirtschaft sicherstellen. Über alle Segmente hinweg erwirtschaftete ein Beschäftigter in der Kreislaufwirtschaft im Jahr 2023 im Mittel einen Umsatz von 335.000 € sowie eine Bruttowertschöpfung von 117.000 €. Neben privatwirtschaftlichen Akteuren haben öffentliche Einrichtungen und Unternehmen in der Kreislaufwirtschaft eine bedeutende Rolle. Hier waren im Jahr 2023 über 600 Akteure aktiv, insbesondere in

den Marktsegmenten Sammlung, Transport und Straßenreinigung sowie Abfallbehandlung und -verwertung. Während in der Kreislaufwirtschaft der Umsatz pro Erwerbstätigen Schwankungen unterliegt und 2023 ein leichter Rückgang im Vergleich zu 2021 und 2022 zu verzeichnen ist, steigt die Wertschöpfung pro Erwerbstätigen in den letzten zehn Jahren kontinuierlich an.

Verflechtungen

Der internationale Handel mit Gütern und Technologien der Kreislaufwirtschaft ist für die Branche wichtig. Deutschland ist ein zentraler Akteur beim Handel mit Anlagen, Maschinen und Sekundärrohstoffen. Verwertungs- und Entsorgungsstrukturen sind global in vielen Ländern noch immer im Aufbau und die Nachfrage insbesondere nach Technologien für die Abfallwirtschaft daher hoch. Die Verwertungsindustrie für Abfälle ist zunehmend global ausgelegt und der Handel mit Sekundärrohstoffen nimmt zu und bewegt sich auf einem hohen Niveau. Steigende Rohstoffpreise machen die Extraktion und die Verwertung von Sekundärrohstoffen immer attraktiver. Deutschland hat als einer der historischen Vorreiter der Kreislaufwirtschaft einen guten technologischen Status und kann daher im Bereich der „Technik für die Abfallwirtschaft“ eine starke globale Position einnehmen. In diesem zentralen Marktsegment der Branche sind die Vereinigten Staaten, China, Polen und Frankreich die wichtigsten Abnehmer der deutschen Produkte. Die Ausfuhr von Sekundärrohstoffen erfolgt am stärksten nach Belgien, Italien und die Niederlande.

Wettbewerb

Der Markt der Kreislaufwirtschaft ist global organisiert und ein offener und freier Marktzugang eine grundlegende Voraussetzung für das Funktionieren und die kontinuierliche Weiterentwicklung. Im Bereich der Kreislaufwirtschaftstechnologien ist der Weltmarkt stark auf drei Länder zugeschnitten: die USA, Deutschland und China. Insgesamt hat der Markt ein Volumen von fast 190 Mrd. € in 2024 und ist damit seit 2010 aber nur moderat gewachsen. Die USA exportieren fast ausschließlich Sekundärrohstoffe, während Deutschland und China deutlich höhere Anteile im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ aufweisen. Hier ist China in allen Technologiebereichen mittlerweile der führende Anbieter.

2.1 Abgrenzung der Kreislaufwirtschaft



Die Kreislaufwirtschaft – dynamisch und vielseitig.

Klassischerweise wird mit der Kreislaufwirtschaft das Sammeln, Transportieren, Verwerten und Beseitigen von Abfällen verbunden. Diese Kernbereiche der Branche knüpfen jedoch an einen viel breiteren Wertschöpfungskontext an. Dieser umfasst neben technischen Vorleistungen des Maschinen- und Anlagenbaus unter anderem auch begleitende Handelsaktivitäten und Dienstleistungen. Die ökonomische Analyse der Kreislaufwirtschaft verdeutlicht, wie die Wertschöpfungsstufen fließend ineinandergreifen. Dabei zeigt sich die wachsende Bedeutung dieses Wirtschaftszweiges für die Umweltwirtschaft und den Arbeitsmarkt.

Zur ökonomischen Erfassung der Leistungen der Kreislaufwirtschaft lassen sich die volkswirtschaftlichen Daten der statistischen Ämter heranziehen. Im klassischen Gefüge der Einteilung der Volkswirtschaft in Branchen und Wirtschaftszweige finden auch Entsorgungsdienstleistungen ihren festen Platz. Die Klassifikation der Wirtschaftszweige erfasst explizit die Aktivitäten der Abfallsammlung, der Abfallbehandlung sowie der Rückgewinnung von Wertstoffen und definiert damit die ökonomische bzw. statistische Sichtweise auf die Branche. Doch diese enge Perspektive wird der tatsächlichen Größenordnung der Kreislaufwirtschaft im Hinblick auf die Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit nicht gerecht. Die Behandlung und Verwertung von Abfällen setzt entsprechende Maschinen und technische Anlagen voraus, die entwickelt, produziert, installiert und gewartet werden müssen. Darüber hinaus werden für die Abfallsammlung und -verwertung nicht nur Fahrzeuge und Behälter benötigt, sondern auch beispielsweise Großhändler, die die gewonnenen Sekundärrohstoffe wieder in den Produktkreislauf bringen. Hinzu kommen die vielen Ingenieurs- und Planungsbüros, sowie die Zertifizierer und spezialisierten Rechtsanwaltsbüros.

Die erheblichen Beiträge der nationalen Kreislaufwirtschaft für die Substitution von Primärrohstoffen werden volkswirtschaftlich und in den Klimabilanzen nicht der Kreislaufwirtschaft zugeordnet. Ebenso verhält es sich mit den erheblichen Beiträgen zur Energiewirtschaft aus den Deponie- und Biogasanlagen, sowie aus den thermischen Abfallbehandlungsanlagen, die in den Ballungsräumen einen signifikanten Anteil an Fernwärme neben dem elektrischen Strom bereitstellen. Auch sind Unternehmen der Kreislaufwirtschaft inzwischen Produzenten für Produkte, die wieder dem Wirtschaftskreislauf zugeführt werden.

Dieser Bericht legt ein umfassenderes Verständnis der Wertschöpfungsstufen der Kreislaufwirtschaft zu Grunde, als es die Klassifizierung nach Wirtschafts-

zweigen ermöglicht. Als Ergebnis der durchgeführten Analysen wird die Kreislaufwirtschaft in insgesamt vier Marktsegmente abgegrenzt, die wiederum aus unterschiedlichen Teilsegmenten bestehen.

Die beiden Marktsegmente „Abfallsammlung, -transport und Straßenreinigung“ sowie „Abfallbehandlung und -verwertung“ bilden die Abfallwirtschaft nach einem eher klassischen Verständnis ab. Diese Zweiteilung mag nicht für jeden Unternehmenskontext trennscharf abgrenzbar sein, da viele größere Entsorgungsbetriebe in beiden Marktsegmenten zugleich wirtschaftlich aktiv sind. Sie folgt jedoch der statistischen Datenverfügbarkeit und ermöglicht eine differenzierte Betrachtung.

Marktsegmente und Teilbereiche der Kreislaufwirtschaft

Abfallsammlung, -transport, Straßenreinigung



- ▶ Abfallsammlung, -transport
- ▶ Straßenreinigung

Abfallbehandlung und -verwertung



- ▶ Stoffliche Verwertung
- ▶ Energetische Verwertung
- ▶ Abfallbeseitigung

Technik für die Abfallwirtschaft



- ▶ Anlagentechnik
- ▶ Fahrzeugtechnik
- ▶ Sammel- und Transportbehälter
- ▶ Sonstiges

Großhandel mit Altmaterialien



- ▶ Großhandel mit Altmaterialien

Abb. 44, Quelle: Prognos AG

2.2 Marktsegmente der Kreislaufwirtschaft



Leistungsstarker Motor der Volkswirtschaft.

Die Kreislaufwirtschaft leistet zentrale Beiträge für die Umwelt und Gesellschaft und dies mit ökonomischem Erfolg. Das kontinuierliche Wachstum in den Kernbereichen sowie die stabile Zunahme der Erwerbstätigen gehen mit einer stetig wachsenden Wertschöpfung einher. Neue technologische Potenziale und umweltpolitische Anforderungen lassen erwarten, dass der Gesamtmarkt der Kreislaufwirtschaft sich sowohl auf regionaler als auch auf nationaler Ebene kontinuierlich weiterentwickeln wird.

2.2.1 Technik für die Abfallwirtschaft

Eine moderne technische Infrastruktur bildet die Grundlage für eine funktionsfähige und effiziente Kreislaufwirtschaft. Dazu zählen z. B. Abfallförderanlagen, Sortieranlagen, Mess- und Filterapparate, Abfallbehandlungs- und Recyclinganlagen sowie Anlagen zur Energieumwandlung in Fern- und Prozesswärme und Elektrizität. Des Weiteren wird eine spezialisierte Fahrzeugtechnik benötigt, ebenso wie Sammelbehälter und anderes Equipment zur Abfallsammlung. Das Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ bündelt die Herstellung dieser Komponenten und bildet die spezialisierten Unternehmen aus klassischen Branchen wie der Kunststoffverarbeitung, dem Maschinen- oder dem Fahrzeugbau ab.

In den über 1.200 Unternehmen dieses Marktsegments waren im Jahr 2024 fast 58.000 Erwerbstätige beschäftigt, was einem Anteil von ca. 18 % an den Erwerbstätigen der Kreislaufwirtschaft entspricht. Die Entwicklung der Erwerbstätigkeit für die Technik der Abfallwirtschaft zeigte in den letzten Jahren eine volatile Entwicklung. Im Jahr 2019 wurde ein Höchststand erreicht, bevor die Zahl der Beschäftigten in den Jahren 2020 und 2021 vor dem Hintergrund der COVID-19-Pandemie zurückging. Seit 2022 konnte sich die Erwerbstätigkeit jedoch wieder leicht erholen und befindet sich seither auf einem positiven Wachstumspfad. Im Durchschnitt wuchs die Beschäftigtenzahl in diesem Segment seit 2010 jährlich um 0,6 %. Die Bruttowertschöpfung legte demgegenüber deutlich stärker zu und stieg im Zeitraum von 2010 bis 2024 um 3,2 % p. a., also um insgesamt über 50 % im Vergleich zu 2010. Im Jahr 2024 betrug sie dadurch mehr als 5,8 Milliarden €. Die Zahl der Unternehmen nahm zwischen den Jahren 2012 und 2020 leicht ab, bewegt sich seitdem aber auf einem stabilen Niveau von ca. 1.200 Unternehmen

Innerhalb des Marktsegments stellt die Anlagentechnik den wichtigsten Technologiebereich dar. Mehr als zwei Drittel der Erwerbstätigen stammen aus diesem Bereich, der sich seit 2010 kontinuierlich entwickelt. Stärkere positive Dynamiken sind in den Bereichen Herstellung von Sammel- und Transportbehältern

sowie Sonstige Technik zu verzeichnen, welche sich aber mit Anteilen an der Erwerbstätigkeit von 12 % bzw. 9 % auf einem niedrigeren absoluten Niveau bewegen. Der Technologiebereich Fahrzeugtechnik, der u.a. Aufbauten für Müllfahrzeuge und Kehrmaschinen umfasst, beschäftigt ca. 8 % der Erwerbstätigen. Als einziger Bereich in diesem Marktsegment zeigt dieser mit -12 % eine rückläufige Erwerbstätigenentwicklung im Betrachtungszeitraum 2010–2024.

Anteile ausgewählter Indikatoren des Marktsegments „Technik für die Abfallwirtschaft“ am Gesamtmarkt Kreislaufwirtschaft

1.233 Unternehmen	13 %
57.647 Erwerbstätige	18 %
16.216 Umsatz (in Mio. €)	15 %
5.859 Bruttowertschöpfung	15 %

Entwicklung 2010 bis 2023/2024

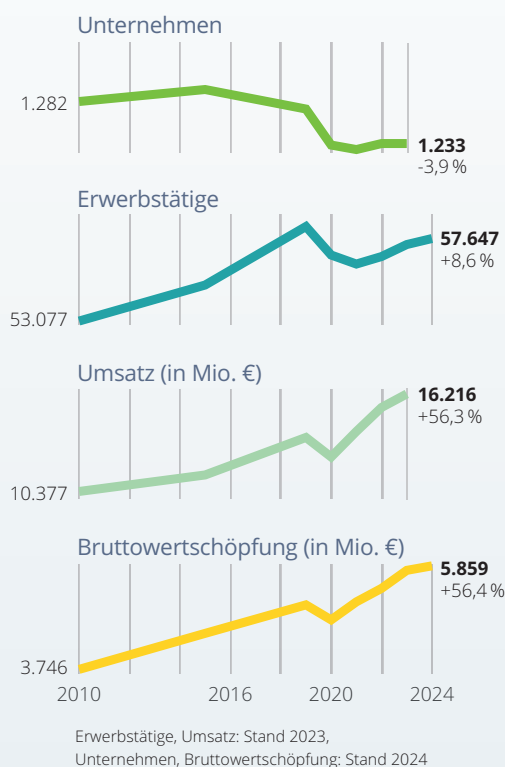


Abb. 45, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit und Statistisches Bundesamt

Marktsegmente der Kreislaufwirtschaft

Gleichzeitig ist aber auch hier eine positive Entwicklung der Bruttowertschöpfung erkennbar.

Die Beschäftigtenstruktur im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ verdeutlicht die hohen Qualifikationsanforderungen dieses Bereichs und unterscheidet sich damit deutlich von den anderen Marktsegmenten. Der Anteil geringfügig Beschäftigter liegt hier mit unter 5% am niedrigsten in der gesamten Kreislaufwirtschaft, während er beispielsweise im Marktsegment Großhandel mit Altmaterialien fast 13% beträgt. Gleichzeitig können in diesem Marktsegment mehr als ein Drittel aller sozialversicherungspflichtig Beschäftigten als Spezialisten oder Experten klassifiziert werden, womit sie beispielsweise als Ingenieure oder Techniker besonders komplexe Tätigkeit durchführen. Gleichzeitig liegt der Anteil von Beschäftigten mit einem akademischen Abschluss mit über 22% in diesem Marktsegment doppelt so hoch wie im Durchschnitt der gesamten Kreislaufwirtschaft.

Die Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft wird maßgeblich von technischen Lösungen bestimmt, die den steigenden Anforderungen an die Qualität von Abfallsammlung und -verwertung gerecht werden. Insbesondere auf internationalen Märkten ist die Nachfrage nach deutscher Abfalltechnik hoch und wächst weiter (vgl. Kap. 2.3). Dies schafft anhaltend positive Aussichten für das Marktsegment.

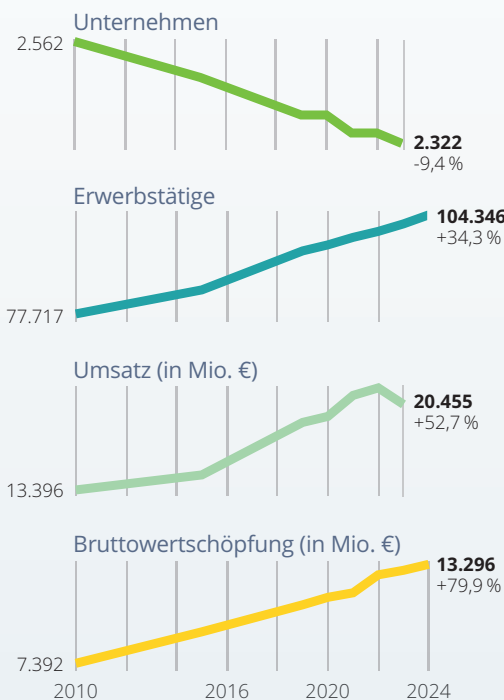
2.2.2 Sammlung, Transport und Straßenreinigung

Bevor Abfälle und Wertstoffe behandelt und recycelt werden können, müssen sie von den Entstehungsorten zu den Sortier- und Verwertungsanlagen gelan-

Anteile ausgewählter Indikatoren des Marktsegments „Abfallsammlung, -transport und Straßenreinigung“ am Gesamtmarkt Kreislaufwirtschaft

2.322	Unternehmen	24 %
104.346	Erwerbstätige	32 %
20.455	Umsatz (in Mio. €)	19 %
13.296	Bruttowertschöpfung	35 %

Entwicklung 2010 bis 2023/2024



Erwerbstätige, Umsatz: Stand 2023,
Unternehmen, Bruttowertschöpfung: Stand 2024

Abb. 46, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit und Statistisches Bundesamt

Hinweise zur Methodik

Indikatoren zur Beschreibung der wirtschaftlichen Bedeutung

Die Bruttowertschöpfung bezeichnet den Gesamtwert der im Produktions- bzw. Leistungsprozess erzeugten Waren und Dienstleistungen abzüglich des Werts der Vorleistungen. Gegenüber den Umsätzen wird dabei ausschließlich die zusätzliche Wertschöpfung der berücksichtigten Wirtschaftsaktivitäten betrachtet (inklusive erzeugter Mehrbestände für den betrieblichen Eigenverbrauch, Lagerung und selbsterstellter Anlagen). Aufgrund unterschiedlicher Datenquellen besteht jedoch nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit zu den ermittelten Umsatzwerten. Daten zur Bruttowertschöpfung liegen in der wirtschaftsstatistischen Klassifikation lediglich für die 38 Wirtschaftsabschnitte und nicht untergliedert nach Wirtschaftszweigen vor. Um ein differenziertes Bild für die Kreislaufwirtschaft zu schaffen, wurden daher sektorspezifische Produktivitätsfaktoren (Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigen) mit den detailliert vorliegenden Zahlen der Erwerbstätigen verrechnet.

Die Gruppe der Erwerbstätigen umfasst sozialversicherungspflichtig Beschäftigte, geringfügig Beschäftigte sowie Selbstständige. Auch Beschäftigte öffentlicher Unternehmen werden erfasst. Beamte können dagegen nicht berücksichtigt werden. Über das Abgrenzungsmodell der Kreislaufwirtschaft werden sowohl direkte (Leistungen der Abfallwirtschaft) als auch indirekte Arbeitsplätze (unter anderem Herstellung von Anlagen und technischer Ausrüstung, Installation, Handel) berücksichtigt. Die Daten zu den Erwerbstätigen in diesem Bericht beziehen sich auf das Jahr 2024. Aussagen zu den Strukturmerkmalen der Erwerbstätigen, wie Geschlecht, Alter oder Bildungsstand, beziehen sich lediglich auf die Erwerbstätigengruppe der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten.

Das Import- und Exportvolumen beschreibt den Gesamtwert der Importe bzw. Exporte der Kreislaufwirtschaft aus Deutschland in ausländische Märkte. Die Handelsdaten basieren auf der Außenhandelsstatistik und bilden daher nur Güter und keine Dienstleistungen ab. Der Güterverkehr umfasst ca. 80% des deutschen Außenhandels.

Die Höhe der erwirtschafteten Umsätze wurde anhand der Umsatzsteuerstatistik ermittelt. Erfasst sind die

gemeldeten Umsätze von Unternehmen, die einen jährlichen Gesamtumsatz von mindestens 22.000 Euro erwirtschaften. Unternehmen melden Umsätze in der Regel an ihrem jeweiligen nationalen Hauptsitz, was nicht zwangsläufig dem Ort der Leistungserbringung entspricht. Dies ist bei einem Vergleich der Bundesländer zu berücksichtigen. Die zugrundeliegenden Daten basierend auf der Umsatzsteuerstatistik und enthalten somit keine steuerbefreiten und öffentlichen Einrichtungen und Unternehmen. Daten für diese Akteure werden, sofern die Datenverfügbarkeit gegeben ist, im Text besonders hervorgehoben. Die in diesem Bericht genannten Umsätze beziehen sich auf das Jahr 2023. Die Umsatzsteuerstatistik bildet ebenfalls die Grundlage für die im Rahmen dieses Berichts ermittelte Anzahl der Unternehmen in den Marktsegmenten der Kreislaufwirtschaft. Erfasst wurden somit die steuerpflichtigen Unternehmen.

Der Lokalisierungsquotient/Spezialisierungsgrad setzt den Anteil eines Marktsegmentes an den Erwerbstätigen eines Bundeslandes ins Verhältnis zum entsprechenden Wert in der Bundesrepublik. Ein Lokalisierungsquotient größer 1 drückt eine überdurchschnittliche Ausprägung aus, d. h. es liegt eine Spezialisierung in diesem Marktsegment vor.

gen. Dahinter stehen umfassende Logistikprozesse und -dienstleistungen für die Sammlung und den Transport nicht gefährlicher sowie gefährlicher Abfälle aus Haushalten, Gewerbe und Industrie. Diese werden, ergänzt durch die Straßenreinigung, im Marktsegment „Sammlung, Transport und Straßenreinigung“ bilanziert.

Im Jahr 2024 konnte in diesem Marktsegment mit knapp über 100.000 Erwerbstätigen eine Bruttowertschöpfung von fast 13,3 Milliarden€ erwirtschaftet werden. Mit rund 35% der Bruttowertschöpfung und knapp einem Drittel der Erwerbstätigen stellt dieses Marktsegment das zweitgrößte innerhalb der Kreislaufwirtschaft dar. Rund 2.300 Unternehmen lassen sich aufgrund ihres Unternehmensschwerpunkts diesem Segment zuordnen, wobei zahlreiche Akteure gleichzeitig im Segment „Abfallbehandlung und -verwertung“ tätig sind.

Die positive Dynamik der Erwerbstätigkeit von 2,1% pro Jahr zwischen 2010 und 2024 macht dieses Marktsegment zum wachstumsstärksten in der gesamten Kreislaufwirtschaft mit einer anhaltend positiven Entwicklung. Insbesondere der Wirtschaftszweig „Sammlung nicht gefährlicher Abfälle“ hat in den letzten Jahren einen starken Zuwachs verzeichnet und sich gegenüber 2017 mehr als verdoppelt. Auch die Bruttowertschöpfung legte im Marktsegment „Sammlung, Transport und Straßenreinigung“ mit einem Wachstum von 4,3% pro Jahr seit 2010 kräftig zu.

Mehr als 70% der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in diesem Marktsegment verfügen über einen anerkannten Berufsabschluss. Gleichzeitig ist hier der Anteil von Beschäftigten ohne beruflichen Abschluss mit fast 15% am höchsten. Abfallsammlung, Transport und Straßenreinigung bietet somit überdurchschnittlich vielen Arbeitskräften mit geringeren Qualifikationsniveaus eine Chance auf dem Arbeitsmarkt. Gleichwohl befindet sich hier mit über 90% der im Vergleich zu den übrigen Marktsegmenten größte Anteil der Erwerbstätigen in sozialversicherungspflichtigen Beschäftigungsverhältnissen.

2.2.3 Abfallbehandlung und -verwertung

Das Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ kann als Kern der Kreislaufwirtschaft betrachtet werden. Neben der Vorbehandlung und Entsorgung nicht verwertbarer Abfälle, findet hier die Sortierung sowie die stoffliche und energetische Verwertung von Abfällen statt. Die Leistungen umfassen unter anderem die Zerkleinerung, Reinigung, Trennung und Sortierung von Abfällen, die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen (vor allem Metalle, Kunststoffe, Glas und Papier) sowie die energetische Verwertung und die Behandlung von gefährlichen Abfällen.

Anteile ausgewählter Indikatoren des Marktsegments „Abfallbehandlung und -verwertung“ am Gesamtmarkt Kreislaufwirtschaft

3.085 Unternehmen	32 %
139.780 Erwerbstätige	43 %
49.911 Umsatz (in Mio. €)	47 %
17.241 Bruttowertschöpfung	45 %

Entwicklung 2010 bis 2023/2024

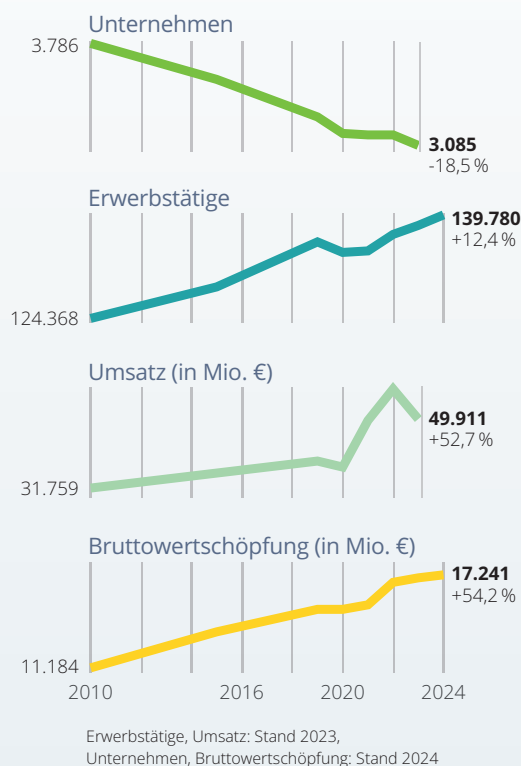


Abb. 47, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit und Statistisches Bundesamt

Mit fast 140.000 Erwerbstätigen stellt dieses Marktsegment die meisten Beschäftigten der Kreislaufwirtschaft (43%), wovon fast zwei Drittel in der stofflichen Verwertung tätig sind. Auch wenn hier ein solides Wachstum erkennbar ist, zeigt die Erwerbstätigkeit in der energetischen Verwertung sowie der Abfallbeseitigung eine höhere Dynamik, wenn auch auf einem niedrigeren absoluten Niveau.

Trotz konjunktureller Schwankungen während der COVID-19-Pandemie verzeichnete die Bruttowertschöpfung im Zeitraum von 2010 bis 2024 insgesamt ein deutliches Wachstum von 3,1% pro Jahr. Im Jahr 2021 erreichte sie erstmals über 15 Milliarden€ und stieg bis 2024 weiter auf 17,2 Milliarden€ an. Dies liegt unter anderem an der hohen Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigen, welche in den letzten Jahren in der Branche der Wasser- Abwasser- und Abfallwirtschaft für deutschlandweit stark gestiegen ist.

Marktsegmente der Kreislaufwirtschaft

Zwischen 2010 und 2023 nahm die Zahl der Unternehmen im Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ um mehr als 18% ab. Angesichts der insgesamt positiven wirtschaftlichen Bilanz ist dieser Rückgang vor allem auf Konsolidierungsprozesse zurückzuführen, die durch steigende Qualitätsanforderungen und intensiven Wettbewerb bedingt werden.

Hinsichtlich der Beschäftigtenstruktur nimmt dieses Marktsegment zwei führende Rollen ein: Zum einen ist hier der Anteil von ausländischen Beschäftigten mit 15% und die damit verbundene Integrationsleistung überdurchschnittlich. Zum anderen ist hier im Vergleich zu den anderen Segmenten der geringste Anteil an Beschäftigten mit einem Alter von über 55 Jahren zu verzeichnen, die Abfallbehandlung und -verwertung ist dementsprechend attraktiv für jüngere Arbeitnehmer.



Biomüllsammlung, Quelle: Kommunalservice Jena

2.2.4 Großhandel mit Altmaterialien

Zur Wertschöpfung der Kreislaufwirtschaft gehören auch die Aktivitäten im Marktsegment „Großhandel mit Altmaterialien“. Diese stellen ein wesentliches Bindeglied zwischen den Produzenten von Sekundärrohstoffen und den Unternehmen, die diese zur Herstellung neuer Güter benötigen, dar.

Im Vergleich zu den übrigen Marktsegmenten der Kreislaufwirtschaft ist dieses Segment deutlich kleiner. Für das Jahr 2024 werden etwa 20.500 Beschäftigte und eine Bruttowertschöpfung von 1,6 Milliarden € verzeichnet. Die Anzahl der Erwerbstätigen ist seit 2014 überwiegend rückläufig, wobei sich der Rückgang seit 2021 stabilisiert hat, wodurch die negative Entwicklung zwischen 2010 und 2024 bei lediglich -0,5% pro Jahr liegt.

Anteile ausgewählter Indikatoren des Marktsegments „Großhandel mit Altmaterialien“ am Gesamtmarkt Kreislaufwirtschaft

2.891 Unternehmen	30 %
20.457 Erwerbstätige	6 %
19.765 Umsatz (in Mio. €)	19 %
1.640 Bruttowertschöpfung	4 %

Entwicklung 2010 bis 2023/2024

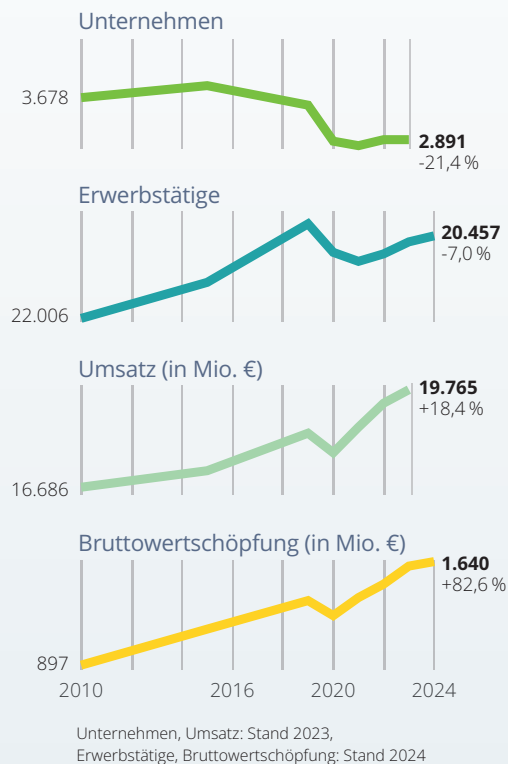


Abb. 48, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit und Statistisches Bundesamt

Unabhängig von diesen Entwicklungen stieg die Bruttowertschöpfung stetig und erkennbar an (+4,4% p.a. von 2010 bis 2024) und profitiert dabei von der allgemein steigenden Bruttowertschöpfung im deutschen Großhandel. Der seit 2010 bestehende Trend zur Konsolidierung der Unternehmenslandschaft hat sich nach einer kurzen Unterbrechung im Jahr 2021 fortgesetzt, was sich in einer weiter sinkenden Unternehmenszahl und einer übergeordneten Entwicklung von -2% pro Jahr zwischen 2010 und 2024 widerspiegelt.

Dieses Marktsegment ist mit einem Anteil der Beschäftigung von Frauen mit 27% in solider Distanz zu den anderen Segmenten führend in der deutschen Kreislaufwirtschaft. Gleichzeitig ist hier auch mit 12% der Anteil von Beschäftigten in Teilzeit höher als in den anderen Segmenten.

2.2.5 Die Kreislaufwirtschaft im Überblick

Die Kreislaufwirtschaft beschäftigt über die vier Marktsegmente hinweg 322.000 Erwerbstätige, von 2010 bis 2024 entwickelte sich die Branche insgesamt positiv. Die Beschäftigtenzahl erhöhte sich in diesem Zeitraum um über 45.000, entsprechend einem durchschnittlichen Wachstum von 1,1 % pro Jahr. Nach einem leichten pandemiebedingten Rückgang 2020 setzte sich der Wachstumstrend anschließend wieder fort. Insbesondere die Bruttowertschöpfung zeigte mit 3,6 % p.a. eine starke Dynamik und erreichte im Jahr 2024 einen Wert von 38 Milliarden €. Seit 2012 ist hingegen die Gesamtzahl der Unternehmen in der Kreislaufwirtschaft rückgängig. Da sich die Erwerbstätigkeit parallel solide entwickelt, lässt dies insbesondere mit Blick auf kleinere Unternehmen zu Konsolidierungen in der Branche schließen.

2.2.6 Vergleich mit anderen Branchen

Die wirtschaftliche Bedeutung der Kreislaufwirtschaft wird häufig unterschätzt, da der Blick meist auf die klassischen Bereiche der Abfallwirtschaft gerichtet ist. Diese einseitige Perspektive blendet jedoch zentrale Wertschöpfungsakteure aus – etwa Unternehmen im Marktsegment der Anlagentechnik und Energiewirtschaft. In der hier dargelegten umfangreicheren Perspektive ist die ökonomische Bedeutung der Kreislaufwirtschaft mit über 320.000 Erwerbstätigen durchaus signifikant und mit anderen Branchen vergleichbar.

In der Gegenüberstellung zu anderen klassischen Infrastrukturbranchen liegt die Kreislaufwirtschaft bei der Entwicklung der Erwerbstätigkeit mit einem Wachstum von 1,1 % pro Jahr zwischen 2010 und 2024 im soliden Mittelfeld und leicht vor der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung mit 0,9 %. Aufgrund der starken ökonomischen und politischen Dynamik ist hingegen der Anschluss zur Energiewirtschaft in den letzten Jahren verloren gegangen, die sich mit über 2 % pro Jahr stärker entwickelt und mittlerweile fast 400.000 Erwerbstätige verzeichnen kann. Auch die Personenbeförderung über Schiene und Straße profitiert von einem stärkeren Wachstum

und beschäftigte im Jahr 2024 mehr als 530.000 Erwerbstätige. Hervorzuheben ist die im Vergleich starke Entwicklung von sozialversicherungspflichtigen Beschäftigungsverhältnissen, welche in der Kreislaufwirtschaft stärker wachsen als in der Energiewirtschaft, sowie in der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung.

Erwerbstätige in Schlüsselbranchen der Grundversorgung und ihre Entwicklung (2010 und 2024)

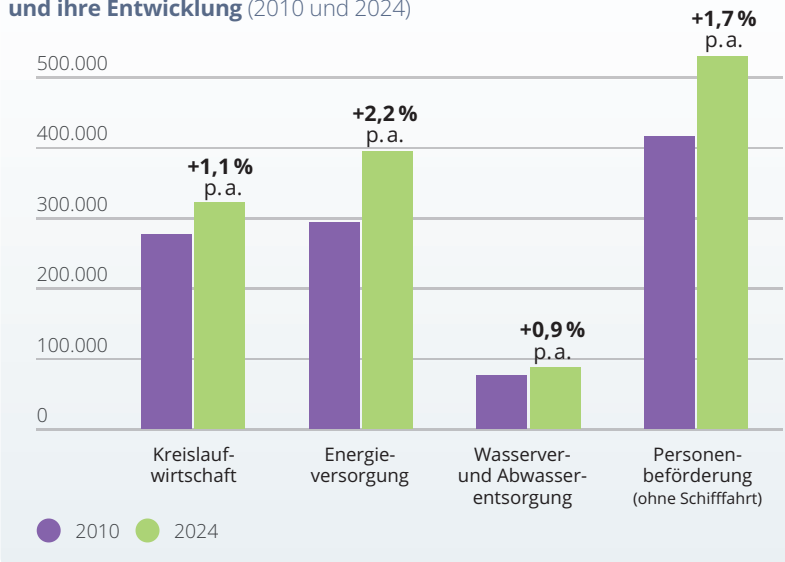


Abb. 49, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit und Statistisches Bundesamt

Als zentraler Bestandteil der technischen Infrastruktur und der Daseinsvorsorge spielt die Kreislaufwirtschaft insgesamt eine wichtige gesellschaftliche Rolle. Eine gesicherte und kosteneffiziente Entsorgung zählt dabei zu den relevanten Standortfaktoren der deutschen Wirtschaft. Neben ihren Kernaufgaben Erfassung, Sammlung und Transport, trägt die stoffliche Verwertung zur Verminderung der Importabhängigkeit und zur Kreislaufführung von Rohstoffen bei. Die energetische Nutzung von Abfällen leistet darüber hinaus einen zunehmend wichtigen Beitrag zur Realisierung der Energiewende, insbesondere in den Bereichen Grundlastversorgung und Sektorkopplung.

Entwicklung wirtschaftlicher Indikatoren der Kreislaufwirtschaft im Überblick

	2010	2020	2021	2022	2023	2024	Entwicklung (in%)	
							2010-2024	p. a.
Erwerbstätige	277.168	307.834	309.421	314.037	317.978	322.230	▲	16,3
Umsatz (in 1.000 €)	72.219.260	83.112.036	106.361.613	118.173.856	106.345.842	.	▲	47,3
Bruttowertschöpfung (in 1.000 €)	23.220.750	32.272.425	33.347.077	36.170.468	37.344.568	38.035.204	▲	63,8
Unternehmen	11.308	9.669	9.756	9.682	9.530	.	▼	-15,7

Abb. 50, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit und Statistisches Bundesamt

2.3 Außenwirtschaftliche Bedeutung der Kreislaufwirtschaft



Internationale Märkte und Plattformen für die Kreislaufwirtschaft

Steigende Rohstoffknappheit und Rohstoffpreise, unsichere Lieferketten und ein zunehmendes Umwelt- und Ressourcenbewusstsein, führen zu wachsenden internationalen Märkten für Technologien und Produkte der Kreislaufwirtschaft. Maschinen, Anlagen und zum Teil auch Dienstleistungen stoßen auf eine globale Nachfrage. Eine der wichtigsten Plattformen zum Aufbau und zur Pflege internationaler Handelsbeziehungen ist die IFAT Munich, die Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser, Abfall- und Rohstoffwirtschaft.

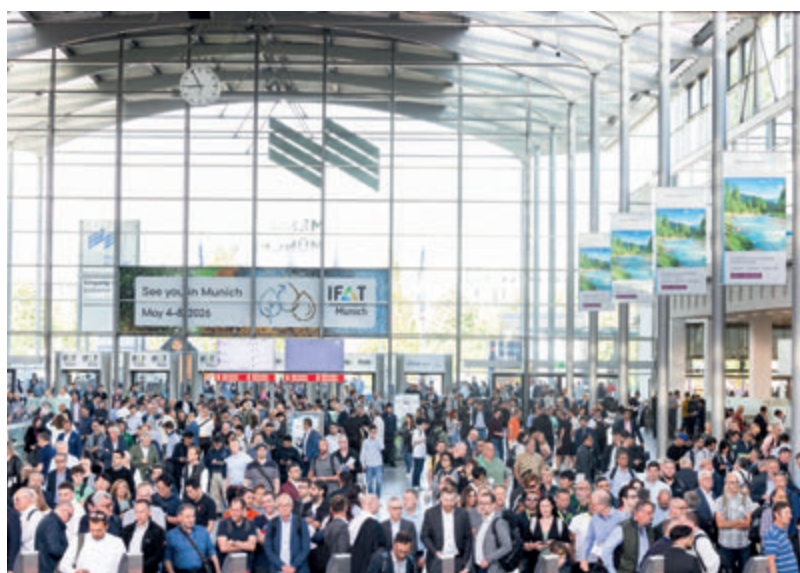
2.3.1 Plattform für die globale Kreislaufwirtschaft

In einer Welt, in der Lieferketten zunehmend unter Druck geraten, gewinnt die effiziente Rückführung von Materialien in geschlossene Kreisläufe stark an Bedeutung. Werden Rohstoffe nach ihrer Nutzung hochwertig wiederverwertet, sinkt der Bedarf an Primärmaterialien, und zugleich verbessern sich die ökonomischen wie ökologischen Grundlagen moderner Industrien. Gleichzeitig spielt der internationale Handel mit Sekundärrohstoffen eine wachsende Rolle, denn er hilft, globale Ungleichgewichte zwischen Angebot und Nachfrage auszugleichen. Parallel hierzu zeigt sich, dass lokale und regional verankerte Kreisläufe entscheidende Vorteile bieten: Sie reduzieren Transportdistanzen, mindern Emissionen und stärken wirtschaftliche Wertschöpfung direkt vor Ort. Sowohl globale Vernetzung als auch regionales Handeln wirken somit gemeinsam als Schlüsselfaktoren einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft.

Damit dieser Austausch gelingt, braucht es Orte, an denen Unternehmen, Experten, politische Entscheidungsträger und Wissenschaft zusammenkommen. Die IFAT Munich hat sich in diesem Kontext seit Jahrzehnten als eine der wichtigsten internationalen Plattformen etabliert. Alle zwei Jahre zeigt die weltweite Leitmesse auf dem Münchener Gelände die neuesten Entwicklungen und Technologien der Wasser- und Kreislaufwirtschaft. Sie bietet Raum für Innovationen, für die Vorstellung erprobter Lösungen aus aller Welt und für den offenen Dialog darüber, wie sich Umwelt- und Klimaschutz global voranbringen lassen.

Mehr als 3.000 Aussteller aus über 60 Ländern

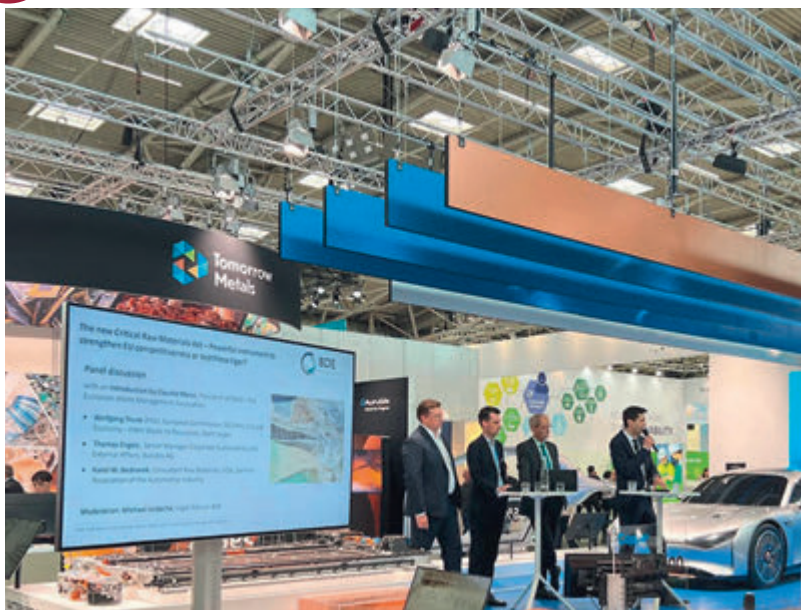
Die jüngste Ausgabe der IFAT Munich 2024 hat eindrucksvoll vor Augen geführt, wie international vernetzt und dynamisch die Umweltbranche heute agiert. Mit über 3.200 Ausstellern aus 61 Ländern sowie rund 142.000 Fachbesucherinnen und -besu-



IFAT, Quelle: Messe München GmbH

chern aus 173 Nationen zählt die Veranstaltung zu den weltweit bedeutendsten Drehscheiben ihrer Art. Etwa die Hälfte der Aussteller kommt traditionell aus Deutschland, starke Impulse setzten zudem die Länder Italien, Niederlande, Türkei, Österreich, Spanien, Großbritannien, Schweiz, Frankreich und Polen.

Auch auf Besucherseite bestätigt sich die globale Spannweite der Messe. Rund die Hälfte der Teilnehmenden reiste aus dem Ausland an. Die Top Ten der Besucherländer bildeten – nach Deutschland – Österreich, Italien, Schweiz, Spanien, Niederlande, Polen, Tschechien, China, Dänemark und Großbritannien. Die große geografische Vielfalt zeigt, dass Herausforderungen wie Wasserknappheit, Kreislaufführung von Materialien oder moderne Abfall- und Recyclingtechnologien längst keine regionalen Themen mehr sind, sondern international diskutiert und gelöst werden.



Messestand, Quelle: BDE

Die IFAT Munich ist zugleich ein Forum für grundlegende gesellschaftliche und politische Fragen. Sie vereint Vertreter der öffentlichen Hand, der Industrie, des verarbeitenden Gewerbes und der Wasser- und Kreislaufwirtschaft. Forschungsinstitute und junge Technologieunternehmen stellen wegweisende Konzepte vor, die aufzeigen, wie sich Ressourcen künftig effizienter nutzen und Systeme widerstandsfähiger gestalten lassen. Besonders im Blickpunkt stehen dabei der verantwortungsvolle Umgang mit Wasser sowie die Weiterentwicklung vollständiger Kreisläufe – Themen, die angesichts des Klimawandels weltweit an Dringlichkeit gewinnen.

Deutschland spielt innerhalb dieser globalen Entwicklung eine führende Rolle und treibt seit vielen Jahren die internationale Etablierung des Kreislaufgedankens voran. Die IFAT Munich unterstützt diese Mission durch ihr stetig wachsendes Netzwerk von Auslandsveranstaltungen, das Unternehmen Türöffner zu wichtigen Zukunftsmärkten bietet. Mit inzwischen zwölf internationalen Formaten reicht das IFAT-Netzwerk über mehrere Kontinente hinweg.

- ▶ In China ist die IFAT gleich viermal vertreten: Die IE expo China in Shanghai hat sich zur größten Umwelttechnologiemesse Asiens entwickelt, während Chengdu den Westen des Landes abdeckt und Guangzhou sowie Shenzhen im jährlichen Wechsel das dynamische Wachstum Südchinas erschließen.
- ▶ In Indien bildet die IFAT India in Mumbai den zentralen Branchentreffpunkt, ergänzt durch die IFAT Delhi mit Fokus auf Nordindien.¹
- ▶ Eine weitere Säule im asiatischen Raum ist die enge Kooperation mit der Singapore International Water Week, deren Bedeutung im globalen Wassersektor kaum zu überschätzen ist.

- ▶ Zwischen Europa und Asien übernimmt die IFAT Eurasia in Istanbul eine verbindende Rolle, sowohl geografisch als auch wirtschaftlich.
- ▶ In Afrika hat sich die IFAT Africa in Johannesburg als zentrales Forum für Subsahara-Märkte etabliert.
- ▶ Mit der 2024 erstmals stattfindenden IFAT Brasil wurde auch Südamerika in das Netzwerk integriert.
- ▶ Ab 2026 wird das Portfolio um einen weiteren wichtigen Standort ergänzt: Die erste IFAT Saudi Arabia feiert ihre Premiere im Königreich. Mit dem neuen Veranstaltungsort erschließt die Marke einen strategisch hoch relevanten Markt im Nahen Osten, der stark in nachhaltige Wasserwirtschaft, Kreislaufösungen und moderne Infrastruktur investiert.

Insgesamt zeigt sich ein eng verflochtenes Netz globaler Fachmessen, das Unternehmen und Institutionen umfangreiche Möglichkeiten eröffnet, technologische Entwicklungen voranzutreiben, internationale Partnerschaften zu schließen und gemeinsame Lösungen für den Umwelt- und Klimaschutz zu entwickeln. Die IFAT trägt damit entscheidend dazu bei, die Transformation hin zu einer zirkulären, ressourcenschonenden und resilienten Wirtschaft weltweit zu beschleunigen.

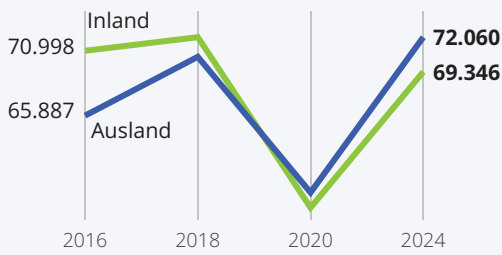
2.3.2 Der Welthandel mit Produkten der Kreislaufwirtschaft

Der Weltmarkt für Kreislaufwirtschaftsgüter wächst seit dem Jahr 2010 kontinuierlich und verzeichnet bis 2024 ein durchschnittliches Wachstum von 1,6 % pro Jahr. Nach dem Prognos-Welthandelsmodell wurden in der Kreislaufwirtschaftsbranche im Jahr 2024 global Güter im Gesamtwert von fast 190 Mrd. \$ exportiert. Die Entwicklung der globalen Exporte hat sich nach einer besonders starken Zunahme im Jahr 2021 allerdings verlangsamt.

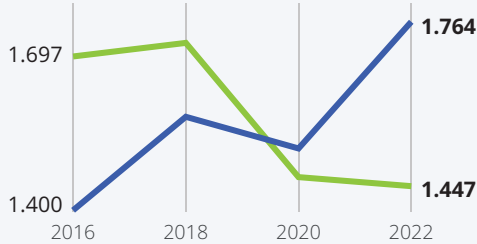
Der mit deutlichem Abstand größte Exportakteur sind die USA, deren Ausfuhren im Jahr 2024 rund 35 Mrd. \$ erreichten. Allerdings stagnieren die dortigen Exporte seit 2010 mit einem Wachstum von weniger als 0,1 % p.a. Fast 95 % der US-amerikanischen Exporte sind Abfälle und Schrotte des Technologiebereichs „Stoffliche Verwertung“ für die Sekundärrohstoffgewinnung. Deutschland folgt im globalen Ranking auf dem zweiten Platz. Auch das deutsche Exportvolumen hat seit 2010 nur sehr langsam zugenommen. Deutlich dynamischer entwickelte sich im gleichen Zeitraum China: Das chinesische Exportvolumen hat sich seit 2010 nahezu verdreifacht und ist um durchschnittlich 7,7 % pro Jahr gewachsen. Im Jahr 2024 exportierte China Kreislauf-

Aussteller- und Besucherstruktur der IFAT

Entwicklung Besucherzahlen



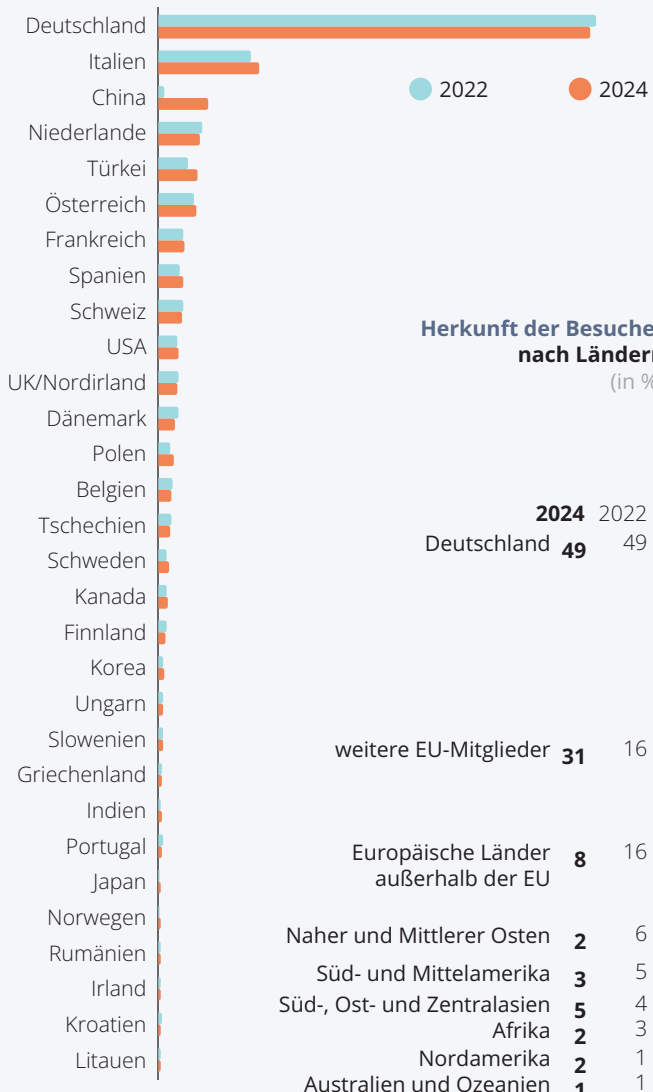
Entwicklung Ausstellerzahlen



Besucher-Struktur nach Branchen 2024 (in %)



Die 30 größten Ausstellerländer 2022 und 2024



Herkunft der Besucher nach Ländern (in %)



Herkunft der Besucher nach Bundesländern (in %)

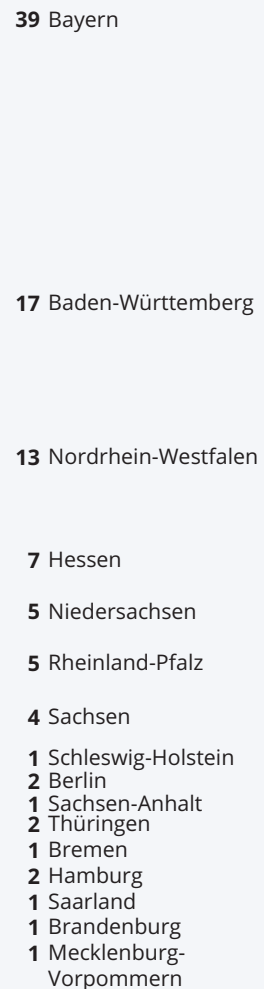


Abb. 51, Quelle: Messe München

Außenwirtschaftliche Bedeutung der Kreislaufwirtschaft

wirtschaftsgüter im Wert von über 14 Mrd. \$. Auffallend ist, dass China einen sehr geringen Anteil von unter 10 % in 2024 für den, bei den USA und Deutschland dominanten, Technologiebereich „Stoffliche Verwertung“ aufweist. Stattdessen konzentrieren sich die chinesischen Exporte stark auf das Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“, wo das Land in allen drei Technologiebereichen der mit großem Abstand wichtigste Exporteur ist. Mit fast 13 Mrd. \$ stellen chinesische Unternehmen mehr als 30 % des globalen Exportmarkts. Deutschland, das in dem Marktsegment der zweitwichtigste Akteur ist, vereint 2024 noch knapp 11 % des globalen Handels. Im Jahr 2010 lag Deutschland mit einem Weltmarktanteil von 15 % nur 2 % Prozentpunkte hinter China.

Das Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ ist – angetrieben durch China – das sich am stärksten entwickelnde Marktsegment für den gesamten globalen Exportmarkt der Kreislaufwirtschaft. Die Exporte in diesem Segment sind um 3,5 % p.a. gestiegen und erreichten im Jahr 2024 42 Mrd. \$. Die chinesischen Anbieter sind im Bereich der Fahrzeugtechnik am stärksten und dort für fast 65 % der globalen Exporte verantwortlich. Bei der Anlagentechnik kann Deutschland noch mithalten und liegt mit 3,4 Mrd. \$ nicht weit hinter China mit 4,6 Mrd. \$. -2010 war China hier mit 1,2 Mrd. \$ noch deutlich hinter Deutschland, hat sich aber durch ein Exportwachstum von fast 10 % p.a. gegenüber Deutschland mit

Globaler Gütertransport im Bereich Kreislaufwirtschaft nach Ländern (in Mrd. US-Dollar) 2024

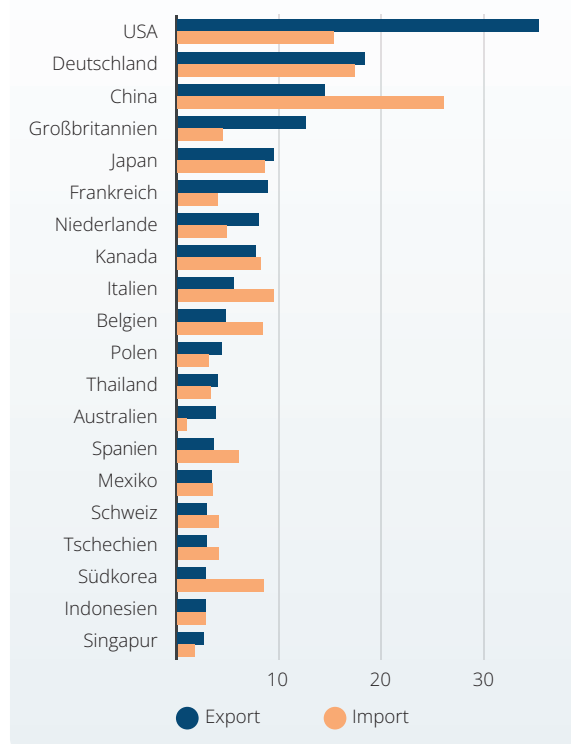


Abb. 52, Quelle: Prognos AG, Welthandelsmodell

Entwicklung der weltweiten Exportanteile im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ 2010 und 2024 (in %)

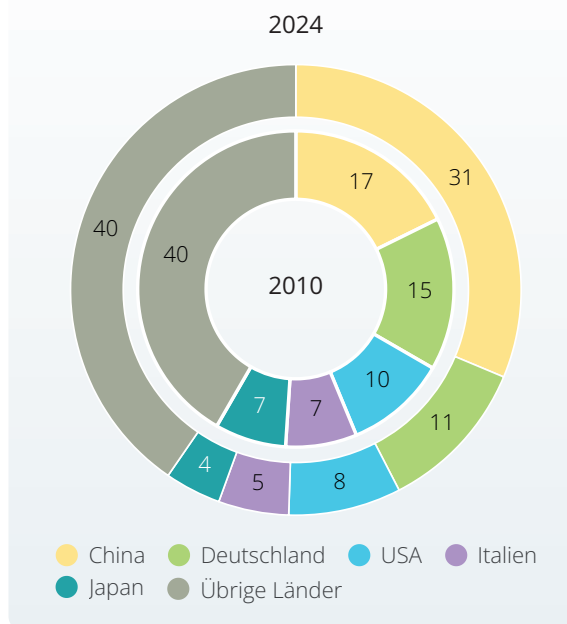


Abb. 53, Quelle: Prognos AG, Welthandelsmodell

nur knapp über einem Prozent deutlich abgesetzt. Das höchste globale Exportvolumen der Kreislaufwirtschaft hat im Jahr 2024 das Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ mit ca. 147 Mrd. \$. Hierunter fallen vor allem die wichtigsten Sekundärrohstoffe aus Eisen, Kupfer, Aluminium, Papierstoffen oder Kunststoffen, die in der globalen Verwertungsindustrie gehandelt werden. Der größte Exporteur sind hier mit großem Abstand die Vereinigten Staaten mit einem Anteil von fast 22 %, gefolgt von Deutschland mit ca. 10 %. Auch weitere europäische Industriestaaten wie das Vereinigte Königreich oder Frankreich haben in diesem Marktsegment hohe Exportvolumina. Das Marktsegment ist nur um ca. 1,1 % p.a. gewachsen und die Exporte bspw. der USA und Deutschland sind sogar rückläufig im Vergleich zu 2010. Die Exporte aus Australien und Polen haben dagegen deutlich zugenommen. Im Jahr 2021, als die globalen Rohstoffpreise und damit auch die Preise für Sekundärrohstoffe hoch lagen, verzeichnete das Marktsegment ein Allzeithoch und wuchs bis dahin im Vergleich zu 2010 noch um ca. 2,7 % im Jahr. Die beiden Technologiebereiche „Abfallbeseitigung“ und „Energetische Verwertung“ spielen im Betrachtungszeitraum nur eine sehr untergeordnete Rolle.

Global werden jährlich immer größere Mengen an Kunststoffen produziert, verwendet und schließlich wieder entsorgt. Für die Kreislaufwirtschaft stellen diese Kunststoffabfälle ein großes Ressourcenpotenzial, aber auch eine große Aufgabe für die Verwertungsbetriebe dar. Kunststoffe für die Verwertung und Entsorgung werden global gehandelt. Insgesamt haben die globalen Exporte an Kunststoffabfällen seit 2010 aber deutlich abgenommen. Während sie 2010 noch bei ca. 5,3 Mrd. \$ lagen, sind die Ausfuhren bis 2024 auf ca. 3,2 Mrd. \$ zurückgegangen, ein Minus von 3,4 % p.a. gegenüber 2010. Das wichtigste Exportland für diese Gütergruppe sind die Vereinigten Staaten mit einem Exportvolumen von 355 Mio. \$ Allerdings betragen die Exporte der USA nur noch ca. ein Drittel des ursprünglichen Volumens aus 2010 von 1,1 Mrd. \$. Deutschland hat seine globalen Exporte als zweitgrößter Exporteur in 2024 ebenfalls um fast 50 % auf 334 Mio. \$ zurückgefahren. Japan auf Rang 3 hat seine Exporte ebenfalls stark reduziert, während die folgenden europäischen Länder Großbritannien, Niederlande und Belgien die einzigen unter den 10 wichtigsten Exporteuren sind, die ihre Exporte an Kunststoffabfällen seit 2010 hochgefahren haben. Die zentralen europäischen Häfen in den Niederlanden und Belgien dürften hierfür eine relevante Rolle spielen.

Die neue EU-Abfallverbringungsverordnung (EU)2024/1157 trat am 20.05.2024 in Kraft. Die meisten neuen Pflichten (u. a. Digitalisierung) gelten ab 21.05.2026. Die verschärften Exportregeln gelten überwiegend ab 21.05.2027 und unterscheiden zwischen OECD- und Nicht-OECD-Zielen. Ein Exportverbot besteht weiterhin für Abfälle zur Beseitigung sowie für gefährliche Abfälle zur Verwertung in Nicht-OECD-Länder. Für nicht-gefährliche (green-listed) Abfälle ist der Export in Nicht-OECD-Länder ab 21.05.2027 grundsätzlich untersagt; Ausnahmen sind nur für gelistete Länder möglich. Plastikabfälle dürfen ab 21.11.2026 nicht mehr in Nicht-OECD-Länder exportiert werden. Hinzu kommen zusätzliche Überwachungsmaßnahmen, Nachweispflichten und unabhängige Auditierungen der aufnehmenden Anlage (ohne positives Audit kein Export), einschließlich ESM-Nachweis- und Auditpflichten insbesondere für Exporte. Die Neuerungen werden von den betroffenen Recyclingverbänden kritisch gesehen, da dadurch die etablierte globale Zusammenarbeit bei vielen Recyclingrohstoffen, die eine effiziente Recyclingwirtschaft überhaupt erst ermöglicht, gefährdet wird und Marktverzerrungen befürchtet werden.



Aluminiumschrott, Quelle: TSR

2.3.3 Importe der deutschen Kreislaufwirtschaft

Die deutschen Importe der Kreislaufwirtschaft kommen zu einem großen Teil aus Nachbarländern wie den Niederlanden (2,2 Mrd. €), Frankreich (1,8 Mrd. €) oder Österreich (1,2 Mrd. €) auf den Rängen 1-3 der Top-Importherkunftsländer. Deutschland bezieht allein 57 % der gesamten Kreislaufwirtschaftsimporte aus den 7 direkten Nachbarländern unter den Top 10 wichtigsten Bezugsländern. Erst auf Rang 7 folgt mit den



Gesamelte PV-Module, Quelle: Reiling

Vereinigten Staaten der erste nicht-angrenzende Handelspartner. Die Importe aus allen zehn wichtigsten Herkunftsländern sind seit 2010 gestiegen. Auch die Importe aus den mit Abstand wichtigsten Importländern Niederlande und Frankreich sind je mit über 4 % p.a. gestiegen. Noch dynamischer entwickelten sich allerdings die Importe aus Belgien (Rang 5) mit 7,1 % p.a. und Bulgarien (Rang 9) mit 22,0 % p.a. seit 2010. Auffallend ist dabei, dass die Importe aus Belgien im Jahr 2024 massiv um ca. 40 % eingebrochen sind. Bis zum Jahr 2023 hat die durchschnittliche Wachstumsrate aus Belgien noch bei über 12 % p.a. gelegen. Ein ähnlich starker Einbruch wird unter den wichtigsten Herkunftsländern nur für die USA mit über 35 % in 2024 verzeichnet.

Insgesamt wurden 2024 Güter im Wert von ca. 16,2 Mrd. € importiert, was knapp unter den deutschen Exporten liegt und damit ein Handelsüberschuss von ca. 400 Mio. € verbleibt. Dieser Überschuss ist in den Jahren seit 2010 allerdings deutlich geschrumpft, denn die deutschen Importe in der Kreislaufwirtschaft haben mit 3,3 % p.a. dynamischer zugenommen als die deutschen Exporte in die Welt (2,0 % p.a.). Im Jahr 2010 betrug der Exportüberschuss noch ca. 2,3 Mrd. €. Allerdings zeigt die aktuelle Tendenz bei den Importen ein stärkeres Minus für das Jahr 2024 als die Exporte. Die Importe sind im Vergleich zu 2023 um 3,8 % oder ca. 650 Mio. € gefallen, gut 1 % weniger als die deutschen Kreislaufwirtschaftsexporte.

Die zehn größten Exporteure von „Abfällen aus Kunststoffen“ im Jahr 2024 (in Mio. US-Dollar)

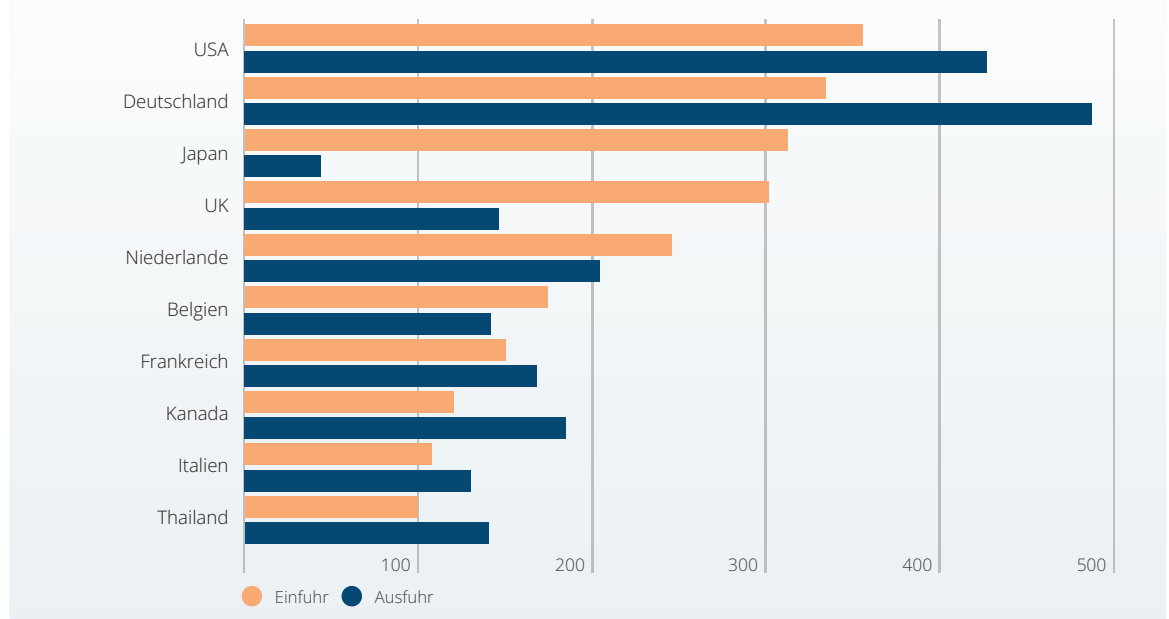
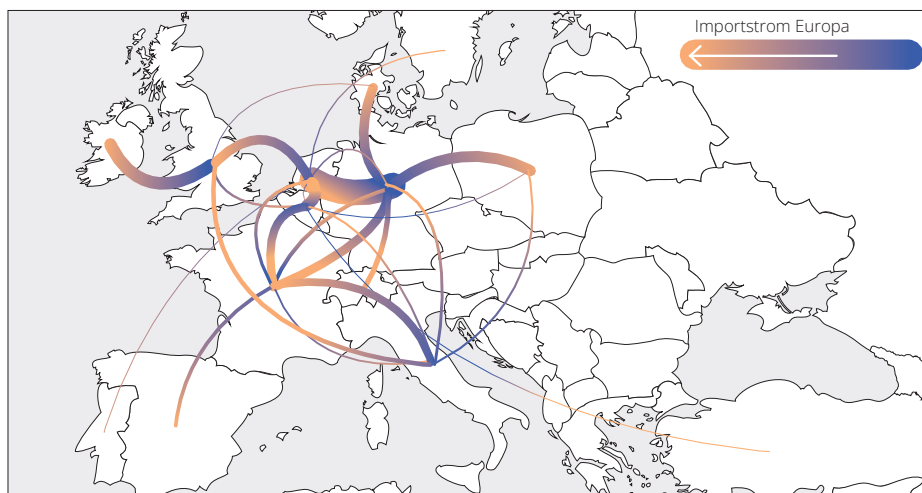


Abb. 54, Quelle: Prognos AG, Welthandelsmodell

Globale Handelsströme mit „Abfällen aus Kunststoffen“ im Jahr 2024 (in Mio. US-Dollar)



**Die fünf wichtigsten
Importlieferanten von:**

USA	
Thailand	38,87
Restliches Asien	23,88
Kanada	18,72
Honduras	14,57
Tschech. Republik	12,30

**Die fünf wichtigsten
Exportmärkte von:**

USA	
Mexiko	59,15
Viet Nam	58,29
Spanien	9,28
Kanada	8,24
Südkorea	6,71

Deutschland

Niederlande	96,49
Polen	41,25
Dänemark	35,68
Frankreich	33,61
Schweiz	19,89

Deutschland

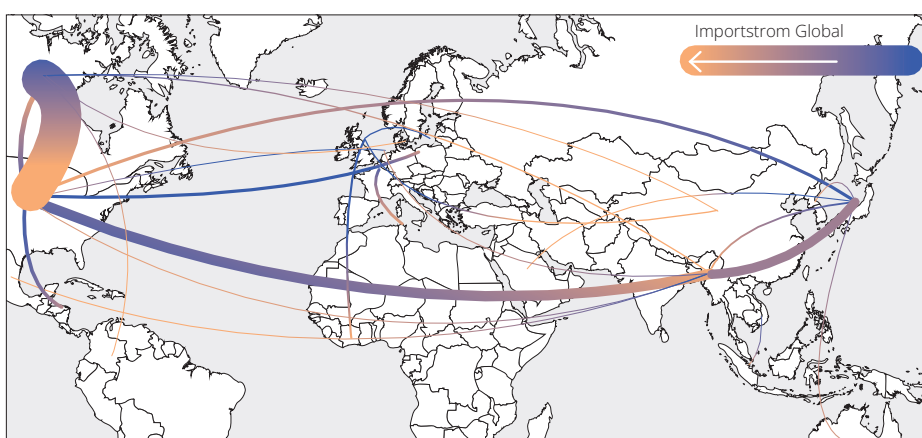
Belgien	59,62
Indonesien	52,27
Türkei	49,41
Österreich	23,38
Tschech. Republik	16,20

Japan

Vereinigte Staaten	12,45
Thailand	7,30
Australien	4,19
Südkorea	1,65
Saudi-Arabien	1,26

Japan

Malaysia	85,49
Viet Nam	68,82
USA	27,44
Südkorea	12,84
Restliches Asien	6,14



UK

Irland	46,89
Belgien	9,70
Nigeria	8,46
China	4,96
Dänemark	3,83

UK

Türkei	95,64
Belgien	25,23
Viet Nam	12,39
Niederlande	8,18
Polen	7,13

Niederlande

UK	36,38
Deutschland	6,22
Schweden	5,55
Belgien	3,86
Portugal	2,86

Niederlande

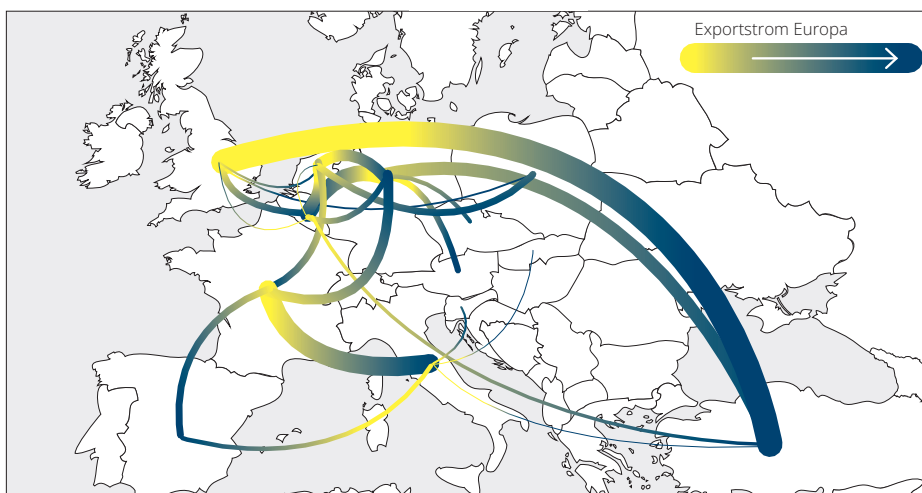
Belgien	44,30
Deutschland	43,60
Frankreich	26,00
Viet Nam	15,54
Polen	9,53

Belgien

Niederlande	43,44
Frankreich	31,48
Türkei	4,92
Polen	3,34
USA	3,33

Belgien

Deutschland	22,45
Türkei	13,82
Viet Nam	5,98
UK	4,59
Niederlande	3,97



Frankreich

Deutschland	15,93
Spanien	14,45
Niederlande	12,46
Tunesien	11,62
Italien	7,74

Frankreich

Italien	71,68
Deutschland	36,94
Marokko	8,56
Spanien	7,91
Indien	4,25

Kanada

Vereinigte Staaten	151,89
Thailand	5,30
China	3,86
Kolumbien	0,85
Deutschland	0,45

Kanada

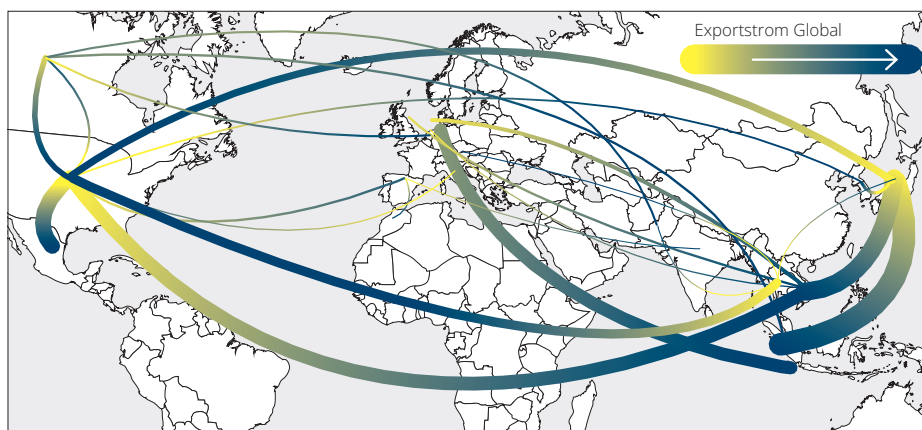
USA	21,28
Malaysia	0,93
Pakistan	0,83
Belgien	0,52
Portugal	0,47

Italien

Frankreich	29,43
UK	17,16
Deutschland	11,46
Belgien	8,33
Polen	8,15

Italien

Spanien	17,33
Slowenien	8,69
USA	5,68
Slowakei	2,29
Türkei	2,22



Thailand

Japan	35,59
USA	4,68
Belgien	4,54
Kanada	4,15
Mexiko	3,20

Thailand

USA	14,16
Pakistan	8,63
Japan	3,16
Restliches Asien	2,44
Slowenien	2,28

Abb. 55, Quelle: Prognos AG, Welthandelsmodell

2.3.3.1 Importe im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“

Mit einem Anteil von 12 % an den Kreislaufwirtschaftsimporten oder 1,9 Mrd. € ist die „Technik für die Abfallwirtschaft“ das deutlich kleinere Marktsegment. Der Anteil für die Importe ist allerdings deutlich niedriger als für die deutschen Exporte, wo das Marktsegment immerhin 27 % der Kreislaufwirtschaft ausmacht. Folglich ist der Außenhandelsüberschuss in diesem Marktsegment besonders hoch. Im Jahr 2024 liegt der Exportüberschuss bei Exporten von 4,3 Mrd. € bei ca. 2,3 Mrd. €. Das Marktsegment ist bis 2024 im Vergleich zu 2010 um 4,0 % p.a. gewachsen. Im Jahr 2024 ging allerdings auch das Importvolumen mit einem Rückgang von 10 % deutlich stärker als für die gesamte Kreislaufwirtschaft zurück.

Importe von Abfällen und Produkten nach Deutschland 2024 (Verteilung nach Marktsegmenten bzw. Technologiefeldern, in Mrd. Euro)

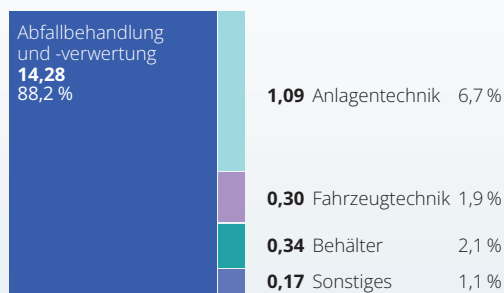


Abb. 56, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

In diesem Marktsegment ist China der wichtigste Lieferant für die deutsche Branche mit einem Importvolumen von ca. 190 Mio. € in 2024. Das stellt einen rasanten Anstieg von 7,7 % p.a. im Vergleich zu 2010 dar, als noch weniger als 70 Mio. € aus China importiert wurden. Noch stärker ist der Anstieg der Importe in diesem Marktsegment aus Polen. Hier sind die Importe im Vergleich zu 2010 um 8,3 % p.a. auf ca. 160 Mio. € gewachsen. Durch die dynamische Entwicklung ist auch der Handelsüberschuss aus deutscher Sicht für diese beiden Länder deutlich geschrumpft, ist aber für China weiterhin größer als die gesamte Importmenge aus dem Land. Weitere wichtige Herkunftsländer sind Italien (161 Mio. €), Schweiz (147 Mio. €) und die USA (128 Mio. €). Die Importe aus diesen drei Ländern weisen allerdings mit ca. 2-3 % p.a. eine deutlich geringere Dynamik auf.

Der Technologiebereich „Anlagentechnik“ dominiert bei Weitem das Marktsegment mit einem Anteil deutlich über 50%. „Sammel- und Transportbehälter“ folgen mit ca. 340 Mio. € vor der „Fahrzeugtechnik“ in 2024. Das liegt vor allem daran, dass die Importe bei der Fahrzeugtechnik im Jahr 2024 im Vergleich zum Vorjahr um fast 17 % zurückgegangen sind, während die Importe bei „Sammel- und Transportbehältern“ nur um 2,4 % gefallen sind.

Das wichtigste Importprodukt sind „Instrumente zur Abfallbehandlung/-analyse“ mit einem Importwert von 395 Mio. € in 2024. Mit einer Wachstumsrate von 4,2 % p.a. haben sich die Importe seit 2010 für diese Produktgruppe verdoppelt. Auch die Importe der weiteren zentralen Importprodukte „Abfallfördereinrichtungen, Aufbauten für Müllwagen“, „Müllsäcke und Abfallbehälter aus Kunststoffen“ und „Anlagen zum Klassieren, Trennen und Sortieren von Abfall“ auf den Rängen 2-4 haben sich wegen starker Wachstumsraten seit 2010 mindestens nahezu verdoppelt. Nur „Einrichtungen zur Bearbeitung von Altpapier“ auf Rang 5 sind mit einem Plus von 1,8 % p.a. unterdurchschnittlich gewachsen.

Für die wichtigste Produktgruppe „Instrumente zur Abfallbehandlung/-analyse“ sind die Vereinigten Staaten das wichtigste Herkunftsland, gefolgt von Japan und der Schweiz. Bei „Abfallfördereinrichtungen, Aufbauten für Müllwagen“ sind dagegen Polen und China mit einem gemeinsamen Anteil von ca. 40 % dominant. Polen stellt auch den bei Weitem wichtigsten Lieferanten für „Müllsäcke und Abfallbehälter aus Kunststoffen“ dar.

2.3.3.2 Importe im Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“

Im Jahr 2024 wurden in diesem Marktsegment Güter im Wert von ca. 14,3 Mrd. € importiert. Damit stellt der Bereich mit 88 % den Hauptanteil der deutschen Kreislaufwirtschafts-Importe dar. Im Vergleich zu 2010 ist das Marktsegment bis 2024 um 3,2 % p.a. gewachsen, was eine Zunahme von ca. 5 Mrd. € bedeutet. Die Exporte in diesem Marktsegment haben sich allerdings deutlich langsamer im selben Zeitraum entwickelt. Während der Außenhandelsüberschuss Deutschlands in dem Marktsegment 2010 noch ca. 500 Mio. € betrug, ist 2024 ein Defizit von 2 Mrd. € entstanden.

Aus den Niederlanden hat Deutschland 2024 mit ca. 2,1 Mrd. € die meisten Güter des Marktsegments importiert. Mit einem Wachstum von 4,4 % p.a. haben sich die Importe seit 2010 nahezu verdoppelt. Frankreich (1,7 Mrd. €), Österreich (1,1 Mrd. €) und Polen (1,0 Mrd. €) folgen dahinter. Auffällig ist, dass sich die Importe aus Polen mit einem Wachstum von 2,7 % p.a. unterdurchschnittlich stark entwickelt haben. Im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ und bei den Exporten der beiden Marktsegmente hat sich der Handel mit Polen deutlich dynamischer entwickelt. Die Importe aus Belgien mit einem Wachstum von 7,5 % p.a. und Bulgariens mit einem Wachstum von 23,0 % p.a. verzeichnen die größten Zuwachsraten unter den relevanten Importherkunftsländern.

Importgüter im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“

Importgüter (in 1.000 €)	2010	2020	2021	2022	2023	2024	Entwicklung (in %)		
							2010-2024	p. a.	
Instrumente zur Abfallbehandlung/-analyse	221.121	330.324	378.361	405.905	394.569	395.048	▲	79	4
Abfallfördereinrichtung, Aufbauten für Müllwagen	135.125	229.380	304.990	365.127	322.792	274.110	▲	103	5
Müllsäcke und Abfallbehälter aus Kunststoffen	147.606	223.930	257.569	309.299	264.317	273.633	▲	85	5
Maschinenbauerz. zum Klassieren, Trennen, Sortieren von Abfall	144.919	116.349	123.460	152.273	324.087	263.314	▲	82	4
Einrichtungen zur Bearbeitung von Altpapier	172.968	227.997	211.202	283.241	268.154	223.157	▲	29	2
Bodenschutz	119.084	151.695	181.221	213.697	180.152	174.546	▲	47	3
Umladeanlagen Abfall, Abfallfördereinrichtungen	46.088	97.064	111.079	135.728	138.455	123.278	▲	167	7
Abfallbehälter aus Metall	44.407	51.771	61.175	75.321	82.060	64.471	▲	45	3
Bestandteile thermischer Abfallbehandlungsanlagen	27.389	30.315	39.365	42.443	41.605	36.487	▲	33	2
Müllfahrzeuge; Kehr- und Kehrsaugmaschinen	14.204	54.224	58.131	44.155	38.458	27.143	▲	91	5
Demontage-, Zerkleinerungseinrichtungen für Abfall	14.809	22.528	30.038	31.848	34.562	25.614	▲	73	4
Einrichtungen zum Agglomerieren, Pelletieren, Pressen und Mischen von Abfall	12.771	11.427	11.075	15.350	18.223	16.599	▲	30	2
Abfallverbrennungsanlagen	2.259	2.843	3.718	4.118	4.894	4.087	▲	81	4
Mülltüten aus Papier	1.426	2.908	3.207	4.392	3.676	3.598	▲	152	7
Gesamt	1.104.174	1.552.754	1.774.593	2.082.898	2.116.005	1.905.084	▲	73	4

Abb. 57, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

Top-10 Herkunftsländer im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ 2024 (nach Technologiebereichen, in Millionen Euro)

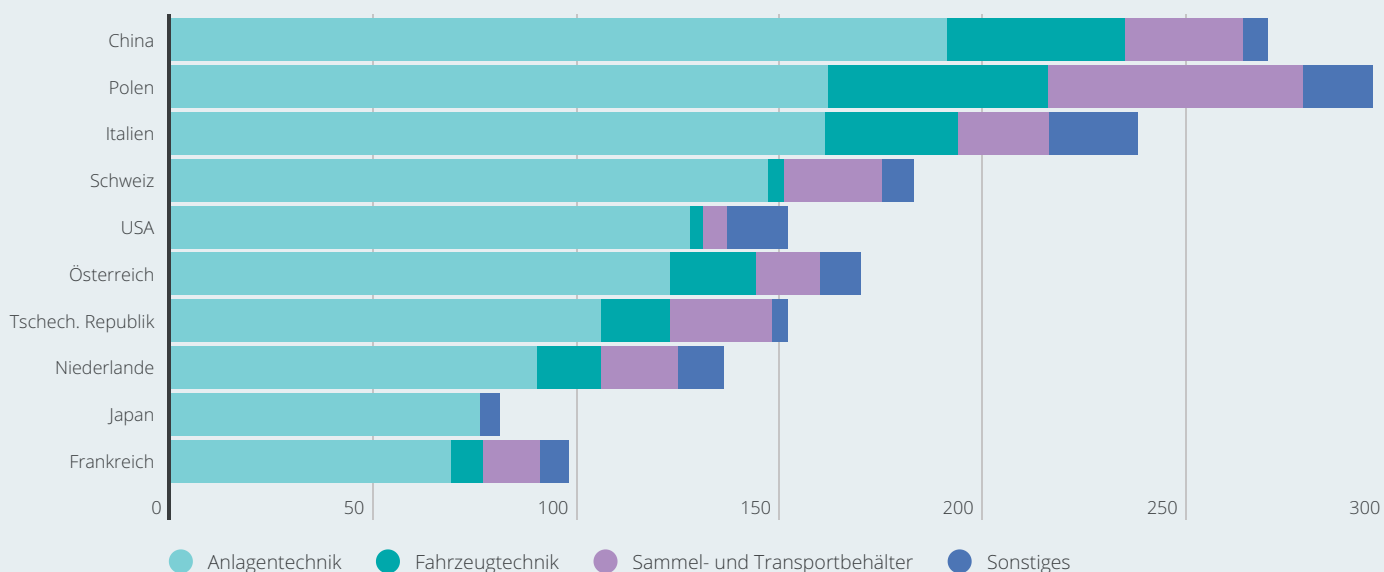


Abb. 58, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

Außenwirtschaftliche Bedeutung der Kreislaufwirtschaft

Produktgruppen des Technologiebereichs „Stoffliche Verwertung“ dominieren das Marktsegment fast vollständig und damit die gesamten Importe der deutschen Kreislaufwirtschaft. Insbesondere Metallrohstoffe für die Gewinnung von Sekundärrohstoffen sind in diesem Technologiebereich vertreten. Die wichtigste Produktgruppe stellen Güter für die „Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen“ mit einem Importvolumen von knapp 6 Mrd. € in 2024 dar. Die Importe in dieser Produktgruppe haben seit 2010 um 5,5% p.a. zugenommen. Bei allen Mengenrohstoffen wie NE-Metallen spielen schwankende Weltmarktpreise eine wesentliche Rolle für die Entwicklung des Importwerts. Im Jahr 2024 hat der Importwert bspw. um über 12% deutlich abgenommen. In

Top-5 Importgüter im Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ 2024 (in Mrd. Euro)

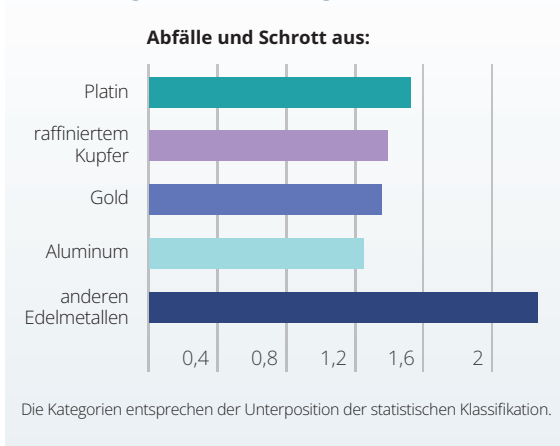


Abb. 59, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

der Produktgruppe der „Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen“ sind anders als in den übrigen Produktgruppen des Metallrecyclings weniger Mengenmetalle vertreten, sondern vor allem hochwertigere Abfälle aus Edelmetallen wie Platin, Gold und Silber. Diese Rohstoffe haben in den letzten Jahren stark an Wert zugenommen, was ein Grund für das starke Wachstum ist.

Die weiteren Produktgruppen mit Fokus auf Sekundärmetallproduktion „Erzeugung von Sekundärkupfer“ (2,9 Mrd. €), „Einschmelzen von Eisenschrott“ (2,1 Mrd. €) und „Erzeugung von Sekundäraluminium“ (1,8 Mrd. €) liegen für die Importrelevanz des Marktsegments und der gesamten Kreislaufwirtschaft auf den Rängen 2–4. Die Entwicklung dieser drei Produktgruppen ist allerdings stark unterschiedlich. Die Importe für die „Erzeugung von Sekundäraluminium“ haben sich durch ein Wachstum von 8,2% p.a. im Vergleich zu 2010 verdreifacht, während die Importe für die „Erzeugung von Sekundärkupfer“ nur um 1,3% p.a. und das „Einschmelzen von Eisenschrott“ im selben Zeitraum um 0,6% pro Jahr abgenommen haben.

Auf Rang 5 der wichtigsten Import-Produktgruppen befinden sich die Materialien für das „Papierrecycling“ mit einem Importwert von 834 Mrd. € in 2024. Zwar sind die Importe in dieser Produktgruppe insgesamt mit 1,9% p.a. unterdurchschnittlich gewachsen, aber die Zunahme im Jahr 2024 im Vergleich zu 2023 ist stark auffällig. Die Importe haben um knapp 33% stark zugenommen.

Die wichtigsten Importprodukte nach Tonnen weisen eine andere Reihenfolge auf und haben auf den Rängen 4 und 5 die Produktgruppen Holzabfälle (ca. 1 Mio. t) und „Rückgewinnung von Kunststoffen“ (620.000 t). Die beiden mit großem Abstand wichtigsten Importprodukte im Jahr 2024 sind Güter der Produktgruppen „Einschmelzen von Eisenschrott“ und „Papierrecycling“ mit jeweils über 5 Mio. t. Auf Rang 3 folgt die „Erzeugung von Sekundäraluminium“ mit etwas über 1 Mio. t in 2024. Die Importe in Tonnen der Produktgruppen „Einschmelzen von Eisenschrott“ und „Holzabfälle“ sind mit fast 2% p.a. seit 2010 geschrumpft, allerdings nahmen die Eisenschrott-Importe zumindest auf 2024 mit einem Zuwachs von 17% deutlich zu. Stoffe für das Papier- und Kunststoffrecycling haben seit 2010 moderate Wachstumsraten von ca. 2% p.a. aufgewiesen mit jeweils einem starken Wachstum im aktuellsten Jahr. Güter

Top-10 Zielländer im Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ nach Technologiefeldern 2024 (in Mio. Euro)

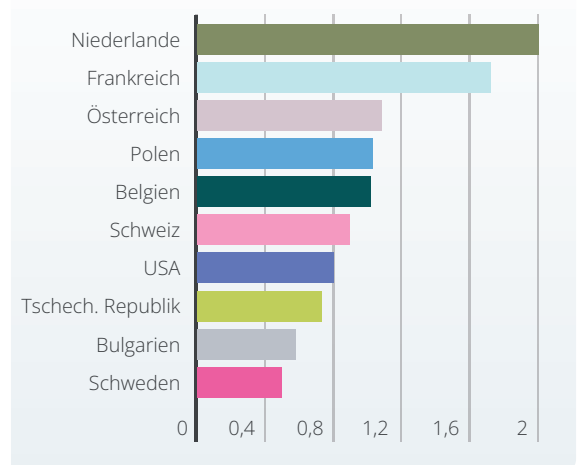


Abb. 60, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

der Produktgruppe „Erzeugung von Sekundäraluminium“ sind dynamisch gewachsen mit 5,5% p.a. und haben sich damit seit 2010 verdoppelt. Insgesamt stagnierten die Importe in Tonnen seit 2010 für das gesamte Marktsegment.

Bei der „Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen“ ist Frankreich mit über 900 Mio. € im Jahr 2024 der wichtigste Lieferant der deutschen Kreislaufwirtschaft. Belgien, die Vereinigten Staaten und Bulgarien sind weitere zentrale Herkunftsländer. Für alle anderen der fünf wichtigsten Produktgruppen ist die

Importgüter im Marktsegment „Abfallbehandlung und Verwertung“ (in 1.000€)

Importgüter (in 1.000 €)	2010	2020	2021	2022	2023	2024	Entwicklung (in %)		
							2010-2024	p. a.	
Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen	2.825.536	5.971.044	8.215.897	8.684.725	6.793.517	5.963.099	▲	111,0	5,5
Erzeugung von Sekundärkupfer durch elektrolytische Raffination von Reststoffen und Schrott*	2.435.386	2.268.584	3.345.564	3.658.321	3.013.442	2.922.964	▲	20,0	1,3
Einschmelzen von Eisenschrott*	2.261.867	1.291.837	2.551.779	2.616.939	1.926.161	2.076.459	▼	-8,2	-0,6
Erzeugung von Sekundäraluminium durch elektrolytische Raffination von Reststoffen und Schrott*	589.921	972.611	1.442.599	2.001.758	1.615.771	1.774.493	▲	200,8	8,2
Stoffliche Verwertung: Papierrecycling (Erzg. von Papiermasse aus Papierabfall)	637.493	539.912	1.065.657	1.222.593	628.442	834.271	▲	30,9	1,9
Rückgewinnung von Kunststoffen	157.365	172.408	237.657	339.438	203.908	227.360	▲	44,5	2,7
Biologische Abfälle	61.059	133.128	130.535	183.473	157.895	144.628	▲	136,9	6,4
Sonstige Abfälle	67.552	45.105	71.139	112.186	113.976	106.014	▲	56,9	3,3
Holzabfälle	68.971	61.466	77.770	112.087	102.017	88.138	▲	27,8	1,8
Runderneuerung von Bereifung	79.849	73.953	83.657	94.571	70.536	64.716	▼	-19,0	-1,5
Glasrecycling	16.834	28.992	29.892	36.440	38.485	34.595	▲	105,5	5,3
Industrieabfälle	16.481	27.110	29.918	41.849	29.783	27.150	▲	64,7	3,6
Rauchgasentschwefelungs(REA)-Gips	6.562	9.068	10.281	12.411	10.358	9.830	▲	49,8	2,9
Siedlungsabfälle	1.172	1.007	1.695	1.916	1.266	2.193	▲	87,1	4,6
Elektroschrott	7.455	3.762	14.853	9.294	7.421	905	▼	-87,9	-14,0
Rückgewinnung sonstiger Rohstoffe	79	225	555	594	288	323	▲	308,9	10,6
Gesamt	9.233.582	11.600.212	17.309.447	19.128.595	14.713.266	14.277.138	▲	56,5	3,2

Abb. 61, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

Importgüter im Marktsegment „Abfallbehandlung und Verwertung“ (in Tonnen)

Exportgüter (in Tonnen)	2010	2020	2021	2022	2023	2024	Entwicklung (in %)		
							2010-2024	p. a.	
Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen	402.798	366.882	434.403	424.026	341.819	382.719	▼	-5,0	-0,4
Erzeugung von Sekundärkupfer durch elektrolytische Raffination von Reststoffen und Schrott*	623.911	548.286	588.880	562.883	502.289	460.102	▼	-26,3	-2,2
Einschmelzen von Eisenschrott*	6.833.661	5.026.644	6.074.433	5.233.397	4.519.912	5.289.877	▼	-22,6	-1,8
Erzeugung von Sekundäraluminium durch elektrolytische Raffination von Reststoffen und Schrott*	500.876	939.230	1.042.288	1.052.232	1.035.937	1.062.387	▲	112,1	5,5
Stoffliche Verwertung: Papierrecycling (Erzg. von Papiermasse aus Papierabfall)	3.967.060	4.447.722	5.543.503	5.448.280	4.411.538	5.012.340	▲	26,3	1,7
Rückgewinnung von Kunststoffen	456.741	630.538	680.934	688.577	574.996	620.228	▲	35,8	2,2
Biologische Abfälle	265.531	466.907	473.584	455.427	366.809	370.771	▲	39,6	2,4
Sonstige Abfälle	222.666	198.722	222.625	263.313	265.570	260.855	▲	17,2	1,1
Holzabfälle	1.247.418	1.056.879	1.118.564	1.031.793	1.001.968	982.042	▼	-21,3	-1,7
Runderneuerung von Bereifung	68.536	65.398	68.444	72.290	65.165	58.631	▼	-14,5	-1,1
Glasrecycling	362.369	623.915	602.851	636.776	607.497	514.080	▲	41,9	2,5
Industrieabfälle	122.078	130.355	132.789	197.227	161.725	161.056	▲	31,9	2,0
Rauchgasentschwefelungs(REA)-Gips	67.519	116.220	121.575	117.944	83.161	92.382	▲	36,8	2,3
Siedlungsabfälle	14.191	16.037	22.644	28.350	60.907	82.816	▲	483,6	13,4
Elektroschrott	14.020	6.429	15.329	11.721	6.931	3.231	▼	-77,0	-10,0
Rückgewinnung sonstiger Rohstoffe	439	6.311	11.097	11.661	5.786	5.432	▲	1138,	19,7
Gesamt	15.169.811	14.646.474	17.153.942	16.235.893	14.012.009	15.358.949	▲	1,2	0,1

Abb. 62 Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

Außenwirtschaftliche Bedeutung der Kreislaufwirtschaft

Niederlande der wichtigste Lieferant für Deutschland. Polen und Frankreich sind ebenfalls in allen diesen Produkten unter den wichtigsten Lieferanten. Insgesamt befinden sich unter den fünf wichtigsten Lieferanten der vier restlichen Top-Produktgruppen für Mengenrohstoffe nur direkte Nachbarländer.

Exporte von Abfällen und Produkten aus Deutschland 2024 (Verteilung nach Marktsegmenten bzw. Technologiefeldern, in Mrd. Euro)

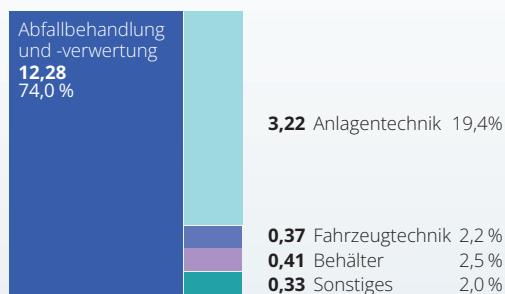


Abb. 63, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

2.3.4 Exporte der deutschen Kreislaufwirtschaft

Die deutsche Kreislaufwirtschaftsbranche ist ein wichtiger Exportakteur und tätigte im Jahr 2024 Ausfuhren von ca. 16,6 Mrd. €. Im Jahr 2010 betrug die Exporte noch ca. 12,6 Mrd. €, was ein Wachstum von 2,0 % p.a. bis 2024 bedeutet. Allerdings ist die aktuelle Tendenz weniger positiv, im Vergleich zu 2023 ist das Exportvolumen um 2,7 % zurückgegangen. Von diesem Rückgang im Vergleich zu 2023 ist das eigentliche Wachstumssegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ mit einem Minus von 7,4 % p.a. deutlich stärker betroffen als die „Abfallbehandlung und -verwertung“ mit nur -0,9 %. Vor allem „Fahrzeugtechnik“ und „Anlagentechnik“ gingen am stärksten zurück. Im Jahr 2024 macht das Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ gut 73 % der Kreislaufwirtschaftsexporte aus.

Der wichtigste Exportmarkt für die deutsche Kreislaufwirtschaftsbranche ist Belgien mit einem Volumen von über 1,8 Mrd. € im Jahr 2024. Allerdings sind die Exporte in das Nachbarland seit 2010 nur in geringem Maße gewachsen, pro Jahr um knapp 0,4 %. Deutlich dynamischer haben sich allerdings die Exporte nach Italien, dem zweitwichtigsten Abnehmer deutscher Kreislaufwirtschaftsgüter entwickelt. Mit einem Wachstum von 3,6 % p.a. liegt Italien deutlich über dem Durchschnitt der deutschen Exportziele. Allerdings verlief die jüngere Entwicklung getrübt. Während sich die Exporte in das Land bis 2023 gegenüber 2010 nahezu verdoppelt haben, erfolgte 2024 ein plötzlicher Einbruch um ca. 11 %. Nach den Niederlanden und Österreich kommt mit den Vereinigten Staaten erst auf Rang 5 ein Land,

das sich nicht in unmittelbarer europäischer Nachbarschaft Deutschlands befindet. Die Exporte in die USA haben sich mit einem durchschnittlichen Wachstum von 4,4 % dynamisch entwickelt. China auf Rang 9 ist neben den Niederlanden das einzige Land unter den Top 15 Zielländer, in das die deutschen Exporte seit 2010 zurückgegangen sind. Mit einem Minus von 4,0 % p.a. fällt der Rückgang deutlich aus. Besonders stark gewachsen sind die Exporte nach Polen, Finnland und in die Schweiz.

2.3.4.1 Exporte im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“

Mit einem Anteil von ca. 26 % an den deutschen Kreislaufwirtschaftsexporten ist das Marktsegment deutlich kleiner als die „Abfallbehandlung und -verwertung“, Deutschland exportierte 2024 Güter im Wert von ca. 4,3 Mrd. € in diesem Marktsegment. Im Vergleich zu den Exporten von ca. 2,9 Mrd. € in 2010 sind die Exporte bis 2024 um fast 3 % pro Jahr gewachsen und machen das Marktsegment damit zum Wachstumstreiber. Im Jahr 2024 verzeichnete das Marktsegment allerdings ein deutliches Minus, wodurch die durchschnittliche Zunahme der Exporte bis 2023 mit 3,8 % p.a. noch dynamischer war.

Das wichtigste Exportprodukt der Marktsegments sind „Anlagen zum Klassieren, Trennen und Sortieren von Abfall“ mit einem Exportvolumen von 1 Mrd. € im Jahr 2024. Die Exporte dieser Produktgruppe sind mit 2,8 % seit 2010 gewachsen. Von 2023 auf 2024 sind



Sammelfahrzeug, Quelle: Faun

Exportgüter im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ (in 1.000€)

Exportgüter (in 1.000€)	2010	2020	2021	2022	2023	2024	Entwicklung (in %)		
							2010-2024	p. a.	
Maschinenbauverz. zum Klassieren, Trennen, Sortieren von Abfall	675.771	463.434	518.069	678.995	1.121.745	998.521	▲	47,8	2,8
Instrumente zur Abfallbehandlung/-analyse	458.203	714.821	785.694	1.128.239	858.032	852.815	▲	86,1	4,5
Einrichtungen zur Bearbeitung von Altpapier	606.215	584.280	620.798	699.922	738.246	720.452	▲	18,8	1,2
Umladeanlagen Abfall, Abfallförder-einrichtungen	155.728	260.756	293.959	417.358	391.118	356.637	▲	129,0	6,1
Bodenschutz	235.877	288.196	346.675	433.647	335.690	326.964	▲	38,6	2,0
Müllsäcke und Abfallbehälter aus Kunststoffen	203.522	283.745	320.313	359.323	314.315	302.799	▲	48,8	2,9
Abfallfördereinrichtung, Aufbauten für Müllwagen	174.070	292.546	363.284	414.862	376.782	282.563	▲	62,3	3,5
Demontage-, Zerkleinerungs-einrichtungen für Abfall	91.517	125.379	124.023	180.513	147.105	121.587	▲	32,9	2,1
Bestandteile thermischer Abfall-behandlungsanlagen	107.857	95.336	115.584	187.274	115.833	108.540	▲	0,6	0,0
Abfallbehälter aus Metall	74.238	81.165	93.899	146.044	107.898	105.659	▲	42,3	2,6
Müllfahrzeuge; Kehr- und Kehrsaugmaschinen	48.390	83.179	78.308	91.031	94.297	86.809	▲	79,4	4,3
Einrichtungen zum Agglomerieren, Pelletieren, Pressen und Mischen von Abfall	45.375	39.833	31.064	68.798	46.778	41.966	▼	-7,5	-0,6
Abfallverbrennungsanlagen	12.643	13.391	15.130	27.653	16.712	15.822	▲	25,1	1,6
Mülltüten aus Papier	2.508	3.609	3.808	9.318	4.440	4.100	▲	63,5	3,6
Gesamt	2.891.912	3.329.671	3.710.608	4.842.978	4.668.989	4.325.233	▲	49,6	2,9

Abb. 64, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

Top-10 Zielländer im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ 2024 (nach Technologiebereichen, in Millionen Euro)

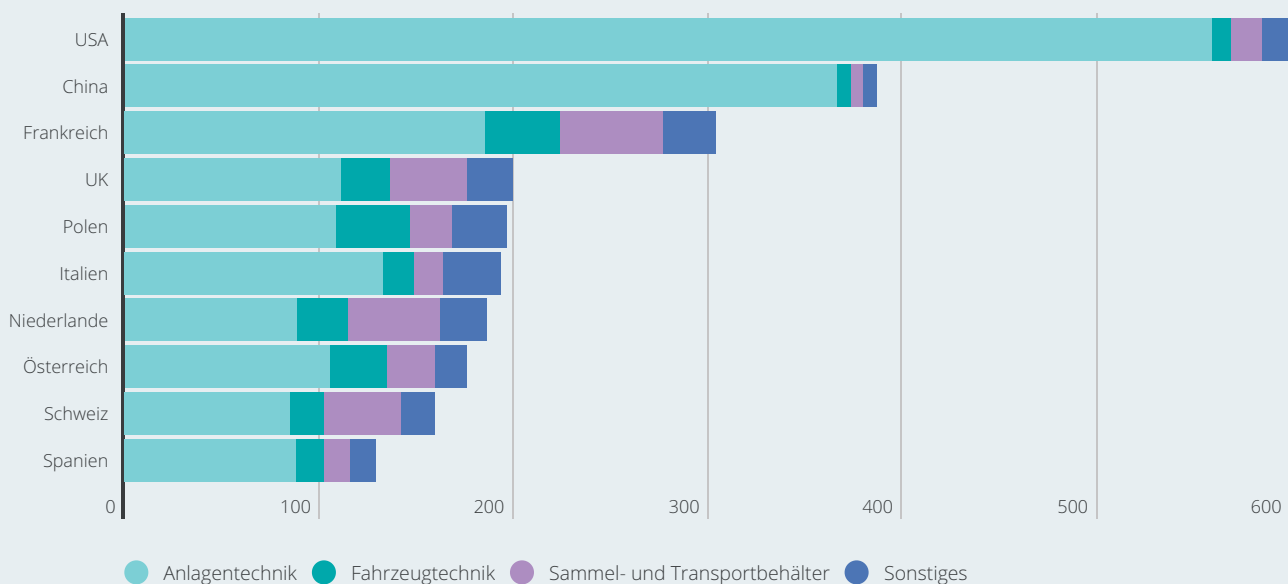


Abb. 65, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

Außenwirtschaftliche Bedeutung der Kreislaufwirtschaft

die Exporte allerdings um 11 zurückgegangen. Für diese Produktgruppe sind die Vereinigten Staaten der größte Abnehmer mit 186 Mio. €, vor China und Indien auf den Rängen 2 und 3. Die Produktgruppe „Instrumente zur Abfallbehandlung/-analyse“ sind mit einem Volumen von ca. 850 Mio. € das zweitwichtigste Exportgut Deutschlands. Auch hier sind China und die USA die wichtigsten Abnehmer. Anders als bei „Anlagen zum Klassieren, Trennen und Sortieren von Abfall“ stagnierten die Exporte bei diesem Produkt nicht und kommen im Gesamtzeitraum auf ein überdurchschnittliches Wachstum von 4,5% p.a. Weitere zentrale Exportgüter sind „Einrichtungen zur Bearbeitung von Altpapier“ (720 Mio. €), „Umladeanlagen Abfall, Abfallfördereinrichtungen“ (357 Mio. €) und „Bodenschutz-Güter“ (312 Mio. €).

Mit den Vereinigten Staaten und China sind die beiden größten Volkswirtschaften der Welt auch die größten Abnehmer für deutsche Güter des Marktsegments. Allerdings weisen die beiden Länder eine sehr unterschiedliche Dynamik auf. Während die Exporte in die USA mit durchschnittlich 8,0% pro Jahr seit 2010 gewachsen sind, weisen die Exporte nach China nur eine sehr geringe Dynamik von 0,7% p.a. auf. Im Jahr 2010 war China noch der mit Abstand größte Abnehmer gewesen. Im Jahr 2024 ist die USA mit über 600 Mio. € deutlich vor China mit ca. 390 Mio. €. Der Rest der Top 10 wichtigsten Abnehmerländer sind Länder in der europäischen Nachbarschaft von Deutschland Frankreich, Großbritannien, Polen und Italien folgen nach China und weisen alle eine relativ gute Entwicklung auf, auch wenn die USA der mit Abstand dynamischste Exportmarkt bleibt.

Frankreich, der mit einem Exportwert von 303 Millionen Euro drittgrößte Absatzmarkt, wird mit einer breiten Produktpalette bedient. Hier spielen auch einfachere Produkte wie Müllsäcke, Abfallbehälter oder Abdeckungen für Deponien eine relevante Rolle. Polen ist der wichtigste Abnehmer der deutschen Kreislaufwirtschaftsbranche bei der Produktgruppe „Abfallfördereinrichtung, Aufbauten für Müllwagen“.

2.3.4.2 Exporte im Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“

Das Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ macht mit ca. drei Viertel den größeren Anteil der Kreislaufwirtschaft aus, aber hat sich mit einem durchschnittlichen Wachstum von 1,7% p.a. weniger dynamisch als die „Technik für die Abfallwirtschaft“ entwickelt. Insgesamt wurden Güter im Wert von ca. 12,3 Mrd. € im Jahr 2024 aus Deutschland in diesem Marktsegment exportiert. Im Jahr 2024 sind die Exporte im Vergleich zu 2023 leicht um ca. 1% zurückgegangen.

Über 30% des Marktsegments bzw. ca. 3,7 Mrd. € entfallen auf die wichtigste Produktgruppe „Eisenschrott für Sekundäreisen“. Allerdings sind die Exporte in dieser Produktgruppe seit 2010 nicht gewachsen, was vor allem an dem deutlichen Rückgang von 10,3% im Jahr 2024 liegt. Der Schrottaußenhandel war durch eine entgegengesetzte Richtung mit steigenden Importen und rückläufigen Exporten geprägt. Diese Produktgruppe der Eisenschrotte wird vor allem in die europäischen Nachbar-



ZDL Anlage, Quelle: REMONDIS

Exportgüter im Marktsegment „Abfallbehandlung und Verwertung“ (in 1.000 €)

Exportgüter (in 1.000 €)	2010	2020	2021	2022	2023	2024	Entwicklung (in %)		
							2010–2024	p. a.	
Einschmelzen von Eisenschrott*	3.764.375	2.937.505	4.561.121	5.095.626	4.163.856	3.735.919	▼	-0,8	-0,1
Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen	1.580.321	2.837.113	4.072.256	3.668.046	2.910.841	2.781.698	▲	76,0	4,1
Erzeugung von Sekundärkupfer durch elektrolytische Raffination von Reststoffen und Schrott*	1.837.068	1.317.699	2.148.843	2.079.769	1.935.867	2.260.739	▲	23,1	1,5
Erzeugung von Sekundäraluminium durch elektrolytische Raffination von Reststoffen und Schrott*	1.045.861	1.133.031	1.821.673	2.150.361	1.930.866	2.097.436	▲	100,5	5,1
Stoffliche Verwertung: Papierrecycling (Erzg. von Papiermasse aus Papierabfall)	444.107	244.202	366.070	382.243	263.930	321.092	▼	-27,7	-2,3
Rückgewinnung von Kunststoffen	473.858	281.401	326.300	444.435	279.186	305.740	▼	-35,5	-3,1
Sonstige Abfälle	272.694	262.671	300.207	336.794	332.016	260.290	▼	-4,5	-0,3
Runderneuerung von Bereifung	148.682	145.553	184.013	204.773	250.821	234.393	▲	57,6	3,3
Biologische Abfälle	51.725	67.519	75.788	113.858	106.806	83.155	▲	60,8	3,4
Rauchgasentschwefelungs(REA)-Gips	50.392	53.631	60.275	61.587	66.571	67.041	▲	33,0	2,1
Holzabfälle	33.421	47.736	55.640	88.460	77.885	64.550	▲	93,1	4,8
Glasrecycling	27.453	19.107	25.471	55.314	30.211	31.987	▲	16,5	1,1
Industrieabfälle	16.527	21.252	20.974	54.806	25.358	27.031	▲	63,6	3,6
Elektroschrott	6.925	12.829	9.825	28.499	10.214	5.212	▼	-24,7	-2,0
Siedlungsabfälle	2.613	5.081	5.436	12.014	6.768	5.181	▲	98,3	5,0
Rückgewinnung sonstiger Rohstoffe	187	15	33	54	16	28	▼	-85,0	-12,7
Gesamt	9.756.209	9.386.344	14.033.925	14.776.639	12.391.212	12.281.492	▲	25,9	1,7

Abb. 66 Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

Exportgüter im Marktsegment „Abfallbehandlung und Verwertung“ (in Tonnen)

Exportgüter (in Tonnen)	2010	2020	2021	2022	2023	2024	Entwicklung (in %)		
							2010–2024	p. a.	
Einschmelzen von Eisenschrott*	11.121.296	9.894.853	10.156.391	9.090.149	9.089.109	8.210.948	▼	-5,0	-0,4
Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen	790.488	777.432	896.431	1.056.239	919.029	718.233	▼	-26,3	-2,2
Erzeugung von Sekundärkupfer durch elektrolytische Raffination von Reststoffen und Schrott*	587.306	412.852	464.064	386.740	377.490	398.671	▼	-22,6	-1,8
Erzeugung von Sekundäraluminium durch elektrolytische Raffination von Reststoffen und Schrott*	838.608	1.084.498	1.246.586	1.144.752	1.206.308	1.203.961	▲	112,1	5,5
Stoffliche Verwertung: Papierrecycling (Erzg. von Papiermasse aus Papierabfall)	3.333.040	2.169.202	1.914.030	1.714.327	1.709.675	1.720.413	▲	26,3	1,7
Rückgewinnung von Kunststoffen	1.608.181	1.149.138	977.529	949.787	870.961	974.904	▲	35,8	2,2
Sonstige Abfälle	448.492	523.269	539.971	509.799	480.063	445.107	▲	39,6	2,4
Runderneuerung von Bereifung	136.922	95.647	122.157	124.199	112.995	109.376	▲	17,2	1,1
Biologische Abfälle	591.430	498.278	618.176	594.021	581.454	538.053	▼	-21,3	-1,7
Rauchgasentschwefelungs(REA)-Gips	854.613	599.321	606.626	594.472	496.924	477.587	▼	-14,5	-1,1
Holzabfälle	385.391	596.136	733.319	634.572	695.953	722.206	▲	41,9	2,5
Glasrecycling	379.177	183.836	205.122	202.093	169.090	166.679	▲	31,9	2,0
Industrieabfälle	359.914	124.857	105.549	134.641	110.516	110.198	▲	36,8	2,3
Elektroschrott	13.250	9.379	6.997	24.929	11.558	12.882	▲	483,6	13,4
Siedlungsabfälle	234.987	244.804	194.234	112.135	130.709	160.016	▼	-77,0	-10,0
Rückgewinnung sonstiger Rohstoffe	22.064	22	120	92	31	54	▲	1138,	19,7
Gesamt	21.705.158	18.363.522	18.787.302	17.272.946	16.961.864	15.969.287	▼	-98,8	-34,9

Abb. 67, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

Außenwirtschaftliche Bedeutung der Kreislaufwirtschaft

länder exportiert, was bei Mengengütern generell nicht ungewöhnlich ist. Die wichtigsten Abnehmer von Stahlschrott sind Belgien, die Niederlande und Italien, wobei die ARAG-Häfen in Belgien und den Niederlanden häufig nur als Transitpunkte dienen; die tatsächlichen Verbraucherländer können daher abweichen – etwa die Türkei als weltweit größtem Stahlschrottimporteur. Auf Rang 4 der wichtigsten Abnehmer von Eisenschrotten aus Deutschland steht Finnland, das sich vor allem durch die hohe Verfügbarkeit von preiswerter erneuerbarer Energie als relevanter Akteur in diesem Industriezweig hervortut. Auch die folgenden drei wichtigsten Produktgruppen fokussieren auf die Rückgewinnung von Metallen. Die Exporte der Produktgruppen „Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen“, „Erzeugung von Sekundärkupfer“ und „Erzeugung von Sekundäraluminium“ liegen alle über 2 Mrd. € im Jahr 2024. Damit machen diese vier wichtigsten Produktgruppen ca. 90 % des Marktsegments aus. Die Exporte in den Produktgruppen „Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen“ und „Erzeugung von Sekundäraluminium“ sind deutlich überdurchschnittlich mit 5,1 % bzw. 4,1 % p.a. seit 2010 gewachsen und stellen damit besondere Wachstumsfaktoren des Marktsegments dar.

Auf Rang 5 der wichtigsten Exportprodukte spielen Materialien für das „Papierrecycling“ ebenfalls eine relevante Rolle, sind aber vom Volumen mit ca. 320 Mio. € deutlich geringer als die vier zentralen Produktgruppen des Metallrecyclings.

Blickt man auf die Exportvolumina in Tonnen fällt die absolute Dominanz der Produktgruppe für Eisenschrotte mit einem Exportvolumen von 8,2 Mio. t im Jahr 2024 auf. Die Exporte bei dieser Produktgruppe haben seit 2010 um ca. 2 % p.a. abgenommen,



Recyceltes Aluminium, Quelle: TSR

besonders deutlich aber im Jahr 2024. Auf den folgenden Rängen stehen mit großem Abstand erst Güter für das „Papierrecycling“ mit 1,7 Mio. t und zur „Erzeugung von Sekundäraluminium“ mit 1,2 Mio. t. Im Jahr 2010 waren die Importe des „Papierrecyclings“ noch ca. doppelt so hoch (-4,6 % p.a.). Genau wie für die Importe in Tonnen werden die wichtigsten Produkte durch die „Rückgewinnung von Kunststoffen“ (ca. 1 Mio. t) und „Holzabfällen“ (720.000 t) komplettiert. Die Exporte von Kunststoffabfällen haben im Vergleich zu 2010 deutlich um 3,5 % p.a. abgenommen, während sich die Holzabfall-Exporte mit einer Zunahme von 4,6 % p.a. fast verdoppelten. Insgesamt haben die Exporte in diesem Marktsegment seit 2010 deutlich abgenommen. Das größte Minus unter den relevanten Produktgruppen verzeichneten die „Industrieabfälle“ mit einer Abnahme von 8,1 % p.a. oder einem Rückgang von zwei Dritteln.



Aluminiumaufbereitungsanlage, Quelle: TSR



Holzrecycling, Quelle: Reiling

Durch die hohe Relevanz des Metallrecyclings für dieses Marktsegment sind auch die insgesamt wichtigsten Abnehmerländer für das Marktsegment sehr ähnlich dazu und vor allem in Zentraleuropa zu finden. Mit einem Exportvolumen von fast 1,7 Mrd. € ist Belgien das wichtigste Zielland. Die Exporte nach Belgien haben allerdings seit 2010 nahezu stagniert. Eine noch schlechtere Entwicklung zeigt sich mit den Niederlanden auf Rang 3. Die Exporte hierhin sind seit 2010 um ca. 2 % p.a. zurückgegangen. Dagegen zeigt sich beim zweitgrößten Abnehmerland Italien ein starkes Wachstum von 3,7 % p.a., wodurch Italien seit 2010 die Niederlande überholt hat. Nach Österreich auf Rang 4 folgen danach zwei äußerst dynamische Exportziele der deutschen Branche, die Schweiz und Polen. Die Exporte des Marktsegments in beide

Länder sind seit 2010 um fast 10 % pro Jahr im Schnitt gewachsen und haben sich damit mehr als verdreifacht. Die Vereinigten Staaten auf Rang 8 sind das einzige außereuropäische Abnehmerland in den Top 10 der wichtigsten Ziele. Bemerkenswert ist daneben die Entwicklung des Markts in China. 2010 exportierte Deutschland noch über 900 Mio. € vor allem an Rohstoffen für die Rückgewinnung nach China. Im Jahr 2021 sank der Wert im Rahmen von Importverboten auf 305 Mio. € und ist bis 2024 wieder etwas angestiegen auf 330 Mio. €.

Top-5 Exportgüter im Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ 2024 (in Mrd. Euro)

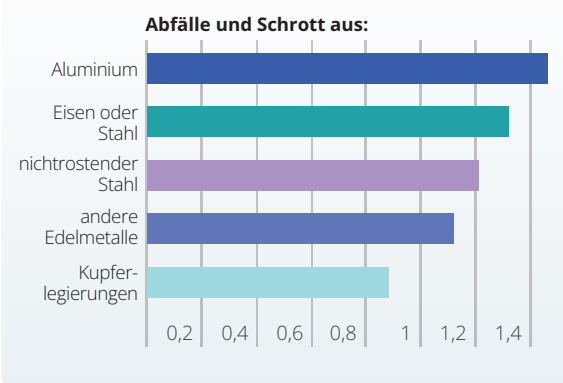


Abb. 68, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

Top-10 Zielländer im Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ nach Technologiefeldern 2024 (in Mio. Euro)

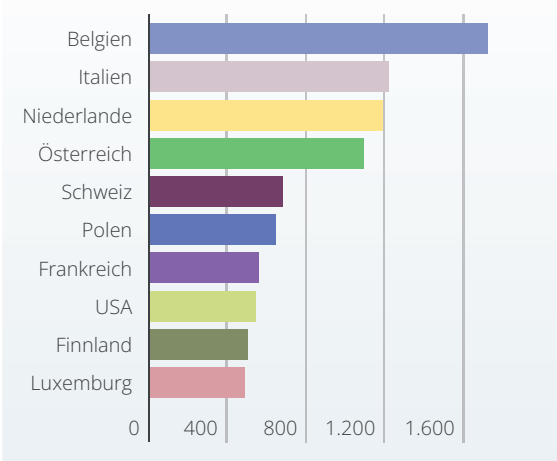


Abb. 69, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes

2.4 Ergebnisse nach Bundesländern



Regionale Schwerpunkte der Märkte und Besonderheiten

Die Kreislaufwirtschaft ist in allen deutschen Regionen als Teil der Daseinsvorsorge präsent und fest als wirtschaftlicher Faktor sowie Arbeitgeber etabliert. Ein genauer Blick auf die Entwicklung der Erwerbstätigen, den Spezialisierungsgrad der Branche und die Rolle der einzelnen Marktsegmente macht die Unterschiede zwischen den Bundesländern sichtbar.

Als Grundlage für die Beurteilung, welchen ökonomischen Stellenwert die Kreislaufwirtschaft in den verschiedenen Bundesländern hat, kann der Spezialisierungsgrad (auch Lokalisationsquotient genannt) als Indikator herangezogen werden. Dieser betrachtet den Anteil der Erwerbstätigen in der Kreislaufwirtschaft an der jeweiligen Gesamtwirtschaft eines Bundeslands und vergleicht diesen mit dem bundesweiten Durchschnitt. Dabei wird deutlich, wie ausgeprägt die Kreislaufwirtschaft im Vergleich zur gesamten Wirtschaftskraft eines Bundeslandes ist. Der Wert von 1,0 entspricht dem bundesweiten

Durchschnitt. Werte über 1 deuten auf eine besondere ökonomische Relevanz der Kreislaufwirtschaft hin, unter 1 auf einen geringeren Stellenwert. Über diese Quotienten werden zudem vorhandene Spezialisierungen in einzelnen Marktsegmenten deutlich.

Insgesamt zeigt sich, dass die Kreislaufwirtschaft in den meisten Bundesländern einen bedeutenden ökonomischen Stellenwert besitzt. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass wesentliche Leistungen der Kreislaufwirtschaft zur öffentlichen Daseinsvorsorge zählen und daher flächendeckend

Entwicklung der Erwerbstätigen, Spezialisierungsgrad und Bruttowertschöpfung in der Kreislaufwirtschaft nach Bundesländern

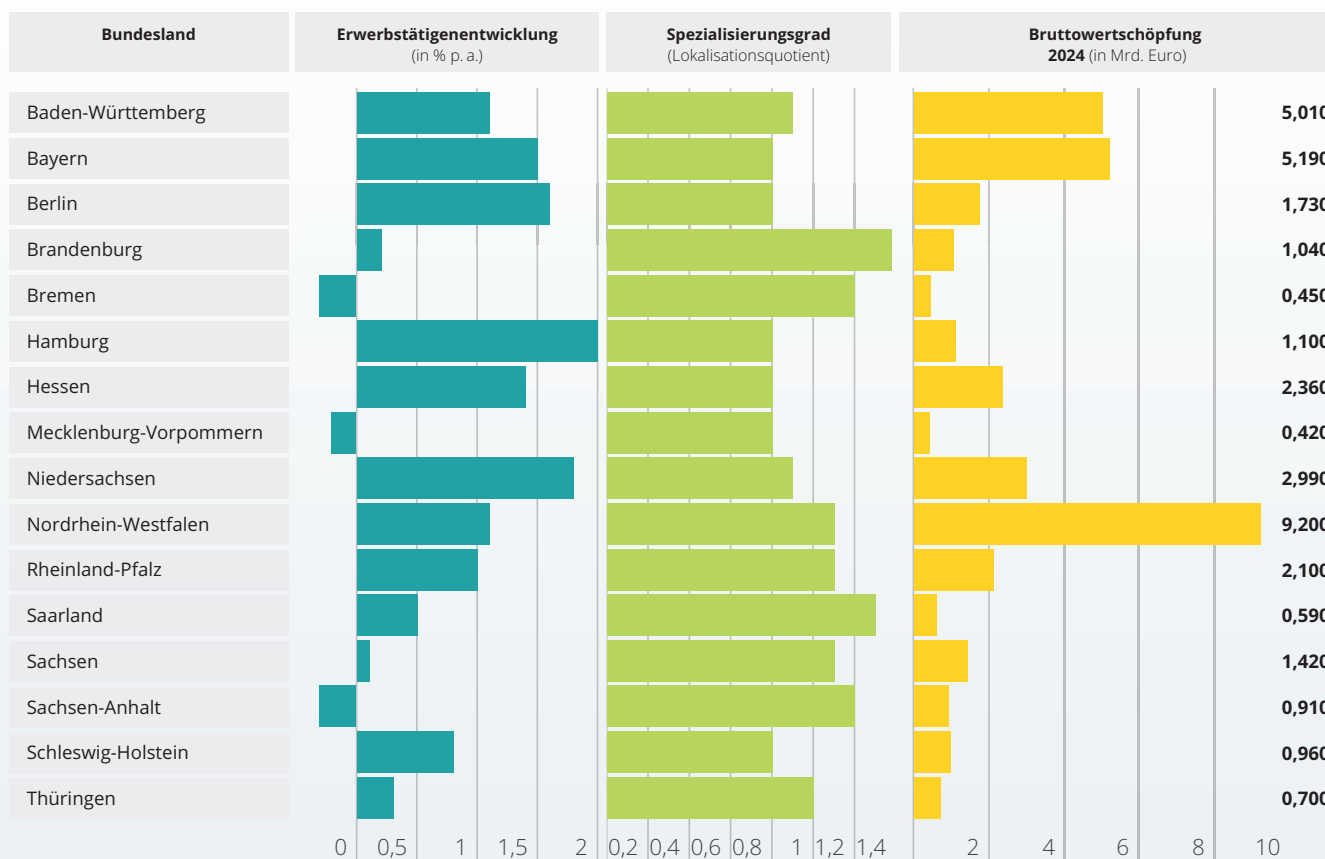


Abb. 70, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit und Statistisches Bundesamt



Wertstoffhof, Quelle: Modulo

zu erbringen sind. Zugleich gibt es Bundesländer, in denen die Kreislaufwirtschaft besonders ausgeprägt ist, beispielsweise Brandenburg mit einem Lokalisationsquotienten von 1,4 und das Saarland mit 1,3 stechen hierbei hervor. Die höchste Wachstumsrate pro Jahr bei der Erwerbstätigkeit in der Kreislaufwirtschaft weisen jedoch Hamburg mit 2 % und Niedersachsen mit 1,8 % pro Jahr auf. In Nordrhein-Westfalen ist der Lokalisierungsgrad mit 1,1 nicht auffällig hoch, dennoch können hier mit 75.000 Erwerbstätigen und einer Bruttowertschöpfung von über 9 Milliarden € jeweils fast ein Viertel des Gesamtdeutschen ökonomischen Leistung der Kreislaufwirtschaft verortet werden. Danach folgen Bayern und Baden-Württemberg mit Anteilen von 14 % bzw. 13 %.

Bei der Zahl der Erwerbstätigen liegen Bayern mit rund 45.000 und Baden-Württemberg mit rund 42.000 Beschäftigten ebenfalls an zweiter und dritter Stelle. Im Verhältnis zu ihrer insgesamt starken Wirtschaftskraft ist der Anteil der Kreislaufwirtschaft im Hinblick auf die Wertschöpfung in beiden südlichen Bundesländern unterdurchschnittlich. Gleichwohl liegt die Erwerbstätigkeit in der Kreislaufwirtschaft in beiden Ländern über dem bundesweiten Mittelwert.

Beim Wachstum ist die stärkste Dynamik mit über 5,1 % p.a. in Hamburg zu verzeichnen, gefolgt von Bayern sowie Niedersachsen mit jeweils ebenfalls knapp über 5 %. Insgesamt haben sich alle Bundesländer hinsichtlich der Bruttowertschöpfung zwischen 2010 und 2024 positiv entwickelt.

Verteilung der Umsätze der Marktsegmente nach Bundesländern

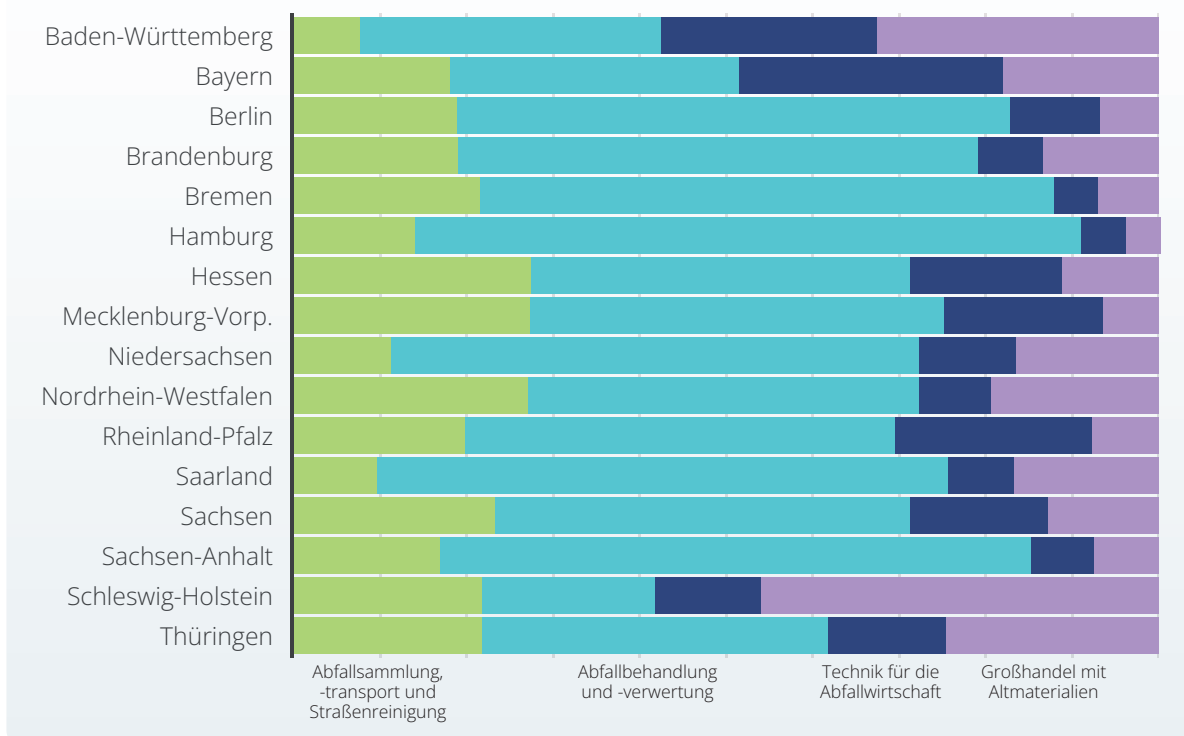
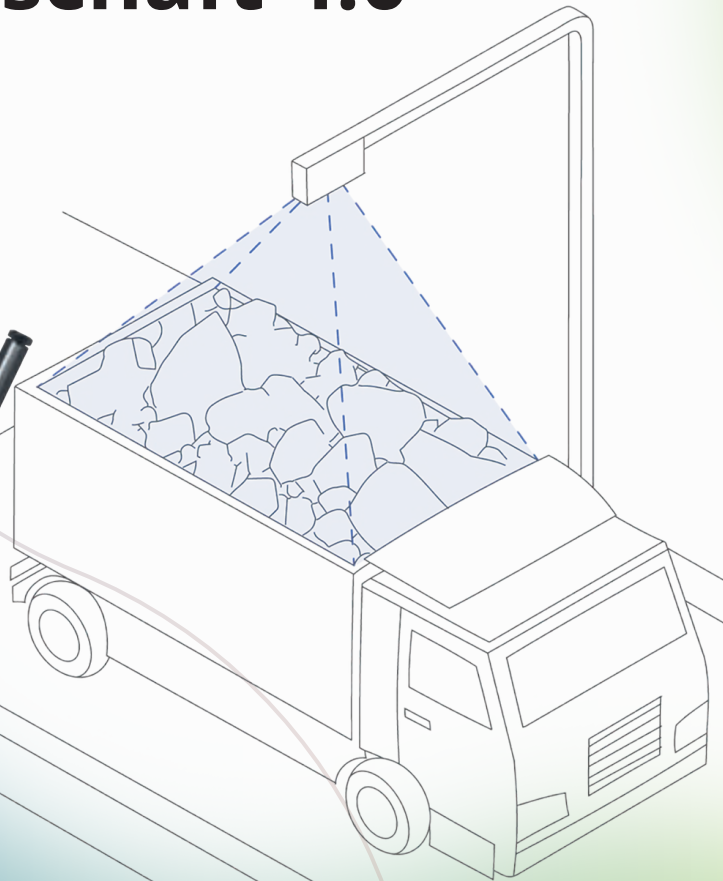


Abb. 71, Quelle: Prognos AG auf Basis des Statistischen Bundesamtes



3

Kreislaufwirtschaft 4.0



Innovation und Transformation

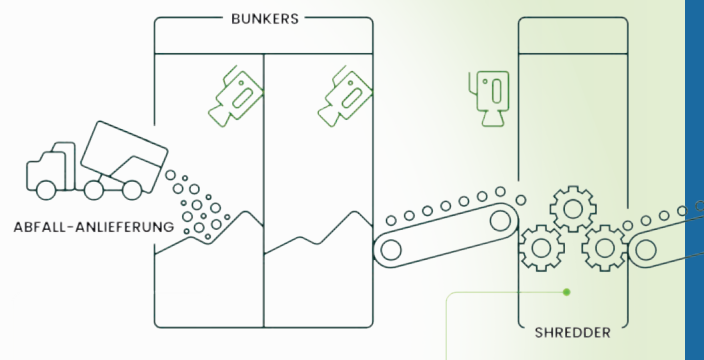
Digitalisierung, Automatisierung und insbesondere der Einsatz künstlicher Intelligenz schaffen neue Impulse und Möglichkeiten entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Sortierprozesse werden präziser, Logistik effizienter und Entscheidungswege datenbasierter. Dabei zeigt sich: Innovation entsteht nicht allein durch einzelne Technologien, sondern durch ihr Zusammenspiel in einem zunehmend integrierten System. Deutschlands starke Position bei Patenten im Bereich der stofflichen Verwertung und Abfalltechnik bildet hierfür ein solides Fundament, doch der internationale Wettbewerb verschärft sich rasant. Um langfristig global erfolgreich zu bleiben, braucht es kontinuierliche Transformationsbereitschaft, strategische Investitionen und eine gezielte Stärkung technologischer Leitmärkte.

Start-ups und Wachstumstreiber

Start-ups prägen die Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft und bringen frische Perspektiven in etablierte Wertschöpfungsketten. Sie identifizieren gezielt strukturelle Herausforderungen – von der Logistik über Sortierung bis hin zu Recyclingtechnologien – und entwickeln schnelle, mutige und technologieoffene Lösungen. Ob KI-gestützte Sortiersysteme, neue Formen der Mehrweglogistik, digitale Plattformmodelle oder biotechnologische Verfahren zur Rohstoffrückgewinnung: Start-ups setzen Impulse, die ökologische Ziele mit wirtschaftlicher Skalierbarkeit verbinden. Dabei profitieren sie von einem wachsenden Förderökosystem aus Bund, Ländern und privaten Investoren. Gleichzeitig entstehen wichtige Kooperationsräume zwischen Start-ups und kommunalen wie industriellen Partnern, wodurch Innovationen schneller in die Praxis gelangen. Diese Dynamik macht Start-ups zu einem wichtigen Motor für Wachstumsimpulse und Transformationsprozesse und zu einem unverzichtbaren Teil der Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft.

Fachkräfte und Arbeitswelt

Die Leistungsfähigkeit der Kreislaufwirtschaft hängt entscheidend von den Menschen ab, die täglich dafür sorgen, dass Prozesse zuverlässig funktionieren und sich weiterentwickeln. Gleichzeitig wandelt sich die Arbeitswelt spürbar: Fachkräftemangel, steigende Mitarbeiterfluktuation, ein anhaltender Generationenwechsel sowie neue Erwartungen an Arbeitgeber fordern Betriebe zunehmend heraus. Während digitale Kompetenzen wichtiger werden, steigt zugleich der Bedarf an gut qualifizierten Fachkräften in klassischen operativen Tätigkeiten. Die Branche reagiert mit gezieltem Recruiting, modernen Weiterbildungs- und Qualifizierungsprogrammen sowie neuen Arbeitsmodellen; von flexiblen Schichtsystemen bis hin zu digital unterstützten Personalentwicklungsformaten. Diversität, Work-Life-Balance, Wertschätzung und ein attraktives Arbeitsumfeld gewinnen dabei deutlich an Bedeutung. Erfolgreiche Personalstrategien werden damit zu einem entscheidenden Faktor, um die Zukunftsfähigkeit der Betriebe der Kreislaufwirtschaft langfristig zu sichern.



3.1 Innovationen – Vorbereitung auf die Zukunft



Dynamische Entwicklungen im globalen Innovationsgeschehen unter dem Einfluss von KI

Die internationale Wettbewerbslandschaft der Kreislaufwirtschaft verschiebt sich: Während Deutschland weiterhin hohe Patentanteile in zentralen Technologiefeldern hält, holen vor allem asiatische Länder schnell auf und setzen neue Schwerpunkte in der Abfallbehandlung und stofflichen Verwertung. Zugleich steigt die Bedeutung datengetriebener Verfahren, da künstliche Intelligenz zunehmend in Patentthemen, Anwendungsfeldern und technischen Lösungen sichtbar wird. KI trägt damit nicht nur zur Weiterentwicklung bestehender Verfahren bei, sondern verstärkt auch die Dynamik globaler Innovationsprozesse.

3.1.1 Patente als Indikator für die globale Wettbewerbsfähigkeit

Ein bedeutender Faktor für die Relevanz deutscher Kreislaufwirtschafts-Unternehmen auf dem heimischen und globalen Markt ist die hohe Innovationskraft in der Branche. Dadurch bleiben die deutschen Unternehmer im Wettbewerb um die innovativsten Produkte auf den vordersten Plätzen. Patente sind hierfür ein guter Indikator, um die langfristigen Innovationspositionen der Länder und Unternehmen zu zeigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass viele Innovationen in der Kreislaufwirtschaft als Prozess-, Betriebs- oder Serviceinnovationen umgesetzt werden und in Patentstatistiken nur teilweise sichtbar sind.

Deutschland ist nach den Anmeldungen beim europäischen Patentamt (EPO) in den Jahren 2010 bis 2024 der mit Abstand wichtigste Innovationshub in Europa. Das Land hat in der Kreislaufwirtschaft global einen Patentanteil von 15 % oder fast 3.500 Patenten. Davor liegen nur noch die USA, mit einem Patentanteil von 21 % oder ca. 4.600 Patenten. Auf Rang 3 folgt Japan mit einem Anteil von 11 %, danach Frankreich mit 8 %. Der in vielen anderen Gebieten schärfste Technologierivale China hat aktuell mit rund 3 % einen noch geringen Anteil an den im Betrachtungszeitraum angemeldeten Patenten und liegt in etwa auf dem Niveau von Südkorea und Finnland. China und Südkorea holen im internationalen Vergleich jedoch schnell zu den Top-Anmeldeländern auf. Ihre Patentanmeldungen haben sich im Vergleichszeitraum 2010 - 2022¹³⁴ um mehr als das 6-7-fache gesteigert. Die globalen Patentanmeldungen nahmen in dieser Zeit um 72% zu. Diese Entwicklung steht im deutlichen Kontrast zum Verlauf der Patentanmeldungen in Deutschland, die im selben Zeitraum nur um rund 10% zugenommen haben. Die

Patente in den Marktsegmenten der Kreislaufwirtschaft (Durchschnitt der Jahre 2020 bis 2023, in %)

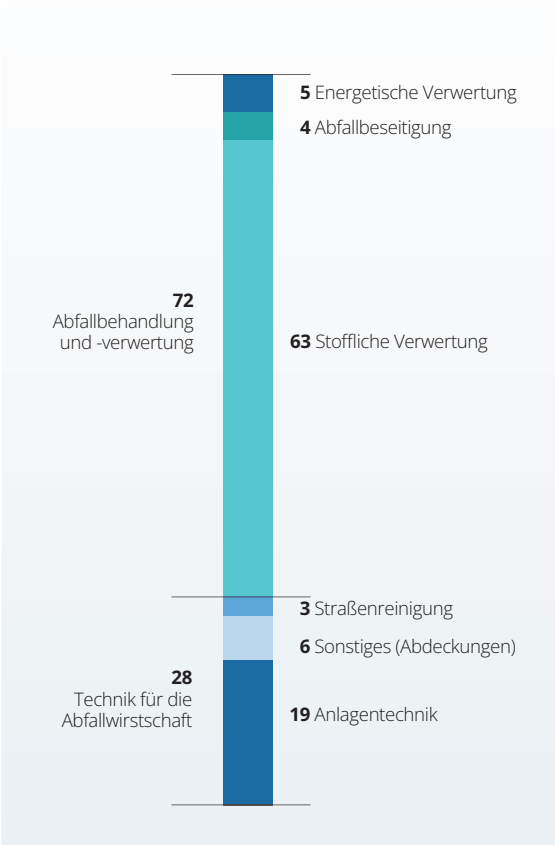


Abb. 72, Quelle: Prognos AG auf Basis des Europäischen Patentamtes

Innovationsleistung unterlag in diesem Zeitraum starken Schwankungen. In den Jahren 2018 und 2019 gingen die Patentanmeldungen aus Deutschland zunächst merklich zurück. Ab dem Jahr 2020 haben die Innovationstätigkeiten in der Kreislaufwirtschaft dann wieder zugelegt. 2020 sind sie um über 55 % gestiegen und in den beiden Folgejahren auf diesem Niveau verblieben.

¹³⁴ Für die Auswertung des Zeitverlaufs wird nur die Entwicklung bis 2022 herangezogen, da der aktuelle Datenrand (d.h. die beiden letzten Jahre 2023 und 2024) noch datenlückenbedingter Verzerrungen unterliegt.

Patente im Bereich "Technik für die Abfallwirtschaft".

Der Anteil Deutschlands an den weltweit angemeldeten Patenten im Bereich „Technik für die Abfallwirtschaft“ hat sich nach den Ergebnissen des letzten Statusberichts aus dem Jahr 2024 wieder etwas verbessert. Während der Anteil im Jahr 2020 noch bei rund 6,4 % lag, wurden im Jahr 2023 rund 10 % aller Patente in

diesem Technologiebereich angemeldet. Gegenüber dem Jahr 2020 bedeutet dies einen Anstieg um 3,6 %-Punkte, gegenüber dem Basisjahr 2010 beträgt der Anstieg 1,7 %-Punkte.

Eine auffällige Entwicklung haben die Patentanmeldungen aus China genommen. Bis zum Jahr 2020 haben die Patentanmeldungen gegenüber dem Jahr 2010 um 21,4 %-Punkte zugenommen. Im Zeitraum zwischen 2020 und 2023 verlor China allerdings wieder 18,8 %-Punkte, liegt aber mit einem Anteil von 17 % immer noch auf Platz 1 im Länderranking. Aufgeholt haben in diesem Zeitraum insbesondere Japan und Deutschland sowie die „übrigen Länder“. Die Anteile Koreas an den weltweiten Patenten haben im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2023 kontinuierlich abgenommen, dies gilt auch für die USA. Während im Statusbericht 2024 noch die Entwicklung Chinas im Fokus stand, sollte aus deutscher Sicht die Technologieentwicklung in Japan aufmerksam beobachtet werden.

Die Analyse der weltweit angemeldeten Patente basiert auf dem Vergleich qualitativ gleichwertiger Patente, dafür wurden als Basis nur internationale Patentanmeldungen nach PCT herangezogen. Als zweites Qualitätskriterium wurde die Anzahl der Zitationen je Patent ermittelt. Somit ist sichergestellt, dass die Ergebnisse nicht durch unterschiedliche nationale Gepflogenheiten beeinflusst worden sind.

Anteile von Ländern an den weltweit angemeldeten PCT Patenten im Teilmarkt „Technik für die Abfallwirtschaft“, 2023 (in %)

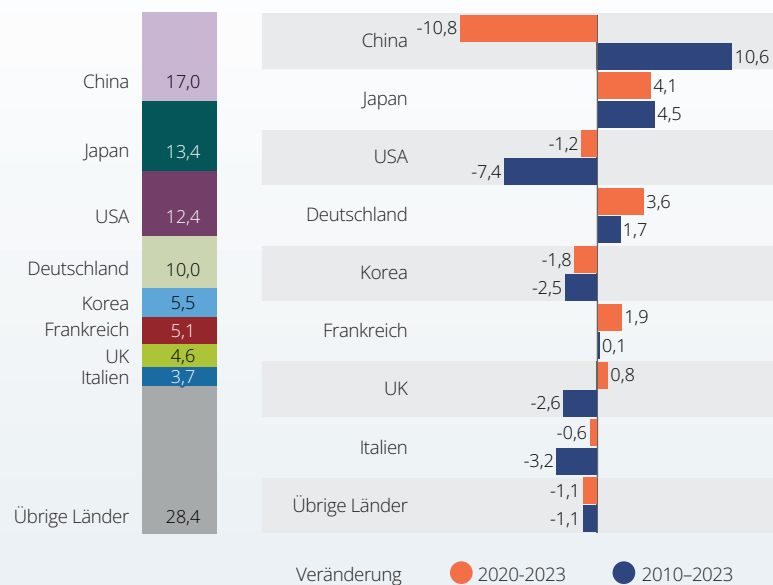


Abb. 73, Quelle: Prognos AG auf Basis des Europäischen Patentamtes

Der Innovationsschwerpunkt der Kreislaufwirtschaft liegt global auf dem Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“. Patente decken hier etwa Innovationen in grundlegenden Technologien, neuen Verfahren oder verbesserten Prozessen ab. 59 % der globalen Patente in der Kreislaufwirtschaft entfallen auf den Technologiebereich „Stoffliche Verwertung“. Im Gegensatz dazu sind die Innovationsaktivitäten im Bereich „Energetische Verwertung“ stark zurückgegangen. Ihr Anteil ist von 15 % der Patente in 2010 – 2015 auf 5 % der Patente in 2020 – 2023 gefallen. Deutschland liegt in dem Marktsegment mit einem globalen Patentanteil von 14 % deutlich hinter den USA mit über 22 %. Es kann sich vor allem bei seinem wichtigsten Patentthema „Nutzung von Abfallstoffen als Füllmaterial für Zement und Beton“ profilieren. Deutschland hat hier seit 2010 ca. 350 Patente gemeldet. Die USA als wichtigster globaler Patentakteur der Kreislaufwirtschaft haben ihren Schwerpunkt in dem Patentthema „Recycling von nicht umgesetzten Ausgangs- oder Zwischenmaterialien“. 500 US-amerikanische Patente sind diesem Thema zuzuordnen.

Die Stärke der deutschen Innovationsakteure liegt hingegen im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“. Patente in diesem Feld beziehen sich vor

allem auf innovative Anlagentechnik, zum Teil auch auf Technik für Fahrzeuge für die Abfallwirtschaft. Hier ist Deutschland mit einem Anteil von 19 % globaler Innovationsführer, vor den USA mit 14 % und Japan mit knapp 9 %. Das wichtigste Innovations-thema für Deutschland in diesem Marktsegment sind „Anlagen zur Trennung von Plastik von anderen Materialien“. Dieses Thema hat vor dem Hintergrund steigender Recyclingquoten eine hohe Relevanz. Deutschland ist bei diesem Thema mit 22% der Patente globaler Innovationsführer. Für die dynamischen Innovationsländer China und Südkorea ist dieses Marktsegment noch von niedrigerer Bedeutung. Auch die Dynamik im Jahresvergleich ist deutlich geringer. In diesem Segment kann Deutschland daher auch in den nächsten Jahren noch auf einen bedeutenden Innovationsvorsprung aufbauen und damit wirtschaftliche Möglichkeiten bei technologischen Lösungen erschließen.

Innovationen in der Form von Patenten werden grundsätzlich vorrangig von Unternehmen dominiert, da wirtschaftliche Interessen der wichtigste Faktor für die Patentanmeldung sind. 77 % der deutschen Patente in der Kreislaufwirtschaft wurden seit 2010 von Unternehmen gemeldet. In den USA sind es mit 79 % noch mehr und in Japan ist der Anteil mit

85 % unter den zehn wichtigsten Patentanmeldeländern am höchsten. Universitäten spielen als Patentanmelder eine eher untergeordnete Rolle, sind aber deutlich häufiger an der Forschung für Patente beteiligt, die dann jedoch über Unternehmen vermeldet werden. In Deutschland liegt der Anteil von Universitäten bei unter 2 %. In China oder Großbritannien ist die Bedeutung von Universitäten mit 4 % bzw. 6 % höher. Dagegen ist der Anteil von Einzelpersonen unter den Patentanmeldern in Deutschland überdurchschnittlich hoch – gut 7 % gehören zu dieser Kategorie. In den USA ist der Anteil halb so groß und in Japan unter einem Prozent.

3.1.2 Aktivitäten der Branche im Bereich Forschung und Entwicklung

Die Unternehmen der Kreislaufwirtschaft (Abfallsammlung, -behandlung und -verwertung)¹³⁵ investierten 2023 in den Bereichen Forschung und Entwicklung rund 300 Millionen €, ein Rückgang zum Jahr 2022 um rund 100 Millionen €. ¹³⁶ Mit einem Anteil von rund 0,6 % des Umsatzes waren die Innovationsausgaben im Vergleich zum Durchschnitt aller Branchen (2,7 %) eher gering. Im Vergleich zu 2022 (0,8 %) haben sie sich zudem reduziert.

Der Rückgang der Ausgaben zeigt sich auch an der Innovationsbeteiligung. Der Anteil der Unternehmen der Kreislaufwirtschaft mit Marktneuheiten betrug 2023 0 % (vgl. 2022: 1 %), während der Durchschnitt aller Branchen bei 6 % lag. Der Anteil der Unternehmen mit Produktinnovationen liegt bei 12 % (Branchendurchschnitt 24 %) und mit Prozessinnovationen bei 40 % (Branchendurchschnitt 48 %).

Die unterdurchschnittlichen Innovationsausgaben schlagen sich auch in den Innovationserfolgen in den Bereichen Abfallsammlung, -behandlung und -verwertung nieder. Der Umsatz mit Marktneuheiten liegt bei 0,2 %. Im Vergleich dazu werden im Branchendurchschnitt 3,2 % des Umsatzes mit Marktneuheiten erzielt. Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Umsatz mit Produktneuheiten. Hierauf entfallen 2,2 % des Umsatzes in den Bereichen Abfallsammlung, -behandlung und -verwertung (12,2 % Branchendurchschnitt). Auch bei der durchschnittlichen Kostensenkung durch Prozessinnovationen liegt der Bereich mit 1,5 % deutlich unter dem Branchendurchschnitt von 2,6 %. Im Vorjahr lagen alle Werte um wenige Prozentpunkte höher, jedoch immer noch auf einem niedrigen Niveau.

Die Kreislaufwirtschaft umfasst weiterhin noch Branchen außerhalb der Bereiche Abfallsammlung, -behandlung und -verwertung. So berücksichtigen diese Kennzahlen noch nicht die Branchen des Marktsegments Technik für die Abfallwirtschaft, die sich unter anderem im Maschinenbau sowie in der Elektronik/Messtechnik/Optik wiederfinden. Hier lassen sich insgesamt deutlich höhere Werte erkennen, die sich jedoch nicht ohne weiteres auf die Kreislaufwirtschaft übertragen lassen.

¹³⁵ Dies umfasst die Wirtschaftszweige 38-39: Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen, Rückgewinnung, Beseitigung von Umweltverschmutzungen, sonstige Entsorgung. Auf Grund des hohen Aggregationsgrads der verfügbaren Daten kann das im Kapitel 2 zugrunde liegende detaillierte Abgrenzungsmodell der Kreislaufwirtschaft nicht angewendet werden.

¹³⁶ Diese und die folgenden Kennzahlen in diesem Unterkapitel sind der ZEW-Innovationserhebung 2024 entnommen, vgl. Website: https://www.zew.de/fileadmin/FTP/mip/24/mip_2024.pdf



Kennzahlen zu den Innovationsausgaben für ausgewählte Branchen: Absolut, in Relation zum Umsatz, Anteil Unternehmen mit kontinuierlicher FuE sowie Innovatorenquote

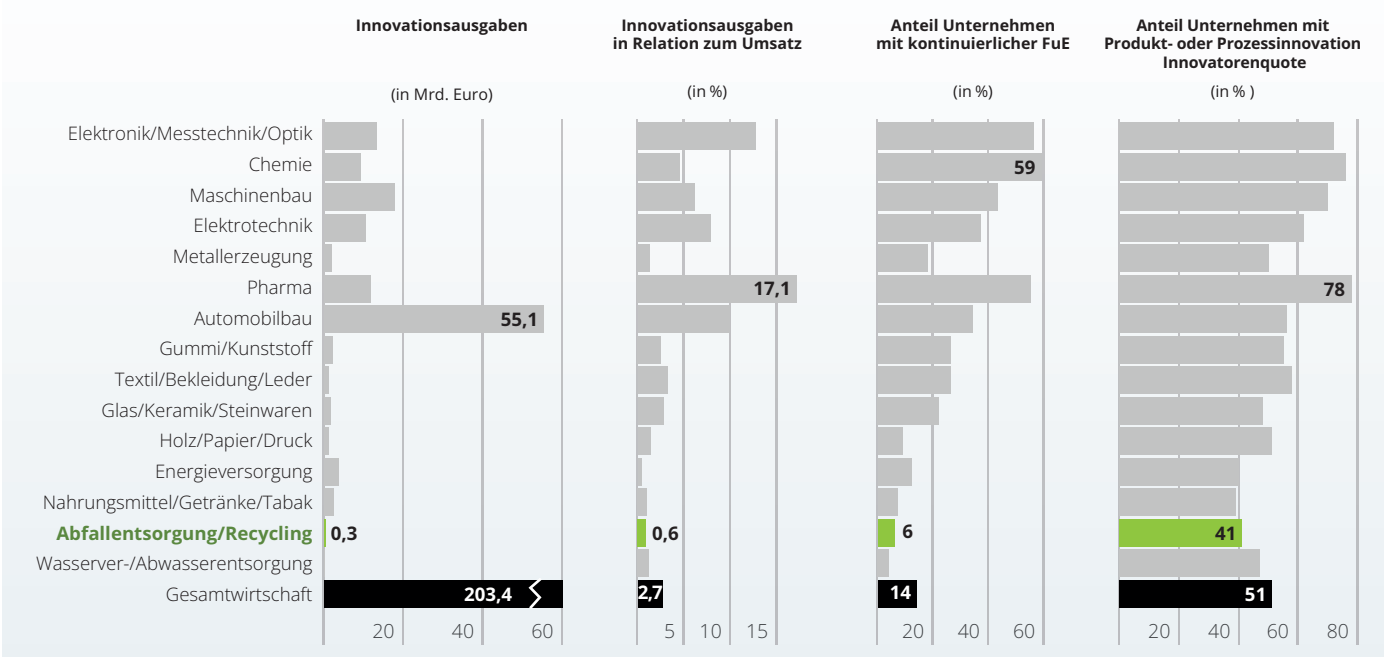


Abb. 74, Quelle: ZEW, Indikatorenbericht zur Innovationserhebung 2024

Künstliche Intelligenz in der Kreislaufwirtschaft – Chancen, Herausforderungen und Umsetzungsrealitäten

Die fortschreitende Digitalisierung bildet die Grundlage für den nächsten Entwicklungsschritt: den gezielten und sicheren Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI). Während digitale Systeme heute vielerorts fester Bestandteil von Tourenplanung, Auftragsmanagement oder Anlagenüberwachung sind, steht der produktive KI-Einsatz in der Kreislaufwirtschaft noch am Anfang. Dennoch ist das Potenzial enorm: KI kann die Effizienz von Prozessen erheblich steigern, Ressourcen schonen, Kosten senken und die Qualität der Dienstleistungen für Bürgerinnen und Bürger verbessern.

Potenziale und Anwendungsfelder

Künstliche Intelligenz lässt sich in nahezu allen Bereichen der Kreislaufwirtschaft einsetzen – von der operativen Logistik bis zur strategischen Planung. Typische Anwendungsfelder sind:

- ▶ **Abfall- und Fremdstofferkennung:** Bildbasierte KI-Systeme identifizieren in Sortieranlagen und Sammelfahrzeugen Störstoffe, optimieren den Trennprozess, verbessern die Recyclingquote und Qualitätssicherung.
- ▶ **Dynamische Tourenplanung:** Durch die Kombination von Echtzeitdaten (Füllstände, Verkehr, Wetter) mit lernenden Algorithmen werden Routen automatisch angepasst. Dies reduziert Leerfahrten, spart Kraftstoff und senkt CO₂-Emissionen.
- ▶ **Zustandsüberwachung und Predictive Maintenance:** Sensorbasierte Systeme erkennen frühzeitig Abweichungen in Anlagen und Fahrzeugen. KI-Modelle prognostizieren Ausfälle und ermöglichen planbare Wartungsintervalle für Anlagentechnik und Sammelfahrzeuge.
- ▶ **Gebühren- und Mengendatenanalyse:** KI kann große Datenmengen analysieren, Zusammenhänge erkennen und Prognosen für Gebührenkalkulation oder Investitionsentscheidungen liefern.
- ▶ **Verwaltung und Kommunikation:** Sprachmodelle unterstützen bei der Textaufbereitung, Dokumentenanalyse oder Bürgerkommunikation (z. B. Chatbots für Abfuhrtermine, Gebührenauskünfte oder Serviceanfragen)
- ▶ **Dokumentation & Compliance:** Automatisierte Prüfung von Begleitdokumenten, Fotodokumentation, Plausibilitätschecks und Anomalieerkennung.

Erfolgsfaktoren für den Einsatz von KI

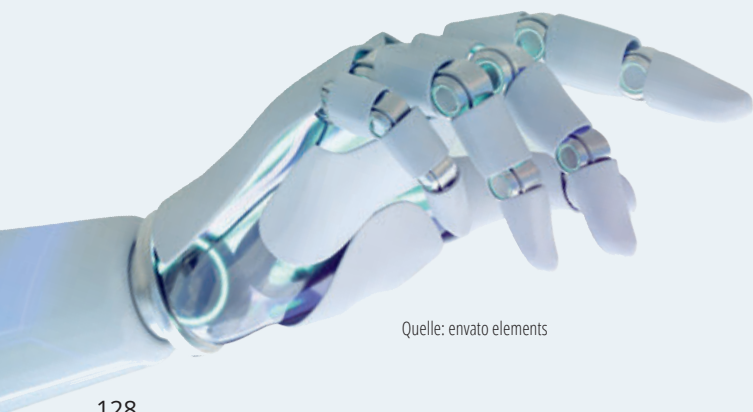
1. *Strategische Verankerung: KI-Strategie als Teil der Digitalstrategie festlegen.*
2. *Datenmanagement: Einheitliche Standards und zentralisierte Datendrehscheiben aufbauen.*
3. *Mitarbeitende qualifizieren: Schulungen, klare Verantwortlichkeiten und offene Kommunikationskultur.*
4. *Pilotprojekte statt Großlösungen: Kleine, konkrete Anwendungsfälle mit messbarem Nutzen starten.*
5. *Kooperationen und Austausch: Zusammenarbeit mit Hochschulen, Fachverbänden und anderen Kommunen.*
6. *Governance etablieren: Leitlinien, Ethikrichtlinien und Prüfprozesse zur Sicherung von Qualität und Compliance.*

Auch im **Umwelt- und Klimamanagement** eröffnet KI neue Perspektiven: Energieverbräuche können optimiert, Emissionsdaten ausgewertet und Stoffströme detaillierter bilanziert werden. So wird KI zu einem Instrument, das ökologische und ökonomische Ziele vereint.

Regulatorischer Rahmen: Der EU AI Act

Mit dem EU Artificial Intelligence Act (AI Act), der im August 2024 in Kraft trat, existiert erstmals ein einheitlicher Rechtsrahmen für den Einsatz von KI in Europa. Vor allem kommunale Betriebe, die KI-Systeme nutzen, gelten – je nach Rolle – entweder als Anbieter, wenn sie KI-Systeme (z. B. Chatbots oder angepasste GPT-Modelle) bereitstellen, oder als Betreiber, wenn sie ein KI-System in eigener Verantwortung verwenden, und müssen deren Risiko bewerten. Der AI Act unterscheidet vier Risikostufen – von minimalem bis zu unannehmbarem Risiko.

Neben der technischen Bewertung fordert der AI Act auch organisatorische Maßnahmen: Schulungen für Mitarbeitende zur Erlangung von KI-Kompetenzen, Dokumentation, Kennzeichnung KI-generierter Inhalte und die Einführung von Governance-Strukturen.



Quelle: envato elements

Darüber hinaus ist zu beachten, dass der Einsatz einer generativen KI, etwa in Form großer Sprachmodelle wie z. B. ChatGPT, nicht automatisch in die Kategorie minimales oder geringes Risiko fällt. Die Einstufung hängt stets vom jeweiligen Anwendungsfall und der konkreten Nutzung ab. Wird eine generative KI beispielsweise zur internen Texterstellung eingesetzt, ist das Risiko gering. Trifft sie hingegen Entscheidungen mit rechtlichen oder sicherheitsrelevanten Auswirkungen, kann eine höhere Risikoklassifizierung erforderlich sein.

Für Systeme der Kategorie geringes Risiko bestehen nach dem AI Act bestimmte Pflichten, insbesondere:

- ▶ **Transparenzpflicht** (Art. 50 AI Act): Nutzerinnen und Nutzer müssen darüber informiert werden, dass sie mit einem KI-System interagieren.
- ▶ **Kompetenzpflicht** (Art. 4 AI Act): Betreiber müssen sicherstellen, dass Mitarbeitende im Umgang mit dem System geschult sind.

Herausforderungen in der Praxis

Trotz klarer Chancen ist die Umsetzung anspruchsvoll. Viele der in der Digitalisierung identifizierten Hemmnisse gelten in noch stärkerem Maß für KI:

- ▶ **Komplexität und fehlende Standardisierung:** Historisch gewachsene IT-Strukturen, inkompatible Software und nicht vorhandene Schnittstellen erschweren KI-Integration.
- ▶ **Unzureichende Datenbasis:** KI benötigt strukturierte, vollständige und qualitativ hochwertige Daten. In der Praxis liegen Daten oft dezentral und unverbunden vor.
- ▶ **Datenschutz und IT-Sicherheit:** Die Nutzung externer Cloud-Plattformen erfordert eine sorgfältige Abwägung zwischen Funktionalität und Datenschutz (Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), zweite EU-Richtlinie zur Netzwerk- und Informationssicherheit (NIS2)).
- ▶ **Fachkräftemangel:** Der Mangel an qualifizierten IT- und Datenfachkräften erschwert die Einführung und den Betrieb von KI-Systemen erheblich. Kommunale Betriebe stehen im Wettbewerb mit der Privatwirtschaft und müssen attraktive Arbeitsbedingungen und gezielte Nachwuchsförderung schaffen.
- ▶ **Kompetenzaufbau:** Der Aufbau von KI-Kompetenz im Betrieb ist essenziell, um Anwendungen zu verstehen, zu steuern und kritisch zu überprüfen. Dazu gehören interne Schulungsprogramme, Kooperationen mit Bildungseinrichtungen und der Wissenstransfer zwischen Fachbereichen. Art. 4 des AI Act fordert Schulungen und klare Verantwortlichkeiten.

- ▶ **Akzeptanz und Kulturwandel:** Der Erfolg hängt stark von der Akzeptanz der Mitarbeitenden ab. KI verändert Arbeitsprozesse und Entscheidungswege – sie muss als Unterstützung, nicht als Bedrohung verstanden werden.

Risikoklassen nach EU AI Act:	Mögliche Anwendungen:
1. Minimales Risiko:	Textanalyse, Schreibassistent, Datenvisualisierung
2. Geringes Risiko:	Chatbots, Sprachsysteme, Bürgerportale
3. Hohes Risiko:	Entscheidungsunterstützung bei Bußgeldern oder Personalplanung
4. Unannehmbares Risiko (verboten):	Systeme, die Grundrechte verletzen oder diskriminierend wirken (z. B. emotionserkennende Videoüberwachung)

Zudem existieren finanzielle und organisatorische Herausforderungen: Hohe Investitionskosten, fehlende Förderstrukturen und unklare Wirtschaftlichkeitsbewertungen verzögern Projekte. Kommunale Haushalte sind häufig nicht auf die langfristigen Wartungs- und Schulungskosten vorbereitet.

Darüber hinaus benötigen KI-Anwendungen erhebliche Energiemengen, insbesondere für das Training und den Betrieb großer (Sprach-)Modelle, aber auch für die Datenverarbeitung im laufenden Betrieb. Bei der Planung und Umsetzung von Projekten sollte daher der Energiebedarf stets in die Kosten-Nutzen-Betrachtung einbezogen werden, um ökologische und wirtschaftliche Ziele in Einklang zu bringen.

Chancen für Effizienz und Nachhaltigkeit

Richtig umgesetzt, wird KI zu einem strategischen Werkzeug für Nachhaltigkeit und Kosteneffizienz. Durch lernende Systeme können Betriebe:

- ▶ ihre Ressourceneffizienz steigern,
- ▶ den CO₂-Ausstoß durch optimierte Entsorgungslogistik senken,
- ▶ Arbeitszeit und Betriebskosten reduzieren,
- ▶ die Servicequalität und Transparenz gegenüber Bürgerinnen und Bürgern erhöhen,
- ▶ und datenbasierte Entscheidungen in Echtzeit treffen.

Die Nutzung von KI ist damit nicht nur eine technologische, sondern eine strukturelle Weiterentwicklung der Daseinsvorsorge. KI kann helfen, knapper werdende Personalressourcen zu kompensieren und gleichzeitig ökologische Ziele messbar zu erreichen.

3.2 Neue Ideen in der Kreislaufwirtschaft



Technologische Fortschritte sichern den Leistungsstandard

Die Kreislaufwirtschaft unterliegt einem tagtäglichem Wandel durch Entwicklung und Fortschritt in Form neuer Verfahrensweisen, Technologien und Produkten. Auf diese Weise werden innovative Ideen in die Realität umgesetzt und Prozesse im Betriebsalltag stetig optimiert. Digitalisierung und Automatisierung spielen hierbei eine zunehmende Rolle. Sie tragen unter anderem zur Reduzierung klimaschädlicher Treibhausgase in der Entsorgungslogistik, zu einer effektiveren Sortierung und Aufbereitung sowie hochwertigen stofflichen und energetischen Verwertungswegen bei.

3.2.1 Erfassung/Logistik

Technologischer Fortschritt prägt zunehmend die Entsorgungslogistik, etwa durch alternative Antriebssysteme oder Fremdstofferkennung im Abfall. Die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung der Abfall- und Kreislaufwirtschaft bietet im Zeitalter von KI neue Chancen. Im Sinne der Nachhaltigkeit stehen nicht nur ökonomische, sondern auch ökologische und soziale Aspekte im Fokus einer zukunftsfähigen Konzipierung der Abfallwirtschaft, was sich auch in der innovativen Quartiersentwicklung zeigt. Die Branche befindet sich folglich stets im Wandel.

Alternative Antriebssysteme und Kraftstoffe

Der Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben steht weit oben in der regulatorischen Zielmatrix und die Kreislaufwirtschaftsbetriebe sind bestrebt die Umstellung aktiv mitzugestalten. Die bundesweiten Klimaschutzziele, verschärfte EU-CO₂-Vorgaben für neue, schwere Nutzfahrzeuge (- 45 % bis 2030, - 90 % bis 2040)¹³⁷ sowie die steigenden Kosten fossiler Kraftstoffe treiben die Umstellung auf emissionsarme und -freie Antriebe massiv voran.

Da Fahrzeuge mit Elektroantrieben inzwischen praxistaugliche Reichweiten erreichen, werden sie auch vermehrt in der Abfall- und Kreislaufwirtschaft eingesetzt. Damit werden batterieelektrische Antriebe erstmals für große Teile der Flotte auch wirtschaftlich interessant. Die Gesamtkosten von E-LKW nähern sich zunehmend denen von Diesel-Fahrzeugen an, insbesondere bei hohen Jahresfahrleistungen. Entscheidender Faktor für die erfolgreiche Umstellung ist der Ausbau der Ladeinfrastruktur. Bei ausreichender Leistungsbereitstellung durch Mittelspannungsanschlüsse, u.a. an Betriebshöfen, können auch schwere LKW in 30 – 45 Minuten ausreichend Energie für ihre nächste Tour oder die nächste Schicht laden. Durch die langen Standzeiten nach den Touren ist ein Laden auch im Niederspannungsbereich ohne Probleme möglich. In vielen Kommunen und Betrieben wird aus diesem Grund zunächst der Auf-



Emissionsfreie Straßenreinigung, Quelle: ASP Paderborn

bau von Depot- und Betriebshof-Ladeinfrastruktur vorangetrieben, häufig in Kombination mit Photovoltaik oder Batteriespeichern zur Netzentlastung.

Wo schnelle Einsatzbereitschaft oder lange Reichweiten erforderlich sind, gewinnt auch der Einsatz von HVO100 an Bedeutung. Laut DIN EN 15940:2023-07 handelt es sich hierbei um einen paraffinischen Dieseldieselkraftstoff, welcher im Zuge eines Synthese- und Hydrierverfahrens aus Abfällen oder Reststoffen in Form von pflanzlichen oder tierischen Fetten und Ölen hergestellt wird.¹³⁸ Als Übergangslösung ermöglicht der Kraftstoff eine schnelle Emissionsreduktion im Fuhrpark, ohne große Investitionen in neue Antriebstechnologien. Da die Verfügbarkeit der benötigten Rohstoffe in Form von Abfallreststoffen begrenzt ist und somit nicht für eine umfassende

¹³⁷ EU-CO₂-Standard-Verordnung für schwere Nutzfahrzeuge <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:02019R1242-20240701>



¹³⁸ <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-15940/367267431>



Marktabdeckung ausreicht, kann diese Technologie langfristig lediglich eine Brückenfunktion einnehmen. Parallel bleibt auch Biomethan aus Vergärungsanlagen eine Option für kommunale Flotten, insbesondere dort, wo eine anlagentechnische Biogasaufbereitung und -einspeisung sowie CNG-Tankinfrastruktur bereits vorhanden sind. Synthetische Kraftstoffe werden derzeit zwar als potenziell klimaneutrale Alternative diskutiert, spielen aufgrund begrenzter Verfügbarkeit, hoher Kosten und geringer Marktdurchdringung bislang jedoch kaum eine Rolle. Derzeit werden Brennstoffzellenfahrzeuge gefördert. Jedoch hat der abrupte Abbruch der KsNI-Förderung im Jahr 2023 den Hochlauf ausgebremst. Ebenso spielen die hohen Wasserstoffkosten und fehlende Tankinfrastruktur eine große Rolle.

Bei der Entscheidung über den Einsatz geeigneter Antriebsarten je Fahrzeugtyp sind vor allem die Fahrleistung, maximale Zuladung, Tourenplanung, vorhandene Lade- und Betankungsinfrastruktur sowie die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien relevant. Die Integration von Elektro-Lkw in bestehende Betriebsabläufe wird dabei durch leistungsfähigere Batterien, den Ausbau von Schnellladeinfrastruktur sowie intelligente Lade- und Lastmanagementsysteme zunehmend praktikabler.



Einfahrt in autonomen Wertstoffhof, Quelle: SENSIS

Praxisbeispiele aus deutschen Entsorgungsbetrieben zeigen, dass sich insbesondere Depot-Charging-Konzepte bewähren. Dabei erfolgt das Laden der Fahrzeuge überwiegend in den Nachtstunden auf den Betriebshöfen, bei Bedarf ergänzt durch Schnelladevorgänge während des Tages. In größeren Entsorgungsgebieten, etwa bei Landkreisen oder Zweckverbänden, wird zusätzlich vorhandene, gebietsübergreifende Ladeinfrastruktur in die Logistikplanung einbezogen oder strategisch im Entsorgungsgebiet positioniert.

Digitalisierung der Abfallwirtschaft bei Verwaltungs- und Kommunikationsprozessen

Immer mehr Unternehmen setzen innerhalb der Entsorgungslogistik auf automatisierte Prozesse und digitale Anwendungen, um ihr Tagesgeschäft effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Mithilfe moderner IT-Lösungen lassen sich z. B. das Management von Aufträgen, Behältern und Fuhrpark sowie die Tourenplanung zentralisiert steuern und optimieren.

Auch die direkte Ansprache der Bevölkerung ist über digitale Anwendungen möglich. So können beispielsweise aktuelle Informationen, Trennhilfen oder Anträge den Bürgerinnen und Bürgern in digitaler Form bereitgestellt werden. In Apps integrierte digitale Abfallkalender mit Erinnerungsfunktion erhöhen den Nutzungskomfort weiter. Mittlerweile existieren App-Plattformen, die sich an die lokalen Gegebenheiten und Serviceangebote des jeweiligen kommunalen Entsorgungsbetriebes anpassen lassen. Menschen ohne Nähe zu digitalen Medien wird aber weiterhin Zugang zu allen relevanten Services ermöglicht.

Insbesondere im Bereich der Verwaltung und Kundenkommunikation kann der Einsatz von KI zur Effizienzsteigerung und zur Entlastung der Mitarbeitenden beitragen. Digitale Schnittstellen zu gewerblichen Kunden, Lieferanten und Abnehmern gewinnen an Bedeutung. Anfragen aus verschiedenen Formaten, wie E-Mails, Online-Formularen oder Kontaktportalen können durch KI-gestützte Systeme klassifiziert, zusammengefasst oder automatisiert beantwortet werden. Vor allem der Einsatz von KI in Form moderner Chatbots ermöglicht eine zeit- und ortsunabhängige Kundenkommunikation. Während Chatbots Standardanfragen, wie etwa Annahmebedingungen und Öffnungszeiten von Wertstoffhöfen oder Hinweise zur korrekten Abfalltrennung automatisiert beantworten, können sich Mitarbeitende stärker auf individuelle und komplexere Anliegen fokussieren. Zudem können Chatbots zu einer inklusiveren Kreislaufwirtschaft beitragen, wenn diese Anfragen in verschiedenen Sprachen verstehen und in Echtzeit beantworten können. Durch die maschinellen Lernprozesse der KI wird auch ihre Antwortqualität kontinuierlich verbessert, trotz oberflächlicher oder umgangssprachlicher Formulierungen der Anfragen.

Darüber hinaus unterstützt die Einbindung von KI in den Betriebsalltag die Auswertung großer Datenmengen aus unterschiedlichen Quellen, beispielsweise aus Betriebs-, Kunden- oder Prozessdaten. Durch KI-basierte Analysen werden Muster, Auffälligkeiten und Trends in einem umfassenden Datenpool schnell erkannt. Dabei müssen Aspekte des Datenschutzes insbesondere beim Umgang der KI mit sensiblen personenbezogenen Daten oder Betriebsgeheimnissen im Vorfeld rechtlich und betriebsintern abgesichert werden. Nach derzeitigem Stand ist auch eine menschliche Nachkontrolle oder Plausibilitätsprüfung der KI-generierten Ergebnisse empfehlenswert.

Digitalisierung auf Wertstoffhöfen

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung von öffentlichen und privaten Wertstoffhöfen gewinnt neben dem Einsatz von App-Anwendungen auch der gezielte Einsatz von KI-basierten Systemen zunehmend an Bedeutung. Viele Standorte in Deutschland setzen dafür inzwischen digitale Bausteine ein, die Serviceangebote erweitern und betriebliche wie bürgerorientierte Anforderungen zusammenbringen. In der Praxis wird dafür häufig ein Zusammenspiel einer App-Anwendung, digitaler Prozesslogik und ausgewählter Komponenten eingesetzt. Ein elektrisch gesteuertes Tor, geeignete Beleuchtung und eine digitale Steuerung erlauben es, Zugänge zeitlich begrenzt und nutzerbezogen zu öffnen.

Ein weiterer Anwendungsfall ist der Einsatz von KI zur Kundenlenkung auf dem Wertstoffhof. Durch die Auswertung von Echtzeitdaten zum Verkehrsaufkommen, zur Belegung einzelner Containerbereiche oder zu aktuellen Wartezeiten können Besucherströme gezielt gesteuert werden. Digitale Anzeigen, App-basierte Hinweise oder automatisierte Durchfahrtskonzepte lenken Kundinnen und Kunden effizient zu freien Entladestellen. Somit werden Staus, Wartezeiten und potenzielle Unfallrisiken reduziert. Gleichzeitig wird das Personal des Wertstoffhofes entlastet, da weniger manuelle Einweisungen erforderlich sind. Die Besuche eines Wertstoffhofes können jedoch auch im Vorfeld besser geplant werden, indem sich die Kundinnen und Kunden vor Anlieferung einen schnellen räumlichen Überblick verschaffen und über die Entsorgungsmöglichkeiten informieren. Zu diesem Zweck bieten einige Wertstoffhöfe auf Basis eines digitalen Zwillings einen virtuellen Rundgang an. Neben den Fahrwegen und Containerstandorten werden hierbei oft auch Informationen zu den im jeweiligen Container zu entsorgenden Gegenständen bereitgestellt. Digitale Schnittstellen zu gewerblichen Kunden, Lieferanten und Abnehmern gewinnen an Bedeutung.

Darüber hinaus spielt KI eine zentrale Rolle bei der Störstoffdetektion. Mithilfe von Bilderkennungs- und Sensortechnologien können Fehlwürfe bereits beim Einwurf in die Container erkannt werden. KI-Systeme identifizieren unzulässige Abfälle, geben unmittelbare Hinweise an die Anliefernden oder lösen gezielte Nachsortierungen durch das Personal aus. Dies verbessert die Qualität der erfassten Wertstoffe, erleichtert die nachfolgenden Recyclingprozesse und reduziert den Aufwand für manuelle Kontrollen.

Mithilfe KI-basierter automatischer Kennzeichenerkennung (License Plate Recognition) werden Fahrzeuge beim Einfahren auf den Wertstoffhof identifiziert und registrierten Nutzerinnen und Nutzern ein automatisierter Zutritt ermöglicht. Dies erlaubt eine schnelle und kontaktlose Zugangskontrolle sowie eine gleichzeitige Zuordnung von Anlieferungen zu Kundengruppen, etwa private Haushalte oder



Wertstoffhof Selm, Quelle: Stadtwerke Selm

Gewerbebetrieben. Zudem bildet die automatische Kennzeichenerkennung die Grundlage für eine digitale Erfassung von Anlieferungsmengen und die Abrechnung von Gebühren.

Durch den Einsatz automatisierter Zugangssysteme, videobasierter Überwachung und digitaler Prozesssteuerung können moderne, eigenständige Wertstoffhöfe als sogenannte digitale oder 24/7-Wertstoffhöfe betrieben werden. Diese ermöglichen eine zeitlich unabhängige Anlieferung von Wertstoffen, wobei Zugang, Nutzeridentifikation, Überwachung und Betriebssicherheit vollständig digital unterstützt, und ohne permanente Personalpräsenz gewährleistet werden.

Ergänzend dazu eröffnen KI-basierte Auswertungen weitere Optimierungspotenziale, etwa bei der Analyse von Anlieferungsmustern, der bedarfsgerechten Containerdisposition, der Prognose von Spitzenzeiten oder der Weiterentwicklung nutzerfreundlicher Informationsangebote. Insgesamt trägt der Einsatz von KI auf Wertstoffhöfen dazu bei, Sicherheit, Effizienz und Servicequalität deutlich zu steigern und die Wertstofffassung zukunftsfähig auszurichten.

Entsorgung on demand

Unter „Entsorgung on demand“ wird die bedarfsgerechte Abholung von Abfällen und Wertstoffen auf Abruf verstanden. Dieses Angebot gilt sowohl für private Haushalte als auch für den gewerblichen Bereich und wird derzeit maßgeblich durch den Einsatz von KI unterstützt und weiterentwickelt. Die KI-basierten Systeme ermöglichen eine vorausschauende Planung, effizientere Auslastung der Fahrzeuge sowie eine deutliche Reduzierung des Fahrtenaufwands. Entsorgungsunternehmen werden inzwischen nicht mehr telefonisch, sondern in der Regel mittels Apps, Online-Portalen oder automatisierten Sensorsignalen über den Bedarf einer Entsorgung auf Abruf informiert. Die KI-Anwendungen übermitteln und



Zugangskontrolle mit Solarpanel, Quelle: newwaste

analysieren die generierten Daten in Echtzeit und ermöglichen so die Integration der Entsorgung on demand in die aktuelle Tourenplanung. KI-Algorithmen berücksichtigen dabei Faktoren wie Fahrzeugkapazitäten, aktuelle Auslastung, Verkehrsaufkommen, Entfernungen, Zeitfenster sowie betriebliche Restriktionen. So entstehen effizient optimierte Routen, die eine hohe Auslastung der Fahrzeuge bei gleichzeitig minimierten Fahrtstrecken ermöglichen. Zudem werden die Kundinnen und Kunden direkt über den Leerungs- oder Wechseltermin eines Abfallsammelbehälters in der genutzten App oder mittels automatischer E-Mail informiert.

Ein weiterer Anwendungsfall neben der Meldung bereits vollständig gefüllter Container ist die Prognose von Füllständen. Auf Basis von Sensordaten, historischen Entleerungsinformationen, saisonalen Schwankungen und standortspezifischen Nutzungsprofilen kann KI den Zeitpunkt prognostizieren, zu dem ein Container voraussichtlich voll sein wird. Dadurch müssen Container nicht mehr ausschließlich turnusmäßig angefahren werden, sondern werden gezielt dann geleert, wenn tatsächlich Bedarf besteht. Dies reduziert Leerfahrten und die damit verbundenen CO₂-Emissionen, vermeidet Überfüllungen der Container und verbessert gleichzeitig die Stadtsauberkeit.

Technische Vorkehrungen für eine effiziente und sichere Entsorgungslogistik

In der Entsorgungslogistik tragen technische Assistenzsysteme, wie etwa Rechtsabbiege- oder Rückfahrassistenten, zu einer Erhöhung der Sicherheit bei. Regulatorische Vorgaben dazu macht die EU-General-Safety-Regulation (GSR II). Inzwischen zählen diese technischen Vorkehrungen bereits zur Stan-

dardausstattung von Abfallsammelfahrzeugen. Ihre Vorteile liegen vor allem darin, dass Personen, Hindernisse oder Gefahrenquellen frühzeitig durch Kamera- und/oder Sensorsysteme erkannt werden. Auf diese Weise kann die Fahrerin oder der Fahrer des Abfallsammelfahrzeuges durch das System rechtzeitig vor der Gefährdung gewarnt werden. Je nach eingesetztem System unterscheidet sich auch deren Automatisierungsgrad. In einigen Fällen wird etwa nicht nur vor der potentiellen Gefahr gewarnt, sondern auch automatisch ein Bremsvorgang ausgelöst.

Technologische Systeme zur Störstofferkennung

Zur Identifikation von Fremdstoffen, vor allem in der Biotonne, unmittelbar vor der Behälterleerung wird bereits seit den 1990er Jahren ein Metalldetektionssystem eingesetzt. Das System wurde inzwischen durch Digitalisierungselemente modernisiert und der Funktionsumfang erweitert. Verschiedene Hersteller haben Bilderkennungsverfahren unter Nutzung von KI zur Erkennung von Fremdstoffeinträgen in der Biotonne bis zur Marktreife entwickelt. Je nach System erfolgt eine Überprüfung der sichtbaren Oberfläche des im Behälter befindlichen Bioabfalls oder eine Analyse des in die Schüttungswanne des Sammelfahrzeugs entleerten Materials. Auch die Überprüfung der Bioabfallqualität durch die Analyse des fallenden Stroms während der Behälterleerung ist inzwischen möglich. Durch die Analyse dieser Daten können Abfallwirtschaftsbetriebe interne Analysen und Auswertungen durchführen, um beispielsweise gezieltere Öffentlichkeitsarbeit zu betreiben. Wenn die Biotonnen bereits gechipt und somit in ein Identifikationssystem eingepflegt sind, lässt sich zudem eine direkte Rückmeldung bezüglich der Trennqualität an die Nutzerinnen und Nutzer des Behälters geben. Ein weiterer Anwendungsfall für Detektionssysteme ist das Erkennen von Erhitzungs- und Brandrisiken.

Innovative Entwicklung von Quartieren

Innerhalb der Quartiersplanung werden derzeit insbesondere smarte und klimafreundliche Entsorgungskonzeptionen entwickelt und umgesetzt. Hierbei stehen neben komfortablen und haushaltsnahen Entsorgungsmöglichkeiten auch verstärkt Aspekte der Nachhaltigkeit und Klimafolgenanpassung im urbanen Raum im Fokus. Die Kreislaufwirtschaft, Ressourcenschonung sowie Umweltschutz werden innerhalb der Konzeptionen mitgedacht. Doch auch Entwicklungen aus den Bereichen Digitalisierung, nachhaltige Mobilität, der Wertewandel in der Gesellschaft und Konsumtrends, wie die wachsende Sharing Economy, finden ebenfalls Berücksichtigung in der Planung.

Für die haushaltsnahe Getrennterfassung der Abfälle und Wertstoffe werden immer häufiger Unterflurcontainer mit Nutzererkennung und Füllgradsensoren für eine bedarfsorientierte Anfahrt der Standorte eingesetzt. Damit kann eine effiziente Entsorgungslogistik sichergestellt und eine Reduzierung an

LKW-Bewegungen im Quartier erreicht werden. Sie beeinflussen jedoch die Betriebs- und Kostenmodelle weshalb die Gebühren-/Entgeltlogik mitzudenken ist. Formen von Mikro-Logistik für die Einsammlung der Abfälle und Wertstoffe bieten Potenziale zur Verknüpfung von Ver- und Entsorgungsdienstleistungen.

In den Quartieren werden durch Mini-Wertstoffhöfe oder Hubs zusätzliche Ver- und Entsorgungsangebote für die Bewohnerinnen und Bewohner geschaffen, die zum Teil auch 24/7 nutzbar sind. Je nach Ausgestaltung können diese Anlaufstellen auch weitere Elemente einer innovativen Quartierskonzeption enthalten und dabei z. B. Abfallvermeidung und Bewusstseinsbildung adressieren. Digitale Plattformen ergänzen die Konzeptionen und dienen als Basis, um über vielfältige Themen rund um die Circular Economy zu informieren, aber auch, um Menschen zusammenzubringen und in ihrer Gemeinschaft zu stärken.

Die Realisierung innovativer und nachhaltiger Konzepte erfordert eine frühzeitige Berücksichtigung dieser Aspekte bereits in den ersten Planungsschritten sowie eine enge Zusammenarbeit mit Investoren, Eigentümern und Mietern. Die Einbindung der Bevölkerung durch Informations- und Gesprächsrunden kann frühzeitig offene Fragen klären oder Bedenken ausräumen.

Künftige Herausforderungen

Die Entsorgungslogistik steht auch zukünftig vor neuen Herausforderungen, insbesondere durch die Verdichtung urbaner Räume und veränderte Verkehrskonzepte. Einschränkungen für den motorisierten Verkehr, etwa durch geschützte Radfahrstreifen oder verkehrsberuhigte Quartiere, erfordern angepasste Tourenplanungen und neue Sammelkonzepte. In ländlichen und städtischen Räumen mit geringerer Verdichtung werden durch demografische Entwicklungen angepasste und auch neue Formen von Serviceleistungen erforderlich.



Standort für Unterflurcontainer, Quelle: ASP Paderborn

Der Maschinen- und Anlagenbau - ein zentraler Innovationstreiber der Kreislaufwirtschaft

Der Maschinen- und Anlagenbau entwickelt die Sortier-, Aufbereitungs- und Recyclingtechnik, die über zukünftige technische Möglichkeiten entscheidet. Digitalisierung, Sensorik, Automatisierung und KI verändern dabei sowohl einzelne Anlagen als auch ganze Wertschöpfungsketten. Moderne Systeme integrieren zunehmend mechatronische, datenbasierte und KI-gestützte Komponenten und ermöglichen neue Geschäftsmodelle wie digitale Zwillinge oder datenbasierte Services.

Regulatorische Anforderungen – etwa strengere Fremdstoffgrenzen – erhöhen den Bedarf an präziser Sortier- und Aufbereitungstechnik, etwa NIR-Erkennung im Kunststoffrecycling oder KI-gestützter Brandprävention. Gleichzeitig wächst der globale Innovationsdruck, insbesondere durch steigende Patentaktivitäten in Asien. Hersteller stehen vor Herausforderungen wie komplexerer Technik, Rohstoffpreisvolatilität, Fachkräftemangel und Vorgaben wie dem EU AI Act. Der Maschinen- und Anlagenbau bildet das technische Rückgrat der künftigen Kreislaufwirtschaft.

3.2.2 Sortierung/Aufbereitung

Die Sortierung und Aufbereitung von Abfällen und Wertstoffen ist ein zentraler Baustein der Kreislaufwirtschaft. Aufgrund sich verändernder Materialzusammensetzungen und Anforderungen werden Sortier- und Aufbereitungsprozesse kontinuierlich weiterentwickelt. Ziel ist die Erzeugung sortenreiner Stoffströme bei gleichzeitiger Gewährleistung von Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit. Der Einsatz von KI und digitalen Technologien leistet hierbei einen zunehmend wichtigen Beitrag. Neben der Trennschärfe ist die reproduzierbare Qualitätsfähigkeit entscheidend, u. a. durch Spezifikationen, Stichprobenkonzepte und dokumentierte Qualitätsprüfungen. Standards und Datenformate (z. B. für Material- und Chargeninformationen) erleichtern zudem die Vermarktung und Nutzung von Sekundärrohstoffen.

Einsatz von KI zur Optimierung von Sortierprozessen

Im Zuge der digitalen Transformation der Kreislaufwirtschaft werden KI-basierte Anwendungen zunehmend in Sortier- und Aufbereitungsanlagen erprobt und eingesetzt. Die sortenreine Trennung von Materialströmen bildet den Kernprozess von Sortieranlagen und basiert bereits heute auf etablierten Sensorsystemen zur Materialerkennung. KI findet in diesem Bereich zunehmend Anwendung als ergänzende Technologie, insbesondere zur Objekterkennung und zur intelligenten Verknüpfung verschiedener Sensordaten. Durch selbstlernende Algorithmen



Reinigung von Unterflurbehältern, Quelle: Breer

men können die Systeme kontinuierlich aus neuen Daten lernen und ihre Sortierentscheidungen fortlaufend anpassen. Dies erhöht die Sortiergenauigkeit, verbessert die Reinheit der erzeugten Wertstofffraktionen und stärkt deren Einsatzfähigkeit als Sekundärrohstoffe.

Ein weiteres Ziel des Einsatzes von KI-gestützten Systemen ist die Verbesserung der Anlagenverfügbarkeit. Moderne Anlagen erfassen mithilfe zahlreicher Sensoren kontinuierlich Betriebsdaten wie Durchsatzmengen, Vibrationen, Temperaturen oder Energieverbräuche. KI-gestützte Analysesysteme können diese Daten in Echtzeit auswerten und Abweichungen vom Normalbetrieb frühzeitig erkennen, so dass potenzielle Störungen identifiziert werden, bevor es zu ungeplanten Stillständen kommt. Dadurch lassen sich Betriebsabläufe stabilisieren sowie Auslastung und Wirtschaftlichkeit der Anlagen erhöhen.

Eng damit verbunden ist der Einsatz KI-basierter Ansätze zur zustandsorientierten Instandhaltung. Während Wartungsmaßnahmen traditionell häufig intervallbasiert oder reaktiv erfolgten, ermöglichen KI-gestützte Systeme eine vorausschauende Wartung („Predictive Maintenance“). Auf Basis historischer und aktueller Betriebsdaten werden Verschleißmuster erkannt und optimale Zeitpunkte für Wartungsarbeiten prognostiziert. Dies erlaubt eine gezieltere Ersatzteilplanung, vermeidet unnötige Eingriffe und reduziert sowohl Wartungskosten als auch Folgeschäden, was die Lebensdauer der Anlagentechnik verlängert.

Erweiterter Brandschutz in Entsorgungsbetrieben und Recyclinganlagen

Gemäß Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft e.V. (BDE) kommt es in Deutschland jährlich zu mehr als 10.000 Bränden in Abfallsortieranlagen, die überwiegend auf falsch entsorgte Lithium-Ionen-Batterien und -Akkumulatoren zurückzuführen sind.

Um dieser Gefahr präventiv zu begegnen, wird KI beginnend auch im Brandschutz von Sortier- und Aufbereitungsanlagen eingesetzt. KI-gestützte Kamera- und Sensorsysteme im Behandlungsprozess ermöglichen die frühzeitige Detektion potenziell brandgefährlicher Abfälle im Materialstrom und deren gezielte Ausschleusung, bevor es zu kritischen Zuständen kommt. Die Erkennung erfolgt unter anderem anhand charakteristischer Objektmerkmale oder materialspezifischer Eigenheiten. Auf diese Weise kann KI einen wesentlichen Beitrag zur vorbeugenden Brandvermeidung und zur Reduzierung des Brandrisikos in Sortieranlagen leisten.

Davon klar abzugrenzen ist der Einsatz KI-gestützter Systeme zur Brandfrüherkennung und automatisierten Brandbekämpfung im laufenden Anlagenbetrieb. Hierzu werden fest installierte Überwachungssysteme eingesetzt, die mithilfe von Infrarotkameras und KI-basierter Auswertung kontinuierlich die Temperaturentwicklung innerhalb der Anlage überwachen. Abhängig vom Anlagentyp sowie von den verarbeiteten Stoffströmen werden anlagenspezifische Temperatur- und Alarmgrenzwerte definiert. Bei Überschreitung dieser Grenzwerte werden automatisch technische Maßnahmen eingeleitet, darunter Warnmeldungen, sicherheitsrelevante Anlagenabschaltungen sowie die Aktivierung stationärer Löschanlagen, etwa Wasserwerferanlagen oder automatischer Schaumlöschsysteme. Ergänzend kann in kritischen Situationen eine automatisierte Echtzeitmeldung an die zuständige Feuerwehr erfolgen, sofern entsprechende Schnittstellen vorhanden sind.

Vorsortierung von Restabfällen und weitergehende Kunststoffaufbereitung

Viele Unternehmen aus der Entsorgungsbranche verfolgen weiterhin das Ziel, Abfallgemische, die bislang ohne weitergehende Sortierung direkt der energetischen Verwertung zugeführt wurden, einer Aufbereitung zu unterziehen. Dies betrifft insbesondere Restabfälle sowie gemischte Kunststofffraktionen aus LVP-Sortieranlagen, die als technisch oder wirtschaftlich schwer verwertbar gelten. Durch eine erweiterte Vorsortierung sollen aus diesen Abfallströmen verstärkt bestimmte Kunststoffe abgetrennt und einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Begünstigt wird diese Entwicklung durch die steigende Nachfrage nach Recyclingkunststoffen sowie durch regulatorische Rahmenbedingungen, die die Abtrennung fossiler Anteile aus dem Abfall wirt-

Danger Sort - innovativer Brandschutz in Sortieranlagen

Ein Beispiel für den präventiven Einsatz von Künstlicher Intelligenz zur Brandvermeidung in LVP-Sortieranlagen ist das KI-gestützte Röntgensortiersystem „Danger Sort“. Das System wurde vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS im Rahmen des Projekts „KI-gestützte Optimierung der Kreislaufführung von Kunststoffverpackungen (K3I-Cycling)“ entwickelt, um brandgefährliche Lithium-Ionen-Batterien frühzeitig aus dem Verpackungsabfallstrom zu entfernen und Personen- sowie Sachschäden zu reduzieren.

Seit Juni 2025 wird Danger Sort in einer LVP-Sortieranlage des Entsorgungsunternehmens Lobbe in Iserlohn erprobt. Ziel ist die Detektion und Ausschleusung falsch entsorgter Lithium-Ionen-Batterien, wie sie zunehmend in Elektrogeräten verbaut sind, direkt im laufenden Sortierprozess, ohne den Anlagen-durchsatz zu beeinträchtigen.

Das System (siehe Abbildung unten) kombiniert einen Röntgendetektor mit einer KI-gestützten Echtzeitanalyse der Bilddaten. Erkannte Gefahrenobjekte werden mithilfe gezielter Luftstöße aus Präzisionsdüsen in einen separaten Sammelbehälter ausgeschleust.

Die KI wird fortlaufend weitertrainiert. Bereits in der Testphase erreichte Danger Sort eine Ausbringungsquote von über 90 Prozent bei der Erkennung entsprechender Fehlwürfe. Neben der Verbesserung des vorbeugenden Brandschutzes trägt das System zur erhöhten getrennten Erfassung von Abfällen und Wertstoffen im nachgelagerten Sortierprozess bei. Die Weiterentwicklung erfolgt im Rahmen von K3I-Cycling und dem KI-Anwendungshub Kunststoffverpackungen mit Förderung durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt.



Danger Sort in der Lobbe Sortieranlage in Iserlohn, Quelle: Lobbe¹³⁹

schaftlich attraktiver machen. Ziel ist es, den Anteil stofflich verwerteter Materialien zu erhöhen.

3.2.3 Stoffliche Verwertung

Die stoffliche Verwertung ist ein grundlegender Bestandteil der Kreislaufwirtschaft sowie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) und der darin verankerten Abfallhierarchie. Für getrennt erfasste Wertstofffraktionen, z. B. Metalle, Glas oder Papier, ist das Recycling seit Langem etabliert. Zugleich führen sich ändernde gesetzliche Rahmenbedingungen und neue technologische Entwicklungen – insbesondere bei herausfordernden Stoffströmen – zu einer Weiterentwicklung bestehender Verwertungswege und zur Erschließung zusätzlicher Potenziale.

Verwertung von Bioabfällen

Derzeit ist ein zunehmender Trend zum Ausbau von Vergärungsanlagen zu beobachten, da dieser Verwertungsweg dem Prinzip der Kaskadennutzung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) entspricht. Durch die Kombination aus energetischer Nutzung des erzeugten Biogases und der stofflichen Verwertung der anfallenden Gärreste werden sowohl der Energiegehalt als auch die Nährstoffe der Abfälle genutzt. Besonders geeignet für die Vergärung sind leicht abbaubare Bio- und Küchenabfälle mit hohem Fett- und Feuchtigkeitsgehalt, da sie eine hohe Biogasausbeute ermöglichen.

Das bei der Vergärung entstehende Biogas wird bislang vielfach in Blockheizkraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt. Alternativ ermöglicht die Aufbereitung zu Biomethan eine standortunabhängige Nutzung, z. B. durch Einspeisung in das Erdgasnetz. In einzelnen Abfallwirtschaftsbetrieben ersetzt Biomethan bereits fossile Dieselmotortreibstoffe beim Betrieb von Abfallsammelfahrzeugen.

Um Bioabfälle einer hochwertigen Verwertung zuführen zu können, ist eine hohe Qualität der getrennten Erfassung erforderlich. Zur Verbesserung der Qualitätssicherung sieht die sogenannte „kleine Novellierung“ der Bioabfallverordnung (BioAbfV), die seit dem 1. Mai 2025 vollständig in Kraft ist, präzisere Kontrollvorgaben vor. Bundesweit gelten seither verschärfte Kontrollwerte für Fremdstoffe in Bioabfällen. Anlagenbetreiber erhalten zudem ein Rückweisungsrecht für Abfälle, die diese Kontrollwerte überschreiten.

Der neue Rechtsrahmen sieht vor, dass Anlagenbetreiber bei Bioabfällen, deren Fremdstoffanteil den Kontrollwert von 3 % überschreitet, die Abfälle zurückweisen. Werden die Abfälle dennoch angenommen, ist vor der biologischen Behandlungsstufe, z. B. durch eine geeignete Fremdstoffentfrachtung, sicherzustellen, dass der Kontrollwert für Kunststoffe eingehalten wird. Ziel der verschärften Anforderungen ist es, den Eintrag von Fremdstoffen – insbesondere

<https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-15940/367267431>





Kompostwender, Quelle: REMONDIS

¹⁴⁰ https://plasticseurope.org/de/wp-content/uploads/sites/3/2022/11/Kurzfassung_Stoffstrombild_2021.pdf



¹⁴¹ <https://www.bkv-gmbh.de/files/bkv/studien/251210%20Kurzfassung%20Studie%20Chemisches%20Recycling%20in%20DE.pdf>



von Kunststoffen und Mikroplastik – in die Umwelt zu reduzieren, etwa beim Einsatz von Kompost in der Landwirtschaft. Vor diesem Hintergrund werden in einzelnen Anlagen derzeit Pilotprojekte zur Fremdstofferkennung und -aussortierung erprobt oder vorbereitet.

Recycling von Kunststoffen

Das werkstoffliche (mechanische) Recycling ist mit großem Abstand die mengenmäßig bedeutendste Technologie zur stofflichen Verwertung kunststoffhaltiger Post-Consumer-Abfälle in Deutschland und bildet damit das Rückgrat des Kunststoffrecyclings.

Chemisches Recycling von Kunststoffabfällen befindet sich in Deutschland weiterhin überwiegend im Pilot-, Demonstrations- und frühen Industriemaßstab, zeigt jedoch in den vergangenen Jahren eine erkennbare, wenn auch schrittweise Entwicklung. Während die tatsächlich chemisch recycelten Mengen im Jahr 2021 mit rund 3.000 Tonnen noch eine marginale Rolle spielten¹⁴⁰, ist seither ein moderater Ausbau der Anlagenlandschaft zu beobachten. Für das Jahr 2024 wird für Deutschland eine Input-Kapazität von insgesamt rund 30.000 Tonnen pro Jahr in Anlagen zum chemischen Recycling ausgewiesen, wovon etwa 10.000 Tonnen auf kunststoffhaltige Abfälle entfallen. Damit hat sich die potenzielle Verarbeitungskapazität innerhalb weniger Jahre deutlich erhöht, bleibt jedoch gemessen an einem jährlichen Kunststoffabfallaufkommen von mehreren Millionen Tonnen weiterhin sehr gering.¹⁴¹

Technologisch wird die Entwicklung derzeit klar von pyrolysebasierten Verfahren geprägt, die den überwiegenden Anteil der vorhandenen Kapazitäten ausmachen. Andere chemische Recyclingverfahren spielen im praktischen Anlagenbetrieb bislang eine untergeordnete Rolle und werden überwiegend im

Forschungs- oder Pilotmaßstab untersucht. Entsprechend sind ihre derzeitigen Beiträge zur tatsächlichen Abfallverwertung noch sehr begrenzt.

Systemisch wird chemisches Recycling in Deutschland zunehmend als ergänzende Option zur mechanischen Verwertung eingeordnet, nicht als deren Ersatz. Die Entwicklung der vergangenen Jahre deutet darauf hin, dass chemische Verfahren vor allem dort zum Einsatz kommen sollen, wo mechanische Recyclingpfade an technische Grenzen stoßen. Gleichzeitig bestehen weiterhin Herausforderungen, etwa hinsichtlich Energiebedarf, Inputqualität, Prozessstabilität und regulatorischer Einordnung der erzeugten Produkte.

EU-Verpackungsverordnung (PPWR) und Einordnung des Verpackungsgesetzes

Mit dem Inkrafttreten der EU-Verpackungsverordnung (Packaging and Packaging Waste Regulation, PPWR) im Februar 2025 und ihrer schrittweisen Anwendbarkeit ab August 2026 wird das Verpackungsrecht in der Europäischen Union stärker harmonisiert. Die PPWR definiert unionsweit einheitliche und unmittelbar geltende Anforderungen an Verpackungen und Verpackungsabfälle, insbesondere in Bezug auf Recyclingfähigkeit, Abfallvermeidung, Rezyklateinsatz sowie Design- und Kennzeichnungsvorgaben. Das deutsche Verpackungsgesetz (VerpackG) bleibt weiterhin der maßgebliche nationale Rahmen für die Organisation der getrennten Erfassung, Sortierung und Verwertung von Verpackungsabfällen; die darin festgelegten Mindestrecyclingquoten für die haushaltsnahe Erfassung gelten bis zur Anpassung des VerpackG an die PPWR fort, darunter 63 % für Kunststoffverpackungen sowie jeweils 90 % für Verpackungen aus Metall, Glas sowie Papier, Pappe und Kartonagen, die bei den dualen Systemen lizenziert sind. Perspektivisch ist jedoch davon auszuge-

hen, dass nationale Regelungen durch die Vorgaben der PPWR ergänzt und teilweise überlagert werden, da der regulatorische Schwerpunkt zunehmend von mengenbezogenen Quoten hin zu verbindlichen produktbezogenen Anforderungen entlang des gesamten Lebenszyklus von Verpackungen verlagert wird.

Reraffination von Altöl

Die Reraffination von Altöl ist ein industrieller Prozess, bei dem gebrauchte Schmieröle zu hochwertigen Basisölen aufbereitet und erneut in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Nach der sortenreinen Sammlung und Eingangsanalyse werden Wasser und leichte Bestandteile durch Destillation entfernt, bevor das Altöl mittels mehrerer Vakuumverdampfungsschritte in verschiedene Fraktionen getrennt wird. Anschließend folgt je nach Technologie ein zentraler Reinigungsschritt: Dabei werden beispielsweise über ein Lösungsmittel unerwünschte Schadstoffe extrahiert und gleichzeitig wertvolle Ölbestandteile erhalten. Ein weiteres Verfahren beinhaltet die Wasserstoffbehandlung, bei der unter hohem Druck und mit Katalysatoren Verunreinigungen entfernt und hochwertige Basisöle der Gruppen II bis III+ erzeugt werden. Die Reraffination von Altölen ermöglicht die Herstellung neuwertiger Basisöle, die mindestens gleichwertig mit Ölen aus der Primärproduktion sind, und reduziert den Bedarf an Rohöl, da aus Altöl erneut marktfähige Schmierstoffgrundstoffe gewonnen werden. Dabei können je eingesetzter Tonne recyceltes Basisöl bis zu 1.530 kg CO₂ äq.¹⁴² im Vergleich zu Basisöl aus der Primäraffini-

ation gespart werden. Die Herstellung von Basisölen aus Gebrauchtöl statt aus Rohöl reduziert zudem den Energiebedarf, die Feinstaubbelastung und das Versauerungspotential um jeweils mindestens 90 %. In Zeiten fragiler fossiler Lieferketten stellt die Altölaufbereitung verlässlich und nachhaltig Versorgungssicherheit her.

3.2.4 Energetische Verwertung

Die thermische Abfallbehandlung ist ein fester Bestandteil der deutschen und europäischen Entsorgungsinfrastruktur. Die rund 100 thermischen Abfallbehandlungsanlagen (TAB: Müllverbrennungsanlagen und Ersatzbrennstoffkraftwerke) und etwa 45 Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlungsanlagen tragen wesentlich zur Funktionsfähigkeit der Kreislaufwirtschaft bei. Sie leisten unter anderem durch die Erzeugung von Ersatzbrennstoffen, Strom sowie Fernwärme oder Prozessdampf einen Beitrag zur Substitution fossiler Primärenergieträger und damit zum Klimaschutz. Darüber hinaus tragen sie zum Ressourcenschutz bei, indem Metalle und mineralische Fraktionen aus Verbrennungsrückständen zurückgewonnen und als Ersatzbaustoffe genutzt werden. Als Schadstoffsенke erfüllt sie zudem eine zentrale Funktion für die Kreislaufführung von Rohstoffen, etwa durch die sichere energetische Verwertung schadstoffbelasteter Sortierreste, bei der Schadstoffe zerstört oder gezielt abgeschieden werden.

 <https://www.avista-oil.de/nachhaltigkeit/technologie/>



Restmüllverbrennungsanlage, Quelle: AVG Köln

Was kostet die Kreislaufwirtschaft für die Bürgerinnen und Bürger?

¹⁴³ siehe dazu: Struktur der Konsumausgaben in den Gebietsständen - Statistisches Bundesamt

Der Leistungsumfang der Kreislaufwirtschaft für die überlassungspflichtigen Abfälle aus Haushaltungen ist durch die hohen Standards für die Behandlung der Abfälle und die Kreislaufführung der Rohstoffe sehr umfangreich: Abfallsammlung mit hohem Servicegrad, getrennte Sammlung von Wertstoffen, Herstellung von Rezyklaten, Kompostierung und Vergärung mit Energiegewinnung, Restmüll- und Sperrmüllentsorgung über Sortier-, Behandlungs- und Verbrennungsanlagen, Entsorgung von Schadstoffkleinmengen, Abfallberatung und vieles mehr.

Die Gebühren für die Abfallentsorgung unterliegen in vielen Städten und Landkreisen oftmals intensiven



Sammlung mit Hecklader, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

kommunalpolitischen Diskussionen. Dabei stehen häufig Aspekte wie Rechtssicherheit, Gebührengerechtigkeit, Demografiefestigkeit, Kostendeckung, Stadtsauberkeit, Anreize zur Abfallvermeidung und zur getrennten Sammlung, Transparenz der Ausgaben und die Sozialverträglichkeit im Fokus.

Der rechtliche Rahmen ergibt sich insbesondere aus den Kommunalabgabengesetzen der Bundesländer in Verbindung mit den Landesabfallgesetzen. Unterschiedliche Systeme und unterschiedliche Erfahrungen in den Kommunen zeigen aber, dass es nicht die „eine“ Gebührenstruktur gibt, die für alle Kommunen gleichermaßen passt, sondern, dass jeweils auf Basis der örtlichen Rahmenbedingungen ein System entwickelt werden muss.

In Anbetracht des hohen Aufwandes und insbesondere im Vergleich zu sonstigen Ausgaben der Privathaushalte liegen die durchschnittlichen Kosten der privaten Haushalte für die Abfallentsorgung nach Berechnungen des INFA mit etwa 70 – 120 € je Ein-

wohner und Jahr deutlich unter dem, was gemeinhin vermutet wird:¹⁴³ Nach Umfragen des INFA werden die kommunalen Gebühren von den Bürgerinnen und Bürgern bis zu fünf Mal so hoch eingeschätzt, wie sie in den jeweiligen Kommunen tatsächlich sind.

Die mittleren Kosten der privaten Haushalte für die Abfallentsorgung liegen in den meisten Regionen Deutschlands deutlich unter 10€ pro Person und Monat – oder weniger als eine Zigarette oder ein Brötchen am Tag.

Die Abfallgebühren setzen sich insgesamt aus drei verschiedenen Positionen zusammen:

- ▶ Kosten für die Sammlung und den Transport: **ca. 30%**
- ▶ Kosten für die Abfallbehandlung und -entsorgung: **ca. 60%**
- ▶ Kosten für die Organisation und die Verwaltung: **ca. 10%**

Kostensteigerungen sind für die Branche aus verschiedenen Gründen zu erwarten. Das Leistungsspektrum hat sich auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft mit der fünfstufigen Abfallhierarchie und zunehmenden Verpflichtungen in den Bereichen Abfallvermeidung und Wiederverwendung sowie getrennter Wertstoffsammlung und Recycling deutlich ausgeweitet. Zudem steigen die Kosten aufgrund höherer Energiekosten und auch höherer Umweltstandards (u. a. Umrüstung des Fuhrparks auf alternative Antriebe, Mehraufwand durch mehr baulich getrennte Radwege, steigende Verbrennungskosten infolge des Brennstoffemissionshandels seit 2024).

Permanent werden Anstrengungen unternommen, die Kosten und Gebührenhöhen unter Gewährleistung hoher Qualitäts- und Servicestandards zu reduzieren. Bei entsprechenden Reduzierungsoptionen (häufig verbunden mit einer Reduzierung des Servicegrades wie der Verlängerung der Leerungsrhythmen oder der Umstellung von Voll- auf Teilservice) wird den Entscheidungsträgern häufig deutlich, dass die Reduzierungspotenziale in € je Einwohner und Jahr vergleichsweise gering sind. Zudem können reduzierte Leerungsrhythmen zu Qualitäts- und Hygiene-problemen führen. Im Vergleich zu den Fixkosten sind die variablen Kosten relativ gering. Zu den Fixkosten, die in der Abfallwirtschaft bei bis zu 80% liegen, zählen zum Beispiel ein Großteil der Personalkosten und Abschreibungen. Je nach Vertragslage können auch die Entsorgungskosten als Fixkosten gelten. Eine Reduzierung der variablen Kosten (bspw. Treibstoff und Betriebsmittel, Leiharbeiter) würde sich dementsprechend gering auf die Gesamt-Gebührenhöhe auswirken (z. B. 30 Cent je Einwohner und Monat bei einem Fixkostenanteil von 80% und Reduzierung der variablen Kosten um 20%). Aufgrund dieser relativ geringen spezifischen Auswirkungen auf die Gebührenhöhe wird (häufig) von Seiten der

kommunalen Abfallwirtschaftsbetriebe Abstand von Maßnahmen genommen, die auf der einen Seite zwar Einsparpotenziale bieten, auf der anderen Seite jedoch zu einer Serviceverschlechterung für die Gebührenzahler führen oder andere Ziele, wie die Stadtsauberkeit, konterkarieren.

Finanzielle Anreize mit dem Ziel, Gebühren reduzieren zu können, haben bei den Bürgerinnen und Bürgern in der Regel den Effekt, kleinere Restmüllbehälter zu nutzen oder diese seltener entleeren zu lassen. Hier ist die Berücksichtigung einer Untergrenze (angemessenes Mindestbehältervolumen) sinnvoll und rechtlich möglich. Zu geringe Restmüllbehältervolumen führen zu Fehlwürfen, bspw. in der Bio- tonne, und zu steigenden Sperrmüll- und Litteringemengen.

Eine Herausforderung bei dem Ziel einer stabilen Gebührengestaltung sind steigende Kosten. Gleichzeitig führen erfolgreiche Maßnahmen der Abfallvermeidung indes u. a. zu kleineren Abfallbehältern, welche aber wiederum die Haupteinnahmesäule der meisten Betriebe darstellen. Um einer daraus folgenden Spirale von Gebührenerhöhungen entgegenzuwirken, verfügen viele Betriebe über Gebührenmodelle mit Grund- und Leistungsgebühren, wodurch die örtlichen Kostenstrukturen besser widerspiegelt werden. Über die Grundgebühr erfolgt eine Beteiligung aller Gebührenschuldner an den Vorhaltekosten der abfallwirtschaftlichen Leistungen, unabhängig von der genutzten Behältergröße. Dadurch werden eine gerechtere Kostenverteilung sowie auch eine höhere Kostendeckungssicherheit und damit Gebührenstabilität erreicht.

Die kommunalen Abfallgebühren decken die Kosten für die Sammlung, den Transport und die Entsorgung sämtlicher Haushaltsabfälle, mit Ausnahme der Verpackungen, also z. B. für Restabfall, Sperrmüll, Bioabfall sowie sonstige (Nichtverpackungs-)Wertstoffe. Die Kosten für die Sammlung, den Transport und die Verwertung von Verpackungsabfällen (Leichtverpackungen aus gelbem Sack bzw. Behälter, Pappen und Kartonagen, Behälterglas) werden über so genannte „Beteiligungsentgelte“ gedeckt, die vom Hersteller für jede einzelne Verpackung an die Dualen Systeme zu entrichten sind und die Verbraucher bereits beim Kauf des Produktes/der Verpackung bezahlen. Im Jahr 2022 wurden rund 6,4 Millionen Tonnen Verpackungen lizenziert, darunter 2,3 Millionen Tonnen Glas, 2,3 Millionen Tonnen PPK und 1,8 Millionen Tonnen LVP.

An Lizenzentgelten haben die Dualen Systeme im Jahr 2022 nach unseren Hochrechnungen insgesamt rund 1,5 Milliarden € eingenommen, das bedeutet, dass den Bürgerinnen und Bürgern für die Bewirtschaftung ihrer Verpackungsabfälle zusätzlich zu den Abfallgebühren Kosten von rund 17,4€ pro Jahr bzw. rund 1,5€ pro Monat entstehen.

Betriebskostenspiegel (Wohnungsgröße: 94 m²)



* Kosten für Gebäudereinigung bzw. Gartenpflege oder Winterdienst werden separat abgerechnet

Abb. 75, Quelle: : Betriebskostenspiegel - Deutscher Mieterbund

Weiter Kosten des täglichen Lebens: (in Euro pro Monat)

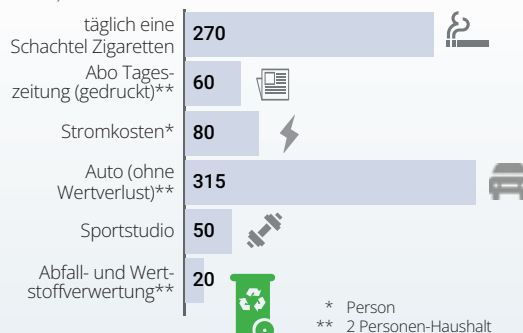


Abb. 76, Quelle: Google KI



Bunker der Restmüllverbrennungsanlage Köln, Quelle: AVG Köln

Im Jahr 2024 wurden von den Mitgliedsanlagen der Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. (ITAD) (entspricht 95 % der bundesdeutschen Behandlungskapazität) rund 26 Millionen Megawattstunden (MWh) Wärme und Prozessdampf abgegeben. Die TAB sind häufig der Haupteinspeiser in die regionalen Fernwärmesysteme. Neben der Wärme wurden weitere 10,5 Millionen MWh Strom von den ITAD-Mitgliedsanlagen produziert und davon 8,0 Millionen MWh ins öffentliche Netz eingespeist. Das entspricht dem durchschnittlichen Strombedarf von rund 2,5 Millionen Haushalten.

CO₂-Abscheidung

Vor dem Hintergrund des Klimaneutralitätsziels rückt die Abscheidung von Kohlendioxid gerade bei der thermischen Abfallbehandlung zunehmend in den Fokus. Die entsprechenden Ansätze werden unter den Begriffen Carbon Capture and Utilization (CCU) sowie Carbon Capture and Storage (CCS) zusammengefasst.

Für thermische Abfallbehandlungsanlagen werden zurzeit insbesondere CCU-Anwendungen diskutiert, bei dem CO₂ beispielsweise als technisches Gas genutzt, in Gewächshäusern eingesetzt oder als Ausgangsstoff für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe, chemischer Grundstoffe oder mineralischer Baustoffe verwendet wird. Die praktische Umsetzung solcher Ansätze befindet sich derzeit überwiegend im Pilot- und Demonstrationsstadium und wird weiter untersucht.

Zumindest mittelfristig ist CCS zur dauerhaften Minderung unvermeidbarer Restemissionen unverzichtbar. Die hohen Betriebskosten von CCU/S sind ohne Förderung aktuell kaum darstellbar. Mit der Weiterentwicklung des rechtlichen Rahmens, insbesondere durch das Kohlendioxidspeicherungs- und -transportgesetz, die Möglichkeit des CO₂-Exports im London-Protokoll und die Anpassung des Hohe-See-Einbringungsgesetzes wurden die Voraussetzungen für Transport und Speicherung von abgeschiedenem CO₂ geschaffen. Damit eröffnet sich perspektivisch auch für thermische Abfallbehandlungsanlagen die Möglichkeit, CCU- und CCS-Lösungen in integrierte Klimaschutzstrategien einzubinden.

Mit Beginn des Jahres 2026 startete die Stadtreinigung Hamburg (SRH) ein Pilotprojekt zur Erprobung der CO₂-Abscheidung und -Nutzung an der Müllverwertungsanlage am Rugenberger Damm. Ziel des Praxistests ist es, im Rahmen eines Reallabors belastbare Betriebs- und Umweltdaten zu gewinnen, um die technische Umsetzbarkeit und Leistungsfähigkeit der CO₂-Abscheidung zu bewerten und deren Übertragbarkeit auf weitere MVA-Standorte zu prüfen. Im Fokus stehen dabei insbesondere die Effizienz und Zuverlässigkeit der CO₂-Abscheidung im Langzeitbetrieb sowie die damit verbundenen Umweltauswirkungen. Entsprechend dem CCU-Ansatz wird zudem untersucht, inwieweit das abgeschiedene CO₂ sinnvoll genutzt und damit Beiträge zur Schließung von Kohlenstoffkreisläufen geleistet werden können, während die Anlage weiterhin Strom, Wärme sowie Prozessdampf für die städtische Energieversorgung erzeugt.

Das Projekt wird wissenschaftlich durch das Institut für Energieverfahrenstechnik und Dynamik in Energiesystemen (IDE) der Universität Stuttgart sowie durch das Hamburger Start-up Colipi begleitet, das sich auf die Verwertung von biogenem CO₂ spezialisiert hat. Auch das Modellprojekt „EEW CaReS Knapsack“ will ausleuchten, welchen betriebswirtschaftlichen Herausforderungen sich die Carbon-Management-Strategie (CMS) in der Realität stellen muss, um CCU/S zu realisieren.¹⁴⁴

Klärschlammmonoverbrennung

Seit dem 1. Januar 2025 gelten in Deutschland infolge der Novellierung der Klärschlammverordnung (Abf-KlärV) neue Rahmenbedingungen für die Verwertung von Klärschlämmen. Zwar bleibt das Phosphorrückgewinnungsgebot weiterhin bestehen, jedoch ist die Mitverbrennung von Klärschlämmen in Anlagen wie etwa Kohlekraftwerken nicht mehr zulässig. Infolgedessen steigt der Bedarf an Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen (KVA). Derzeit befinden sich bundesweit zahlreiche KVA in Planung, im Bau oder sind bereits im Betrieb.

Auch die bodenbezogene Verwertung von Klärschlämmen wird schrittweise eingeschränkt. Ab dem Jahr 2029 dürfen Klärschlämme nur noch aus Abwasserbehandlungsanlagen mit einer Ausbaugröße von bis zu 100.000 Einwohnerwerten bodenbezogen verwertet werden, ab 2032 lediglich noch bis zu 50.000 Einwohnerwerten.¹⁴⁵

Erhebungen des Umweltbundesamtes (UBA) sowie des Verbandes kommunaler Unternehmen e. V. (VKU) zeigen, dass die Klärschlammverbrennung vor dem Hintergrund der rechtlichen Änderungen künftig weiter an Bedeutung gewinnen wird. Insbesondere die Verwertung in Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen wird dabei als zukunftsfähige und ressourcenschonende Option bewertet.¹⁴⁶

Ein Beispiel für eine moderne KVA ist die Anlage der Energy from Waste (EEW) in Stavenhagen, die im Frühjahr 2025 in den Regelbetrieb übergegangen ist. Die dortige Verwertung der Klärschlämme ermöglicht die Rückgewinnung von Phosphor und leistet damit einen Beitrag zum Umwelt- und Ressourcenschutz. Die bei der Verbrennung entstehenden phosphorhaltigen Aschen können anschließend zur Herstellung von Düngemitteln genutzt werden. Darüber hinaus wird die im Verwertungsprozess anfallende Abwärme seit 2026 als Fernwärme für die nachhaltige Energieversorgung der Stadt eingesetzt. Damit soll der Wärmebedarf von rund 2.500 Einwohnerinnen und Einwohnern gedeckt werden, die bereits an das Fernwärmenetz angeschlossen sind. Die Anlage ist für eine jährliche Verwertung von bis zu 160.000 Tonnen Klärschlamm ausgelegt und verfügt über ausreichende Kapazitäten, um perspektivisch den gesamten Klärschlammfall Mecklenburg-Vorpommerns zu behandeln.¹⁴⁷



Der EEW-Standort Stavenhagen mit Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage (li.) und Ersatzbrennstoff-Heizkraftwerk (re.), Quelle: EEW

¹⁴⁴ <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/srh-startet-in-hamburg-pilotprojekt-zur-co2-abscheidung-und-nutzung-020126/>



¹⁴⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/kompost-klaerschlamm#rechtliche-regelungen>



¹⁴⁶ <https://www.vku.de/themen/umwelt/artikel/evaluierung-verfuegbarer-kapazitaeten-thermischer-klaerschlammbehandlung-sowie-zur-phosphorrueckgewinnung/>



¹⁴⁷ <https://www.recyclingmagazin.de/2025/03/25/klaerschlamm-monoverbrennungsanlage-startet-regelbetrieb/>



Rückgewinnung wichtiger Metalle aus den Hausmüllverbrennungssaschen

Im Jahr 2022 haben die Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Hausmüllverbrennungsschlacken (auch bezeichnet als Rostaschen oder Hausmüllverbrennungssaschen (HMV)) (IGAM) und die ITAD zum wiederholten Male aktuelle Zahlen, Daten und Fakten rund um die Aufbereitung und Verwertung von Schlacken aus der thermischen Behandlung von Siedlungs- und Gewerbeabfällen (MVA und EBS-Kraftwerke mit Rostfeuerung) bei ihren Mitgliedern und Nichtmitgliedern abgefragt.

Die bundesweite Datenabfrage zu den relevanten Kenndaten im Bereich der Schlackenaufbereitung umfasste sowohl mineralische Stoffströme als auch die recycelten Metalle. Die Zusammenstellung aktueller und repräsentativer Daten im Rahmen der gemeinsamen Verbändeumfrage diente folgenden Zielen:

- ▶ Darstellung der aktuellen Branchensituation hinsichtlich der Wiederverwertung von HMV-Schlacken in technischen Bauwerken.
- ▶ Darstellung des Beitrags der Metallverwertung aus der Schlackenaufbereitung zur Erfüllung der Recyclingquote für Siedlungsabfälle.

Das Daten-Monitoring fand im Zeitraum Juni 2023 bis Dezember 2023 auf Basis eines branchenspezifischen Fragebogens der Verbände IGAM und ITAD für das Berichtsjahr 2022 statt. An der Umfrage beteiligten sich alle 38 Betreiber von Schlackenaufbereitungsanlagen in Deutschland.

Die ermittelte Frischschlackenmenge lag bei gut 6 Millionen Tonnen und ist im Vergleich zum Jahr 2020 in etwa gleichgeblieben. Nach der Aufbereitung ver-

Entsorgungswege der aufbereiteten HMV-Schlacke 2017 bis 2022

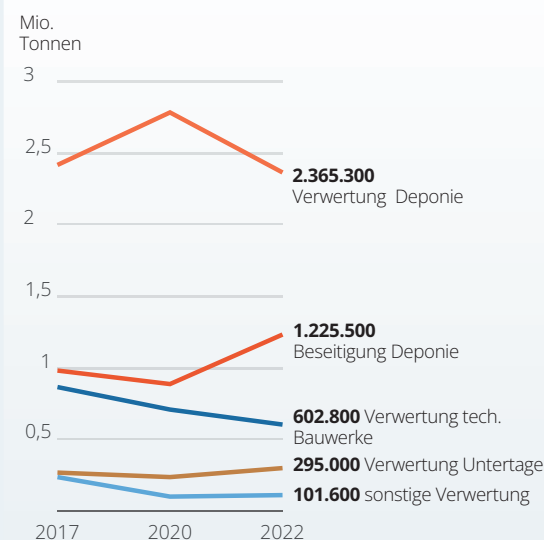


Abb. 78, Quelle: ITAD/IGAM, Umfrage – Aufbereitung von HMV-Schlacken, Datenabfrage 2017/2020/2022

bleiben etwa 76 % bzw. 4,59 Millionen Tonnen Fertigschlacke. Mit 58 % wird der Großteil dieser Schlacken auf Deponien als Ersatzbaustoff verwertet. Dieser Anteil hat seit 2020 um rund 12 % abgenommen. Die Verwendung von Schlacke in technischen Bauwerken lag im Jahr 2022 bei rund 15 %. Stark erhöht hat sich die Beseitigung der Fertigschlacke auf Deponien, welche im Jahr 2022 einen Anteil von 27 % hatte.

Die Gesamtmetallausbeute ist seit dem Jahr 2020 um rund 4 % gesunken. Insgesamt lag die Summe der abgetrennten Metalle bei rund 470.000 Tonnen, das sind rund 8 % der Frischschlacke. Durch die Verwertung von 470.000 Tonnen Metalle ergibt sich für den Klimaschutz eine Gutschrift von rund 1,56 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten.

Schlackeaufbereitung im Überblick, Jahr 2022 (in Tonnen)

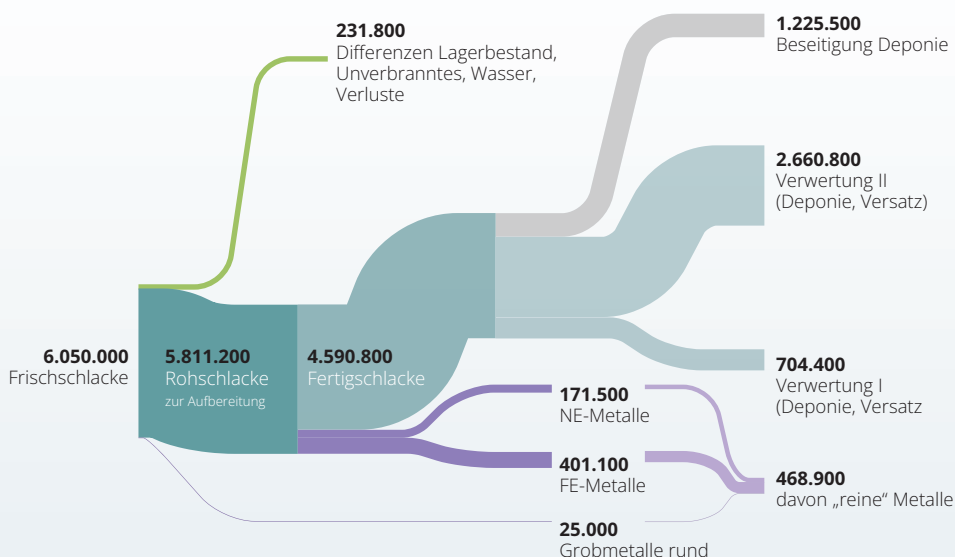


Abb. 77, Quelle: ITAD/IGAM, Umfrage – Aufbereitung von HMV-Schlacken, Stand: 3/2022



Visualisierung des Batteriespeichers in Premnitz, Quelle: EEW

Großbatteriespeicher an Thermischen Abfallbehandlungsanlagen (TAB)

Der Ausbau erneuerbarer Energien erhöht im deutschen Stromsystem den Bedarf an Netzausbau erheblich, um Strom aus dem Norden in die Verbrauchszentren im Süden zu transportieren. Bereits 2022 prognostizierte die Bundesnetzagentur Netzausbaukosten von rund 55 Mrd. € allein auf Ebene der Übertragungsnetze bis 2030¹⁴⁸. Gleichzeitig führen der weitere Zubau erneuerbarer Erzeugungskapazitäten und die schrittweise Abschaltung konventioneller Grundlastkraftwerke zu einer zunehmenden Volatilität der Stromversorgung. In der Folge steigt der Bedarf an zusätzlicher steuerbarer Leistung zur Sicherung der Netzstabilität, während das Stromnetz insgesamt komplexer und störanfälliger wird.

Von dieser Entwicklung profitieren Großbatteriespeicher, verstärkt durch den wachsenden Strombedarf infolge der Elektrifizierung zahlreicher Sektoren sowie das Ziel einer klimaneutralen Stromversorgung bis 2035. Vor diesem Hintergrund wird erwartet, dass bis Ende 2030 zusätzlich rund 9 GWh an Großbatteriespeicherkapazität installiert werden. Bereits im Dezember 2025 waren in Deutschland 3,83 GWh in Betrieb, womit sich die installierte Kapazität innerhalb von fünf Jahren mehr als verdoppelt hat.¹⁴⁹

Begünstigt wird diese Entwicklung durch einen fördernden Rechtsrahmen, deutlich gesunkene Technologiekosten in den vergangenen zehn Jahren sowie zunehmend attraktive Geschäftsmodelle. TAB bieten hierfür günstige Voraussetzungen, da sie häufig über leistungsfähige Netzanschlüsse, bestehende Netzinfrastruktur und geeignete Flächen verfügen. Großbatteriespeicher bei TAB können so einen weiteren Beitrag zur Versorgungssicherheit, beispielsweise durch den Ersatz von Notstromaggregaten und die Stärkung der Schwarzstartfähigkeit, leisten. TAB werden so in ihrer Bedeutung für die Resilienz des Standorts weiter gestärkt.

Gleichzeitig sind mit dem Bau von Großbatteriespeichern regulatorische Unsicherheiten verbunden. So wird die Stromnetzentgeltverordnung zum 31.12.2028 außer Kraft treten und durch eine neue Netzentgelt-systematik ersetzt werden. Zudem plant die Bundesnetzagentur, im Jahr 2026 im Rahmen des AgNES-Verfahrens eine neue Festlegung zur allgemeinen Netzentgeltssystematik zu treffen. Die hierbei vorgesehenen Regelungen für Batteriespeicher dürften maßgeblich Einfluss auf die wirtschaftliche Attraktivität entsprechender Projekte haben.

Einige TAB, unter anderem in Premnitz und Ingolstadt, befinden sich bereits in der Inbetriebnahme entsprechender Speicherlösungen, weitere Projekte sind in Planung.

<https://www.netzausbau.de/Wissen/FragenAntworten/de.html?topic=Netzausbaubedarf>



<https://battery-charts.de/battery-charts-de/#speicherropa>



3.3 Start-ups in der Kreislaufwirtschaft



Innovative Ideen mit Wachstumspotenzial.

Der Boom von Start-ups in der Kreislaufwirtschaft hat auch nach der Corona-Pandemie angehalten. Im Jahr 2025 zählte Deutschland rund 500 Start-ups mit Bezug zur Kreislaufwirtschaft, die insgesamt Fördermittel in Höhe von etwa 5,7 Milliarden Euro erhielten. Die Unternehmen zeichnen sich insbesondere durch eine enge Verzahnung von Forschung und Entwicklung mit etablierten Industriebranchen sowie Gründungs- und Innovationszentren aus.

Die Höhe der gewährten Fördermittel variiert dabei deutlich in Abhängigkeit von der jeweiligen Ausrichtung und Tätigkeit der Start-ups. Während Unternehmen mit einem Schwerpunkt auf reinen Reparaturdienstleistungen tendenziell geringere Fördersummen erhalten, fließen höhere Fördervolumina insbesondere in Start-ups, die innovative Lösungsansätze für strukturelle Herausforderungen der Energie- und Rohstoffwirtschaft entwickeln. Dabei rücken neben

klassischen Nachhaltigkeitszielen zunehmend auch Aspekte der Resilienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette in den Fokus.¹⁵⁰

Im Jahr 2025 konzentrieren sich Innovationen von Start-ups in der Kreislaufwirtschaft insbesondere auf sechs zentrale Handlungsfelder (siehe Abbildung 79).

<https://www.circular-republic.org/insights/press-release-start-up-landkarte-2025/>



Abb. 79, Quelle: Prognos AG

Neue Ideen in der Kreislaufwirtschaft

3.3.1 Initiativen zur Förderung von Start-ups

Aufgrund einer Vielzahl von Förderinitiativen sowie des wachsenden Bedarfs an innovativen Lösungen, weist die Gründungslandschaft im Bereich der Kreislaufwirtschaft in Deutschland seit mehreren Jahren eine hohe Dynamik auf. Neben bundesweiten Förderprogrammen tragen auch Initiativen von Verbänden, wie dem Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU), sowie Unterstützungsangebote auf kommunaler Ebene zur Förderung von Start-ups bei. Nachfolgend werden ausgewählte Beispiele dargestellt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

KI-Leuchttürme für Umwelt, Klima, Natur und Ressourcen

Ziel der Förderinitiative „KI-Leuchttürme für Umwelt, Klima, Natur und Ressourcen“ ist es, den Einsatz künstlicher Intelligenz zur Lösung umwelt- und klimabezogener Fragestellungen zu fördern und zugleich die Digitalisierung voranzubringen. Die Initiative ist Teil der bundesweiten Aktivitäten ‚Künstliche Intelligenz für Umwelt und Klima‘ und wird vom Bundesministerium für Umwelt, Klima, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) umgesetzt. Seit dem Start des Programms im Jahr 2019 wurden mehrere Förderrunden durchgeführt; im Jahr 2024 begann die dritte Förderrunde. Gefördert werden KI-gestützte Anwendungen, die unter anderem zur Klimafolgenanpassung oder zur Minderung von Treibhausgasemissionen beitragen. Das Fördervolumen der aktuellen Runde liegt bei rund 13 Millionen Euro.¹⁵¹

¹⁵¹ <https://www.z-u-g.org/foerderung/ki-leuchttuerme-fuer-umwelt-klima-natur-und-ressourcen/>



¹⁵² https://www.digitale-technologien.de/DT/Navigation/DE/Foerderaerufe/GreenTech_Kreislaufwirtschaft/gt_kreislaufwirtschaft.html



¹⁵³ <https://www.dbu.de/foerderung/green-start-up/>



¹⁵⁴ <https://start-green.net/ueber-start-green/>
<https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2025/04/Green-Start-Up-Report-2025.pdf>



¹⁵⁵ <https://www.kommunal-digital.de/>



¹⁵⁶ <https://techfounders.com/>



GreenTech Innovationswettbewerb

Der Förderaufruf „GreenTech Innovationswettbewerb – Digitale Technologien als Hebel für die Kreislaufwirtschaft“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unterstützt digitale Lösungen, die zentrale Hindernisse auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft abbauen. Gefördert werden Entwicklung und prototypische Erprobung innovativer Ansätze, etwa KI-Systeme, digitale Zwillinge oder der digitale Produktpass. Die Projekte sollen neue Impulse für die digitale Transformation setzen, Wissen und Technologien aus der Forschung in die Wirtschaft – insbesondere in den Mittelstand – transferieren und Spillover-Effekte erzeugen. Der Aufruf ist branchen- und technologieoffen.¹⁵²

Green Start-Up-Förderung der DBU

Die Green Start-Up-Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) richtet sich an Gründerinnen und Gründer innovativer Unternehmen und Geschäftsmodelle, die einen nachweisbaren Beitrag zur Entlastung der Umwelt leisten und zugleich wirtschaftlich tragfähig sind. Neben einer finanziellen Förderung umfasst das Programm auch eine fachliche und ideelle Begleitung. Die Förderung ist auf einen Zeitraum von bis zu zwei Jahren ausgelegt und umfasst Zuschüsse von bis zu 125.000 € pro Start-up

als nicht rückzahlbare De-minimis-Beihilfe. Während der Förderlaufzeit sind Zwischen- und Abschlussberichte vorzulegen.¹⁵³

StartGreen

Das Netzwerk „StartGreen“ zählt zu den zentralen Informations- und Vernetzungsplattformen für grüne Start-ups, Investoren und Gründungsförderer in Deutschland. Es wird vom Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH betrieben und bietet neben Nachrichten und Veranstaltungshinweisen auch eigene Analysen und Publikationen. Hierzu gehören verschiedene Gründungsmonitore, die seit 2013 erschienen sind und aktuell im „Green Start-Up Report“ fortgeführt werden. Der Bericht basiert auf Handelsregisterdaten von Start-ups in der Rechtsform von Kapitalgesellschaften und erfasst nach aktuellen Auswertungen mehrere zehntausend Unternehmensgründungen. Mithilfe eines wissenschaftlich fundierten Bewertungsverfahrens werden diese durch das Borderstep-Institut hinsichtlich ihrer Umwelt- und Klimaschutzrelevanz analysiert und in grüne und nicht-grüne Start-ups eingeordnet. Ergänzend werden Aussagen zu potenziellen Klimawirkungen getroffen.¹⁵⁴

KommunalDigital

Mit der Plattform „KommunalDigital“ hat der Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU) ein digitales Vernetzungsangebot für Akteure der Kommunalwirtschaft geschaffen. Ziel ist es, kommunale Unternehmen, Start-ups, Beratungsunternehmen und weitere Marktteilnehmer zusammenzubringen. Die Plattform umfasst unter anderem Datenbanken zu Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartnern, einen Marktplatz für Produkte und Dienstleistungen sowie einen Projektatlas, der laufende und geplante Projekte kommunaler Unternehmen abbildet und Kooperationsmöglichkeiten eröffnet.¹⁵⁵

TechFounders

Das Accelerator-Programm TechFounders richtet sich an technologieorientierte Start-ups aus unterschiedlichen Anwendungsfeldern. Im Rahmen eines rund 20-wöchigen Programms entwickeln die teilnehmenden Unternehmen ihre Geschäftsmodelle gemeinsam mit Industriepartnern weiter. Neben Projektkooperationen umfasst das Angebot Coaching-Formate zu betriebswirtschaftlichen, rechtlichen und vertrieblichen Fragestellungen sowie den Zugang zu einem internationalen Netzwerk von Mentorinnen und Mentoren. Das Programm steht Start-ups aus verschiedenen Ländern offen und ist thematisch breit ausgerichtet, schließt jedoch auch Anwendungen im Bereich Umwelt- und Kreislaufwirtschaft ein.¹⁵⁶



Sammlung von Zigarettenkippen, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

3.3.2 Beispiele für innovative Start-ups

Die Start-up-Szene im Bereich der Kreislaufwirtschaft ist vielfältig und adressiert neben konkreten Produkten, Technologien und Prozessoptimierungen zunehmend auch Fragestellungen der Digitalisierung und Logistik.

Die nachfolgend dargestellten Start-Ups zeigen eine Auswahl aktuell relevanter und vielversprechender Lösungen. Diese umspannen insb. die Bereiche Kreislaufwirtschaft sowie Logistik und Stadtreinigung. Die Auswahl stellt keine Wertung gegenüber anderen, hier nicht genannten Start-ups dar und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Start-ups aus dem Bereich Kreislaufwirtschaft



SmartRecycling_UP

Eine weiterhin zentrale Herausforderung der Abfallwirtschaft ist die Trennung und Sortierung großstückiger Abfälle, die bislang überwiegend manuell oder durch personalintensive Maschinenbedienung erfolgt. Das Start-up SmartRecycling_UP hat im Förderzeitraum 2022 bis 2025 eine KI- und robotikbasierte Lösung entwickelt, die diese Prozesse automatisiert. Mithilfe sensorischer Technologien und KI-gestützter Bilderkennung werden Kräne, Bagger und Greifer so gesteuert, dass Abfälle identifiziert, klassifiziert und gezielt als Wert- oder Störstoffe separiert werden. Dadurch werden sowohl die Effizienz der Sortierung als auch die Ressourcennutzung erhöht.¹⁵⁹

¹⁵⁷ <https://www.swb.de/ueberswb/engagement/Start-Up-foerderung#bewerbung>



¹⁵⁸ Veolia in Deutschland Innovation U-Start | Veolia Deutschland

¹⁵⁹ <https://www.z-u-g.org/foerderung/ki-leuchttuerme-fuer-umwelt-klima-natur-und-ressourcen/projekte/smart-recycling-up/>



¹⁶⁰ <https://radicaldot.com/>



swb – Förderung für Start-Ups

Das Unternehmen swb AG aus Bremen unterstützt seit mehreren Jahren Start-ups aus den Bereichen Energie-, Entsorgungs- und Versorgungswirtschaft. Das Förderangebot, das ursprünglich unter dem Namen „kraftwerk“ bekannt war, umfasst Beratungs- und Coaching-Leistungen sowie den Zugang zu einem breiten Unternehmens- und Partnernetzwerk. Die Unterstützung reicht von der Bewertung erster Projektideen bis zur Ausarbeitung von Businessplänen. Thematisch stehen insbesondere Klimaneutralität, Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung im Fokus.¹⁵⁷

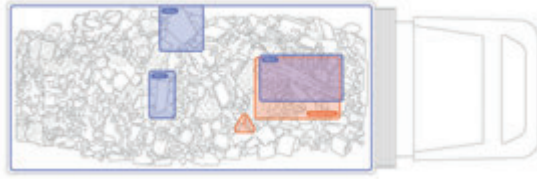
U-START

Mit dem Programm „U-START“ fördert der Entsorgungs- und Umweltdienstleister Veolia Start-ups, die innovative Lösungen in den Bereichen erneuerbare Energien, Energiespeicherung, Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz entwickeln. Neben finanzieller Unterstützung bietet das Programm Zugang zu Testinfrastrukturen, Unterstützung bei der Prototypenentwicklung sowie Co-Creation-Formate mit Veolia. Nach Unternehmensangaben wurden in den vergangenen Jahren mehrere Kooperationsprojekte und Start-up-Kampagnen im Rahmen von U-START umgesetzt, von denen ein Teil weiterhin aktiv ist.¹⁵⁸



Radical Dot

Das Münchener Start-up Radical Dot entwickelt ein innovatives Verfahren zur Umwandlung nicht mechanisch recycelbarer Kunststoffabfälle in chemisch nutzbare Sekundärrohstoffe. Zum Einsatz kommt ein katalytisches Niedertemperaturverfahren, das vergleichsweise energieeffizient arbeitet und kostengünstige Produkte ermöglicht. Ziel ist es, fossile Rohstoffe langfristig zu ersetzen und den Anteil von Kunststoffabfällen, die der energetischen Verwertung zugeführt werden, deutlich zu reduzieren. Perspektivisch sollen dadurch erhebliche CO₂-Einsparungen erzielt werden.¹⁶⁰



Optocycle

Optocycle verfolgt das Ziel, die Bauindustrie stärker in Richtung Kreislaufwirtschaft zu entwickeln. Das gleichnamige System identifiziert mithilfe von KI mineralische Abbruchabfälle optisch und ermöglicht so eine verbesserte Trennung und Wiederverwertung. Der automatisierte Prozess liefert in Echtzeit Informationen zur Materialzusammensetzung und soll künftig auch Angaben zu Korngrößen sowie Fein- und Störstoffanteilen liefern. Ergänzt wird das System durch eine automatische Dokumentation der Materialanlieferung sowie durch datenbasierte Auswertungen zu Stoffströmen und Optimierungspotenzialen. Dadurch lassen sich personelle und zeitliche Ressourcen einsparen und gleichzeitig höhere Wiederverwertungsquoten erzielen.¹⁶¹

¹⁶¹ <https://optocycle.com/>



¹⁶² <https://www.reo-reuse.de/>



¹⁶³ <https://eeden.world/>



¹⁶⁴ <https://www.twogee-biotech.com/>



reo – ein neues Pfandsystem für FMCG-Verpackungen

Das Start-up reo verfolgt den Ansatz, Verpackungen aus dem Bereich der Fast Moving Consumer Goods (FMCG) in Mehrwegsysteme zu überführen. Hierfür wurde eine markunenabhängige, digitale Plattform entwickelt, über die Verpackungen aus den Bereichen Pflege und Kosmetik zurückgegeben und wiederverwendet werden können. Die Rückgabe erfolgt über teilnehmende Märkte an bestehenden Pfandautomaten gegen einen Pfandbetrag von 0,29 € pro Verpackung. In einem einjährigen Pilotprojekt in München arbeitet reo mit mehreren Marken zusammen. Das Rückgabeverhalten wird digital erfasst und ausgewertet, um eine mehrfache Nutzung der Verpackungen sicherzustellen.¹⁶²



Eeden – Zirkuläre Textilien ermöglichen

Vor dem Hintergrund steigender Mengen an Alttextilien hat das Start-up Eeden mit Sitz in Münster eine chemisch-technologische Lösung zur Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen aus Textilabfällen entwickelt. Dabei werden unter anderem Zellulose aus Baumwolltextilien zurückgewonnen oder Polyester in seine chemischen Bestandteile zerlegt. Die so gewonnenen Rohstoffe fließen in neue Produktionsprozesse ein und tragen zur Schließung von Stoffkreisläufen in der Textilwirtschaft bei.¹⁶³



Twogee Biotech – Enzymbasierte Lösungen für die Kreislaufwirtschaft

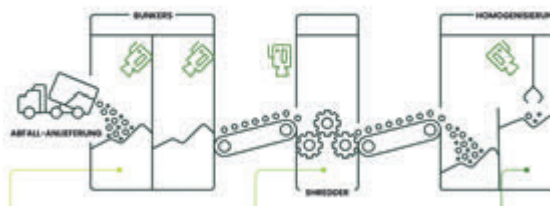
Twogee Biotech verfolgt einen biotechnologischen Ansatz zur Transformation der chemischen und materialproduzierenden Industrie. Ausgangspunkt sind landwirtschaftliche Reststoffe wie Weizen- oder Maishalme, die mithilfe spezifischer Enzymmischungen in Chemikalien oder Materialien umgewandelt werden. Diese können fossile Rohstoffe ersetzen und leisten einen Beitrag zur Ressourceneffizienz, da die eingesetzten Biomassen bereits als Nebenprodukte der Nahrungsmittelproduktion anfallen.¹⁶⁴

Start-ups aus dem Bereich Logistik und Stadtreinigung



Zebrafant-System

Das Zebrafant-System bezeichnet sich als ganzheitliches Smart-Waste-Collection-System für Bringsysteme. Es erfasst und prognostiziert Füllstände von Abfallbehältern ohne den Einsatz klassischer Sensoren, stattdessen auf Basis KI-gestützter Auswertungen. Dadurch wird eine vollständig digitale Abfalllogistik ermöglicht, einschließlich der Optimierung von Sammelrouten und Leerungsintervallen. Die Integration erfolgt innerhalb kurzer Zeit, und das System verspricht signifikante Kosteneinsparungen. Das Start-up wurde mehrfach ausgezeichnet, unter anderem im Jahr 2024 im Rahmen des Gründungswettbewerbs „Digitale Innovationen“.¹⁶⁵



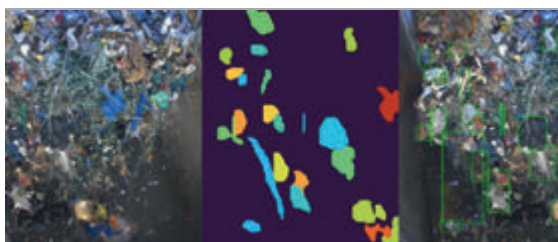
WasteAnt

WasteAnt entwickelt KI-basierte Lösungen zur Analyse komplexer und unsortierter Abfallströme. Die Anwendung quantifiziert Materialzusammensetzungen, identifiziert Störstoffe und unterstützt eine transparente Wertschöpfungskette. Ein Schwerpunkt liegt auf dem Einsatz in Thermischen Abfallbehandlungsanlagen, etwa zur Qualitätskontrolle bei der Materialannahme sowie zur Überwachung von Füllständen und der Materialhomogenität, zur Vorhersage von Verbrennungsparametern, Heizwerten und Emissionsentwicklungen. In Verbindung mit Anlagendaten lassen sich zudem Prognosen zu Dampfmenge und Emissionswerten erstellen, die in der Leittechnik genutzt werden können.¹⁶⁶



cleenr

Das Start-up cleenr fokussiert sich auf intelligente Lösungen zur Stadtsauberkeit. Der tragbare Outdoor-sauger „CityBee“ ermöglicht die leise und effiziente Aufnahme von Kleinstabfällen in schwer zugänglichen Bereichen. Ergänzend erfasst die KI-gestützte Kamerate software „CityEye“ Littering nach Art, Ort, Zeitpunkt und Menge. Die gewonnenen Daten ermöglichen ein digitales Monitoring der Stadtsauberkeit und unterstützen die Optimierung von Reinigungsrouten sowie die Erfüllung von Prüf- und Berichtspflichten, etwa im Rahmen EU-rechtlicher Vorgaben.¹⁶⁷



ZAITRUS – Smart Particle Detection

Das Deep-Tech-Start-up ZAITRUS entwickelt Systeme zur Echtzeiterfassung von Mikroplastik in flüssigen Medien. Mithilfe eines automatisierten Durchflusssensors und KI-gestützter Auswertung werden Mikroplastikpartikel vor Ort detektiert, quantifiziert und analysiert. Die gewonnenen Daten liefern Informationen zu Materialeigenschaften und Verteilungsmustern und können lokal oder cloudbasiert weiterverarbeitet werden.¹⁶⁸

Ausblick

Innovative Ideen mit hohem Wachstumspotenzial entstehen häufig in Start-ups, die neue Perspektiven einbringen und bestehende Strukturen hinterfragen. Im Bereich der Kreislaufwirtschaft leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Ressourcenschonung, etwa durch den Einsatz von Rezyklaten, alternativen Materialien oder digitalen Lösungen zur Effizienzsteigerung. Gleichzeitig profitieren etablierte Unternehmen von Kooperationen mit Start-ups, unter anderem durch

- ▶ den Zugang zu externen Innovationsimpulsen,
- ▶ das Erproben neuer Technologien,
- ▶ die Nutzung branchenübergreifenden Know-hows sowie
- ▶ die Erschließung neuer Markt- und Vertriebskanäle.

Die Vielzahl an Start-ups sowie die bestehenden Förder- und Unterstützungsprogramme verdeutlichen, dass Start-ups als wesentlicher Innovationstreiber in der Kreislaufwirtschaft wahrgenommen werden. Ihre Integration in bestehende Strukturen dürfte daher auch künftig weiter an Bedeutung gewinnen.

¹⁶⁵ <https://zebrafant.ai/>



¹⁶⁶ <https://wasteant.com/de/ki-basiertes-abfallqualitaetsmanagement/>



¹⁶⁷ <https://cleenr.de/index.html>



¹⁶⁸ <https://www.zaitrus.de/>



Einflussfaktoren auf die Kreislaufwirtschaft am Beispiel der Wirtschaftsentwicklung

Seit 2022 prägen hohe Inflation, gestiegene Energiepreise, geopolitische Spannungen und eine verhaltene Investitionsdynamik die deutsche Wirtschaft. Diese Konstellation schlägt sich unmittelbar in Abfallmengen, Stoffströmen und Sekundärrohstoffmärkten nieder – und zeigt, wie eng die Kreislaufwirtschaft mit der gesamtwirtschaftlichen Lage verflochten ist. Politisch rückt damit zweierlei in den Fokus: Zum einen, wie zirkuläre Systeme konjunkturelle Ausschläge abfedern; zum anderen, wie die Kreislaufwirtschaft selbst als Impulsgeber für Resilienz, Wertschöpfung und Transformation wirken kann. Investitionen in zirkuläre Technologien und Infrastrukturen schaffen Beschäftigung und Innovationsimpulse und stärken zugleich die Rohstoffsouveränität. Die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) setzt hierfür den Rahmen, indem sie Stoffkreisläufe schließt, Primärrohstoffabhängigkeiten reduziert und Rezyklate sowie zirkuläre Geschäftsmodelle gezielt fördert.

Die wirtschaftliche Abschwächung wirkt deutlich auf das Abfallaufkommen. 2023 lag die Gesamtmenge bei rund 380 Mio. t – etwa fünf Prozent unter dem Vorjahr und damit auf dem niedrigsten Niveau seit 2010.

Besonders stark ist der Einbruch im Bausektor: Bau- und Abbruchabfälle fielen erstmals seit 2012 wieder unter 200 Mio. t (– 8%). Hauptursachen sind hohe Finanzierungskosten, steigende Baupreise und die Zurückhaltung bei Neubauprojekten. Als volumen-



Straßenbau, Quelle: Phoenix

stärkste Fraktion reagieren mineralische Bauabfälle besonders sensibel auf Bau- und Investitionszyklen. Auch Produktions- und Gewerbeabfälle nahmen um gut 3 % ab – infolge geringerer Industrieproduktion, verschobener Modernisierungen und längerer Nutzungsdauern von Anlagen und Fahrzeugen.

Abfälle aus Haushalten sind im Jahr 2024 – nach dem pandemiebedingten Höchststand und einem anschließenden Rückgang – erstmals wieder leicht angestiegen, gemessen am Pro-Kopf-Aufkommen. Zu berücksichtigen ist dabei jedoch, dass die Berechnung 2024 erstmals auf Basis der Durchschnittsbevölkerung erfolgte und nicht wie zuvor auf Grundlage des Bevölkerungsstandes zum 31. Dezember des jeweiligen Jahres.

Grundsätzlich wirkt die konjunkturelle Entwicklung über Kaufkraft und Konsumverhalten auf Menge und Zusammensetzung der Haushaltsabfälle, ist jedoch nicht der einzige Einflussfaktor. Die Pandemie hat mit Homeoffice, Lockdowns, verstärktem Online-Shopping und geringerer Mobilität vorübergehende Veränderungen ausgelöst, die das Abfallaufkommen spürbar geprägt haben und bei der Bewertung aktueller Trends weiterhin berücksichtigt werden müssen.

Neben der Konjunktur wirken jedoch auch weitere strukturelle Faktoren oft ebenso stark auf die Mengenentwicklung, z. B.:

- ▶ **Regulatorische Änderungen** (z. B. Ausbau der Getrenntsammlung, Zuständigkeitswechsel, Pfandpflicht) verändern die statistisch ausgewiesenen Fraktionen, ohne das reale Materialaufkommen im selben Maß zu verschieben.
- ▶ **Produktdesign und Leichtbau** senken die Masse je Nutzungseinheit, auch wenn das Konsumvolumen steigt.
- ▶ **Demografische Trends** – Urbanisierung, kleinere Haushalte, Mobilität, neue Arbeitsformen – verändern Mengen und Zusammensetzung unabhängig von Konjunkturzyklen.
- ▶ **Statistische Neuordnungen** können scheinbar Trends erzeugen, die nicht auf reale Veränderungen zurückgehen.

Dadurch sind konjunkturelle Effekte in ihrer tatsächlichen Wirkung nicht immer eindeutig nachweisbar: Sinkende Tonnagen können auf konjunkturelle Einflüsse, demografische Entwicklungen, Effizienzgewinne und/oder statistische Neuordnungen zurückzuführen sein. Meist ist es ein Zusammenspiel vieler Faktoren.

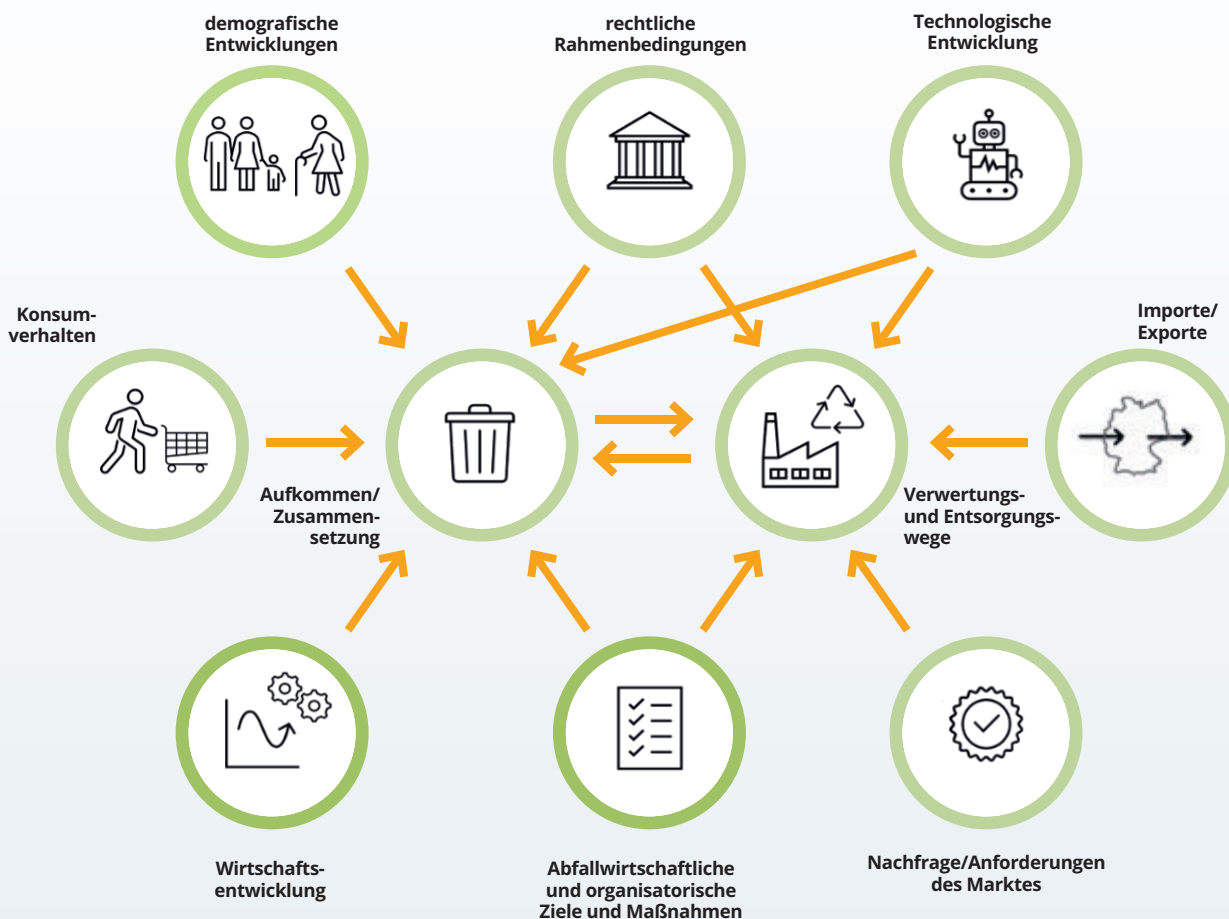
Die Konjunktur beeinflusst nicht nur die Mengen, sondern auch die Sortier- und Aufbereitungsprozesse. Die entsprechenden Anlagen sind kapitalintensiv und reagieren empfindlich auf Unsicherheit. Steigende Zinsen und volatile Rohstoffpreise erschweren Investitionen in neue Kapazitäten. Zugleich erhöhen schwankende Primärrohstoff- und Energiepreise die Kalkulationsrisiken; die Erlöse für Sekundärrohstoffe sind in vielen Segmenten rückläufig oder stark volatil. Die Unternehmen stehen damit steigenden Betriebs-, Energie- und Personalkosten sowie behördlichen Auflagen gegenüber während die Absatzmärkte gleichzeitig schwächer werden.

Für kapitalintensive Anlagen und Infrastrukturen sind zudem Genehmigungs-, Planungs- und Investitionsunsicherheit zentrale Voraussetzungen, damit Innovationen nicht an langen Realisierungszeiträumen scheitern. In dieser Lage sind stabile regulatorische Rahmenbedingungen besonders bedeutsam. Anforderungen an das Produktdesign, Qualitätsstandards und eine strategische öffentliche Beschaffung schaffen verlässlichere Absatzkanäle. Digitale Nachverfolgungssysteme erhöhen Transparenz und Effizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Die Rückführung aufbereiteter Materialien in den Wirtschaftskreislauf hängt entscheidend von funktionierenden Absatzmärkten ab. Eine schwache Industrieproduktion und zögerliche Investitionen dämpfen die Nachfrage; Preis- und Qualitätsunsicherheiten erschweren zusätzlich die Integration.

Die vergangenen Jahre haben gezeigt: Akute Krisen (z. B. Pandemie, Energiepreisschock) erzeugen heftige und teils sprunghafte Ausschläge, während konjunkturelle Schwäche über die Investitions- und Bautätigkeit vor allem graduelle strukturelle Anpassungen auslöst. Die Kreislaufwirtschaft ist in beiden Szenarien betroffen – und zugleich ein Teil der Lösung. Sie hängt von der Konjunktur ab, kann diese aber durch gezielte Investitionen in zirkuläre Infrastrukturen und klare Leitplanken auch stabilisieren. Langfristig kann eine konsequent verfolgte Kreislaufwirtschaft die Rohstoffabhängigkeit verringern, klimafreundliche Wertschöpfung stärken und neue Beschäftigung in Recycling, Reparatur, Materialaufbereitung und Produktdesign schaffen. Voraussetzung ist eine systematische Verknüpfung von Abfallmengen, Stoffstromdaten und Konjunkturindikatoren, um Steuerung, Kapazitätsplanung und Investitionsentscheidungen belastbar zu fundieren.

Einflussfaktoren auf die Kreislaufwirtschaft in Deutschland





Menschen, die Kreisläufe am Laufen halten

Der Fachkräftemangel in der Kreislaufwirtschaft ist, wie auch in anderen Branchen, deutlich spürbar. Hinzu kommen eine steigende Fluktuation der Arbeitskräfte sowie ein fortschreitender Generationenwechsel in vielen Abfallwirtschaftsbetrieben. Vor diesem Hintergrund begegnet die Branche den wachsenden Herausforderungen mit neuen Strategien im Personalmanagement sowie mit erweiterten Aus- und Weiterbildungsangeboten. Ergänzend sollen gezielte Kampagnen zu mehr Diversität in der Abfallwirtschaft beitragen, die nach wie vor häufig als Männerdomäne wahrgenommen wird.

Um dem Image der Branche entgegenzuwirken, informieren gezielte Kommunikations- und Werbemaßnahmen über die vielfältigen Tätigkeitsfelder der Abfall- und Kreislaufwirtschaft. Diese vereint unterschiedliche Fachdisziplinen wie Logistik, Nachhaltigkeitsmanagement und Umweltplanung und bietet damit attraktive Arbeitsplätze mit komplexen Aufgabenfeldern. Aktuelle Themen wie Abfallvermeidung sowie Klima- und Ressourcenschutz lassen zudem ein zunehmendes Interesse an einer Tätigkeit in der Kreislaufwirtschaft als systemrelevantem Arbeitgeber erwarten.

- ▶ wachsende Ansprüche an die Work-Life-Balance, insbesondere durch
 - ▶ ein attraktives Arbeitsumfeld
 - ▶ Homeoffice-Optionen
 - ▶ Teilzeitangebote und flexible Arbeitszeitmodelle, z. B. die 4-Tage-Woche
- ▶ steigende Bedeutung sogenannter weicher Entscheidungskriterien, etwa
 - ▶ Diversität und Gendergerechtigkeit
 - ▶ Nachhaltigkeit
 - ▶ Arbeitsklima und Unternehmenskultur

Die Kreislaufwirtschaft im Wandel der Arbeitswelt

Personal stellt einen zentralen und unverzichtbaren Baustein der Kreislaufwirtschaft dar. Ohne qualifiziertes Fachpersonal könnten Produkte und Dienstleistungen der Branche weder erbracht noch vermarktet werden. Gleichzeitig unterliegen personelle Ressourcen einem tiefgreifenden Wandel infolge veränderter Anforderungen und Rahmenbedingungen. Die Branche steht aktuell insbesondere vor folgenden Herausforderungen:

- ▶ spürbarer Generationenwechsel in den Betrieben der Kreislaufwirtschaft
- ▶ weiterhin anspruchsvolle Fachkräftegewinnung
- ▶ abnehmende Loyalität gegenüber dem Arbeitgeber infolge häufiger Jobwechsel
- ▶ steigende Bedeutung der Arbeitgeberattraktivität im Wettbewerb um Arbeitskräfte
- ▶ veränderte Bewerbungsdynamiken bis hin zum sogenannten Reverse Recruiting

Zur Gewinnung neuer Mitarbeitender setzen viele Betriebe verstärkt auf professionelles Recruiting, teils unterstützt durch eigens geschultes Personal. Die fortschreitende Digitalisierung führt dabei zu verkürzten Bewerbungsprozessen und veränderten Formaten von Bewerbungsgesprächen. Zugleich zeigt sich, dass Recruiting-Strategien zunehmend zielgruppenspezifisch ausgestaltet werden, da sich die Erwartungen und Zugangswege von Fachkräften, gewerblichen Mitarbeitenden und Auszubildenden deutlich unterscheiden. Neben Online-Plattformen und Social-Media-Kanälen professionalisieren viele Betriebe ihre Außendarstellung durch eigenständige Karriere-Websites, auf denen gezielt Informationen zu Berufsbildern, Einstiegsmöglichkeiten und Arbeitgeberleistungen gebündelt werden. Auch die Verbände bieten den Unternehmen Unterstützung an. Die VKU-Kampagne *kommunal-kann* zeigt welche Jobs es in den Unternehmen gibt und stellt die Berufsbilder und Bewerbungsmöglichkeiten vor. Ergänzend kommen Informationstage an Schulen und Hochschulen, Berufsorientierungsveranstaltungen sowie Firmenkontaktmessen zum Einsatz. Kooperationen in Form von Projekt- oder Abschlussarbeiten binden Nachwuchskräfte häufig frühzeitig an die Betriebe.

” MIT MIR TRENNST DU RICHTIG!

CECILE, RECYCLING-EXPERTIN

#MATCHDAY TO GO

EINFACH EINFACHER BEWERBEN

BIS 31.12.2025

Matchday Stadtreinigung Hamburg, Quelle: Matchday-to-Go – Dein Job bei der Stadtreinigung Hamburg

Zur Bewältigung der personellen Herausforderungen ergreifen Unternehmen unterschiedliche Maßnahmen. Einerseits gewinnt die Ausbildung im eigenen Betrieb an Bedeutung, um dem Fach- und Arbeitskräftemangel entgegenzuwirken. Andererseits bemühen sich Betriebe, sich als attraktive Arbeitgeber zu positionieren und zugleich die Bindung bestehender Mitarbeitender zu stärken.

Ein Argument, mit dem die Branche vor allem bei jüngeren punkten kann, ist die Sinnhaftigkeit eines Jobs in der Kreislaufwirtschaft. Hierzu zählen strukturierte Onboarding-Prozesse mit regelmäßigen Kontaktaufnahmen sowie persönliche Ansprechpersonen in der Anfangsphase, etwa in Form von Welcome Guides. Auch regelmäßige Feedback- und Rückkopplungsgespräche gewinnen an Bedeutung, sowohl kurz nach Beschäftigungsbeginn als auch im weiteren Verlauf. Ergänzend spielen Personalentwicklungsgespräche sowie Fort- und Weiterbildungsangebote eine wichtige Rolle. Zunehmend werden auch Offboarding-Prozesse genutzt, um Gründe für das Ausscheiden von Mitarbeitenden systematisch zu analysieren und betriebliche Verbesserungen abzuleiten.

Eine transparente und wechselseitige Unternehmenskommunikation unterstützt diese Maßnahmen, indem Mitarbeitende frühzeitig über Veränderungsprozesse informiert und möglichst aktiv in den Wandel eingebunden werden. Digitale Instrumente wie betriebsinterne Apps werden dabei nicht nur als reine Informationskanäle genutzt, sondern zuneh-

mend als strategisches Instrument der internen Kommunikation, zur Stärkung der Unternehmenskultur sowie zur Begleitung von Veränderungs- und Entwicklungsprozessen eingesetzt.

Vor dem Hintergrund gestiegener Anforderungen auf Arbeitnehmerseite rücken betriebliche Zusatzleistungen und flexible Arbeitsmodelle stärker in den Fokus. Dabei unterscheiden sich die Erwartungen je nach Tätigkeitsbereich deutlich: Während im administrativen Bereich insbesondere flexible Arbeitszeiten, mobiles Arbeiten und Homeoffice-Angebote an Bedeutung gewinnen, stehen in operativen Bereichen vor allem angepasste Schichtmodelle, Teilzeitangebote und eine familienfreundliche Einsatzplanung im Vordergrund. Ergänzend werden neue Arbeitsorganisationsformen, etwa Teilzeitmodelle in der Stadtreinigung, erprobt. Der New-Work-Ansatz gewinnt dabei insgesamt an Bedeutung, da er neben digitalen Lösungen insbesondere Flexibilität und moderne Arbeitsumfelder adressiert.

Kennzahlenvergleiche der Branche, etwa im Rahmen des vom Verband kommunaler Unternehmen (VKU) empfohlenen Benchmarkings „Abfallwirtschaft und Stadtreinigung“ sowie auf Basis der VKU-Betriebsdaten, zeigen, dass Ausfallzeiten in vielen Betrieben seit der Corona-Pandemie spürbar zugenommen haben. Insbesondere krankheitsbedingte Fehlzeiten stellen für zahlreiche Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetriebe eine wachsende organisatorische und wirtschaftliche Herausforderung dar. In regionalen Er-

fahrungsaustauschrunden werden daher verstärkt Maßnahmen des betrieblichen Gesundheitsmanagements (BGM) diskutiert, mit dem Ziel, Ausfallzeiten zu reduzieren und die langfristige Arbeitsfähigkeit der Beschäftigten zu sichern. Dabei zeigt sich, dass standardisierte Lösungen nur eingeschränkt wirksam sind und stattdessen betriebsspezifisch zugeschnittene Maßnahmen erforderlich sind. Die Rahmenbedingungen unterscheiden sich je nach Betriebsstruktur erheblich, etwa zwischen Vollservicebetrieben mit körperlich belastender Arbeit in Kellerrevieren innerhalb verdichteter Stadtstrukturen und Betrieben mit überwiegendem Seitenladerbetrieb in ländlichen Räumen.

Darüber hinaus verfolgen viele Betriebe das Ziel, den Frauenanteil – auch in operativen Bereichen – weiter zu erhöhen. Hierzu werden gezielt Kommunikations- und Recruitingmaßnahmen eingesetzt, etwa Fraueninformationstage oder spezifische Bewerbungskampagnen, wie zum Beispiel bei der Stadtreinigung Hamburg (Abbildung links).

Zunehmend rückt die Fort- und Weiterbildung von Führungskräften in den Fokus, insbesondere der mittleren Führungsebene, der eine zentrale Rolle als Schnittstelle zwischen operativen und administrativen Bereichen zukommt. Neben fachlichen Anforderungen gewinnen dabei Themen wie wertschätzende Führung, Digitalisierung sowie Change-Management an Bedeutung. Entsprechend werden gezielte Qualifizierungs- und Unterstützungsangebote entwickelt, um Führungskräfte auf diese vielfältigen Aufgaben vorzubereiten. Ein Beispiel hierfür ist die „Personalentwicklungsküche“ der ELW Wiesbaden, die unterschiedliche Lernformate kombiniert und individuelle Entwicklungsprozesse unterstützt.

Insgesamt bietet der Wandel der Organisationsstrukturen und der Personalkultur in der Kreislaufwirtschaft neben vielfältigen Chancen auch erhebliche Herausforderungen. Um die Branche langfristig nachhaltig und zukunftsfähig aufzustellen, sind gezielte und kontinuierliche Maßnahmen im Personalmanagement erforderlich.



Personalentwicklungsküche ELW Wiesbaden, Quelle: ELW

Struktur der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Kreislaufwirtschaft nach Marktsegmenten und Bereichen (2010-2024)

Marktsegment Bereich	ohne berufl. Ausbildungsabschluss				mit anerkanntem Berufsabschluss				mit akademischem Berufsabschluss				Ausbildung unbekannt			
	2010	2024	2024	p. a.	2010	2024	2024	p. a.	2010	2024	2024	p. a.	2010	2024	2024	p. a.
Abfallsammlung, -transport und Straßenreinigung	14.249	13.704	14,6	-0,3	38.257	66.247	70,4	4,0	3.034	7.370	7,8	6,5	12.681	6.791	7,2	-4,4
Abfallsammlung und -transport	9.445	9.931	14,5	0,4	25.626	47.817	70,0	4,6	1.934	5.130	7,5	7,2	9.835	5.440	8,0	-4,1
Straßenreinigung	4.803	3.773	14,6	-1,7	12.632	18.430	71,4	2,7	1.100	2.240	8,7	5,2	2.846	1.351	5,2	-5,2
Abfallbehandlung und -verwertung	21.085	18.072	14,2	-1,1	62.468	89.146	69,8	2,6	5.717	11.038	8,6	4,8	20.411	9.453	7,4	-5,3
Stoffliche Verwertung	14.925	13.008	14,0	-1,0	46.257	64.397	69,2	2,4	4.303	8.022	8,6	4,5	16.761	7.639	8,2	-5,5
Energetische Verwertung	3.481	2.848	14,6	-1,4	9.166	13.923	71,4	3,0	801	1.700	8,7	5,5	2.063	1.020	5,2	-4,9
Abfallbeseitigung	2.679	2.216	14,6	-1,3	7.045	10.826	71,4	3,1	614	1.316	8,7	5,6	1.587	793	5,2	-4,8
Technik für die Abfallwirtschaft	6.456	4.763	8,8	-2,1	31.516	34.710	64,5	0,7	7.055	12.282	22,8	4,0	3.928	2.091	3,9	-4,4
Fahrzeugtechnik	533	344	7,2	-3,1	3.679	2.957	61,6	-1,5	860	1.277	26,6	2,9	380	220	4,6	-3,8
Sammel- und Transportbehälter	1.259	964	14,9	-1,9	3.449	4.454	68,6	1,8	325	717	11,0	5,8	589	356	5,5	-3,5
Anlagentechnik	4.371	3.143	8,2	-2,3	23.077	25.349	66,4	0,7	4.960	8.356	21,9	3,8	2.557	1.342	3,5	-4,5
Sonstiges (F&E, Untersuchungen, Abdeckungen)	292	312	7,1	0,5	1.312	1.950	44,7	2,9	910	1.932	44,2	5,5	403	173	4,0	-5,9
Großhandel mit Altmaterialien	1.885	1.464	9,7	-1,8	10.271	11.224	74,2	0,6	666	1.599	10,6	6,5	2.357	838	5,5	-7,1
Kreislaufwirtschaft gesamt	43.675	38.003	13,1	-1,0	142.513	201.327	69,2	2,5	16.473	32.288	11,1	4,9	39.377	19.173	6,6	-5,0

Abb. 81, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit



Reinigung bei der CSD-Parade, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Analyse der Beschäftigtenstruktur in der Kreislaufwirtschaft

Zwischen 2010 und 2024 ist die Gesamtzahl der Erwerbstätigen (sozialversicherungspflichtig Beschäftigte [svB], geringfügig Beschäftigte [gFB] und Selbstständige [S]) in der Kreislaufwirtschaft von 277.000 auf 322.000 gestiegen, was einem jährlichen Wachstum von 1,1 % entspricht. Das größte Marktsegment gemessen an der Erwerbstätigkeit bildet die „Abfallbehandlung und -verwertung“ mit fast 140.000 Erwerbstätigen. Die größte Dynamik ist im Segment „Abfallsammlung, -transport und Straßenreinigung“ mit einem jährlichen Wachstum von 2,1 % zwischen 2010 und 2024 zu verzeichnen. Hinsichtlich der Arbeitsverhältnisse wird deutlich, dass sich die Kreislaufwirtschaft mit einem steigenden Anteil von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten von 90 % deutlich über dem Durchschnitt der Gesamtwirtschaft von 76 % bewegt. Die weiteren Erwerbstätigen teilen sich auf geringfügig Beschäftigte (7 %) und Selbstständige (3 %) auf.

In den letzten Jahren nimmt der Anteil von Beschäftigten ohne beruflichen Ausbildungsabschluss leicht ab, ermöglicht mit einem Anteil von 13 % aber dennoch solide Berufsoptionen, leicht oberhalb des

Durchschnitts der Gesamtwirtschaft. Auf Ebene der Marktsegmente sind die Anteile im Segment „Abfallsammlung, -transport und Straßenreinigung“ mit fast 15 % und der „Abfallbehandlung und -verwertung“ mit ca. 14 % am höchsten.

Mit einem Anteil von 70 % verfügt ein Großteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Kreislaufwirtschaft über einen anerkannten Berufsabschluss. Akademische Abschlüsse nehmen mit 11 % eine kleinere Rolle ein und fallen somit fast halb so groß wie im gesamtdeutschen Durchschnitt aus. Hier ist allerdings in der Kreislaufwirtschaft eine stark wachsende Tendenz zu verzeichnen, sodass beispielsweise der Anteil im Marktsegment „Technik für die Abfallwirtschaft“ bereits bei 23 % liegt.

Dieses Bild wird bei einem Blick auf die ausgeführten Tätigkeiten unterstrichen: Mehr als die Hälfte aller sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Kreislaufwirtschaft gehen einer Fachkraft-Tätigkeit nach, der Anteil der Helfer liegt mit 22 % oberhalb des gesamtwirtschaftlichen Durchschnitts. Geringe Anteile sind bei Spezialisten (11 %) und Experten (8 %) zu verzeichnen, womit sich die Kreislaufwirtschaft hier etwas unterdurchschnittlich positioniert. Hin-

sichtlich der Geschlechterverteilung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zeigt die Branche nach wie vor eine deutliche Dysbalance. Während Frauen in der Gesamtwirtschaft 46 % der Beschäftigten stellen, beträgt ihr Anteil in der Kreislaufwirtschaft lediglich 18 %. Am niedrigsten fallen hier die Marktsegmente „Abfallsammlung, -transport und Straßenreinigung“ und „Abfallbehandlung und -verwertung“ mit jeweils 17 % aus, während der „Großhandel mit Altmaterialien“ einen Anteil von 27 % verzeichnen kann.

Ähnliche Tendenzen sind für Werte der Vollzeit- und Teilzeittätigkeiten in der Kreislaufwirtschaft feststellbar. Lediglich 9 % aller sozialversicherungspflichtig Beschäftigten sind in Teilzeit tätig, gegenüber einem Anteil von 31 % in der Gesamtwirtschaft. Die Kreislaufwirtschaft setzt hier aber ihre Flexibilität und Offenheit gegenüber individuellen Arbeitszeitmodellen fort, sodass eine steigende Tendenz der Teilzeittätigkeiten erkennbar ist.

Signifikant ist auch die Integrationsfähigkeit und -leistung der Kreislaufwirtschaft. So liegt der Anteil von ausländischen Staatsangehörigen an den sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten bei 13 % mit steigender Tendenz, wobei das Marktsegment „Abfallbehandlung und -verwertung“ mit 15 % eine führende Rolle einnimmt.

Insgesamt sind in der deutschen Kreislaufwirtschaft überdurchschnittlich viele sozialversicherungspflichtig Beschäftigte mit anerkanntem Berufsabschluss tätig, während gleichzeitig die Offenheit für geringer qualifizierte Arbeitskräfte gewahrt wird. Diesem Status quo stehen jedoch immer höhere Ansprüche auf verschiedenen Ebenen gegenüber, beispielsweise durch zunehmende Anforderungen an Verwertungsverfahren oder den kontinuierlichen technologischen Fortschritt. Dadurch wachsen sowohl der Anteil als auch der Bedarf an Fachkräften mit akademischen Berufsabschlüssen. Die veränderten Ansprüche an die Kreislaufwirtschaft als Arbeitgeber spiegeln sich dabei auch in einem wachsenden Anteil von Frauen sowie von Teilzeittätigkeiten wider.

Struktur der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Kreislaufwirtschaft nach Marktsegmenten und Bereichen (2010-2024)



Abb. 82, Quelle: Prognos AG auf Basis der Bundesagentur für Arbeit

4

Zukunfts- aufgaben der Kreislauf- wirtschaft



Rohstoffe

Rohstoffe sind die Grundlage für Wertschöpfung, Infrastruktur und Energiewende. Deutschland ist dabei stark von Importen abhängig – insbesondere bei Metallen und kritischen Rohstoffen – während bei nicht metallischen Mineralien wie Sand, Kies oder Naturstein weiterhin eine hohe heimische Gewinnung besteht. Gleichzeitig steigen durch Zukunftstechnologien und den Umbau des Energiesystems die Bedarfe, während ökologische Belastungen und geopolitische Risiken die Versorgung erschweren.

Um Ressourcen zu schonen, Abhängigkeiten zu reduzieren und Versorgungssicherheit zu stärken, müssen Rohstoffverbrauch und Primärgewinnung begrenzt sowie Stoffkreisläufe konsequent geschlossen werden. Die Kreislaufwirtschaft spielt dafür eine zentrale Rolle: Sie substituiert Primärrohstoffe, mindert Umweltwirkungen und unterstützt die langfristige Transformation hin zu einer resilienten Rohstoffversorgung.

Circular Economy

Die Circular Economy zielt darauf ab, Ressourcen effizienter zu nutzen, Rohstoffverbrauch zu reduzieren und Wirtschaftswachstum vom Ressourceneinsatz zu entkoppeln. Neben stofflichem Recycling gehören dazu langlebige, reparierbare und kreislauffähige Produkte sowie neue Nutzungsmodelle. Ökodesign und digitale Instrumente wie der Digitale Produktpass schaffen dafür zentrale Voraussetzungen. Gleichzeitig bestehen technische und wirtschaftliche Grenzen: Nicht alle Stoffe lassen sich vollständig oder sinnvoll recyceln, Schadstoffe müssen aus dem Kreislauf ausgeschlossen werden und Rezyklate benötigen stabile Absatzmärkte. Dennoch bleibt ein leistungsfähiges Recycling unverzichtbar, um die Ziele der Circular Economy zu erreichen und die Ressourcenschonung in allen Sektoren voranzutreiben.

Energieerzeugung

In der Kreislaufwirtschaft trägt die Energieerzeugung dazu bei, unvermeidbare Abfälle effizient zu nutzen und fossile Energieträger zu ersetzen. Insbesondere die thermische Abfallbehandlung sowie die Nutzung biogener und organischer Abfälle liefern heute relevante Beiträge zur Strom- und Wärmeversorgung. Gleichzeitig entstehen durch die Transformation des Energiesystems neue Potenziale: Altstandorte von Deponien und Abfallanlagen werden zunehmend für Solar- und Windenergie erschlossen. Damit bleibt die Energieerzeugung ein wichtiger Bestandteil der Kreislaufwirtschaft und unterstützt eine ressourcenschonende und klimafreundliche Versorgung.

Klimaschutz

Die Kreislaufwirtschaft trägt in vielen Bereichen entscheidend zur Erreichung der Klimaschutzziele bei. Neben der deutlichen Reduktion der direkten Emissionen im Abfallsektor – insbesondere durch das Deponierungsverbot für unbehandelte Siedlungsabfälle – wirken vor allem die indirekten Einsparungen durch Recycling, Wiederverwendung und längere Produktnutzungsdauern. Die Herstellung von Sekundärrohstoffen verursacht je nach Material deutlich weniger Treibhausgase als die Primärproduktion und reduziert zudem energie- und ressourcenintensive Abbauprozesse.

Darüber hinaus unterstützt die Kreislaufwirtschaft die Transformation anderer Sektoren, etwa durch die Bereitstellung CO₂-armer Materialien, sinkende Energieverbräuche entlang der Wertschöpfungsketten und innovative Geschäftsmodelle. Damit wird sie zunehmend zu einem strategischen Hebel, um Emissionen systematisch zu vermeiden und die Klimaneutralität in Industrie, Bauwesen und Konsumgütern voranzutreiben.



4.1 Schonung der Ressourcen: ökonomische und ökologische Notwendigkeit



Begrenzte Ressourcen erfordern vorausschauendes Handeln.

Die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch gehört zu den wichtigsten Zielen einer nachhaltigen Entwicklung. Im Jahr 2025 fiel der „Erdüberlastungstag“, also der Tag, an dem die Weltbevölkerung so viele Ressourcen beansprucht hat, wie die Ökosysteme erneuern können, auf den 24. Juli. Der Erfolg aller Strategien zur Schonung der Ressourcen wird schlussendlich einerseits von der Reduzierung des Primärressourcenverbrauches und andererseits von der Qualität der Erfassung, des Recyclings und der tatsächlichen Nachfrage nach Recyclingprodukten durch Unternehmen, Behörden und private Haushalte abhängig sein. Das bedeutet schon seit vielen Jahren: Global denken – lokal handeln.

4.1.1 Schonung der Ressourcen: ökonomische und ökologische Notwendigkeit

Die Überschreitung der planetaren Grenzen zählt zu den drängendsten Herausforderungen unserer Zeit. Der globale Rohstoffverbrauch hat mit mehr als 106 Milliarden Tonnen pro Jahr einen historischen Höchststand erreicht und könnte bis 2060 um rund 60 % weiter ansteigen, sofern keine systemischen Änderungen erfolgen.¹⁶⁹ Die ökologischen Folgen sind vielfältig: Materialgewinnung und -verarbeitung erzeugen mehr als die Hälfte der globalen Treibhausgasemissionen und sind verantwortlich für landbezogene Biodiversitätsverluste und Wasserknappheit. Insbesondere Rohstoffabbau und die (unsachgemäße) Entsorgung führen zu Belastungen durch Schwermetalle, persistente Schadstoffe und Mikroplastik, die Bodenfunktionen beeinträchtigen, biologische Aktivität stören und die Wasserqualität gefährden können.¹⁷⁰ Hinzu kommt der hohe Flächenbedarf für Infrastruktur und Deponien, welcher zur Fragmentierung und Zerstörung natürlicher Lebensräume führt.

Vor diesem Hintergrund wird die Steigerung von Ressourceneffizienz und Abfallvermeidung zur ökologischen Notwendigkeit. Nur durch eine substanzielle Reduktion des Materialverbrauchs und die Etablierung geschlossener Ressourcenkreisläufe lassen sich ökologische Belastungen wirksam verringern und gleichzeitig gesellschaftlicher Wohlstand sichern. Modellierungen zeigen, dass sich globale Umweltziele erreichen lassen, wenn der Materialverbrauch um rund 30 % (auf etwa 8,5 Tonnen pro Kopf jährlich) gesenkt wird.¹⁷¹ In Deutschland beispielsweise kann eine ambitionierte Kreislaufstrategie in den Schlüsselsektoren Tiefbau, Hochbau, Fahrzeuge und Batterien, Möbel, Verpackungen, Beleuchtung,

Lebensmittel, Textilien und Haushaltsgeräte den Rohstoffverbrauch bis 2045 um 179 Millionen Tonnen senken. Gleichzeitig lassen sich die Treibhausgasemissionen um 186 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente und die Landnutzung um 8,5 Millionen Hektar reduzieren.¹⁷²

Obwohl Ressourceneffizienz ein zentraler Hebel zur Reduktion von Umweltbelastungen ist, führen diese Effizienzgewinne nicht automatisch zu einem geringeren Gesamtverbrauch. Immer noch kompensiert der sogenannte „Rebound-Effekt“ sehr viele der erzielten Effizienzfortschritte. Denn viele dieser Fortschritte führen zu einem geringeren Energie- und Rohstoffverbrauch je Produkteinheit. Diese niedrigeren Produktionskosten spiegeln sich dann in einem niedrigeren Preisniveau wider, der den Konsum ankurbelt und so den ökologischen Nutzen teilweise kompensiert.¹⁷³

Diese Dynamik unterstreicht die Notwendigkeit, über reine Effizienzstrategien hinauszugehen und die Schonung von Ressourcen systemisch zu fördern. Die Circular Economy setzt genau hier an: Sie ermöglicht die Entkopplung von Ressourcenverbrauch und wirtschaftlichem Wachstum und schafft neue Potenziale für Wertschöpfung, Beschäftigung und Innovation.

Auch ökonomisch liegen in der Circular Economy große Potenziale: So wird in der EU davon ausgegangen, dass der Green Deal bis 2030 zu einer Erhöhung des Bruttoinlandsproduktes sowie zur Schaffung von ca. 700.000 neuen Arbeitsplätzen beitragen wird.¹⁷⁴ Allein in Deutschland kann durch die Umsetzung von Circular Economy Maßnahmen in neun zentralen Sektoren (s.o.) die Bruttowertschöpfung bis 2045 um bis zu 14 % steigen, während der

¹⁶⁹ UNEP, Global Resources Outlook 2024.

¹⁷⁰ Öko-Institut e. V., Fraunhofer ISI & Freie Universität Berlin, Modell Deutschland Circular Economy – Modellierung und Folgenabschätzung einer Circular Economy in 9 Sektoren in Deutschland, 2023.

¹⁷¹ Circle Economy, Circularity Gap Report, 2025.

¹⁷² Öko-Institut e. V., Fraunhofer ISI & Freie Universität Berlin, Modell Deutschland Circular Economy – Modellierung und Folgenabschätzung einer Circular Economy in 9 Sektoren in Deutschland, 2023.

¹⁷³ Vgl. dazu: Faulstich, M.: Wege zu einer nachhaltigen Industriegesellschaft. In: Umweltbundesamt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Übergang in eine Green Economy: Systemische Hemmnisse und praktische Lösungsansätze. Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung 02/2017, ISSN 1865-0538, Dessau-Roßlau 2017, S. 103-114.

¹⁷⁴ Circle Economy, Circularity Gap Report, 2025.

¹⁷⁵ Öko-Institut e. V., Fraunhofer ISI & Freie Universität Berlin, Modell Deutschland Circular Economy – Modellierung und Folgenabschätzung einer Circular Economy in 9 Sektoren in Deutschland, 2023.

¹⁷⁶ BDI & Deloitte: Zirkuläre Wirtschaft: Herausforderungen und Chancen für den Industriestandort Deutschland 2023. (<https://bdi.eu/publikation/news/zirkulaere-wirtschaft-recycling-rohstoff-wiederverwertung-stoffkreislaeufe>)



¹⁷⁷ Bertelsmann Stiftung, Studienreihe Nachhaltige Soziale Marktwirtschaft, Fokuspapier 11: Makroökonomische Effekte der zirkulären Ökonomie, 2023

¹⁷⁸ Europäische Union, The Draghi report on EU competitiveness, 2025

¹⁷⁹ https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/competitiveness-compass_en



¹⁸⁰ https://finance.ec.europa.eu/publications/omnibus-i-package-commission-simplifies-rules-sustainability-and-eu-investments-delivering-over-eu6_en



¹⁸¹ https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_en



Arbeitskräftebedarf um 11 % zunimmt.¹⁷⁵ Dem BDI und Deloitte zufolge kann die Substitution von nur zehn zentralen Primärrohstoffen durch Sekundärmaterialien bis 2030 ein jährliches Plus von 12 Mrd. € Bruttowertschöpfung und 177.000 zusätzliche Arbeitsplätze generieren.¹⁷⁶

Darüber hinaus entfaltet die Circular Economy ein erhebliches Innovationspotenzial: Das Ziel der effizienten Nutzung von Ressourcen fördert neue Geschäftsmodelle wie „Product-as-a-Service“, digitale Plattformen für Sekundärmaterialien, modulare Produktdesigns und Reparaturdienstleistungen. Diese Ansätze fördern Innovationskraft, den Aufbau neuer Märkte und stärken die Wettbewerbs- und Anpassungsfähigkeit der Wirtschaft an zukünftige Herausforderungen.

Die Steigerung der Ressourceneffizienz ist also auch ein wirtschaftlicher Standortfaktor, der die Wettbewerbsfähigkeit innovativer Wirtschaftsbranchen stärkt und neue und zukunftsfeste Arbeitsplätze schaffen kann. Es bestehen jedoch Unsicherheiten bezüglich der makroökonomischen Effekte durch zirkuläre Strategien. So können verlängerte Produktlebenszyklen, Refurbishment oder Sharing-Modelle zu veränderten Nachfrageverhältnissen führen und eine Produktions- und Beschäftigungsreduktion nach sich ziehen. Entscheidend ist hier, wie sie gesellschaftlich und wirtschaftlich eingebettet werden.¹⁷⁷

Auch auf der Preisebene sind Übergangseffekte möglich: Investitionen in zirkuläre Infrastrukturen können kurzfristig zu höheren Kosten führen. Langfristig jedoch trägt die Circular Economy zur Stabilisierung des Preisniveaus bei, vor allem auch durch geringere Abhängigkeit von volatilen Rohstoffmärkten.¹⁷⁸ Denn die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft für die Versorgungssicherheit ist in den letzten Jahren stark gestiegen – ausgelöst durch die Corona-Pandemie, den Ukraine-Krieg und sich zuspitzende Handelskonflikte mit China und den USA. Diese

Ereignisse haben die Verwundbarkeit globaler Lieferketten offengelegt und die Notwendigkeit einer strategischen Rohstoffsouveränität unterstrichen. Durch den Hochlauf grüner Schlüsseltechnologien wie Elektromobilität, Windkraft oder Batteriespeicher steigt die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen, die häufig aus wenigen Herkunftsländern stammen, insbesondere China und Russland. Diese Entwicklungen haben ein neues Bewusstsein für den effizienten und ressourcenschonenden Umgang mit Rohstoffen geschaffen.

4.1.2 Anforderungen und Agenda der EU: Kreislaufwirtschaft als strategisches wirtschaftspolitisches Instrument

Auch in der EU stellt sich zunehmend die Frage, wie eine Transformation wirtschaftlicher Strukturen unter Berücksichtigung ökologischer Zielsetzungen gelingen kann. Insbesondere angesichts der geopolitischen Spannungen, technologischer Umbrüche und wachsender ökologischer Krisen hat die EU ihre wirtschaftspolitische Strategie neu ausgerichtet, sodass Wettbewerbsfähigkeit nicht mehr allein über Produktivität und Marktöffnung definiert wird, sondern zunehmend über Resilienz und Innovationsfähigkeit. In diesem Kontext rückt die Circular Economy als politisches Querschnittsthema in den Fokus. Sie gilt nicht mehr nur als Umweltinstrument, sondern zunehmend als wirtschaftspolitisches Werkzeug zur Stärkung der strategischen Autonomie und Versorgungssicherheit Europas - durch die Schonung von Ressourcen, die Freisetzung von Innovationspotenzialen und die Reduktion von Abhängigkeiten insbesondere bei kritischen Rohstoffen.

Die Kreislaufwirtschaftspolitik der EU ist im Kontext unterschiedlicher wirtschafts- und nachhaltigkeitspolitischer Strategien und Gesetzespakete zu betrachten: Der im Januar 2025 veröffentlichte Competitiveness Compass bildet das strategische Fundament dieser Neuausrichtung.¹⁷⁹ Er formuliert drei zentrale Imperative: die Schließung der Innovationslücke, die Verknüpfung von Dekarbonisierung und industrieller Wettbewerbsfähigkeit sowie die Reduktion strategischer Abhängigkeiten. Ziel ist es, Europas wirtschaftliche Resilienz zu stärken und ein „schnelleres, saubereres und gerechteres Wachstum“ zu ermöglichen. Neuste Initiativen unterstreichen die Kopplung von Wettbewerbsfähigkeit und ökologischer Transformation: Das Omnibus-Paket¹⁸⁰ zur CSRD, CSDDD, und EU-Taxonomie, strebt regulatorische Vereinfachungen und eine bessere Kohärenz zwischen Nachhaltigkeitszielen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen an. Der Clean Industrial Deal¹⁸¹ flankiert die Dekarbonisierung energieintensiver Branchen mit gezielten Investitionen und Marktanreizen.



Fahrradinstandsetzung, Quelle: Stadtreinigung Hamburg



Elektroschrott, Quelle: unsplash

In diesem Kontext sind auch die zentralen Strategien und Gesetze und deren Anpassungen zur Kreislaufwirtschaft der letzten Jahre zu sehen. Der Circular Economy Act (CEA)¹⁸², der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft, die überarbeitete Abfallrahmenrichtlinie sowie der Critical Raw Materials Act greifen dabei ineinander und setzen Anreize für zirkuläres Design, stärken Sekundärstoffmärkte und die Versorgung mit strategischen Rohstoffen. Gemeinsam sollen sie ein kohärentes Regelwerk bilden, das ökologische Zielsetzungen mit wirtschaftlicher Resilienz und industrieller Wettbewerbsfähigkeit verbindet.

Circular Economy Act (CEA): Verdopplung der Kreislaufquote und ein Binnenmarkt für Sekundärrohstoffe

Mit dem für 2026 geplanten Circular Economy Act setzt die EU ein klares Signal: Die Kreislaufquote soll bis 2030 von derzeit rund 12 % auf 23,2 % bzw. rund 24 % verdoppelt werden und so Europas globale Vorreiterrolle in der Circular Economy sichern.¹⁸³ Das neue Rahmengesetz soll verstreute Einzelmaßnahmen bündeln, um einen einheitlichen Binnenmarkt für Sekundärrohstoffe zu schaffen, hochwertige Recyclingmaterialien besser verfügbar zu machen und die Nachfrage nach diesen Materialien innerhalb der EU zu stärken. Damit knüpft der CEA direkt an die wirtschaftspolitischen Leitlinien des Competitiveness Compass und des Clean Industrial Deal an und ver-

bindet ökologische Transformation mit industrieller Wettbewerbsfähigkeit. Eine öffentliche Konsultation zum Circular Act lief bis Ende 2025. Daran schließt sich eine Folgenabschätzung an.

Der CEA soll insbesondere die strukturellen Hürden im derzeit bestehenden Binnenmarkt für Sekundärmaterialien beheben, der durch unterschiedliche nationale Regelungen und verschiedenste Rahmenwerke stark fragmentiert ist.¹⁸⁴ Kernidee des Gesetzes ist die Harmonisierung von Regelwerken, die die Kreislaufwirtschaft wirtschaftlich attraktiv und umsetzbar machen. Dafür sollen einerseits mehr Sekundärmaterialien einfacher verfügbar gemacht werden, zum Beispiel durch die verbesserte Rückgewinnung von Elektronikschrott zur effizienteren Nutzung kritischer Rohstoffe, oder die EU-weite Vereinheitlichung der End-of-Waste-Kriterien zum Übergang von Abfall zu Sekundärrohstoff. Auf der anderen Seite soll auch die Nachfrage nach Sekundärmaterialien angekurbelt werden, z.B. durch verbindliche Vorgaben für den Einsatz recycelter und biobasierter Materialien in bestimmten Produkten oder die Förderung der zirkulären Beschaffung im öffentlichen Sektor (lokale Behörden). Im Mittelpunkt stehen dabei besonders abfallintensive Bereiche wie Bau- und Abbruchmaßnahmen, Siedlungsabfälle sowie Elektroaltgeräte.

¹⁸² Der Circular Economy Act befindet sich derzeit in der öffentlichen Konsultation und ist somit noch nicht beschlossen. (Stand: Dezember 2025)

¹⁸³ https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy_en?etransnolive=1



¹⁸⁴ <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/10-april-2025-circular-economy-stakeholder-dialogue>



¹⁸⁵ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_1710



¹⁸⁶ https://commission.europa.eu/european-critical-raw-materials-act_en



¹⁸⁷ <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj>



¹⁸⁸ https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/strategic-projects-under-crma/selected-projects_en



¹⁸⁹ <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9397c8a6-2637-11f0-8a44-01aa75ed71a1>



¹⁹⁰ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202501892&qid=1759404774973



Im Juli 2025 wurden im Rahmen des CEA mehrere geplante Initiativen gestartet¹⁸⁵. Die Maßnahmen betreffen u.a.:

- ▶ Einheitliche Methoden zur Messung und Nachweisführung von Recycling- und Verwertungsquoten (z. B. bei Altbatterien)
- ▶ Öffentliche Konsultationen zur Überarbeitung von Klassifizierungen von Abfällen („green-listed waste“)
- ▶ Digitalisierung von Abfallströmen zur besseren Rückverfolgbarkeit und Effizienzsteigerung.

Critical Raw Materials Act (CRMA): Europas Antwort auf die Rohstoffkrise

Der CRMA bildet seit April 2024 den zentralen europäischen Rechtsrahmen zur Sicherung der Versorgung mit kritischen und strategischen Rohstoffen, die vor allem für die Energiewende und Verteidigung benötigt werden. Sie ergänzt damit die Ziele des European Green Deal sowie des CEAP. Der CRMA verknüpft Industrie- und Kreislaufpolitik, da er die Mitgliedstaaten verpflichtet, Maßnahmen zur Sammlung, Rückgewinnung und Wiederverwendung kritischer Rohstoffe (z.B. aus Altbatterien, Elektronikschrott, Magneten) zu fördern und Instrumente vorzieht, die die Nachfrage nach hochwertigen Sekundärrohstoffen stärken sollen.¹⁸⁶

Die Verordnung formuliert bis 2030 konkrete Kapazitätsbenchmarks, um Abhängigkeiten zu reduzieren und die europäische Wertschöpfungskette zu stärken. Demnach sollen mindestens 10 % des jährlichen EU-Verbrauchs an strategischen Rohstoffen innerhalb der Union gewonnen, mindestens 40 % in der

EU verarbeitet und mindestens 25 % aus Recycling/Sekundärquellen gedeckt werden. Darüber hinaus dürfen maximal 65 % des jährlichen Verbrauchs eines einzelnen strategischen Rohstoffs (in einer relevanten Verarbeitungsstufe) aus einem einzigen Drittstaat stammen¹⁸⁷.

Um diese Benchmarks zu erreichen, etabliert der CRMA konkrete Förder- und Beschleunigungsinstrumente für Initiativen, die aufgrund ihres nachgewiesenen Beitrags zur Rohstoffversorgung priorisiert werden. Diese sogenannten „Strategic Projects“ profitieren etwa von verkürzten Genehmigungsverfahren, priorisiertem Zugang zu EU-Fördermitteln und technischer Begleitung durch die Kommission. Die erste Auswahl umfasste 47 Projekte in der EU und 13 Projekte außerhalb der EU¹⁸⁸. Ein gefördertes Projekt in Deutschland ist der „Lithium Hydroxide Converter Guben“ von Rock Tech: Die Anlage in Brandenburg soll bis zu 24.000 t/Jahr batteriefähiges Lithiumhydroxid produzieren und neben primären Rohstoffen auch Lithium-Rezyklate verarbeiten – ein wesentlicher Schritt hin zu einer zirkulären Batteriewertschöpfung in der EU.¹⁸⁹

Novelle der Abfallrahmenrichtlinie: Reduktion von Lebensmittelabfällen und Erweiterte Herstellerverantwortung für Textilien

Mit der jüngsten Novelle der Abfallrahmenrichtlinie vom 26. September 2025 setzt die EU neue Prioritäten.¹⁹⁰ Im Fokus stehen die Reduktion von Lebensmittelabfällen und die Einführung einer Erweiterten Herstellerverantwortung (EPR) für Textilien. Zur Reduzierung von Lebensmittelverschwendung müssen die Mitgliedstaaten entlang der gesamten Wert-



Der Digitale Produktpass – aktuelle Entwicklungen

Der DPP fungiert als digitale Identitätskarte für Produkte, Komponenten und Materialien und ist im Rahmen der ESPR als verbindliches Instrument gesetzlich verankert. D. h., dass Produkte, für die ein DPP vorgeschrieben wird, nur in den Verkehr gelangen dürfen, wenn ein entsprechender Pass verfügbar ist. Der DPP soll zentrale Informationen zur Materialzusammensetzung, Herkunft, Lieferkette, Reparatur- und Wartungshistorie sowie zu Recycling- und Entsorgungsoptionen enthalten und diese maschinell lesbar und elektronisch zugänglich machen. Zweck ist es, die Kreislauffähigkeit von Erzeugnissen zu verbessern, die Marktkontrolle zu erleichtern und Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie Herstellerinnen und Herstellern und Behörden fundierte Entscheidungen zu ermöglichen.¹⁹¹

Aktuell erarbeitet die EU-Kommission die konkrete Umsetzung des DPP. 2025 lief eine öffentliche Konsultation zur technischen Speicherung von Daten sowie der Verwaltung von Daten durch Dritte (z. B. Daten-Dienstleistern).¹⁹² Auch die in den DPP aufzunehmenden Informationen werden von der Kommission in enger Absprache mit allen relevanten Interessen-

gruppen festgelegt und sollen sich je nach Produkt unterscheiden.

Welche Produktgruppen zuerst einen DPP erhalten, legt die Kommission im zugehörigen Arbeitsplan fest; der ESPR-Working Plan 2025–2030 nennt prioritäre Sektoren (z. B. Textilien, Möbel, Reifen, ICT/Elektronik sowie weitere ressourcenintensive Produktgruppen) und signalisiert, dass DPP-Pflichten schrittweise über produktbezogene Rechtsakte eingeführt werden, um Implementierungs- und Kapazitätsfragen zu adressieren. Für einzelne Sektoren sind bereits sektorenspezifische Passpflichten geregelt. So etabliert die Batterieverordnung einen gesonderten Battery Passport¹⁹³ mit eigenständigen Anforderungen und gestaffelten Anwendungsfristen und im Bauwesen schafft die neue Construction Products Regulation (CPR) die rechtliche Grundlage für ein sogenanntes construction digital product passport system.¹⁹⁴ Damit sind die Voraussetzungen für verpflichtende DPP-Angebote für Bauprodukte und Batterien vorhanden; das konkrete Startdatum für Herstellerpflichten hängt jedoch vom Erlass der delegierten Rechtsakte und den darin festgelegten Übergangsfristen ab.

schöpfungskette verbindliche Maßnahmen umsetzen. Bis 2030 sollen die Abfälle in Verarbeitung und Herstellung um 10 % sowie im Einzelhandel, in der Gastronomie und in privaten Haushalten um 30 % pro Kopf gesenkt werden. Die Staaten müssen ihre Programme zur Abfallvermeidung regelmäßig bewerten und anpassen. Zur Fortschrittskontrolle führt die Europäische Kommission bis 2027 eine umfassende Überprüfung durch.

Parallel wird erstmals eine EPR für Textilien und Schuhe eingeführt, bei der Hersteller die Kosten für Sammlung, Sortierung, Recycling und Entsorgung übernehmen müssen. Die Beiträge orientieren sich an der zirkulären und nachhaltigen Gestaltung des Produkts. So sollen Anreize geschaffen werden, langlebige und umweltfreundliche Materialien zu verwenden. Zudem harmonisiert die Abfallrichtlinie die Regeln für die Behandlung gebrauchter Textilien. Alle getrennt gesammelten Textilien gelten künftig als Abfall und müssen vor einer möglichen Verbringung sortiert werden. Damit soll die illegale Entsorgung verhindert und ein funktionierender Binnenmarkt für Textilabfälle geschaffen werden.

Die Mitgliedstaaten haben bis zum 17. Juni 2027 Zeit, die Vorgaben in nationales Recht umzusetzen. Für die operative Einrichtung von EPR-Systemen für Textilien wurden längere Umsetzungsfristen vorgesehen. Damit stellt die Novelle einen zentralen Baustein der europäischen Kreislaufstrategie dar. Die Einführung harmonisierter Regeln reduziert Marktfragmentierung, schafft Planungssicherheit und fördert

Investitionen in Innovationen im Textil- und Lebensmittelsektor.¹⁹⁵

Politische Rahmengerber: Der Green Deal und der Circular Economy Action Plan (CEAP)

Grundlegende Leitplanken für die europäische Kreislaufwirtschaftspolitik wurden mit dem European Green Deal (2019) und dem CEAP 2020 gesetzt. Der Green Deal verfolgt das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 sowie eine drastische Reduktion von Umweltbelastungen und den effizienteren Umgang mit Ressourcen. Zur Umsetzung wurden zahlreiche Initiativen und Rechtsakte auf den Weg gebracht, die den Übergang zu einer kreislauforientierten Wirtschaft beschleunigen sollen. Ein zentrales Element ist der CEAP 2020. Er etabliert die Kreislaufwirtschaft als strategische Roadmap für den gesamten Produktlebenszyklus und setzt auf nachhaltiges Produktdesign, eine Stärkung der Verbraucherrechte in Bezug auf Reparaturfähigkeit und Lebensdauer sowie die Integration zirkulärer Prinzipien in Produktionsprozesse.

Im Rahmen des CEAP 2020 wurden zahlreiche EU-Verordnungen und -Richtlinien verabschiedet oder angestoßen. Die Maßnahmen lassen sich in drei zentrale Themenbereiche gliedern¹⁹⁶:

1. „A sustainable product policy framework“

Ein zentrales Element ist die Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR), die seit Juli 2024 gilt und ab 2025/26 je nach Produktgruppe schrittweise umgesetzt werden muss.¹⁹⁷ Sie stellt umfassende Anforderungen an die Haltbarkeit, Reparierbarkeit,

¹⁹¹ https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labeling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en



¹⁹² https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/commission-launches-consultation-digital-product-passport-2025-04-09_en



¹⁹³ Regulation (EU) 2023/1542 – Batteries Regulation (Battery Passport, Art. 77 ff.). <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj>



¹⁹⁴ Regulation (EU) 2024/3110 – Construction Products Regulation (Art. 75–77: construction DPP System). <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/3110/oj>



¹⁹⁵ https://environment.ec.europa.eu/news/revisted-waste-framework-directive-enters-force-2025-10-16_en



¹⁹⁶ https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy_en?etransnolive=1



¹⁹⁷ https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labeling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en



¹⁹⁸ <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/right-to-repair-products>



Ressourceneffizienz und Recyclingfähigkeit von Produkten. Im Rahmen des ESPR soll auch der digitale Produktpass (DPP) eingeführt werden.

Weitere Maßnahmen sind:

- ▶ „Right to Repair“-Richtlinie¹⁹⁸
- ▶ Industrieemissionsrichtlinie (IED 2.0)¹⁹⁹
- ▶ Vorschlag zur Richtlinie über umweltbezogene Produktangaben (Green Claims Directive)²⁰⁰

¹⁹⁹ https://environment.ec.europa.eu/topics/industrial-emissions-and-safety/industrial-and-livestock-rearing-emissions-directive-ied-20_en



2. „Key product value chains“

Hierzu zählt unter anderem die neue Verpackungsabfall-Verordnung (PPWR), die seit Februar 2025 gilt²⁰¹. Die PPWR ersetzt die bisherige Richtlinie und harmonisiert die Regeln EU-weit. Ziel ist es, die Wiederverwendung und das Recycling von Verpackungen zu fördern. Die allgemeine Anwendbarkeit ist gestaffelt und gilt ab August 2026.

Weitere Maßnahmen sind:

- ▶ Batterieverordnung²⁰²
- ▶ EU-Strategie für nachhaltige Textilien²⁰³
- ▶ Vorschlag zur Verordnung über Altfahrzeuge²⁰⁴

²⁰⁰ https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims_en



²⁰¹ <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2025/40/oj/eng>



²⁰² https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/batteries_en



²⁰³ https://environment.ec.europa.eu/strategy/textiles-strategy_en



²⁰⁴ https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/end-life-vehicles_en



3. „Less waste, more value“

Eine zentrale Maßnahme ist hier die neue Verordnung über Abfalltransporte vom 20. Mai 2024²⁰⁵. Sie ersetzt die alte EU-Abfallverbringungsverordnung von 2006 und verschärft die Regeln für den Im- und Export von Abfällen. Kernziele sind, dass die EU „ihre Abfallprobleme nicht in Drittstaaten exportiert“, der illegale Abfalltransport besser verfolgt wird und die Nachverfolgbarkeit innerhalb der EU verbessert wird.

Weitere Maßnahmen sind:

- ▶ Evaluierung und Revision der WEEE-Richtlinie (Elektroschrott)²⁰⁶
- ▶ REACH-Restriktion zu Mikroplastik²⁰⁷

4.1.3 Die Circular Economy in der Bundespolitik

Wie auch auf EU-Ebene verlagert sich der Diskurs zur Kreislaufwirtschaft in Deutschland zunehmend in Richtung Resilienz, strategischer Rohstoffsicherung und Wettbewerbsfähigkeit.

So forcierte die Ampel-Regierung eine rechtliche und fiskalische Umsetzungsphase sowie flankierende Transformationsmaßnahmen der Kreislaufwirtschaft.²⁰⁸ Zentral waren hier der 2024 veröffentlichte Transformationsbericht Kreislaufwirtschaft, vorbereitende Schritte zur Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (z. B. stärkere Beschaffungs- und Recyclingpflichten) sowie die Diskussion um fiskalische Instrumente (u. a. nationale Umsetzung der EU-Plastikabgabe, Anpassungen im Verpackungsrecht). Parallel dazu wurde die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) als umfassender Handlungsrahmen verabschiedet.

Die seit 2025 amtierende Regierungskoalition verändert die Akzentuierung der Instrumente zugunsten industrie-, innovations- und investitionsfreundlicher Maßnahmen. Sie legt mehr Gewicht auf Genehmigungsbeschleunigung, Technologieoffenheit, private Investitionsanreize und öffentliche Fonds. Um die geforderte Skalierung und Qualitätssteigerung im Recycling zu ermöglichen, benötigen Hersteller von Abfall- und Recyclingtechnik verlässliche Investitionsanreize. Dazu gehören technologieoffene Förderprogramme, steuerliche Investitionsanreize und Transformationsfonds, die die Anschaffung innovativer Sortier-, Aufbereitungs- und Digitalisierungstechnologien erleichtern. Ein solcher Förderrahmen stärkt zugleich die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts.“ Dadurch verschiebt sich der nationale Ansatz von normativ-regulatorischen Vorgaben hin zu pragmatischen Umsetzungsmodi mit Fokus auf Skalierung und Zulassungsbeschleunigung²⁰⁹.

Zeitgleich werden unter der neuen Bundesregierung gezielt Maßnahmen vorangetrieben, die Kreislaufwirtschaft und Versorgungssicherheit verknüpfen.²¹⁰ Dazu zählen unter anderem ein Rohstofffonds und ergänzende Förderprogramme zur Exploration, Verarbeitungskapazitäten sowie Recycling- und Verwertung von kritischen Rohstoffen. Zudem folgen die nationalen Eckpunkte zur Rohstoffversorgung der Logik des EU-Critical-Raw-Materials-Acts: Diversifizierung von Beschaffungswegen, Ausbau regionaler Wertschöpfung und strategische Partnerschaften werden mit zirkulären Maßnahmen (Rezyklate, Recyclinginfrastruktur) verknüpft, um Importabhängigkeiten zu reduzieren.

Somit zeigt der Übergang von der Ampelkoalition zur seit 2025 amtierenden Regierungskoalition eine strategische Kontinuität des EU-Kurses. Deutschland orientiert sich an den EU-Vorgaben und bündelt Zirkularitätsziele in einer nationalen Strategie. Die wesentlichen Unterschiede betreffen die Gewichtung der Instrumente, von stärker regulatorisch und fiskalisch hin zu pragmatisch-investiven, industrieorientierten Umsetzungsformen.

Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie

Am 04. Dezember 2024 hat die Ampelregierung die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) beschlossen. Sie ist eine umfassende Rahmenstrategie, die die Ziele und Maßnahmen zum zirkulären Wirtschaften und zur Ressourcenschonung aus verschiedenen rohstoffpolitischen Strategien miteinander verbindet, um Deutschland schrittweise in eine Kreislaufwirtschaft zu überführen und so die Rohstoffabhängigkeit und Versorgungssicherheit Deutschlands zu stärken. Sie wurde im breiten Dialog mit Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft erarbeitet und setzt den Rahmen dafür, Deutschlands technologische Chancen in der Kreislaufwirtschaft auszubauen. Die Strategie ist zudem eine Anbindung an die Ziele des Critical Raw Materials Act der EU und

²⁰⁵ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401157



²⁰⁶ https://environment.ec.europa.eu/news/new-evaluation-looks-how-improve-weee-directive-2025-07-02_en



²⁰⁷ https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/microplastics_en



Nationale Kreislaufstrategie – eine Rahmenstrategie

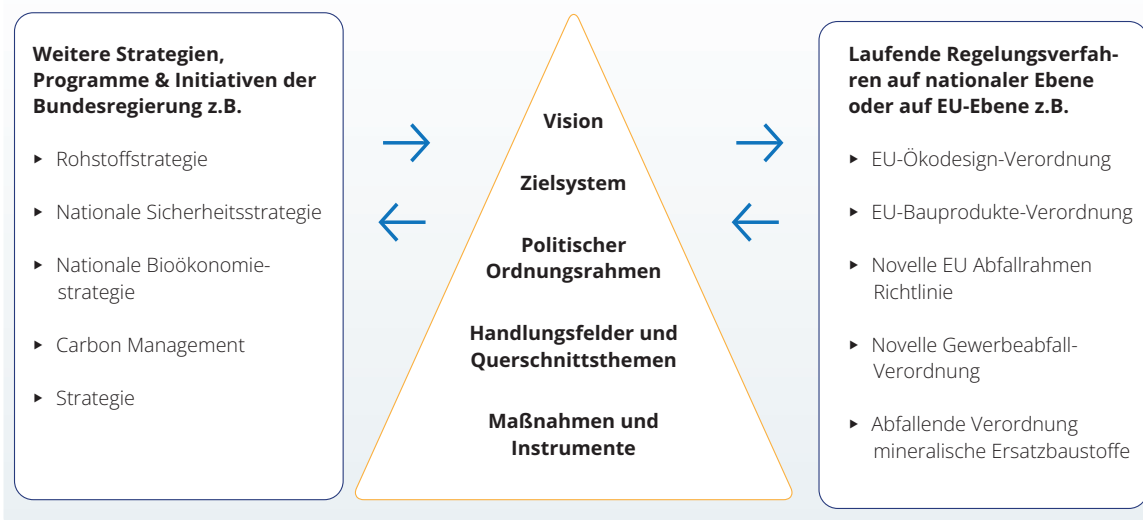


Abb. 83, Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Website der Bundesregierung <https://www.bundesumweltministerium.de/themen/kreislaufwirtschaft/kreislaufwirtschaftsstrategie>

verschiedene existierende bundesweite und europäische Strategien und Regelungsverfahren.

Zentrale Zielsetzungen sind dabei die Verringerung des Verbrauchs primärer Rohstoffe, die Schließung von Stoffkreisläufen, die Stärkung der Unabhängigkeit von Rohstoffimporten und die Vermeidung von Abfällen:

1. Verbrauch von Primärrohstoffen senken: Bis 2045 soll der jährliche Verbrauch erheblich reduziert werden. Die NKWS orientiert sich dabei an dem Vorschlag des International Resource Panel, den Verbrauch pro Kopf langfristig auf 6 bis 8 Tonnen zu senken. Derzeit liegt er bei rund 16 Tonnen.
2. Stoffkreisläufe schließen: Bisher sind nur 13 Prozent der eingesetzten Materialien Sekundärrohstoffe. Auf EU-Ebene gibt es das Ziel, diesen Anteil bis 2030 zu verdoppeln. Dieses Ziel greift die NKWS auf.
3. Unabhängigkeit von Rohstoffimporten stärken: Auch hier knüpft die NKWS an EU-Ziele an, wie sie der Critical Raw Materials Act für strategische Industrierohstoffe formuliert. Danach verfolgt die EU unter anderem das Ziel, 25 Prozent des Bedarfs an strategischen Rohstoffen bis 2030 durch Recycling zu decken.
4. Abfall vermeiden: Pro Kopf sollen bis zum Jahr 2030 zehn Prozent und bis zum Jahr 2045 zwanzig Prozent weniger Abfall produziert werden, jeweils im Vergleich zum Jahr 2020.

Um diese Ziele zu erreichen, bündelt die NKWS Maßnahmen in den Handlungsfeldern Rechtsetzung, Förderung, Forschung, Digitalisierung, öffentlicher Beschaffung und Qualifizierung – etwa durch den Einsatz digitaler Technologien, zirkuläres Produkt-

design, die Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion sowie die Förderung von nachhaltigem Konsum. Konkret stehen langlebige und reparierbare Produkte und Reparaturinitiativen, der digitale Produktpass als Informationsinstrument, stärkere Nutzung von Rezyklaten (z. B. in Baustoffen, Kunststoffen, Metallen) sowie die gezielte Anpassung von Beschaffungsregeln und Marktanreizen im Fokus.

Mit dem Regierungswechsel Anfang 2025 hat die neue Bundesregierung auch den Kurs der NKWS angepasst. Während die Ampel die NKWS als umfassende Transformationsstrategie mit breitem gesellschaftlichem Anspruch positionierte, liegt der Schwerpunkt nun auf der Stärkung der Rohstoffsicherheit und Innovationskraft der Industrie, eingebettet in die Narrative von Resilienz und Standortpolitik.

Im Koalitionsvertrag wurde ein Eckpunktepapier angekündigt, das kurzfristige Maßnahmen konkretisiert.²¹¹ Dazu zählen die Reform des Verpackungsgesetzes und die Umsetzung der EU-Verpackungsverordnung, die Integration von chemischem Recycling in die Abfallhierarchie, die Förderung des Rezyklateinsatzes in Schlüsselbranchen wie Bau und Kunststoffe, die erweiterte Herstellerverantwortung für Textilien sowie vereinfachte Genehmigungsverfahren für Recyclinganlagen. Ergänzend setzt die Regierung auf digitale Instrumente wie Produktpässe und Datenräume, um Transparenz und Ressourceneffizienz zu erhöhen.

Seit Oktober 2025 liegt zudem ein Entwurf für ein Aktionsprogramm vor, das Investitionsförderungen in Höhe von 260 Millionen Euro bis 2029, Mindestquoten für Kunststoffrezyklate, eine Novelle der Gewerbeabfallverordnung und Anpassungen im Kreislaufwirtschaftsgesetz vorsieht. Die Umsetzung dieser Maßnahmen ist bis Ende 2027 geplant, bleibt jedoch abhängig von Haushaltsmitteln und europäischen Vorgaben.²¹²

²⁰⁸ <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/976074/2267582/d4077e55b689e4b25a413f397c9a0aa8/2024-03-27-transformationbericht-kreislaufwirtschaft-data.pdf?download=1>



²⁰⁹ https://www.koalitionsvertrag2025.de/sites/www.koalitionsvertrag2025.de/files/koav_2025.pdf



²¹⁰ https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunktepapier-nachhaltige-und-resiliente-rohstoffversorgung.pdf?__blob=publicationFile&v=1



²¹¹ https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag2025_bf.pdf



²¹² <https://www.bde.de/presse/aktionsprogramm-kreislaufwirtschaft/>





Aluminiumschrott, Quelle: TSR

4.1.4 Quoten als Zielmarken für die langfristige Förderung des Recyclings

Ein wichtiges Element, um die Circular Economy weiter voranzutreiben und insbesondere auch den erreichten Fortschritt zu messen, sind Quoten einschließlich eines Monitoringsystems. In der Gesetzgebung sowohl auf europäischer als auch nationaler Ebene wurden diverse Sammel-, Recycling- und Einsatzquoten definiert. Die gesetzlichen Vorgaben haben sich dabei in den letzten Jahren stark weiterentwickelt. Beispielsweise wird neben Recycling und Sammelquoten verstärkt auch auf Rezyklateinsatzquoten gesetzt – insbesondere für Kunststoffe.

Neben diesen material- und produktbezogenen Quoten existieren auch auf volkswirtschaftlicher Ebene relevante Quoten. Im Rahmen des Monitoringsystems zur Circular Economy empfiehlt die EU-Kommission eine Berichterstattung über den Indikator „Verwendungsrate von recyceltem Altmaterial“ (EOL-RIR). Dieser misst den in der Produktion eingesetzten Anteil an Sekundärrohstoffen. Allerdings sind typische Kreislaufmaterialien der Industrie, wie beispielsweise Schrotte, die innerhalb der Produktion anfallen und als „Neuschrott“ unmittelbar wieder in den Kreislauf geführt werden, hier nicht berücksichtigt.

Zudem wird der Indikator „Circular Material Use Rate“ (CMUR) – auch Zirkularitätsrate empfohlen, der den Anteil des zurückgewonnenen und wieder in die Wirtschaft eingespeisten Materials anzeigt. Eine höhere Nutzungsrate belegt somit, dass mehr Sekundärmaterialien Primärmaterialien ersetzen. Im Jahr 2024 betrug die CMUR für Deutschland 14,8 % und lag damit leicht über dem EU-Durchschnitt von 12,2 %. Spitzenreiter sind die Niederlande mit einer CMUR von 32,7 %.²¹³

Im Vergleich zu gesetzlich einzuhaltenden Quoten handelt es sich bei diesen Indikatoren lediglich um ein Monitoring, das auf Materialfluss-, Abfall- und Handelsstatistiken basiert. Im Rahmen des Clean Industrial Deals wird jedoch das Ziel formuliert, die Kreislaufquote von aktuell rund 12 % auf 24 % bis 2030 zu erhöhen. Im Rahmen des Circular Economy Acts soll diese Zielsetzung nochmals aufgegriffen werden. Je nach Materialart bleibt jedoch die aktuelle Verfügbarkeit statistischer Datengrundlagen eine Herausforderung, um entsprechende Indikatoren auch nutzen zu können. Die Erfüllung der in EU- und Bundesrecht festgelegten Sammel-, Recycling- und Rezyklateinsatzquoten sind ohne hochentwickelte Sortier-, Trenn- und Aufbereitungstechnologien kaum erreichbar. Hersteller solcher Systeme leisten damit einen systemrelevanten Beitrag zur Zielerreichung – insbesondere im Hinblick auf kunststoffreiche, metallhaltige oder mineralische Abfallströme.

 https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_cur/default/table?lang=en



Sammelquoten

Material	Zielquote	Zieljahr(e)	Rechtsakt	Artikel	Rechtsstatus
Geräte-Alt-Batterien	50 % a 63% a 73% des durchschnittlichen Jahresabsatzes der drei Vorjahre	2025 → 2027 → 2030	Batterieverordnung (EU) 2023/1542	Art. 59 (3)	Verbindlich
Batterien für leichte Verkehrsmittel	51 % → 61% des durchschnittlichen Jahresabsatzes der drei Vorjahre	2028 → 2031	Batterieverordnung (EU) 2023/1542	Art. 60	Verbindlich
Einweg- Getränkeflaschen aus Kunststoff	77 % → 90% des Gewichts der Abfälle aus Einweg- Getränkeflaschen aus Kunststoff gemessen an den in einem bestimmten Jahr in Verkehr gebrachten Mengen.	2025 → 2029	SUP-Richtlinie (EU) 2019/904	Art. 9 (1)	Verbindlich
Elektroschrott	65 % des Durchschnittsgewichts der in den vorherigen 3 Jahren in den Verkehr gebrachten Geräte oder 85% der angefallenen Altgeräte	seit 2019	WEEE-Richtlinie 2012/19/EU	Art. 7 (1)	Verbindlich

Recyclingquoten oder Quoten zur Vorbereitung zur Wiederverwendung

Material	Zielquote	Zieljahr(e)	Rechtsakt	Artikel	Rechtsstatus
Siedlungsabfälle	55 % → 60% → 65%** der Gesamtmenge erzeugter Siedlungsabfälle	2025 → 2030 → 2035	Abfallrahmenrichtlinie (EU) 2018/851	Art. 11 (2)	Verbindlich
Bau- und Abbruchabfälle (nicht gefährlich)	70 % der jährlich erzeugten nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfälle	seit 2020	Abfallrahmenrichtlinie (EU) 2018/851	Art.11 (2)	Verbindlich
Verpackungen – Kunststoff	50 % → 55%	2025 → 2030	PPWR - Verordnung (EU) 2025/40	Art. 52 (1)	Ab August 2026 verbindlich
Verpackungen – Glas	der bereitgestellten Verpackungen oder der Verpackungen, die ein Hersteller ausgedrückt hat, ohne Endabnehmer zu sein, oder der Masse, der in demselben Jahr anfallenden Verpackungsabfälle.	2025 → 2030	PPWR - Verordnung (EU) 2025/40	Art. 52 (1)	Ab August 2026 verbindlich
Verpackungen – Eisenmetalle	70 % → 75 %*	2025 → 2030	PPWR - Verordnung (EU) 2025/40	Art. 52 (1)	Ab August 2026 verbindlich
Verpackungen – Aluminium	70 % → 80 %*	2025 → 2030	PPWR - Verordnung (EU) 2025/40	Art. 52 (1)	Ab August 2026 verbindlich
Verpackungen – Papier/Karton	50 % → 60 %*	2025 → 2030	PPWR - Verordnung (EU) 2025/40	Art. 52 (1)	Ab August 2026 verbindlich
Verpackungen – Holz	75 % → 85 %*	2025 → 2030	PPWR - Verordnung (EU) 2025/40	Art. 52 (1)	Ab August 2026 verbindlich
Altfahrzeuge	Mindestens 85 % Wiederverwendung + Recycling und mindestens 95 % Wiederverwendung + Verwertung (Recovery)	seit 2015	ELV-Richtlinie 2000/53/EG	Art.7 (2)	Verbindlich
Alt-Batterien	≥85 %* bezogen auf das durchschnittliche Fahrzeuggewicht je Fahrzeug und Jahr.	2027 → 2031	Batterie- Verordnung (EU) 2023/1542	Anhang XII Teil C	Verbindlich
Elektroschrott (kategorienabhängig)	Li 50 → 80 %; Co/Cu/Pb/Ni 90 → 95 %*der Gesamtmasse des Zielmaterials über den Input an Alt-Batterien beim Recycler pro Kalenderjahr * reine Recyclingquote, ** Recycling + Vorbereitung zur Wiederverwendung	seit 2018	WEEE-Richtlinie 2012/19/EU	Art. 11(2); Anhang V Teil 3	Verbindlich

Rezyklateinsatzquoten

Material	Zielquote	Zieljahr(e)	Rechtsakt	Artikel	Rechtsstatus
PET - Einweggetränkeflaschen	25 % je Flasche oder verteilt auf gesamte Produktion	ab 2025 (bis 2030, dann gilt PPWR)	SUP-Richtlinie (EU) 2019/904	Art. 6 (5)	Verbindlich
Einweg-Kunststoff-Getränkeflaschen	30 % → 65 % als Durchschnitt pro Fertigungsstandort und Jahr	2030 → 2040	SUP-Richtlinie (EU) 2019/904 sowie PPWR - Verordnung (EU) 2025/40	Art. 6 (5);	Ab August 2026 verbindlich
Batterien (Industrie-, SLI-, EV-Batterien)	Co: 16 % → 26 %; Pb: 85 % → 85 %; Li: 6 % → 12 %; Ni: 6 % → 15 % als Anteil der aktiven Materialien einer neuen Batterie, ausgewiesen je Batteriemodell & Fertigungswerk	2031 → 2036	Batterie- Verordnung (EU) 2023/1542	Art. 8	Verbindlich
Kritische Rohstoffe (34 Materialien)	> 25% der EU-Nachfrage aus recycelten kritischen Rohstoffen	2030	CRMA		Verbindlich

4.2 Perspektiven des Recyclings



Die Recyclingwirtschaft als Kern einer zukunftsfähigen Circular Economy

Das Recycling von Abfällen ist ein zunehmend wichtiger Teil der Kreislaufwirtschaft. Die Zukunft der Kreislaufwirtschaft aber liegt in der Einbindung in eine weitaus umfassendere Vision der Ressourcenschonung, der Schließung von Produktkreisläufen und eines nachhaltigen Verbraucherverhaltens. Damit das Gesamtsystem optimiert werden kann, muss der Fokus auf die Produktkreisläufe gerichtet werden. Design for Recycling, Reparaturfähigkeit, Wiederverwendung, Leasing und Sharing Economy benötigen eine Veränderung der gesellschaftlichen Wertvorstellungen, so wie sie sich auch in den Zielvorstellungen der Circular Economy widerspiegeln. KI und Digitalisierung sowie im Besonderen digitale Produktpässe bieten neue Chancen, die Kreislaufwirtschaft und die Circular Economy auf ein neues Niveau zu skalieren.

4.2.1 Steigender Stellenwert des Recyclings

Das Recycling von Abfällen hat in Deutschland vor dem Hintergrund der abfallwirtschaftlichen Zielhierarchie aus dem Kreislaufwirtschaftsgesetz und der grundsätzlich größer werdenden Nachfrage nach Sekundärrohstoffen auf den nationalen und internationalen Märkten bereits einen hohen Stellenwert erlangt, gleichwohl es in bestimmten Teilmärkten immer wieder zu Nachfrageproblemen kommt. Die lokale und verlässliche Gewinnung hochwertiger Sekundärrohstoffe gewinnt jedoch an Bedeutung. Grund dafür sind Entwicklungen wie Handelskonflikte, Kriege oder auch Pandemien und Umweltkatastrophen, die zu Störungen von Lieferketten führen. Auch der massive Sanierungs- und Investitionsbedarf, der für ein Erreichen der Ziele im Klimaschutz erforderlich ist, verschärft den Rohstoffbedarf. Potenziale für zusätzliches Recycling in Deutschland sind beispielsweise in Bezug auf kritische Rohstoffe vorhanden und müssen daher in den nächsten Jahren weiter ausgeschöpft werden. Dabei müssen Aspekte wie Hochwertigkeit, Schadstoffentfrachtung und Ökoeffizienz berücksichtigt werden.

Grundzüge der Circular Economy

Die Circular Economy orientiert sich an dem weitgehenden Kreislauf von Produkten und Ressourcen mit dem Anspruch, keine Rohstoff-, Nährstoff- und Wertverluste zuzulassen. Ein vereinfachtes bzw. „idealtypisches“ Modell der Circular Economy in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft besteht aus den folgenden Wertschöpfungsstufen:

- ▶ Zu Beginn des Produkt- bzw. Rohstoffkreislaufes steht ein nachhaltiges Produktdesign (Design for Recycling). Das heißt: Produkte werden ganz oder überwiegend aus Sekundärrohstoffen hergestellt,

enthalten keine Schadstoffe, sind langlebig, reparaturfähig und modular und können nach Gebrauch problemlos recycelt werden. So sind beispielsweise Verpackungen, die nur aus einem Material bestehen, besser zu recyceln als jene, die aus verschiedenen Komponenten bestehen.

- ▶ Die Herstellung von Produkten erfolgt abfallarm bzw. abfallfrei. Produktionsausschuss und Fehlproduktionen werden direkt wieder dem Recycling bzw. der Grundstoffproduktion zugeführt. Neue Technologien kommen zum Einsatz, beispielsweise 3-D-Drucker. Über Rücknahmesysteme und Leasingkonzepte bleiben die Hersteller im Besitz ihrer Produkte bzw. der darin enthaltenen Rohstoffe.
- ▶ Zunehmend werden Konzepte der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft oder Upgrade-Circular-Economy getestet und eingeführt. In Zeiten einer schnelllebigen Entwicklung von Technologie und Software können Produkte so länger im Kreislauf gehalten werden und gleichzeitig an neue Standards und Innovation angepasst werden.²¹⁴
- ▶ Konsumentinnen und Konsumenten müssen umdenken. Das beginnt bei der Akzeptanz von Produkten aus Sekundärrohstoffen (cremeweiß statt reinweiß) und endet bei Verpackungen, die auf ihre Grundfunktionen reduziert und, wo möglich, im Mehrwegverfahren eingesetzt werden.
- ▶ Teilen und mieten statt besitzen. Menschen verzichten zugunsten gemeinschaftlicher Anschaffungen auf privates Eigentum. Ausleihsysteme für Baugeräte und Werkzeuge werden zunehmend beliebter. Gemietete oder geleaste Maschinen und Geräte sind hochwertiger, halten länger und

²¹⁴ Schuh et. al. (2023): Framework for Circular Production Economy. In: Empower Green Production. Conference proceedings. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2023. <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/d59d2e31-09a7-4d1d-b9ed-121e16aae9fb/fullmeta>





Abb. 85, Quelle: Prognos AG

Circular Economy und Kreislaufwirtschaft –ein Beitrag zur Begriffsabgrenzung

Das Europäische Parlament definiert die Circular Economy in seinem Briefing „Closing the loop“ vom Januar 2016 wie folgt: „Circular economy: an economic model based inter alia on sharing, leasing, reuse, repair, refurbishment and recycling, in an (almost) closed loop, which aims to retain the highest utility and value of products, components and materials at all times.“

Damit geht das Verständnis der Circular Economy der EU über die naheliegende deutsche Übersetzung „Kreislaufwirtschaft“ hinaus. Der Begriff „Kreislaufwirtschaft“ hat sich spätestens mit der Einführung des „Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes“ im September 1994 im deutschen Sprachgebrauch etabliert. Nach deutschem Verständnis soll die Kreislaufwirtschaft die Entsorgung und die Kreislaufführung von Rohstoffen organisieren und sicherstellen, ist aber vom Gesetzgeber nicht mit dem Anspruch versehen worden, ein visionäres „Wirtschaftsmodell“ für Deutschland zu sein bzw. zu entwickeln. Sehr häufig wird davon gesprochen, so auch vom UBA, dass die Abfallwirtschaft „für den gesamten Abfallkreislauf verantwortlich sei: Von der Abfallvermeidung über die Wiederverwendung und Verwertung bis hin zur Beseitigung.

Hierbei wird jedoch übersehen, dass es sich bei der Kreislaufwirtschaft auf Bundes- und Landesebene um eine Fachplanung mit eigentlich engen Kompetenzen handelt. Der Bund verfügt nach Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG über die konkurrierende Gesetzgebungszuständigkeit für die Abfallwirtschaft. Landesrechtliche Vorschriften

sind somit nur in den Bereichen möglich, die nicht schon durch Bundesrecht erfasst sind. Die Landesabfallgesetze betreffen daher im Wesentlichen nur Fragen des Vollzugs. Somit stellt sich u. a. die Frage, wie die Kreislaufwirtschaft dafür Sorge tragen soll, dass die Bürgerinnen und Bürger tatsächlich Abfälle vermeiden. Entscheidend sind vielmehr vorgelagerte rechtliche Vorgaben für die Produktion, die Lebensdauer und die Verpackung von Konsumprodukten.

Für alle notwendigen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und rechtlichen Veränderungen, die eine Kreislaufwirtschaft nach deutschem Verständnis in eine Circular Economy nach europäischem Verständnis transformieren, fehlen sowohl der Fachplanung auf Bundes- und Landesebene wie auch den öffentlichen und privaten Unternehmen der Entsorgungswirtschaft die Kompetenzen und Instrumente. Um Themen wie Design for Recycling, den Anspruch auf Reparaturfähigkeit von Produkten, Substitutionsquoten oder die Förderung von Leasing- und Sharing-Modellen zu implementieren, braucht es neben der Kreislaufwirtschaft einen breiten gesellschaftlichen und politischen Konsens zur Einführung des „Wirtschaftsmodells“ Circular Economy und damit die breite Unterstützung auch anderer Politikbereiche auf Bundes- und Landesebene. Mit der nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie wurde ein Rahmen geschaffen, der die unterschiedlichen Perspektiven und Schnittstellen zur Umsetzung eines solchen Wirtschaftssystems Circular Economy zusammenbringen soll.

weisen einen höheren Ausnutzungsgrad auf. Die Vermieter haben zudem ein großes Interesse an wenigen Reparaturen und einem geringen Wartungsaufwand. Mit der Sharing Economy entsteht eine völlig neue Wirtschaftsbranche mit einer Vielzahl von Arbeitsplätzen. Mithilfe des Internets wird so Mobilität organisiert, werden Waren getauscht, Lebensmittel vor dem Verfall gerettet oder für getragene Kleidung neue Besitzer gefunden.

- ▶ Am Ende des Lebenszyklus werden die Produkte einer Entsorgungsinfrastruktur zugeführt, die durch eine getrennte Erfassung mit anschließender Sortierung die Basis für ein hochwertiges Recycling der Materialien und damit einen funktionierenden Rohstoffkreislauf bildet. Die Kreislaufwirtschaft wird untrennbarer Bestandteil der Rohstoffwirtschaft.

Für ein Industrieland wie Deutschland ist die Gewinnung bzw. Sicherung der Ressourcen aus den nicht mehr benötigten Produkten wichtig und notwendig. Eine Vielzahl von Unternehmen hat diese Problematik erkannt und für sich den Einstieg in die zirkuläre Wirtschaft bereits beschlossen. Ein intelligentes Produktdesign unterstützt dabei nicht nur die Ressourceneffizienz, sondern ist auch Voraussetzung für eine hochwertige Verwertung der verwendeten Materialien.

4.2.2 Ein zukunftsfähiges Zusammenwirken der Recyclingwirtschaft und der erweiterten Circular Economy

Zirkuläres und digitales Produktdesign

Ein Ziel der Circular Economy ist es, mit zirkulären Produkten den Ressourcenverbrauch zu minimieren, Abfälle zu vermeiden und Emissionen sowie Umweltauswirkungen zu minimieren.

- ▶ Bereits beim Produktdesign wird Zirkularität mitbedacht. Der Einsatz von wiederverwendbaren oder recycelten Materialien ist ein wichtiger Erfolgsfaktor für eine Kreislaufwirtschaft. Zudem sollten Rohstoffe und Materialien umweltfreundlich und ressourcenschonend ausgewählt werden.
- ▶ Ein weiteres zentrales Merkmal zirkulärer Produkte ist die Gestaltung langlebiger und reparierbarer Produkte. Die Möglichkeit, Produkte leicht zu reparieren und Teile auszutauschen, fördert die Produktlebensdauer und senkt zeitgleich die Anzahl an Neukäufen, was wiederum den Einsatz an Rohstoffen und Ressourcen senkt.
- ▶ Des Weiteren werden Produkte und Materialien so konzipiert, hergestellt und genutzt, dass sie am Ende ihrer Lebensdauer recycelt, wiederverwendet oder auf andere Weise in den Wirt-

schaftskreislauf zurückgeführt werden können. Die fünfstufige Abfallhierarchie (Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, Verwertung, Beseitigung) kann hierbei als Orientierung dienen. Pfand- und Rücknahmesysteme erhöhen die Zirkularität von Produkten und Materialien zusätzlich.

- ▶ Auch neue Geschäfts- und Nutzungsmodelle tragen zu einer Kreislaufwirtschaft bei. Das Teilen von Produkten (Sharing Economy), bspw. Vermietung und Leasing von Produkten, senkt den Einzelbesitz und steigert die Effizienz der Ressourcennutzung.

Neue Technologien und Innovationen unterstützen die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft. Ein zentrales Instrument, um die Zirkularität von Produkten zu erhöhen, ist der DPP: eine digitale Identitätskarte eines physischen Produkts, die strukturierte Daten zur Materialzusammensetzung, Reparierbarkeit, Ersatzteilen, Entsorgung und weiteren Lebenszyklus- und Nachhaltigkeitsinformationen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg bündelt und digital abrufbar macht. Der Zugang zum DPP erfolgt in der Regel über QR- oder Barcodes, sodass relevante Akteure entlang der Wertschöpfungskette (Hersteller, Service, Verbraucher, Behörden, Recycler) die benötigten Informationen erhalten.

Digitale Zwillinge spielen hierbei eine Schlüsselrolle: Sie simulieren, überwachen und analysieren reale Objekte und Prozesse und können somit hochwertige Daten für den DPP liefern²¹⁵. Unternehmen können bereits im Produktdesign Emissionen und Ressourceneinsatz vorab simulieren und optimieren, während der digitale Zwilling über den Lebenszyklus hinweg Daten zu Rohstoffen, Produktion, Nutzung, Wartung und End-of-Life erfasst. Ein Beispiel hierfür ist das Projekt PRODINA²¹⁶: Hier werden Pumpenprototypen am digitalen Zwilling mit Strömungssimula-

²¹⁵ <https://www.ipk.fraunhofer.de/de/kompetenzen-und-loesungen/industrietrends/kreislaufwirtschaft/digitaler-produktpass-dpp.html>



²¹⁶ <https://aws-institut.de/forschung/prodina/>



Produktion mit Recyclingmaterial, Quelle: unsplash

tion und Machine Learning getestet, um Ressourcen zu sparen und Entwicklungszyklen zu verkürzen. Aus den Zwillingdaten entsteht ein digitaler Nachhaltigkeitspass als Datengrundlage für den späteren DPP der fertigen Pumpe. Für Unternehmen und Verbraucherinnen und Verbraucher bedeutet das mehr Transparenz, Rückverfolgbarkeit, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit. Deutschland gehört weltweit zu den technologisch führenden Standorten der Abfall- und Recyclingtechnik. Moderne Sortier-, Sensor- und Aufbereitungslösungen Made in Germany schaffen die Voraussetzungen, die von EU und Bund ambitionierten Quoten und Qualitätsanforderungen erfüllen zu können. Eine stärkere industriepolitische Einbettung dieser Technologiekompetenz kann dazu beitragen, europäische Ziele der Resilienz, Versorgungssicherheit und Dekarbonisierung zu erreichen.

anreize für Reparatur, Wiederaufbereitung und zirkuläre Beschaffung zu schaffen. Auf dieser Grundlage wurden frühzeitig operative Maßnahmen durchgesetzt, z. B. die zirkuläre öffentliche Beschaffung, der intensive Einsatz sekundärer Baustoffe aus Bau- und Rückbauprozessen, ein ausgebautes Rücknahme- und Logistikmanagement sowie Remanufacturing-Modelle von Unternehmen (z. B. Philips), die Skaleneffekte und Vertrauen in Second-hand-Märkte fördern. Der Erfolg spiegelt sich auch in der Circular Material Use Rate von über 30 % wider, die deutlich über dem EU Durchschnitt von 12 % liegt.²¹⁹

Auch in Deutschland wird Refurbishment zunehmend in industrielle Wertschöpfung integriert, etwa durch Hersteller wie Miele, die generalüberholte Elektronikmodule zur Lebensdauerverlängerung einsetzen.²²⁰ Ergänzend stärkt der Handel mit sog. „Refurbished Programmen“ die Marktdurchdringung, Akzeptanz und Preistransparenz.²²¹

Auch im Refurbishment spielt die Digitalisierung, insbesondere der DPP, eine zunehmend befähigende Rolle.²²² Während der Aufbereitungsprozess heute primär operativ dokumentiert wird, zeigt der zunehmende Diskurs um digitale Produktdaten, wie künftige Datenverfügbarkeit dazu beitragen kann, Diagnose, Ersatzteilmanagement und Aufarbeitungsentscheidungen datenbasiert zu steuern. Für Unternehmen bedeutet dies, Refurbishment nicht nur als operativen Prozess, sondern als strategisches Element mit digital gestützten Rückbau und Wiederaufbereitungsprozessen zu etablieren. So können Recycling- und Aufbereitungsprozesse optimiert, Kosten gesenkt und Produkte länger im Kreislauf gehalten werden. Dieser Wandel schafft zugleich neue Potenziale für datengetriebene Geschäftsmodelle in der Circular Economy.

²¹⁷ https://commission.europa.eu/law/law-topic/consumer-protection-law/directive-repair-goods_en



²¹⁸ National Circular Economy Programme 2023-30, 2023

²¹⁹ <https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025/countries/netherlands/circular-material-use-rate>



²²⁰ <https://www.miele.de/m/repair-refurbish-recycle-miele-bringt-internationale-pilotprojekte-auf-dem-weg-7380.html>



²²¹ https://www.mediamarkt.de/de/specials/refurbished_zuletzt_geprueft_17.12.2025



²²² Germanwatch, The Digital Product Passport for MSMEs in the Circular Economy (2025)

Refurbishment

Aufbauend auf einem kreislauffähigen Produktdesign schließt Refurbishment die Lücke zwischen Nutzung und Recycling und stärkt damit das Zusammenspiel von Recyclingwirtschaft und erweiterter Circular Economy. Durch die Wiederaufbereitung von Produkten erhält das Refurbishment bestehende Materialwerte, entlastet nachgelagerte Recyclingpfade und führt Produkte und Komponenten gezielt in den Markt zurück. Damit werden sowohl der Rohstoffbedarf als auch der CO₂-Fußabdruck gegenüber der Neuproduktion erheblich reduziert.

Der regulatorische Rahmen der EU, insbesondere das Recht auf Reparatur, erhöht die Skalierbarkeit solcher Ansätze erheblich.²¹⁷ Wie ein frühzeitiges, systemisches Vorgehen aussehen kann, zeigen die Niederlande mit der Nationalen Programmstrategie Kreislaufwirtschaft (NPCE 2023-2030).²¹⁸ Diese verknüpft politische Vorgaben, Innovationsförderung und sektorenübergreifende Maßnahmen, um Markt-



Altpapiersortieranlage, Quelle: Römke AVG Köln

4.2.3 Notwendige Schritte zu einem besseren und effizienteren Recycling

Der erfolgreiche Weg zu einer perspektivisch funktionierenden Circular Economy kann nur über die Optimierung auf allen Stufen der Wertschöpfungskette, beginnend beim Produktdesign, über den Produktionsprozess, die Verlängerung und Weiterentwicklung der Nutzungsphase, die Sammlung bis zum Recyclingprozess führen. Dazu gehört auch eine Beschleunigung und Vereinheitlichung der Genehmigungsverfahren für Recycling-, Sortier- und Aufbereitungsanlagen, um den Modernisierungs- und Kapazitätsausbau nicht zu verzögern. Einheitliche, digitalisierte und beschleunigte Genehmigungsverfahren würden die technologische Transformation der Kreislaufwirtschaft deutlich unterstützen.“ Neben technischen, regulatorischen und organisatorischen Maßnahmen besteht auch die Notwendigkeit, Verhaltensweisen zu ändern. Zudem ist ein effizienteres Recycling kein Selbstzweck. Im Sinne der Circular Economy muss sichergestellt werden, dass die Sekundärrohstoffe so hochwertig sind, dass sie schadlos in den Wirtschaftskreislauf eingeführt werden können.

Die aktuellen Diskussionen über notwendige Maßnahmen für ein besseres und effizienteres Recycling sind sehr komplex und umfassend. Die nachfolgenden Aspekte und Beispiele stellen daher eine Auswahl dar:

- **Design for Recycling konsequent und umfassend berücksichtigen:** Die entscheidende Voraussetzung für einen erfolgreichen Recyclingprozess ist die Recyclingfähigkeit der Produkte und Verpackungen selbst. Nur Rohstoffe aus Produkten, die sich wieder in ihre Komponenten und Materialien zerlegen lassen, können adäquat recycelt und wiedereingesetzt werden. Durch das „Design for Recycling“ können ressourcenschonende Produkte entwickelt werden, die sowohl ökologische wie auch ökonomische Vorteile bieten. Dafür muss die konkrete Zusammenarbeit von Designern, Produzenten und Unternehmen der Recyclingwirtschaft verbindlich und nachhaltig implementiert werden. Probleme in der Materialzusammensetzung, die gleich am Anfang des Produktkreislaufes vermieden werden können, müssen am Ende nicht mit großem Aufwand gelöst werden. Im Verpackungsbereich zeigt beispielsweise der *Runde Tisch zum Eco Design von Kunststoffverpackungen*²²³ was getan werden muss, damit der eigentliche Recyclingprozess funktionieren kann und Materialkreisläufe letztendlich geschlossen werden können. Dabei geht es u. a. darum, Kunststoffverpackungen so zu designen und zu produzieren, dass sie möglichst aus Monomaterialien bestehen, von Verbraucherinnen und Verbrauchern als Kunststoffverpackung erkannt und in die entsprechenden Sepa-



Altpapiersammlung, Quelle: Wittmann

raterfassungssysteme zurückgeführt werden können sowie auch für die sensorbasierten Technologien in den Sortieranlagen erkennbar sind. Wichtig ist, dass die aufgestellten Kriterien für alle Materialien gleichermaßen gelten, damit es nicht zu einer Verlagerung in weniger gut recycelbare Materialien kommt.

- **Datentransparenz und -verfügbarkeit erhöhen:** Im engen Zusammenhang mit dem Design for Recycling wird die Notwendigkeit der Informationsbereitstellung über verschiedene Kennzeichnungssysteme diskutiert. Hierzu gehört u. a. die Einführung eines so genannten *Recyclinglabels*, das Transparenz über die eingesetzten Recyclingstoffe und deren Anteil geben soll und so zur Veränderung des Konsumverhaltens der Verbraucherinnen und Verbraucher beitragen kann. Großes Potenzial wird auch in der Einführung digitaler Produktpässe gesehen. Diese sind im Rahmen der Ecodesign for Sustainable Products Regulation bereits beschlossen. Nun ist eine zeitnahe produktgruppenspezifische Umsetzung erforderlich, die mit entsprechenden Rechtsakten und Leitlinien auf europäischer Ebene planungssicher vorangetrieben werden muss. Darüber hinaus werden verstärkt digitale Wasserzeichen oder chemischer Tracker auf Verpackungen eingesetzt, die es Sortieranlagen ermöglichen sollen, Informationen zu Material und Nutzung der entsprechenden Verpackungen auszulesen. Die digitale Methode des *Building Information Modeling (BIM)* zur Planung, Errichtung und Bewirtschaftung von Gebäuden ermöglicht eine detaillierte Dokumentation durch den Bauträger bereits beim Bau. Dies verbessert nicht nur das laufende Instandhaltungsmanagement und verlängert somit die Nutzungszeit von Gebäuden und Infrastruktur, sondern erleichtert auch das Recycling nach dem Abbruch. Dabei sollte es sowohl um die verwendeten Materialien als auch um die Art des Einbaus im Hinblick auf die Rückgewinnung

²²³ <https://ecodesign-packaging.org/>



von Rohstoffen gehen. Seit 2020 ist die BIM-Planung in Deutschland bereits im Bereich der Verkehrsinfrastruktur vorgeschrieben.

- **Verbraucherhernahe sortenreine Trennung und Erfassung fördern:** Für ein qualitativ hochwertiges Recycling ist die sortenreine Trennung und Erfassung für die meisten Wertstoffe an der Anfallstelle bei privaten Haushalten sowie in Industrie und Gewerbe unbedingte Voraussetzung. Die sortenreine Trennung und Erfassung sowie Sammlung muss verbrauchernah ausgestaltet werden, damit diese mit einem immer schnelleren und flexibleren Alltag kompatibel ist. Nur so kann sie neben dem Ziel des hochwertigen Recyclings von Wertstoffen zudem die Verschleppung von Stör- und Schadstoffen verringern. Die Stärkung der Herstellerverantwortung und Digitalisierung sind zwei Hebel, um Produkte am Ende des Lebenszyklus möglichst umfassend und weniger beschädigt und verschmutzt dem Recycling zuzuführen.
- **Mit gleichen Maßstäben messen:** Der Markt für Sekundärrohstoffe ist international und folgt den Regeln von Angebot und Nachfrage. Die national geltenden Umwelt- und Recyclingstandards müssen auch international eingefordert und nachgewiesen werden. Exporte von beispielsweise Elektro- und Elektronikgeräten bzw. Kraftfahrzeugen in Länder, welche die erforderlichen Standards nicht einhalten können, sind zu unterbinden. Nur so können negative Folgen für Mensch und Umwelt sowie ein damit einherge-

hender Verlust bzw. eine Minderwertigkeit von wertvollen Sekundärrohstoffen vermieden werden. Zudem können diese Mengen nur dann in die Quotenberechnung einbezogen werden, wenn das Recycling den geltenden Maßstäben innerhalb Deutschlands entspricht. Zu berücksichtigen ist, dass die Produktverantwortung auch für die Rücknahme aus dem Ausland gilt und ebenfalls in die Quotenberechnung einfließt.

- **Steigerung der Attraktivität von Sekundärrohstoffen für einen erfolgreichen Absatz:** Sekundärrohstoffe bzw. Produkte mit Rezyklateinsatz konkurrieren immer mit der entsprechenden Primärware. Die Vorbehalte gegenüber Produkten mit Rezyklatanteilen sind immer noch hoch, „Neues“ wird dem „Alten“ vorgezogen. Alle Anstrengungen, das Recycling effizienter und qualitativ hochwertiger zu machen, bringen jedoch nicht die gewünschten Erfolge im Klima- und Ressourcenschutz, wenn die Sekundärrohstoffe nicht oder nur begrenzt wieder in den Wertstoffkreislauf zurückgeführt werden. Hier gilt es in erster Linie Unsicherheiten über den Einsatz von Sekundärrohstoffen bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern auszuräumen und ihre Attraktivität zu erhöhen. Neben Aufklärung und Beratung gehört die Schaffung von Rechtssicherheit beim Einsatz von Sekundärrohstoffen dazu. Eine wichtige Rolle kommt neben einem von den Primärrohstoffpreisen entkoppeltem Rezyklatmarkt den Quoten (z. B. Mindestrezyklateinsatzquoten) als Zielmarken für die langfristige Förderung zu (s.o.).



PET-Flasche Quelle: unsplash

- **Handlungsspielräume der öffentlichen Hand nutzen:** Die öffentliche Hand kann zur Schaffung von Absatzmärkten für Recyclingprodukte einen wichtigen Beitrag leisten. Dies wurde bereits auf den Konferenzen der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro und für nachhaltige Entwicklung 2002 in Johannesburg hervorgehoben. Die nachhaltige Beschaffung hat Eingang in die Nachhaltigkeitsziele der Agenda 2030 der Vereinten Nationen²²⁴ gefunden und ist mit Mindestkriterien und Monitoringpflichten auch Bestandteil des Kreislaufwirtschafts-Aktionsplanes der EU-Kommission vom März 2020. In Deutschland ist die Vergabepraxis der öffentlichen Hand im § 45 Kreislaufwirtschaftsgesetz verankert. Mit der Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes 2020 wurde eine Bevorzugungspflicht für recycelte Produkte gegenüber Neuanfertigungen für die öffentliche Hand gesetzlich verankert. Darüber hinaus gibt es Vorschriften auf Länderebene sowie interne Vorschriften des Bundes zur nachhaltigen Beschaffung. Ziel ist es u. a. dass der öffentliche Bedarf nach Möglichkeit verstärkt über Recyclingprodukte gedeckt wird. In der Praxis wird das „Green Public



Wertstoffsammlung, Quelle: unsplash

Procurement“, das umweltfreundliche Beschaffungswesen, jedoch noch immer nicht zufriedenstellend umgesetzt. Nachhaltigkeitskriterien werden noch zu wenig als Mindestanforderung im Sinne eines Ausschlusskriteriums an Lieferungen und Leistungen formuliert. Selbst die Möglichkeit der Einbindung von Nebenangeboten durch die öffentlichen Beschaffungsstellen, um umweltfreundliche Varianten in Vergabeverfahren einzubeziehen, wird noch zu wenig genutzt.²²⁵

Die Komplexität der notwendigen Schritte zu einem besseren und effizienteren Recycling erfordert die Erarbeitung von zirkulären Rohstoff- und Produktstrategien auf EU-, Bundes- und Länderebene, die absehbar technologisch notwendige Entwicklungen, den Bedarf der Wirtschaft an Sekundärrohstoffen, die Leistungsfähigkeit der Recyclingwirtschaft, aber auch die Akzeptanz der Verbraucherinnen und Verbraucher aufeinander abzustimmen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Effizienz und die Effektivität des Recyclings energetische, technische, ökologische und wirtschaftliche Grenzen haben, die es zu beachten gilt. Eine 100 %-ige Wiedergewinnung der in den Abfällen enthaltenen Wertstoffe ist weder technisch möglich noch wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll. Für eine realistische Prognose der

Mengen aus dem Recycling und die wirtschaftliche sowie technologische Ausrichtung des Gesamtsystems müssen die jeweiligen Grenzen berücksichtigt werden. Die NKWS sowie der derzeit durch die EU entwickelte Circular Economy Act stellen somit wichtige Weichen für eine ganzheitliche Circular Economy. Wichtig ist nun, dass auf die Strategie konkrete Maßnahmen zur Umsetzung sowie hierzu erforderliche gesetzliche Vorgaben und Rahmenbedingungen folgen.

²²⁵ Umweltbundesamt: Rechtsgutachten umweltfreundliche öffentliche Beschaffung, 2019

4.3 Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Rohstoffversorgung



Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Rohstoffversorgung.

Die Versorgung mit Rohstoffen rückt zunehmend in den Fokus, da geopolitische Spannungen, Nachfrageschwankungen und Handelsrestriktionen die Verwundbarkeit globaler Lieferketten und Deutschlands hohe Importabhängigkeit deutlich gemacht haben. Besonders kritisch ist dies bei strategisch wichtigen Rohstoffen. Aber auch die Versorgung mit mineralischen Rohstoffen steht vermehrt im Fokus. Der Bedarf ist hoch und die Kreislaufwirtschaft kann einen wesentlichen Beitrag leisten: Durch die Rückgewinnung und hochwertige Verwertung von Sekundärrohstoffen sowie die Nutzung von Nebenprodukten werden Primärrohstoffe substituiert, Importabhängigkeiten reduziert und die Versorgungssicherheit gestärkt.

4.3.1 Rohstoffbedarf im Überblick

Eine gesicherte Rohstoffversorgung ist ein zentrales Kriterium für die verlässliche Produktion von Unternehmen und damit zentral für die deutsche Wertschöpfung und den Wohlstand unserer Gesellschaft. Die Kreislaufwirtschaft kann dabei auf unterschiedliche Weise einen Beitrag leisten. Ein zentraler Punkt ist die Verringerung von (Import-)Abhängigkeit. Deutschlands eigener Abbau von Primärrohstoffen ist zwar bei den Steine- und Erdenrohstoffen größtenteils durch heimische Lagerstätten abgedeckt, jedoch gibt es bei Metallen, einzelnen Industriemineralen, sowie den Energierohstoffen, mit Ausnahme der Braunkohle, eine sehr große Importabhängigkeit.²²⁶ In Deutschland findet insbesondere so gut wie kein primärer Abbau von Metallen mehr statt, sodass die deutsche Importabhängigkeit für Metallerze und -konzentrate bei annähernd 100 % liegt.

Der Ausbau der Infrastruktur, der Umbau der Wirtschaft zur Klimaneutralität sowie der fortgesetzte Wohnungsbau, führen dazu, dass der Bedarf insbesondere an mineralischen Primärrohstoffen bis weit über das Jahr 2040 hinaus hoch bleibt. Selbst unter ambitionierten Effizienz- und Kreislaufwirtschaftsszenarien wird Deutschland weiterhin erhebliche Mengen an heimisch gewonnenen Rohstoffen benötigen. Insbesondere Sand, Kies, Naturstein, Kalk- und Tonrohstoffe werden weiterhin den Kern der Rohstoffversorgung bilden.²²⁷ Zentrale Quellen wie die industriellen Nebenprodukte, etwa aus Kohleverstromung oder Roheisenprozessen, sind rückläufig, was das Potenzial zur Substitution von Primärmaterial einschränkt. Recycling kann den Gesamtbedarf zwar dämpfen, aber Primärrohstoffe nicht ersetzen. Jegliche Fortschritte der Kreislaufwirtschaft führen zu einer Reduktion des Primärrohstoffeinsatzes und damit auch zu geringeren Umweltauswirkungen, da Abbauflächen sowie Deponieflächen reduziert wer-

den und die Erzeugung von Rezyklaten weniger energie- und CO₂e-intensiv ist.

Im Jahr 2024 ist die inländische Gewinnung mineralischer Rohstoffe weiterhin rückläufig. Sie sank mit 475 Mio. t auf den niedrigsten Stand seit Jahrzehnten. Besonders die Förderung der Baurohstoffe Sand, Kies und Naturstein ist seit 2020 deutlich zurückgegangen, was im direkten Zusammenhang mit dem Rückgang der Baukonjunktur steht. Auch die Rohstoffimporte reduzierten sich 2024 erneut auf 288 Mio. t (-2,8 % gegenüber 2023), insbesondere aufgrund geringerer Einfuhren von Energierohstoffen. Die Importe von Metallen und Nichtmetallen stiegen hingegen leicht an. Recyclingrohstoffe spielen zunehmend eine strategische Rolle, besonders bei Metallen. 2024 stammten 72 % des in Deutschland verfügbaren Aluminiums, 62 % des Bleis, 46 % des Rohstahls, 41 % des Kupfers und 24 % des Zinks aus dem Angebot an Sekundärrohstoffen. Diese Werte belegen, dass die metallischen Stoffströme in Teilen stark durch Sekundärmaterialien geprägt sind. Für viele andere Metalle deckt das Recycling zugleich nur einen sehr kleinen Teil des Bedarfs und die Abhängigkeit von Primärrohstoffen bleibt weiterhin bestehen. Das Recycling kann bei vielen Metallen und mineralischen Rohstoffen den Bedarf nicht voll decken.²²⁸

Recycling und der Einsatz von Sekundärrohstoffen spielen in Deutschland eine zunehmend wichtige, aber strukturell begrenzte Rolle. Der Anteil der Sekundärrohstoffe am Gesamtrohstoffbedarf liegt aktuell bei etwa 15,2 % und steigt selbst in den optimistischeren Szenarien bis 2045 nur leicht auf maximal 16,3 % an. Gleichzeitig nimmt das Aufkommen an Sekundärrohstoffen eher ab, bedingt durch strukturelle Veränderungen wie den Ausstieg aus der Kohleverstromung und die Dekarbonisierung der Stahlindustrie, durch die wichtige industrielle Nebenprodukte wegfallen. Dadurch wird das Subs-

²²⁶ BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2025): Deutschland – Rohstoffsituation 2024.

²²⁷ Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Rohstoffnachfrage 2045: Ressourcen sichern, Zukunft bauen. Perspektiven für mineralische Primär- und Sekundärrohstoffe. https://cdn.prod.website-files.com/664355396b105bd9a4e9cadb/67e68247988a76b6c758f80c_Steine-Erden-Rohstoffstudie%202025%20-%20RWI.pdf



²²⁸ BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2025): Deutschland – Rohstoffsituation 2024, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Rohstoffe/Downloads/Downloads-MR/rohsit-2024.pdf?__blob=publicationFile&v=3



²²⁹ Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Rohstoffnachfrage 2045: Ressourcen sichern, Zukunft bauen. Perspektiven für mineralische Primär- und Sekundärrohstoffe. https://cdn.prod.website-files.com/664355396b105bd9a4e9cadb/67e68247988a76b6c758f80c_Steine-Erden-Rohstoffstudie%202025%20-%20RWI.pdf



²²⁹ Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder im Auftrag der Statistischen Ämter der Länder (2022).

titionspotenzial des Recyclings zusätzlich eingeschränkt, insbesondere bei Bau- und Industriemineralen, die in großen Mengen benötigt werden.²²⁹

Der Bausektor, der den größten Abfallstrom Deutschlands erzeugt, erreicht bereits heute Verwertungsquoten, die international nahezu einmalig sind. Im Jahr 2022 fielen rund 208 Mio. t mineralische Bau- und Abbruchabfälle an, von denen 188 Mio. t, also über 90 %, verwertet wurden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Quote auch die Verfüllung der Materialien beinhaltet, bei der, im Gegensatz zum Recycling, die Stoffe keinen direkten Beitrag zur Rohstoffversorgung leisten.

Bezüglich der Beschreibung der Rohstoffnutzung in Deutschland gibt es mehrere relevante Größen. Der Rohstoffverbrauch (DMI = engl.: direct material input) ist dabei ein zentraler Indikator für die Rohstoffnutzung. Der DMI wird gesondert nach abiotischem und biotischem Rohstoffverbrauch für Deutschland erfasst. Wichtig zur Einordnung ist, dass der DMI die Entnahme und Verwertung von Primärmaterial für ökonomische Aktivitäten wie Produktion und Konsum misst. Somit wird nur der primäre Rohstoffver-

wie Eisen oder Kupfer, sowie Technologie- und Edelmetalle. Den mineralischen Rohstoffen können beispielsweise die vor allem in der Bauindustrie eingesetzten Massenrohstoffe Kies, Sand und Schotter zugeordnet werden, aber auch verschiedene Salze sowie Industriemineralien. Fossile Rohstoffe sind hingegen klassischerweise Erdöl, Erdgas, Kohle und Torf. Aus Sicht der Kreislaufwirtschaft sind die beiden abiotischen Kategorien Metalle und mineralische Rohstoffe relevant, da fossile Rohstoffe in der Regel bei der Nutzung verbrannt werden und somit nicht recycelbar sind. Bei den biotischen Rohstoffen können hingegen Produkte aus Holz oder Pflanzenfasern zum Teil im Kreislauf geführt werden, wie beispielsweise Pappe oder Papier. Der abiotische Rohstoffverbrauch hat trotzdem insgesamt eine größere Bedeutung und ist auch mengenmäßig deutlich relevanter. So betrug der abiotische Materialverbrauch im Jahr 2020 insgesamt 1,23 Milliarden Tonnen, während der biotische Materialverbrauch nur 350 Millionen Tonnen umfasste.²³⁰

Ab 2021 wird der biotische und abiotische Materialverbrauch nur noch zusammen erfasst, weshalb ab dann nur noch der DMI insgesamt ausgewiesen wird. Da der Anteil des abiotischen Materialverbrauches am Gesamtverbrauch deutlich größer als der biotische Materialverbrauch ist und der abiotische Materialverbrauch abnimmt, nimmt auch der DMI insgesamt ab und betrug 2023 nur noch 81 % des Referenzwertes. Abbildung 86 zeigt, wie sich der abiotische und biotische Materialverbrauch innerhalb der 23 Jahre von 2000 bis 2023 entwickelt hat.

Eine weitere wichtige Betrachtungsgröße ist die Rohstoffproduktivität, die konkret beschreibt, wie viel Bruttowertschöpfung mit Hilfe der Rohstoffe geleistet wird. Im Vergleich zum Basisjahr ist die abiotische Rohstoffproduktivität bis 2022 um knapp 30 % angestiegen. Gleichzeitig werden bei steigendem realem Bruttoinlandsprodukt von Jahr zu Jahr auch mehr Güter und Produkte produziert, was den Materialverbrauch erhöht. Auch in Zukunft ist zu erwarten, dass es zwar weitere Effizienzgewinne bei der Rohstoffnutzung geben wird, diese allerdings durch weiteres Wirtschaftswachstum ausgeglichen werden. Somit kann die Kreislaufwirtschaft einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, den Primärmaterialverbrauch zu senken, indem mehr Sekundärrohstoffe für die Produktion verwendet werden und somit Primärmaterial ersetzt.

Mit Blick auf Klimaneutralität, Digitalisierung, Wohnraumbedarf und Infrastrukturmodernisierung bleibt die deutsche Wirtschaft in hohem Maße auf mineralische Rohstoffe angewiesen. Selbst bei stagnierender Wirtschaftsleistung werden erhebliche Materialmengen benötigt²³¹. In dem Zusammenhang werden schnelle Genehmigungsverfahren, Flächenverfügbarkeit und regionalen Abbaumöglichkeiten für die Versorgungssicherheit immer wichtiger. Die Kombination aus effizienter Primärrohstoffgewinnung, Aus-

Entwicklung des abiotischen und biotischen sowie Gesamtrohstoffverbrauches (DMI) in Deutschland (gegenüber 2000 =100) (2010-2022)

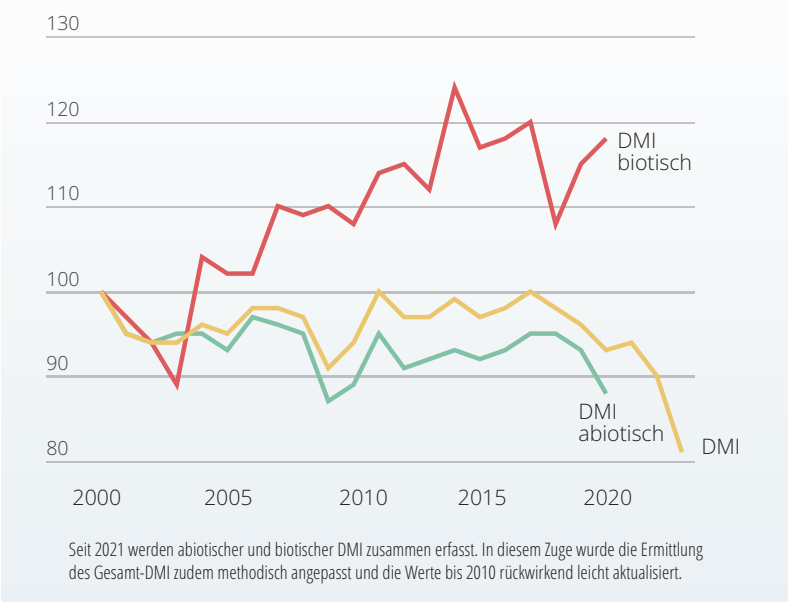


Abb. 86, Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

²³¹ Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Rohstoffnachfrage 2045: Ressourcen sichern, Zukunft bauen. Perspektiven für mineralische Primär- und Sekundärrohstoffe. https://cdn.prod.website-files.com/664355396b105bd9a4e9cadb/67e68247988a76b6c758f80c_Steine-Erden-Rohstoffstudie%202025%20-%20RWI.pdf



brauch betrachtet und die Verwendung von Sekundärmaterialien findet keine direkte Berücksichtigung. Indirekt führt eine stärkere Verwendung von Sekundärrohstoffen natürlich dazu, dass weniger Primärrohstoffe verwendet werden.

Biotische Rohstoffe sind pflanzlichen oder tierischen Ursprungs und umfassen beispielsweise Nahrungs- und Futtermittel. *Abiotische Rohstoffe* umfassen Metallerze, nicht metallische Mineralien und fossile Rohstoffe. Metalle umfassen dabei die Basismetalle,

Entwicklung der Handelsbilanz unterschiedlicher Fraktionen von 2010 bis 2022 (in Tonnen)

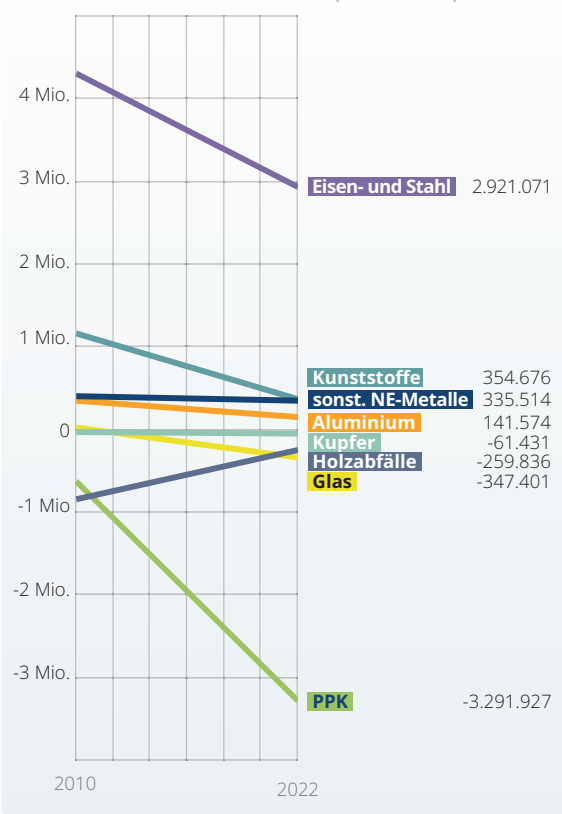


Abb. 87, Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

bau der Kreislaufwirtschaft und strategisch gesicherten Importen bildet das Fundament, um die wirtschaftlichen und ökologischen Transformationsprozesse erfolgreich zu bewältigen.

4.3.2 Im- und Exporte wichtiger Rohstoffe

In den vergangenen Jahren haben sich die nicht notifizierungspflichtigen Im- und Exportmengen im Bereich der „Abfallbehandlung und -verwertung“ teils sehr unterschiedlich entwickelt. Dabei ist nicht nur relevant, welche Abfallfraktionen jeweils die größten Anteile der Import- und Exportströme ausmachen, sondern auch, welche Rückschlüsse sich daraus auf den aktuellen Rohstoffbedarf in Deutschland ziehen lassen. Dennoch liefern die verfügbaren Daten insgesamt lediglich eine Annäherung: Abfälle der sogenannten „Grünen Liste“ nach der Basler Konvention unterliegen nicht zwingend einer statistischen Meldepflicht, sodass sich ihre importierten und exportierten Mengen nur näherungsweise über die Außenhandelsstatistiken bestimmen lassen. Hinzu kommen indirekte Im- und Exporte – etwa von Glasscherben oder Altfahrzeugen –, die statistisch nicht eindeutig abgegrenzt werden können. Zudem fließen für die stoffliche Verwertung teilweise auch notifizierungspflichtige Abfälle ein, sofern sie die erforderlichen Qualitätskriterien erfüllen. In der folgenden Betrachtung werden ausschließlich diejenigen Mengen berücksichtigt, die über die Außenhandelsbilanz erfasst sind.

Obwohl grundsätzlich gilt, dass ein Importüberschuss (Importmenge größer als Exportmenge) auf einen erhöhten Bedarf an Rohstoffen hindeuten kann und ein Exportüberschuss darauf schließen lässt, dass mehr recyclingfähiges Material verfügbar ist, als für den Einsatz in Neuware benötigt wird, zeigt sich in der Praxis ein deutlich komplexeres Bild. Unterschiede zwischen Materialarten, Qualitätsanforderungen für bestimmte Verwendungszwecke, internationale Wettbewerbsbedingungen sowie Preisentwicklungen auf den Primär- und Sekundärmärkten beeinflussen das Verhältnis von Im- und Exportströmen erheblich. Darüber hinaus ist die Aufbereitung von Sekundärmaterialien ein technisch anspruchsvoller Prozess, der strengen regulatorischen Vorgaben sowie materialspezifischen Anforderungen unterliegt.

Für die einzelnen Fraktionen resultiert aus der Handelsbilanz des Jahres 2024 die folgende Situation:²³²

Legende für die folgenden Grafiken

— Import — Export

Altkunststoffe (in Tonnen)

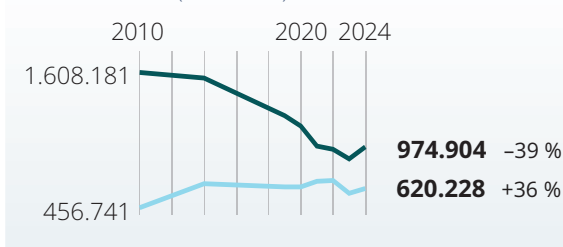


Abb. 88 ; Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

Seit dem Jahr 2010 ist die Importmenge um 36 % angestiegen, während die Exportmenge deutlich um -39 % gesunken ist. Dadurch ist der Exportüberschuss seit dem Jahr 2010 um 69 % gesunken und beträgt 2024 nur rund 0,35 Millionen Tonnen, während es 2010 noch rund 1,15 Millionen Tonnen waren. Von den hunderten Kunststoffsorten muss jede anders aufbereitet werden. Hierzu gibt es weltweit unterschiedliche Spezialisierungen. Da in Deutschland zudem das Aufkommen an sortenreinen Kunststoffabfällen begrenzt ist, werden entsprechende Mengen zunehmend importiert. Die Aufbereitung von Mischkunststoffen rückt verstärkt in den Vordergrund. Deutschland zählt hierbei europaweit zu den Vorreitern. In Abhängigkeit von den unterschiedlichen Arten und Qualitäten werden diese sowohl im- als auch exportiert.

²³² Die im folgenden dargestellten Daten basieren auf Auswertungen der Prognos auf Basis der öffentlich verfügbaren Daten der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamtes.

Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Rohstoffversorgung

Papier, Pappe, Kartonagen (in Tonnen)

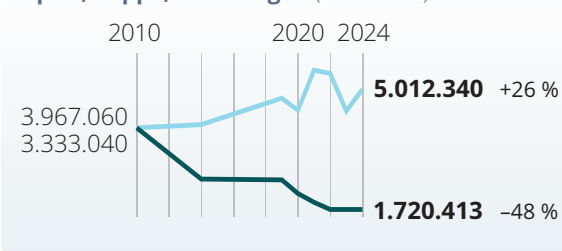


Abb. 89 ; Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

Die Importmengen an PPK sind seit 2010 um 26 % gestiegen, die Exporte hingegen sind um 48 % gesunken. Der stark gewachsene Importüberschuss von rund 3,3 Millionen Tonnen für 2024 im Vergleich zu circa 0,6 Millionen Tonnen 2010 zeigt einen zunehmenden Bedarf an Altpapier, der in Deutschland durch die getrennte Erfassung offensichtlich nicht gedeckt werden kann. Die Altpapierersatzquote hängt in bedeutendem Umfang von den zu produzierenden Papier- und Pappesorten ab. Während bei der Produktion von Wellpappenpapieren ein hundertprozentiger Altpapierersatz möglich ist, sind die Möglichkeiten beim Einsatz für grafische und technische Papiere begrenzt. Die Anforderungen an die Qualität für die Produktion von Neuware beeinflusst auch die Handelsströme mit Altpapier. In der europäischen Standardsortenlisten gibt es rund 70 verschiedene Qualitäten von Altpapier. Bei den rückläufigen Exporten zeigen insbesondere die seit 2017 bestehenden Importbeschränkungen durch China ihre Wirkung, die zudem 2025 noch durch zusätzliche Anforderungen verschärft wurden.

Altglas (in Tonnen)

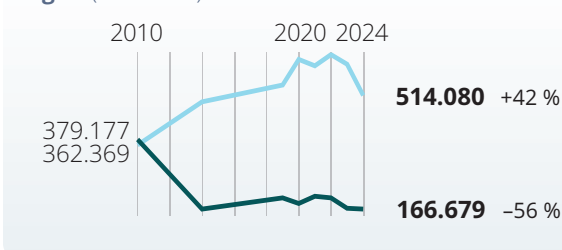


Abb. 90 ; Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

Beim Glas zeigen die Entwicklungen der letzten Jahre ebenfalls einen deutlichen Rohstoffbedarf: Die Importmenge ist um 42 % gestiegen, während die Exportmenge um 56 % gefallen ist. Dies deutet auf die Entwicklungen hin, dass günstigeres Glas aus dem Ausland importiert wird und Exporte aufgrund von Marktengpässen und Exportvorgaben zunehmend schwieriger werden. Dabei war die Importmenge in den Jahren 2019 bis 2023 noch höher, und ist 2024 leicht unter das Niveau von 2019 zurückgefallen. Trotzdem liegt der Importüberschuss im Jahr 2024 immer noch bei rund 347.000 Tonnen, während 2010 sogar noch ein geringer Exportüberschuss von 17.000 Tonnen existierte. Ursächlich hierfür ist u. a. auch der Rückgang an eingesetzten

Glasverpackungen (u. a. durch Materialoptimierung, verändertes Konsumentenverhalten und Substitution mit anderen Verpackungsmaterialien) insgesamt sowie der zunehmende Einsatz von Mehrwegverpackungen.

Holzabfälle (in Tonnen)

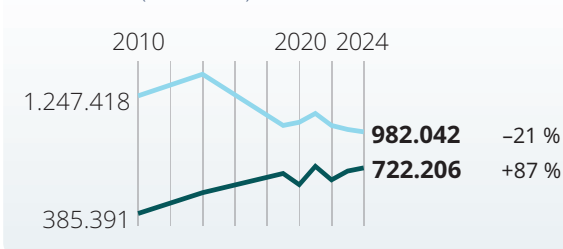


Abb. 91 ; Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

Die jährlichen Importmengen an nicht notifizierungspflichtigen Holzabfällen sind seit dem Jahr 2010 um 21 % gesunken, während sich die Exportmenge in diesem Zeitraum um 87 % erhöht hat. Gleichwohl verbleibt ein Importüberschuss bzw. Bedarf von rund 260.000 Tonnen im Jahr 2024 gegenüber noch 860.000 Tonnen im Jahr 2010, der derzeit nicht durch heimisches Aufkommen gedeckt werden kann. Nicht notifizierungspflichtige Holzabfälle beziehen sich insbesondere auf Sägenebenprodukte wie Sägespäne und sonstiges reines Holzmaterial ohne Kontaminationen oder Beschichtungen. Die stofflichen Verwertungsmöglichkeiten sind vielseitig. So finden Sägespäne beispielsweise bei der Herstellung von Holzwerkstoffplatten und Zellstoff aber auch in der Tierhaltung Verwendung. Der zunehmende Bedarf an Holzabfällen besteht insbesondere für die Bauindustrie, sei es für Wärmedämmplatten, Holzspan-Mantelbeton oder Spanplatten.



Eingangsmaterial Holz, Quelle: Reiling

Eisen- und Stahlschrotte (in Tonnen)

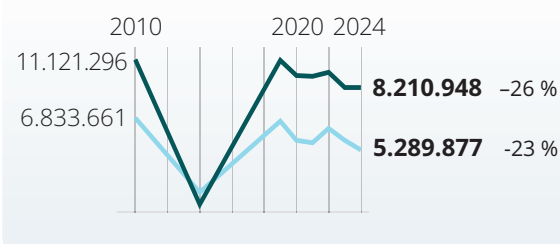


Abb. 92 ; Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

Die Importmengen sind seit dem Jahr 2010 um 23 % auf rund 5,3 Millionen Tonnen für das Jahr 2024 zurückgegangen. Für die Exporte fällt der prozentuale Rückgang mit -26 % auf rund 8,2 Millionen Tonnen ähnlich groß aus. Die Schrottsammelmenge übersteigt die Nachfrage und führt zu einem Exportüberschuss von rund 2,9 Millionen Tonnen für das Jahr 2024 im Vergleich zu noch 4,3 Millionen Tonnen für das Jahr 2010. Die bisherige Schrotteinsatzquote bei der Stahlherstellung liegt bei knapp 46 %. Mit einer Steigerung der Einsatzquote ist aufgrund der Klimaziele der Stahlindustrie in den kommenden Jahren zu rechnen. Die Weichen für die Dekarbonisierung der Stahlindustrie sind bereits gestellt und immer mehr Projekte zur Umstellung der Produktion von der Hochofen-Konverter-Route zur Elektrolichtbogenofen-Route werden realisiert. Der Einsatz von 1 Tonne Stahlschrott bei der Rohstahlproduktion spart CO₂-Emissionen in Höhe von 1,67 Tonnen. Zudem werden durch den Einsatz von recyceltem Stahl endliche Primärrohstoffe wie Eisenerz und Kohle geschont und damit Klima- und Umweltkosten gespart.

Rückgewinnung von Aluminium (in Tonnen)

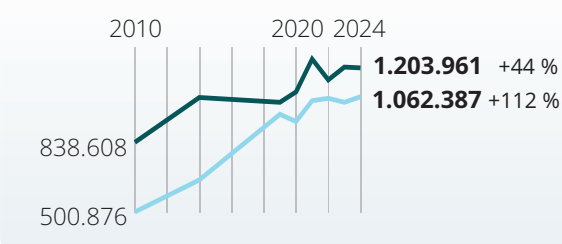


Abb. 93 ; Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

Die Importmengen sind von 2010 bis 2024 beim Sekundäraluminium um 112 % gestiegen, während die Exportmengen mit einem Zuwachs von 44 % deutlich geringer im gleichen Zeitraum gestiegen sind. Dementsprechend ist der Exportüberschuss seit dem Jahr 2010 um 58 % auf 142.000 Tonnen zurückgegangen. Im Trend zeigt sich, dass der Bedarf an Sekundäraluminium in Deutschland weiter zunimmt. Auch Aluminiumschrotte haben eine große Bandbreite in der Materialzusammensetzung, die ihre Aufbereitungs- und Wiedereinsatzmöglichkeiten beeinflussen. Dies verdeutlicht die Systemrelevanz des internationalen Handels. Dies ist insbesondere auf die unterschiedlichen Legierungsbestandteile und die große Produktvielfalt zurückzuführen.



Kupfer, Quelle: unsplash

Rückgewinnung von Kupfer (in Tonnen)

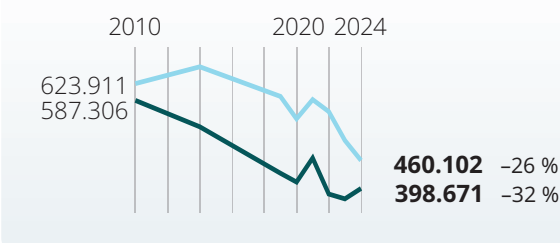


Abb. 94 ; Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

Die Import- und Exportmengen haben sich im Jahr 2024 mit 460.000 Tonnen für die Importmenge und 399.000 Tonnen für die Exportmenge wieder angenähert, nachdem die Importmenge 2022 zwischenzeitlich mit circa 563.000 Tonnen deutlich größer war als die Exportmenge mit 387.000 Tonnen. Im Jahr 2010 waren die Importe und Exporte von recyceltem Kupfer noch annähernd gleich. Seitdem haben sich die Exporte um 32 % verringert, während die Importmengen etwas weniger stark um 26 % zurückgegangen sind. Der Importüberschuss von rund 0,61 Millionen Tonnen im Jahr 2024 zeigt in der Entwicklung den zunehmenden Bedarf an recyceltem Kupfer in Deutschland.

Rückgewinnung von sonstigen NE-Metallen (in Tonnen)

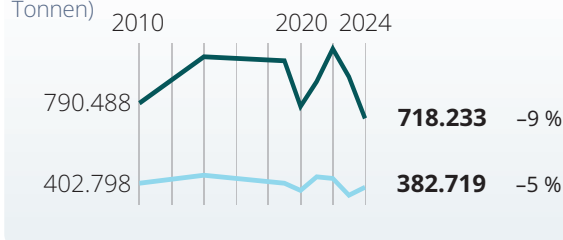


Abb. 95 ; Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, © Prognos AG

Die Importe bei Abfällen und Schrotten von sonstigen NE-Metallen sind seit dem Jahr 2010 um 5 % auf 383.000 Tonnen gefallen, während die Exporte in diesem Zeitraum um 9 % auf rund 718.000 Tonnen gesunken sind. Die Handelsbilanz der Sekundär-NE-Metalle weist somit einen deutlichen Exportüberschuss von ca. 336.000 Tonnen aus.

4.3.3 Recyclingpotenziale

Recycling und die Nutzung industrieller Nebenprodukte sind zentrale Hebel, um Deutschlands Importabhängigkeit zu reduzieren und die Rohstoffversorgung resilienter zu gestalten. Dies gilt besonders für Metalle, bei denen Deutschland nahezu vollständig auf Importe angewiesen ist und Sekundärrohstoffe bereits heute einen hohen Anteil der Versorgung decken. Auch wenn nichtmetallische Mineralien aufgrund einer starken inländischen Primärproduktion – etwa bei Sand, Kies, Schotter, Ton und Kaolin – weniger von Importen abhängig sind, bietet ihre Kreislaufführung erhebliche ökologische und ressourcenschonende Vorteile.

Durch zusätzliche Recyclingpotenziale können Primärrohstoffe substituiert, Umweltbelastungen aus Abbau und Produktion verringert und sektorspezifische Kreislaufschießungen weiter vorangetrieben werden. Dies betrifft vor allem Metalle sowie mineralische Bau- und Abbruchabfälle, die den größten Sekundärrohstoffstrom in Deutschland darstellen. Auf die spezifischen Potenziale verschiedener Stoffströme wird im weiteren Verlauf des Kapitels vertiefend eingegangen.

Einschätzung der Recyclingpotenziale

Auch wenn bautechnische und umweltrechtliche Anforderungen den Rahmen definieren, sind die bestehenden Recyclingpotenziale bei Sekundärbaustoffen längst nicht ausgeschöpft und bieten weiterhin erhebliches Entwicklungspotenzial. Ein zentraler Gradmesser dafür ist die Zirkularitätsrate (Circular Material Use Rate, CMUR), die den Anteil eingesetzter Sekundärrohstoffe an allen verwendeten Materialien beschreibt. Die dafür herangezogene Menge verwerteter Abfälle dient als Annäherungswert für die tatsächlich eingesetzten Sekundärmaterialien.

Die vormals lange stabile CMUR in Deutschland von rund 11–12 % (2010–2018) ist in den vergangenen Jahren leicht gestiegen und erreichte 2024 einen Wert von 14,8 %.²³³ Damit liegt Deutschland inzwischen etwas über dem europäischen Durchschnitt von 12,2 %. Wie viel weiter sich diese Quote entwickeln könnte, demonstrieren die Niederlande mit knapp 33 % – ein Wert, der unter anderem durch den Mangel eigener Rohstoffquellen, eine stark dienstleistungsorientierte Wirtschaft und eine breite gesellschaftliche Unterstützung der Circular Economy getragen wird. Vor diesem Hintergrund erhöht der Aktionsplan der Europäischen Kommission den Druck: Die Zirkularitätsrate soll von 2020 bis 2030 verdoppelt werden.²³⁴

Einen vertieften Blick liefert die materialgruppenspezifische CMUR. Da seit dem letzten Statusbericht keine neueren Datensätze vorliegen, werden dieselben CMUR-Werte verwendet, die weiterhin den bes-

Circular Material Use Rate 2010 bis 2024 in Deutschland (in %)

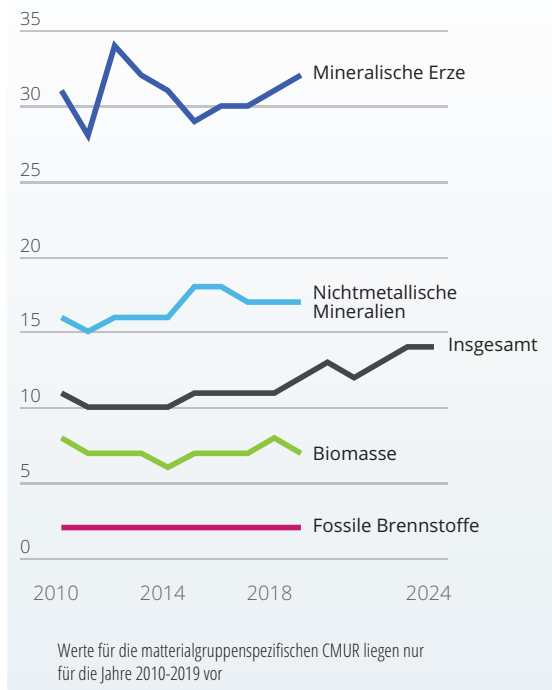


Abb. 96, Quelle: eigene Grafik basierend auf Quelle: Dittrich, Monika; Limberger, S; Ewers, B.; Stalf, M.; Knappe, F., Vogt; R. (2021): Sekundärrohstoffe in Deutschland im Auftrag des NABU und Eurostat: Circular material use rate, env_ac_cur

ten verfügbaren Stand abbilden: Demnach liegt die CMUR für Metalle mit 33 % am höchsten, gefolgt von nichtmetallischen Mineralien (ca. 18 %), Biomasse (8 %) und fossilen Energieträgern (rund 2 %).

Ein erhebliches Steigerungspotenzial ergibt sich insbesondere bei den nichtmetallischen Mineralien: Theoretisch ließe sich deren CMUR von 18 % auf etwa 33 % anheben, sofern Verfüllung und Deponierung deutlich reduziert würden. Darüber hinaus könnte ein erheblicher Anteil des Bodenaushubs sinnvoller in technischen Bauwerken im Rahmen der Ersatzbaustoffverordnung verwertet, anstatt in der Verfüllung genutzt zu werden. Allerdings sind diese Werte rein theoretisch zu verstehen, da bautechnische Qualitätsanforderungen, Schadstoffrisiken und die Stoffstromlogik (z. B. Substitutionseffekte bei Primärrohstoffen) die praktische Umsetzung einschränken. Auch für Bioabfälle ließe sich die CMUR theoretisch von 8 % auf 15 % steigern, vor allem durch verstärktes stoffliches statt energetisches Verwerten. Bei Erzen ist das Potenzial hingegen nahezu ausgeschöpft, während fossile Energieträger lediglich marginal steigerbar wären (3 % auf 4 %). Insgesamt könnte die CMUR theoretisch von 12 % (2019) bzw. knapp 15 % (2024) auf bis zu 22 % steigen.

In der Praxis fallen die Potenziale jedoch geringer aus: Nicht alle Abfälle sind technisch oder wirtschaftlich sinnvoll recycelbar. Unter realistischen technischen und mengenbezogenen Bedingungen ließe sich die CMUR bei gleichbleibender Rohstoffnutzung

²³³ https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_cur/default/table?lang=en



²³⁴ Europäische Kommission (2020): Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa, Brüssel

²³⁵ Dittrich, Monika; Limberger, S; Ewers, B.; Stalf, M.; Knappe, F., Vogt; R. (2021): Sekundärrohstoffe in Deutschland im Auftrag des NABU.



Baustoffrecyclat, Quelle: Breier

aus 2019 lediglich von 12 % auf etwa 14 % anheben.²³⁵ Dass der aktuelle Wert bereits darüber liegt, zeigt: Eine wichtige Stellschraube ist nicht nur die Ausweitung des Recyclings, sondern insbesondere die Reduktion der Primärrohstoffnutzung, etwa durch eine schnelle Energiewende, längere Produktnutzungsdauern, Suffizienz, Konsumreduktion und rohstoffsparende Technologien. Modellrechnungen deuten darauf hin, dass dadurch bis 2030 eine CMUR von bis zu 18 % erreichbar wäre.

Gleichzeitig wird deutlich, dass Recycling im Abfallsektor allein nicht genügt, um eine wirklich zirkuläre Wirtschaft aufzubauen. Da die CMUR ausschließlich Recycling und Wiederverwendung innerhalb des Abfallsektors erfasst, bleiben wichtige andere Sekundärrohstoffströme unberücksichtigt. Daher sollten ergänzend weitere Indikatoren herangezogen werden, die den tatsächlichen Beitrag von Sekundärmaterialien zur Rohstoffversorgung abbilden.

So zeigt eine Analyse von Steger et al. (2019)²³⁶, dass der Einsatz von Sekundärrohstoffen 2013 bereits 12 % des direkten Rohstoffbedarfs substituierte – insgesamt 222 Mio. t (DERec). Entlang der globalen Wertschöpfungsketten ergibt sich sogar eine Einsparung von 15 % bzw. 493 Mio. t (DIERec). Besonders hoch sind die stoffstromspezifischen Einsparpotenziale bei Eisen (42 %), Kupfer (33 %) und Aluminium (34 %), die zusammen fast zwei Drittel der gesamten Einsparungen ausmachen. Bei nichtmetallischen Mineralien bestehen laut der Studie zwar theoretisch sichtbare Potenziale, doch sind diese aufgrund hoher technischer Anforderungen bspw. für den Einsatz in Betonen, nicht getrennter Erfassung und damit einhergehenden Schadstoffbelastungen sowie der Nutzung der Materialien zur Verfüllung statt im Recycling nur begrenzt realisierbar. Gleichzeitig zeigt die aktuelle Praxis, dass diese Potenziale innerhalb des

bestehenden rechtlichen und normativen Rahmens bei weitem nicht ausgeschöpft werden: Die zulässigen Zugabemengen für rezyklierte Gesteinskörnungen gemäß den einschlägigen Normen werden bislang nur in geringem Umfang genutzt. Zudem sind selektiver Rückbau und getrennte Erfassung gemäß Gewerbeabfallverordnung verpflichtend, und auch die Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes schreibt die Priorisierung von Recycling gegenüber der Verfüllung vor. Hinzukommen die „Verdünnung“ des DIERec durch die großen enormen Massenströme (insb. Boden und Bauschutt), da die Einsparung ins Verhältnis zum gesamten theoretischen Materialaufwand gesetzt wird. Die Zahlen aus der Studie müssen aus heutiger Sicht als Orientierungsgrößen gesehen werden. Denn in den letzten Jahren haben sich viele Themen weiterentwickelt und eine zunehmende Kreislaufführung wurde mit der einhergehenden Regulierung flankiert. So bringen neue rechtliche Anforderungen (bspw. Ersatzbaustoffverordnung) verschärfte Qualitäts- und Schadstoffanforderungen, technologische Entwicklungen im Recycling ermöglichen mehr Kreislaufführung, die Zu- und Abnahme des Bauvolumens verändern die Materialströme und die Nachfrage nach hochwertigen RC-Baustoffen und steigende Transport- und Energiekosten beeinflussen zunehmend den Ort und die Art der Verwertung. Diese Faktoren haben direkten Einfluss auf den DIERec.

²³⁶ Umweltbundesamt: Die Nutzung natürlicher Ressourcen – Ressourcenbericht für Deutschland 2022, Dezember 2022 (basierend auf Steger, S. et al.: Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität: Abschlussbericht. TEXTE 34/2019. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.)

Beitrag von Sekundärrohstoffen zur Deckung des direkten und indirekten Rohstoffbedarfs für ausgewählte Materialien (in Mio. Tonnen)

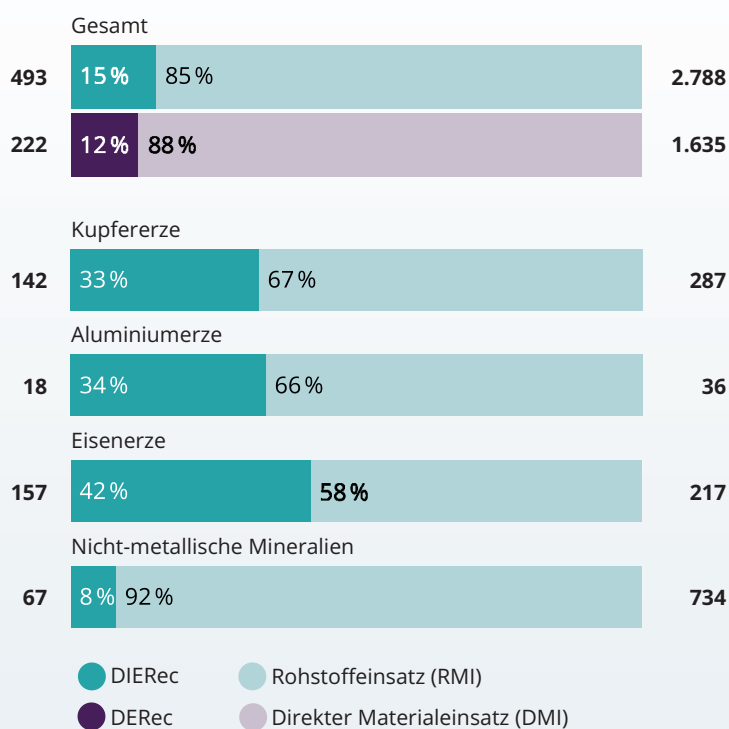


Abb. 97, Quelle: eigene Grafik basierend auf Quelle: Dittrich, Monika; Limberger, S.; Ewers, B.; Stalf, M.; Knappe, F.; Vogt, R. (2021): Sekundärrohstoffe in Deutschland im Auftrag des NABU und Eurostat: Circular material use rate, env_ac_cur

DERec und DIERec

Die beiden Indikatoren „DERec“ (Direct Effects of Recovery) und DIERec (Direct and Indirect Effects of Recovery) bilden die Schonung von Primärrohstoffen durch das Recycling und die energetische Nutzung ab. Der DERec gibt dabei an, wie viele Primärrohstoffe direkt, d. h. ohne Betrachtung der Vorketten durch Sekundärrohstoffe eingespart bzw. nicht in Anspruch genommen werden müssen. Der DIERec hingegen berücksichtigt, dass durch die Verwertung von Abfällen auch noch Primärrohstoffe entlang der gesamten globalen Wertschöpfungskette eingespart werden.

Durch beide Indikatoren lässt sich messen, ob ein verstärkter Sekundärrohstoffeinsatz in Deutschland dazu beiträgt, den Primärmaterial- bzw. Primärrohstoffbedarf zu senken. Ein Vorteil der beiden Indikatoren ist, dass sie bei entsprechender Datenlage ReUse, Secondhand-Nutzung, sowie innerindustrielle Wiedernutzung von Rohstoffen berücksichtigen. Allerdings sind die Indikatoren aktuell noch nicht durch eine einheitliche Methodik standardisiert und entsprechende amtliche Statistiken stehen nicht flächendeckend zur Verfügung, so dass eine regelmäßige Erfassung aktuell noch nicht erfolgt.²³⁷

²³⁷ Dittrich, Monika; Limberger, S.; Ewers, B.; Staf, M.; Knappe, F., Vogt, R. (2021): Sekundärrohstoffe in Deutschland. im Auftrag des NABU.

Insgesamt ermöglichen der DERec und der DIERec eine Quantifizierung der substituierten Rohstoffe. Damit stellen die beiden Indikatoren auf gesamtwirtschaftlicher Ebene eine interessante Alternative zu der CMUR dar, welche nicht den tatsächlichen Einsatz von Rohstoffen misst, sondern nur einen Proxy verwendet. Bedauerlicherweise ist der existierende methodische Ansatz des DERec und DIERec aktuell nicht konsistent mit ökonomieweiten Rohstoffrechnungen, was eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieser Indikatoren stark einschränkt. Eine Entwicklung von konsistenten Methoden zur Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Primär- und Sekundärrohstoffströme würde dabei helfen, gezielt Recyclingpotenziale identifizieren zu können und somit langfristig eine umfassendere Kreislaufwirtschaft ermöglichen.

Während DERec und DIERec die Ressourceneinsparungen zeigen, sind Recyclingquoten zentrale Indikatoren, um die Möglichkeit der Rohstoffsicherung durch Recycling zu bemessen. Konkrete Quoten werden durch die Wiedereinsatzquote und die End-of-Life-Recyclingrate (EOL RR) beschrieben. Die Wiedereinsatzquote beschreibt den Anteil sekundärer Rohstoffe an der gesamten Rohstoffproduktion eines kritischen Rohstoffes. Die End-of-Life-Recyclingrate gibt an, welcher Anteil der theoretisch verfügbaren Stoffe am Lebensende tatsächlich recycelt wird. Während die Wiedereinsatzquote vor allem Aussagen über die Nutzung von Produktions- und Prozessschrotten zu-

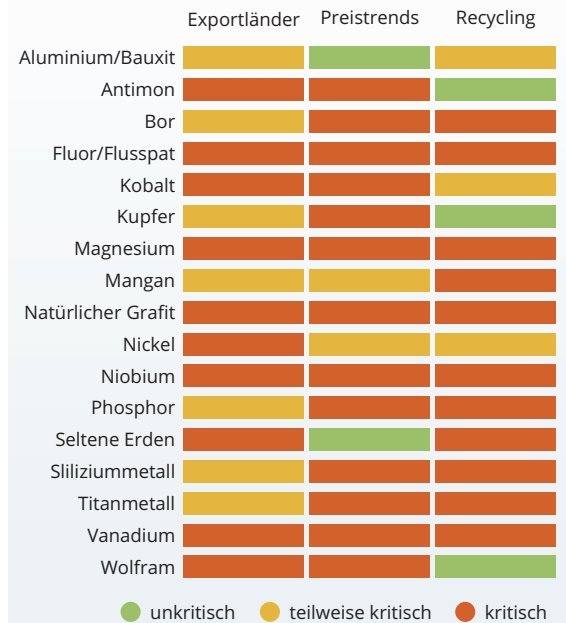
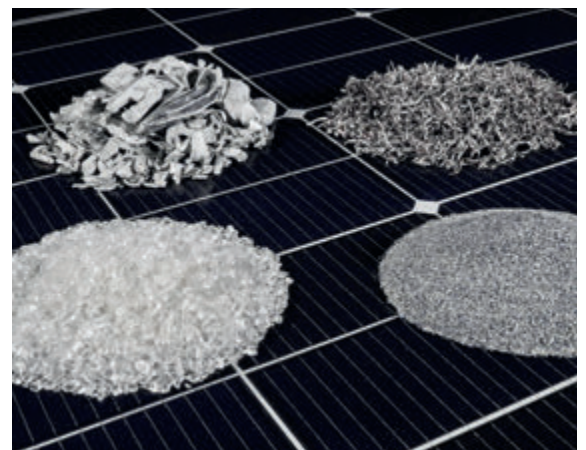
Vulnerabilitäts-Übersicht der ausgewählten Kritischen Rohstoffe (Auswertung erfolgte für Nordrhein-Westfalen)

Abb. 98, Quelle: Kompetenznetzwerk Umweltwirtschaft NRW, Green Economy Paper #2

lässt, bildet die EOL-Recyclingrate die tatsächliche Rückführung aus Altprodukten ab und ist damit ein zentraler Indikator für die Funktionsfähigkeit geschlossener Stoffkreisläufe. Wichtig ist zu beachten, dass die EOL-Recyclingrate rechnerisch auf 100 % steigen kann, wenn sämtliche verfügbaren Metalle dem Recycling zugeführt würden, was in der Praxis aufgrund unvermeidbarer Verluste nicht realistisch ist. Die Wiedereinsatzquote hingegen bleibt selbst dann deutlich unter 100 %, wenn im Kreislauf geführte Metalle vollständig recycelt würden, da eine wachsende Volkswirtschaft üblicherweise mehr Metall für die Produktion neuer Güter benötigt, als durch Sekundärrohstoffe aus Altprodukten bereitgestellt werden kann.



Endprodukte Photovoltaik-Recycling Quelle: Reiling

4.3.4 Kritische Rohstoffe

Kritische Rohstoffe spielen für die Transformation zu einer klimaneutralen und digitalen Wirtschaft eine zentrale Rolle. Sie sind aufgrund ihrer hohen wirtschaftlichen Bedeutung besonders relevant, da sie für zahlreiche Zukunftstechnologien wie Elektromobilität, erneuerbare Energien, digitale Infrastruktur und industrielle Wertschöpfung unverzichtbar sind. Die Abhängigkeit von wenigen Förderländern, stark konzentrierten Lieferketten, einem intensiven globalen Wettbewerb sowie begrenzten Substitutionsmöglichkeiten birgt erhebliche Risiken für die Versorgungssicherheit, die auch in Deutschland deutlich werden. Deshalb kommt der Ressourcenwende und der Ausschöpfung sämtlicher Kreislaufwirtschaftspotenziale eine zentrale Rolle zu.

Hinzu kommt der erwartete deutliche Anstieg der globalen Rohstoffnachfrage im Zuge der ökologischen Transformation. Die OECD prognostiziert, dass sich der weltweite Materialbedarf bis 2060 gegenüber dem heutigen Niveau mehr als verdoppeln wird.²³⁸ Für einzelne kritische Metalle wie Seltene Erden oder Lithium werden im Kontext grüner Technologien besonders dynamische Entwicklungen erwartet. So könnte die Nachfrage nach Lithium bis 2030 beispielsweise um das Zwölfwache steigen. Diese Dynamik verstärkt die Importabhängigkeiten der EU und Deutschlands zusätzlich und erhöht den Handlungsdruck im Bereich Diversifizierung, Substitution und Recycling. Vor diesem Hintergrund sind verstärkte Analysen bezüglich der Vulnerabilität der Wirtschaft im Hinblick auf kritische Rohstoffe von besonderer Bedeutung. Eine solche Analyse wurde im Auftrag des Kompetenzzentrums für Umweltwirtschaft (KNUW) für Nordrhein-Westfalen durchgeführt, kann jedoch vom methodischen Ansatz her auch auf die Bundesebene übertragen werden.²³⁹ Außerdem weist NRW als industriestarkes Bundesland einen erheblichen Anteil an den bundesweiten Import- und Verarbeitungsstrukturen auf, so dass sich zentrale Befunde zu Importabhängigkeiten, Lieferkonzentrationen und Recyclingpotenzialen grundsätzlich auf die gesamtdeutsche Ebene übertragen lassen. In Abbildung 98 werden die Kernerkenntnisse dieser Studie dargestellt. Sie gibt einen Überblick über die Vulnerabilität 17 ausgewählter und besonders relevanter Rohstoffe entlang der Kriterien Exportländer, Preistrends und Recycling.

Die Vulnerabilität unterscheidet die zwei Dimensionen Exposition und Anpassungskapazität. Die Exposition beschreibt den Umfang und die Herkunft der Importe und die Anpassungskapazität das Recyclingpotenzial.

Die Bewertung der Exportländer enthält die Kritikalitätsbewertung der drei wichtigsten Importländer. Importe aus China oder Russland werden dabei als kritisch, aus anderen Nicht-EU-Ländern als teilweise kri-

tisch und aus EU-Ländern als unkritisch betrachtet. Die Preistrends werden über eine Indexierung der Importmengen (t) und Importwerte (€) analysiert. Entwickeln sich die Importwerte deutlich stärker als die Importmengen, wird ein Preiseffekt angenommen. Kurzfristige Abweichungen, etwa infolge globaler Krisen, werden als mittleres Risiko gewertet, anhaltend überproportionale Wertrends als hohes Preisrisiko. Die Bewertung des Recyclings erfolgt über Recyclingindikatoren. Maßgeblich ist die Recycling Input Rate (RIR) im Vergleich zum 25 %-Zielwert des Critical Raw Materials Act (CRMA). Eine RIR unter 10 % gilt als kritisch, 10–25 % als mittleres Risiko und über 25 % als vergleichsweise resilient. Ergänzend wurden End-of-Life-Recyclingraten berücksichtigt, um strukturelle Potenziale der Kreislaufführung sichtbar zu machen.

Die Kreislaufwirtschaft stellt einen zentralen Hebel zur Verringerung rohstoffbezogener Abhängigkeiten und Erhöhung der Anpassungsfähigkeit und Resilienz dar. Während bei klassischen Metallen wie Eisen, Kupfer oder Aluminium weltweit bereits Recyclingraten von über 50 % erreicht werden, besteht insbesondere bei High-Tech-Metallen und Seltenen Erden ein deutlicher Nachholbedarf. Für einzelne strategische Elemente wie Tantal, Indium oder Neodym liegen die End-of-Life-Recyclingraten teilweise unter einem Prozent. Dies verdeutlicht, dass insbesondere bei jenen Rohstoffen, die für Zukunftstechnologien essenziell sind, bislang nur geringe Rückflüsse aus Altprodukten erfolgen.

²³⁸ Europäische Kommission, „Study on the Critical Raw Materials for the EU“, 2023. [Online]. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/57318397-fdd4-11ed-a05c-01aa75ed71a1>
BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Eckpunktepapier: Nachhaltige und resiliente Rohstoffversorgung, 2023



²³⁹ Green_Economy_Paper_KNUW_Kritische_Rohstoffe.pdf



Wiedereinsatzquote und End-of-Life Recyclingrate ausgewählter Metalle

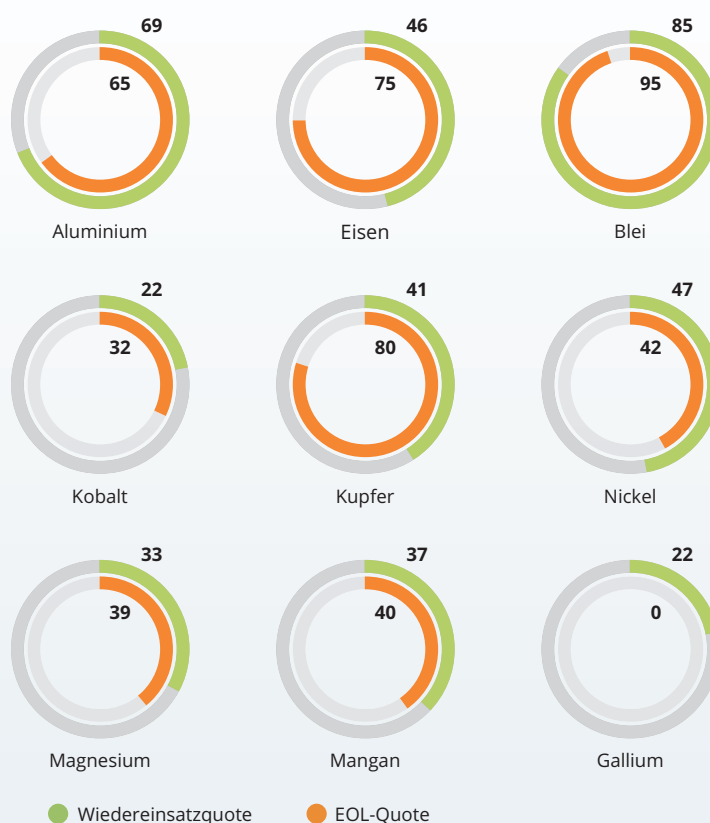


Abb. 99, Quelle: DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

²⁴⁰ RMIS – Europäische Union (Hrsg.) (2026): Raw Materials Profiles – Aluminium

²⁴¹ EuRIC European Recycling Industries' Confederation (2020): Metal Recycling Factsheet; Brüssel

²⁴² CEA – European Automobile Manufacturers Association (2020): An Analysis of EU Collection and Recycling of Lead-based Automotive Batteries During the Period 2015–2017

²⁴³ WMM – Wirtschaftsvereinigung Metalle (2021): Der Geschäftsbericht der Nicht-eisen-Metallindustrie 2021

²⁴⁴ BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2023): Fachinformationssystem Rohstoffe. – unveröff.; Hannover. [Stand: 11.07.2023].

²⁴⁵ Matos C. T.; Ciacci, L.; Godoy León, M. F.; Lundhaug, M.; Dewulf, J.; Müller, D. B.; Georgitzikis, K.; Wittmer, D.; Mathieux, F. (2020) Material System Analysis of five battery-related raw materials: Cobalt, Lithium, Manganese, Natural Graphite, Nickel, EUR 30103 EN, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2020.

²⁴⁶ BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2025): Deutschland – Rohstoffsituation 2024. – 208 S.; Hannover.

²⁴⁷ DKI – Deutsches Kupferinstitut Berufsverband e.V. (2022): Mitglieder; [Stand: 11.07.2023]

²⁴⁸ BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft (2020), Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020

²⁴⁹ EuRIC European Recycling Industries' Confederation (2020): Metal Recycling Factsheet; Brüssel

²⁵⁰ ebd.

²⁵¹ BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2023): Fachinformationssystem Rohstoffe. – unveröff.; Hannover [Stand: 08.06.2023].

²⁵² BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2025): Deutschland – Rohstoffsituation 2024. – 208 S.; Hannover. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Rohstoffe/Downloads/Downloads-MR/rohsit-2024.pdf?__blob=publicationFile&w=3

²⁵³ BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2023): Fachinformationssystem Rohstoffe. – unveröff.; Hannover [Stand: 08.06.2023].

Eine zentrale Herausforderung besteht darin, dass kritische Rohstoffe häufig nur in sehr geringen Konzentrationen und in komplexen Produktverbänden verbaut sind. Dies erschwert ihre Erfassung und wirtschaftliche Rückgewinnung am Ende der Nutzungsphase. Um die Kreislaufführung zu stärken, sind daher innovative Erfassung- und Aufbereitungssysteme, digitale Produktpässe sowie KI-gestützte Sortier- und Rückgewinnungsverfahren erforderlich. Gleichzeitig muss im Rahmen des Ökodesigns die Recyclingfähigkeit von Produkten systematisch mitgedacht und die Bereitstellung von Materialinformationen verbessert werden. Entscheidend ist zudem die Entwicklung stabiler Märkte für Sekundärrohstoffe, um Investitionssicherheit für Recyclingunternehmen zu schaffen.

Wiedereinsatzquote & End-of-Life Recyclingrate ausgewählter kritischer Rohstoffe und Metalle

Bei Aluminium haben energieintensive Primäraluminiumhütten ihre Produktion seit 2022 aufgrund massiv gestiegener Strom- und Erdgaspreise deutlich reduziert. Die Raffinademenge aus Primärrohstoffen sank dadurch von 341.000 Tonnen (2022) auf 220.000 Tonnen im Jahr 2024. Gleichzeitig blieb die Raffinademenge aus Recyclingrohstoffen mit 490.000 Tonnen nahezu konstant (2022: 473.000 Tonnen). Folglich stieg die Wiedereinsatzquote, also der Anteil von Recyclingaluminium an der Raffinadeproduktion, von 58 % auf 69 %. Die EOL RR für Aluminium liegt europaweit bei 65 %²⁴⁰ wobei keine spezifischen Daten für Deutschland vorliegen. Einige produktbezogene Quoten sind jedoch deutlich höher: etwa 90 % im Automobil- und Bausektor, 95 % im Verpackungsbereich und sogar 99 % bei Getränkedosen.

Eisen und Stahl bilden mit einer jährlichen Produktionsmenge von rund 35 Millionen Tonnen in Deutschland die bedeutendste Metallfraktion. Sie werden vor allem in zentralen Industriezweigen wie der Automobil- und Maschinenbauindustrie eingesetzt. Der Anteil von Recyclingstoffen an der Rohstahlproduktion beträgt aktuell rund 46 %. Für Deutschland liegt zwar keine EOL-RR vor. Produktbezogene Recyclingraten für Edelstahlprodukte und legierte Stahlschrotte erreichen über 90 %. Gleichzeitig besteht bei Standardedelstählen mit EOL Raten zwischen 70 % und 80 % noch Verbesserungspotenzial²⁴¹.

Das Recycling von Blei ist in Deutschland gut etabliert. Daraus ergibt sich eine sehr hohe nationale EOL RR von 95 %. Die hohe Quote ist vor allem der Recyclingrate von 97,3 %²⁴² bei Blei-Säure-Batterien geschuldet, die 74 %²⁴³ des gesamten Bleieinsatzes ausmachen. Die Wiedereinsatzquote von Blei liegt bei sehr hohen 85 %.²⁴⁴

Für Kobalt existieren derzeit nur begrenzte Daten zur deutschen Produktion und zum Recycling. Der stark steigende Bedarf aus der Elektromobilität soll

künftig durch höhere Recyclingmengen gedeckt werden, insbesondere durch ein flächendeckendes Recycling von Lithium Ionen Batterien. Kurz- bis mittelfristig sind daher zusätzliche Recyclingpotenziale realistisch. Die Wiedereinsatzquote mit 22 % als auch die EOL RR mit 32 % liegen europaweit noch auf niedrigem Niveau, allerdings beruhen diese Zahlen auf Daten aus dem Jahr 2016²⁴⁵.

Kupferrecycling spielt besonders in Deutschland als viertgrößtem Importeur von Primärkupfer eine zentrale Rolle für die Rohstoffversorgung. Dank der starken Kupferrecyclingwirtschaft ist die Datenlage zu Recyclingquoten gut. Im Jahr 2024 wurden in Deutschland 0,597 Millionen Tonnen Raffinadekupfer hergestellt, wovon rund 0,244 Millionen Tonnen aus Recyclingrohstoffen hergestellt wurde.²⁴⁶ Der Anteil von recyceltem Kupfer in der Raffinadekupferproduktion beträgt somit 41 %. Zudem wird eine EOL RR von 80 %²⁴⁷ erreicht. Produktbezogen liegen die EOL Raten bei 95 %²⁴⁸ für Kupferverpackungen in

Theoretische Steigerungsrate der Circular Material Use Rate (in %)

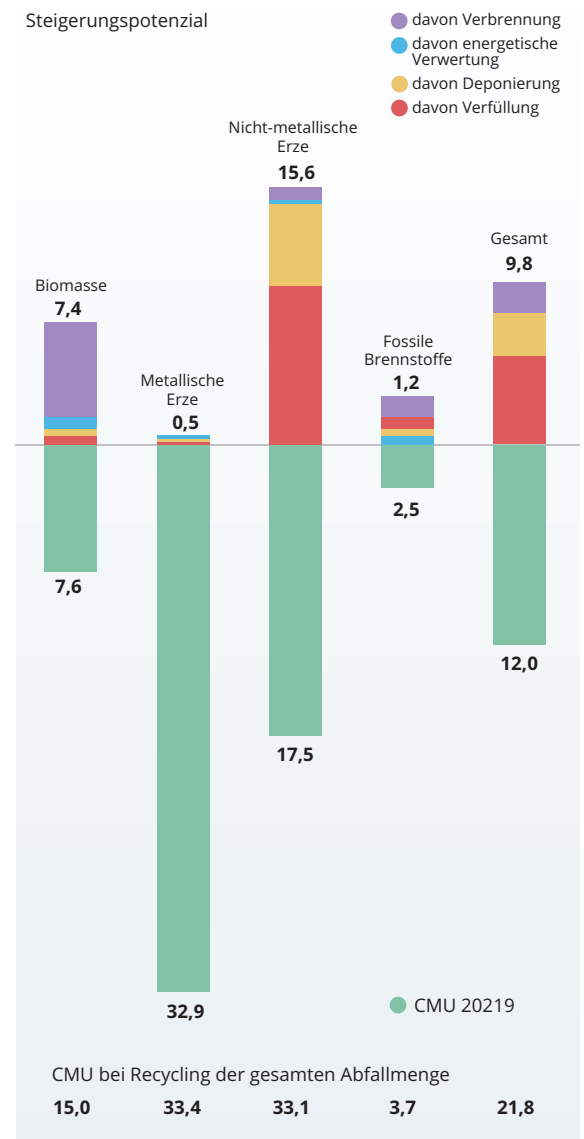


Abb. 100, eigene Grafik basierend auf Quelle: Dittrich, Monika; Limberger, S; Ewers, B.; Stalf, M.; Knappe, F., Vogt; R. (2021): Sekundärrohstoffe in Deutschland, im Auftrag des NABU



Baustoffrecyclat, Quelle: Breier

Deutschland und bei 90%²⁴⁹ im europäischen Infrastrukturbereich. Deutlich niedriger ist die Quote bei Elektro- und Elektronikaltgeräten, wo aktuell nur etwa 50%²⁵⁰ erreicht werden. Hier liegt besonders in der Erfassung und Sammlung ein bedeutender Hebel zur Ausschöpfung weiterer Recyclingpotenziale.

Nickel ist sowohl ein klassisches Industriemetall, welches überwiegend zur Herstellung von Edelstahl und Nickellegierungen eingesetzt wird, als auch ein kritischer Rohstoff mit stark steigender Nachfrage im Bereich Elektromobilität und Batteriezellen. Die weltweite Bergwerksförderung betrug im Jahr 2022 3,19 Millionen Tonnen²⁵¹ und der weltweite Raffinadenickelverbrauch im Jahr 2024 3,4 Millionen Tonnen.²⁵² 2020 wurden weltweit circa 1,0 Millionen Tonnen Recyclingnickel aus Edelstahlschrotten hergestellt.²⁵³ Der Raffinadeverbrauch betrug in Deutschland im Jahr 2022 59.000 Tonnen.²⁵⁴ Die Wiedereinsatzquote von Nickel beträgt innerhalb der EU 47%²⁵⁵. Die EOL-RR liegt in der EU bei 42% wobei keine spezifischen Daten für Deutschland vorliegen.²⁵⁶ Die produktbezogene Recyclingrate für Nickel bei der Edelstahlproduktion in Deutschland liegt bei circa 50%²⁵⁷.

Magnesium ist ein Leichtmetall mit wachsender Bedeutung für Leichtbau- und Mobilitätsanwendungen. Der Raffinadeverbrauch betrug 2020 27.400 Tonnen in Deutschland.²⁵⁸ Die Wiedereinsatzquote beträgt global rund 33% und die EOL-RR wird weltweit auf circa 39% geschätzt.²⁵⁹ Für die EU liegt die Wiedereinsatzquote bei 26% und die EOL-RR bei 14%²⁶⁰. Die insgesamt relativ niedrigen Werte verdeutlichen, dass trotz vorhandener Recyclingprozesse ein großer Teil des metallischen Magnesiums nicht vollständig weitergeführt wird, z.B. aufgrund von Aufbereitungsverlusten, Legierungsverbindungen und unzureichender stofflicher Erfassung am Ende der Produktlebensdauer.

Mangan ist ein kritischer Rohstoff für Stahlegierungen und Batteriematerialien. Die Wiedereinsatzquote liegt weltweit bei rund 37%²⁶¹, während der EU-Durchschnitt mit 44% leicht höher liegt.²⁶² Die EOL-Recyclingrate liegt für Europa bei circa 40%²⁶³ und damit deutlich höher als bei Magnesium. Trotzdem bestehen weiterhin Potenziale zur Steigerung, insbesondere durch die systematische Rückgewinnung aus legierten Anwendungen und Batteriezel-lenkomponenten.

Gallium ist ein technologisch wichtiger kritischer Rohstoff, der z.B. in Halbleitern und LED-Anwendungen eingesetzt wird. Laut DERA-Recyclingatlas²⁶⁴ besteht eine Wiedereinsatzquote von 22% weltweit²⁶⁵, was auf die Nutzung sekundärer Produktionsrückstände hindeutet. Die EOL-RR liegt jedoch bei 0%²⁶⁶, da Gallium aus Altprodukten bislang praktisch nicht zurückgewonnen wird. Dies reflektiert die geringe Erfassung aus komplexen Endproduktströmen und fehlende spezialisierte Recyclingprozesse bei geringen Konzentrationen in Endanwendungen. Insgesamt zeigen die Daten ein differenziertes Bild kritischer Rohstoffe und Metalle:

- ▶ hohe Wiedereinsatzquoten deuten häufig auf ein etabliertes Recycling von Produktionsschrotten und Vorproduktströmen hin, spiegeln aber nicht zwangsläufig eine vollständige Nutzung sekundärer Ressourcen im Produktlebenszyklus wider.
- ▶ EOL-Recyclingraten, insbesondere bei Metallen wie Gallium oder Magnesium, bleiben weit hinter dem potenziellen Wiedergewinn zurück und könnten einerseits ein Signal für fehlende wirtschaftliche Anreize und andererseits für strukturelle Defizite in der Sammlung, Aufbereitung oder technologischen Rückgewinnung aus komplexen Produkten sein.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass hohe Wiedereinsatzquoten nicht automatisch mit einer umfassenden Kreislaufführung gleichzusetzen sind. Gerade bei technologierelevanten Metallen mit niedrigen EOL-Recyclingraten bestehen erhebliche strukturelle Defizite in der Sammlung, Sortierung und metallurgischer Aufbereitung. Vor dem Hintergrund steigender Nachfrage – insbesondere im Zuge der Energie- und Mobilitätswende – sowie geopolitischer Risiken wird die Weiterentwicklung leistungsfähiger Recyclingtechnologien damit zu einem zentralen Baustein für Resilienz, Wettbewerbsfähigkeit und nachhaltige Transformation. Die Abfall- und Recyclingtechnik leistet einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft. Ihre Technologien unterstützen hochwertiges Recycling, die Rückgewinnung kritischer Rohstoffe und die Umsetzung regulatorischer Anforderungen. Eine angemessene politische Berücksichtigung dieser Branche kann dazu beitragen, Fortschritte bei Ressourcenschonung, Klimaneutralität und Rohstoffsicherheit zu ermöglichen.

²⁵⁴ DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2023): Status Quo des Recyclings bei der Metallherzeugung und -verarbeitung in Deutschland, Berlin

²⁵⁵ RMIS – Europäische Union (Hrsg.) (2026): Raw Materials Profiles – Nickel, URL: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Mangnese>

²⁵⁶ ebd.

²⁵⁷ GDB – Gesamtverband der Deutschen Buntmetallindustrie e. V. (2022), Berlin,

²⁵⁸ BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2023): Fachinformationssystem Rohstoffe. – unveröff.; Hannover [Stand: 08.06.2023].

²⁵⁹ OECD (2019), Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences, OECD Publishing, Paris. URL: <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>

²⁶⁰ RMIS – Europäische Union (Hrsg.) (2026): Raw Materials Profiles – Magnesium URL: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Magnesium>

²⁶¹ OECD (2019), Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences, OECD Publishing, Paris. URL: <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en> [Stand: 20.12.2022].

²⁶² RMIS – Europäische Union (Hrsg.) (2026): Raw Materials Profiles – Mangan URL: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Mangnese>

²⁶³ RMIS – Europäische Union (Hrsg.) (2026): Raw Materials Profiles – Nickel URL: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Mangnese>

²⁶⁴ DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2023): Status Quo des Recyclings bei der Metallherzeugung und -verarbeitung in Deutschland, Berlin

²⁶⁵ RMIS – Europäische Union (Hrsg.) (2026): Raw Materials Profiles – Gallium URL: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Gallium>

²⁶⁶ RMIS – Europäische Union (Hrsg.) (2026): Raw Materials Profiles – Gallium URL: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Gallium>

²⁶⁷ ebd.

²⁶⁸ Destatis 2025, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/04/PD25_N019_51.html



²⁶⁹ <https://www.bvse.de/schrott-elektronikgeraete-recycling/pressemitteilungen-schrott/11812-deutsche-stahlschrottbilanz-2024-anstieg-des-schrotteinsatzes-elektrostahlroute-als-treiber.html>



²⁷⁰ <https://www.wvstahl.de/publikationen/statistischer-bericht-stahlschrott-2024/>



Nachfrageentwicklung durch Zukunftstechnologien

Die dargestellten Recyclingkennzahlen sind vor dem Hintergrund einer dynamisch wachsenden Nachfrage nach kritischen Rohstoffen zu bewerten. Im Zuge der Transformation zur Klimaneutralität, des Ausbaus erneuerbarer Energien sowie der fortschreitenden Digitalisierung steigt der Bedarf an zahlreichen strategisch relevanten Metallen deutlich an. Dadurch gewinnen geschlossene Stoffkreisläufe nicht nur aus ökologischer, sondern zunehmend auch aus industrie- und sicherheitspolitischer Perspektive an Bedeutung.

Zu den für die EU strategisch besonders relevanten Zukunftstechnologien mit hohem Rohstoffbedarf gehören Lithium-Ionen-Batterien, Brennstoffzellen, Windkraftanlagen, Photovoltaiksysteme, Permanentmagnetmotoren, Halbleitertechnologien sowie digitale Anwendungen wie Robotik, 3D-Druck und KI-Infrastrukturen. Mit diesen Technologien sind kritische und strategische Rohstoffe verbunden, darunter Nickel, Mangan, Magnesium und Gallium, aber auch Lithium, Kobalt, Seltene Erden, Silizium und Indium.

Gerade bei Nickel und Mangan – die sowohl für Edelstahl als auch für Batterietechnologien essenziell sind – ist von einer deutlichen Nachfragesteigerung auszugehen. Dies könnte die oben dargestellten Recyclingquoten relativieren: Selbst bei vergleichsweise hohen EOL-Recyclingraten kann die Wiedereinsatzquote sinken oder stagnieren, wenn die Primärnachfrage schneller wächst als das verfügbare Sekundärangebot. Bei Gallium wiederum zeigt die EOL-Recyclingrate von 0%, dass für bestimmte Hochtechnologiemetalle bislang kaum ein Rückfluss aus Altprodukten erfolgt – obwohl deren Bedeutung für Photovoltaik- und Halbleiteranwendungen stark zunimmt.

Die EU und Deutschland sind teilweise stark abhängig von Importen aus Drittländern wie China und Russland. Im Jahr 2024 kamen in der EU insgesamt über 46% der Seltenen Erden aus China, über 28% aus Russland und 20% aus Malaysia. Deutschland bezog knapp 66% der importierten Mengen aus China.²⁶⁸ Die geopolitischen Spannungen der vergangenen Jahre – insbesondere seit der COVID-19-Pan-

Einsatz von Schrott in der Stahlproduktion

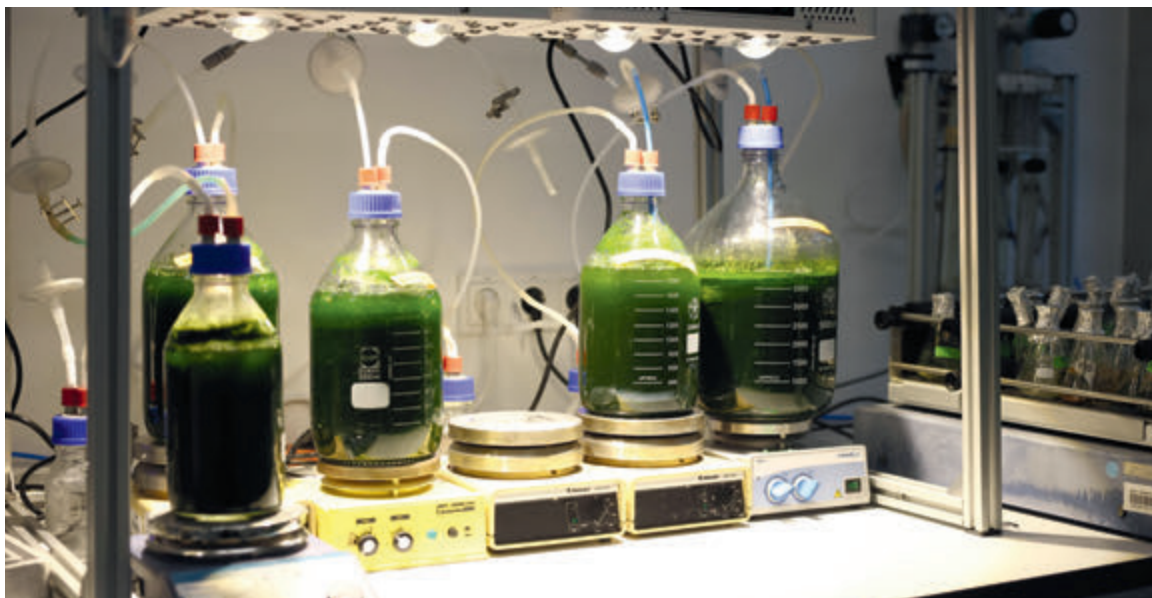
Die Eisen- und Stahlindustrie spielt in Deutschland sowohl wirtschaftlich als auch mengenmäßig mit einer Rohstahlproduktion von rund 35 Millionen Tonnen eine zentrale Rolle. Diese Produktionsmenge ist in den vergangenen Jahren von konstanten 40 Millionen Tonnen auf rund 35 Millionen Tonnen zurückgegangen. Entscheidend für die weitere Entwicklung ist auch die Beschreitung von Dekarbonisierungs-Technologiepfaden. Aus Rohstoffperspektive spielt neben der Verfügbarkeit von Wasserstoff- und Wasserstoff-Derivaten (für die Umrüstung von Hochöfen auf Direktreduktion) auch die Verfügbarkeit von Schrott eine entscheidende Rolle für die Maximierung der Sekundärstahlproduktion. Die Verteilung über die verschiedenen Produktionsrouten soll sich im Zuge einer Transformation der Stahlindustrie wesentlich ändern. Aktuell dominieren zwei Verfahren mit dem Oxygenstahlverfahren mit einer Produktionsmenge von rund 26 Millionen Tonnen im Jahr 2024 und dem Elektrostahlverfahren mit 11 Millionen Tonnen im Jahr 2024.²⁶⁹ Beim Oxygenstahlverfahren wird dabei im Konverter Stahl aus einer Mischung aus Roheisen und einem etwa 10-prozentigen bis 28-prozentigen Schrottzuschlag erzeugt. Die Verwendung von hochwertigen Schrotten kann es dabei in naher Zukunft erlauben, sich an der oberen Grenze des Schrottzuschlages zu bewegen und somit Primärrohstoffe einzusparen. Beim Elektrostahlverfahren kann hingegen bis zu 100% Stahlschrott eingesetzt werden. Des Weiteren ist für die Stahlproduktion das DRI- (Direct Reduced Iron) Verfahren im Gespräch. Dieses ermöglicht es, pelletförmige Eisenerze in einem Schachtofen direkt zu festem Eisen, sogenannten Eisenschwamm zu reduzieren. Der Eisenschwamm wird dann genau wie der Stahlschrott im Elektrostahlverfahren in einem Elektrolichtbogenofen zu Stahl verarbeitet.

Die Reduktion erfolgt beim DRI-Verfahren auf Basis von Erdgas oder Wasserstoff und ermöglicht es, signifikante CO₂e-Emissionen einzusparen. Der CO₂e-Fußabdruck von einer Tonne produzierten Stahl



lässt sich so von circa 1,8 Tonnen CO₂e beim Oxygenstahlverfahren auf circa 0,7 Tonnen CO₂e beim DRI-Verfahren mittels Erdgas und bis auf 0,3 Tonnen beim DRI-Verfahren mittels grünem Wasserstoff reduzieren. Deshalb soll die Stahlproduktion mittels DRI-Verfahren das Oxygenstahlverfahren im Transformationspfad bis 2040 deutlich zurückdrängen bzw. weitgehend ablösen. Eine weitere diskutierte Option ist der Import von DRI aus Ländern, die diesen auf Grundlage von grauem Wasserstoff kostengünstig herstellen. In Deutschland fände dann die Weiterverarbeitung des Eisenschwamms zu Stahl statt. Durch die Verwendung von pelletförmigen Eisenerzen bleibt die Nachfrage nach dem Primärrohstoff Eisenerz jedoch weiterhin hoch. Das schrottbasierte Elektrostahlverfahren kann perspektivisch eine leicht höhere Produktionsmenge erreichen und bis 2030 auf circa 16 Millionen Tonnen im Jahr steigen.

Der limitierende Faktor für eine größere Stahlproduktion mittels Elektrostahlverfahren ist neben der verfügbaren Menge an DRI zumindest auf globaler Ebene jedoch die verfügbare Menge an Stahlschrott, welcher zur Produktion verwendet werden kann. Auf rein deutscher Ebene zeigt ein Stahlschrottexportüberschuss von circa 3 Millionen Tonnen jährlich²⁷⁰, dass eine gesteigerte Produktion mittels Elektrostahlverfahren bei Aufbauentsprechender Produktionsstätten möglich wäre.



Versuchsaufbau, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

demie und dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine – haben die Verwundbarkeit globaler Lieferketten deutlich gemacht.

Für die deutsche Volkswirtschaft ist insbesondere der Fahrzeugbau von zentraler Bedeutung. Der erwartete weitere Hochlauf der Elektromobilität, der insbesondere durch den Einsatz von Lithiumionen-Akkus geprägt sein wird, führt zu steigenden Bedarfen an Nickel, Mangan, Lithium, Kobalt und Graphit. Gleichzeitig werden bei Photovoltaikanlagen unter anderem Silizium, Indium und Gallium benötigt. Damit verschärft sich die strategische Relevanz funktionierender Recyclingstrukturen für genau jene Metalle, bei denen teils noch erhebliche Defizite in der End-of-Life-Rückgewinnung bestehen.

Neben dem Ausbau heimischer Förder- und Verarbeitungskapazitäten gewinnt daher die Entwicklung leistungsfähiger Recyclingtechnologien an Bedeutung. Insbesondere für Batterien, erneuerbare Energietechnologien und komplexe Elektronikprodukte müssen Verfahren weiterentwickelt und skaliert werden, um künftig steigende Schrottrückläufe effizient nutzen zu können. Parallel dazu sind Materialsubstitution, Ressourceneffizienzsteigerungen und Design-for-Recycling-Ansätze zentrale Hebel.

Die EU reagiert auf die strukturellen Herausforderungen mit dem im Mai 2024 in Kraft getretenen Critical Raw Materials Act (CRMA). Darin werden 34 Rohstoffe als kritisch eingestuft, 17 davon als strategisch besonders relevant für Energie, Digitalisierung, Verteidigung sowie Luft- und Raumfahrt. Zu den strategischen Rohstoffen zählen unter anderem Kupfer, Aluminium, Lithium und Mangan. Der CRMA formuliert verbindliche Zielwerte bis 2030:

- ▶ mindestens 10 % der strategischen Rohstoffe sollen innerhalb der EU abgebaut werden,
- ▶ 40 % der Verarbeitungskapazitäten sollen in der EU liegen,
- ▶ mindestens 25 % sollen aus Recycling stammen, und die Abhängigkeit von einem einzelnen Drittstaat soll 65 % nicht überschreiten.

Seit Dezember 2025 existiert zudem RESourceEU²⁷¹, der EU-Aktionsplan, der die Versorgung mit kritischen Rohstoffen wie Metallen oder Seltenen Erden unter anderem für die Automobilindustrie bis hin zu Industriemotoren, von der Verteidigung über die Luft- und Raumfahrt bis hin zu KI-Chips sicherstellen soll. Anfang 2026 soll ein Europäisches Zentrum für kritische Rohstoffe eingerichtet werden, welches strategische Projekte sowie eine gemeinsame Beschaffung und Bevorratung koordiniert.

Ein weiterer wichtiger Hebel bleibt die Weiterentwicklung und Forschung zu veränderten Materialeinsätzen und Substitutionsmöglichkeiten, z. B. im Bereich der Batterietechnologie, oder bei Halbleitern. Zur Förderung entsprechender Technologien hat die EU mit der Plattform Strategic Technologies for Europe (STEP) bestehende Finanzierungsinstrumente gebündelt und auf strategisch relevante Zukunftstechnologien ausgerichtet.

Insgesamt verdeutlicht die Nachfrageentwicklung durch Zukunftstechnologien, dass die dargestellten Recyclingquoten nicht isoliert, betrachtet werden können. Sie sind vielmehr in einen Kontext steigender Primärnachfrage, geopolitischer Risiken und industriepolitischer Zielsetzungen eingebettet. Der Ausbau geschlossener Stoffkreisläufe für kritische Rohstoffe wird damit zu einem zentralen Baustein für Resilienz, Wettbewerbsfähigkeit und nachhaltige Transformation der deutschen und europäischen Wirtschaft.

 RESourceEU Action Plan, https://single-market-economy.ec.europa.eu/document/download/01c448d6-dc93-40d7-9afe-4c2af448d00c_en



4.3.5 Mineralische Abfälle, Bau- und Abbruchabfälle, Sekundärbaustoffe und industrielle Nebenprodukte

Die mineralischen Abfälle stellen mit einem Aufkommen von durchschnittlich 210 Millionen Tonnen pro Jahr den größten Sekundärrohstoffstrom bzw. Materialstrom in der deutschen Kreislaufwirtschaft dar und bedürfen einer besonderen Aufmerksamkeit. Sie unterteilen sich in nicht gefährliche und gefährliche Bau- und Abbruchabfälle, sowie die industriellen Nebenprodukte und bieten ein großes Potenzial den Primärstrom an Kiese und Sanden sowie Natursteinen zu substituieren, die Kreislaufwirtschaft im Bau zu stärken, sowie einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcenschonung, zur Reduktion von Treibhausgasemissionen sowie zur Sicherung regionaler Lieferketten zu leisten.

Mineralische Primär- und Sekundärrohstoffmengen (in Tonnen)

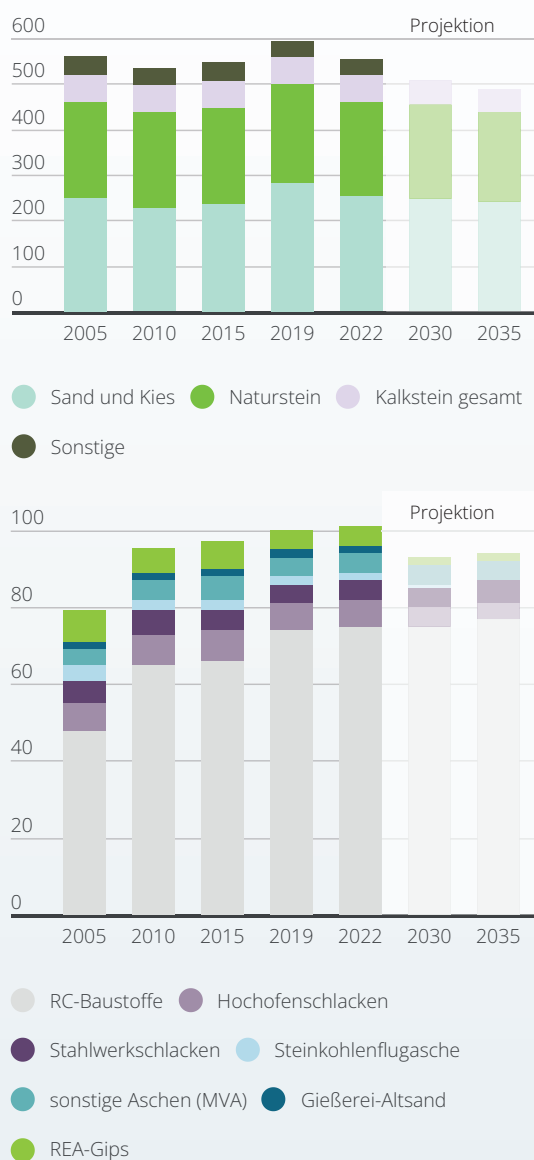


Abb. 101, Quelle: Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung im Auftrag für Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden (2025)

Gleichzeitig steht das System vor einem strukturellen Wandel: Mit dem Auslaufen der Übergangsregelungen für die Verfüllung von Abgrabungen und Tagebauen zum 1. August 2031 im Rahmen der Mantelverordnung wird ein bislang bedeutender Verwertungsweg voraussichtlich deutlich eingeschränkt. Dies bietet gleichzeitig Chancen für mehr Kreislaufwirtschaft. Die Ersatzbaustoffverordnung bildet die rechtliche Grundlage und die stoffliche Verwertung kann einen wichtigen Beitrag zur Entlastung von Deponien und Primärrohstoffen leisten. Parallel dazu verschärfen sich die Rahmenbedingungen der Primärrohstoffgewinnung durch Flächenknappheit, Nutzungskonkurrenzen und Akzeptanzprobleme.

Vor diesem Hintergrund ist eine strategische Weiterentwicklung des Bauabfallrecyclings erforderlich. Neben dem quantitativen Ausbau hochwertiger Sekundärbaustoffe sind regulatorische Anpassungen, Digitalisierung, leistungsfähige Recyclinginfrastrukturen, technologische Innovationen sowie eine stärkere Markt- und Nachfrageaktivierung notwendig, um das vorhandene Potenzial mineralischer Abfälle systematisch für Ressourcensicherung, Klimaschutz und Versorgungssicherheit zu erschließen.

Primärrohstoffe und Sekundärbaustoffe – Aufkommen, Bedarf und Nachfrage

Die Versorgung mit mineralischen Rohstoffen erfolgt in Deutschland durch die Gewinnung aus heimischen Lagerstätten, Importen, sowie dem Einsatz von Sekundärrohstoffen aus der Verwertung und dem Recycling von Bauabfällen sowie mit Nebenprodukten aus industriellen Prozessen. Importe machen dabei nur einen sehr geringen Anteil aus. Insbesondere mineralische Primärrohstoffe, die im Baubereich Anwendung finden, kommen fast ausschließlich aus eigenen Vorkommen. Die Gesamtförderung von Primärrohstoffen im Bereich Steine und Erden betrug im Jahr 2022 insgesamt 555 Millionen Tonnen. Ein Großteil dieser Menge (über 83 %) entfällt davon auf die beiden Kategorien Sand und Kies mit 253 Millionen Tonnen sowie Naturstein mit 210 Millionen Tonnen. Etwas über 10 % entfallen auf die Kategorie Kalkstein. Alle weiteren mineralischen Primärrohstoffe kommen auf insgesamt 41 Millionen Tonnen und machen zusammen nur circa 6 % aus. In Abbil-



Baustoffrecyclat zur Halde schichten, Quelle: Breer



Baustoffrecyclat, Quelle: Breer

dung 101 sind die Primär- und Sekundärrohstoffmengen der mineralischen Rohstoffe zusätzlich zu 2022 auch noch für die vergangenen Jahre 2005, 2010, 2015 und 2019, sowie die Prognosen für 2030 und 2035 abgebildet. Es wird deutlich, dass seit 2005 die Mengen der Primärrohstoffe insgesamt sowie die Mengen der drei genannten Rohstoffgruppen weitgehend gleichgeblieben sind.

Wesentlich mehr Dynamik liegt potenziell in den Sekundärrohstoffmengen durch die Verwertung mineralischer Abfälle. So ist die Sekundärrohstoffmenge über den Zeitraum 2005 bis 2022 deutlich angestiegen, von 78 Millionen Tonnen im Jahr 2005 auf 101 Millionen Tonnen im Jahr 2022. Dies entspricht einem Anstieg von circa 28%. Den größten Anteil an den mineralischen Baustoffen haben die Recyclingbaustoffe mit 75 Millionen Tonnen. Recyclingbaustoffe sind Baustoffe, die in einem aktiven Aufbereitungsprozess (wie beispielsweise brechen, sortieren oder klassieren) aus mineralischen Bauabfällen hergestellt werden. Die Produktionsmenge von Recyclingbaustoffen ist abhängig von den Bau- und Abbruchaktivitäten. Die Nutzung des abgebrochenen Baubestandes wird dabei als „Urban Mining“ bezeichnet und bereits umfassend praktiziert. So wurden von den 85,2 Millionen Tonnen, die als Baurestmassen der Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle 2022 in Deutschland angefallen sind, über 96% verwertet und inklusive der Fraktion Boden und Steine 75,3 Millionen Tonnen als Recyclingbaustoffe wiederverwendet²⁷².

Die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen entsteht vor allem durch die Baustoffindustrie, welche Kiese, Sande, Naturstein und Gips in sehr großen Mengen benötigt und zu den rohstoffintensivsten

Branchen überhaupt gehört. In Deutschland werden jährlich circa 500 Millionen Tonnen mineralische Rohstoffe in der Bauindustrie zur Errichtung sowie für den Erhalt und den Umbau von Gebäuden und Infrastruktur eingesetzt. Dies entspricht mehr als einem Drittel des deutschen Rohstoffkonsums und dreiviertel der nicht-metallischen Mineralien.²⁷³ Der Bedarf an Gesteinskörnungen für alle Industrien betrug im Jahr 2022 dabei insgesamt 564,1 Millionen Tonnen und ist zu unterscheiden von der Gesamtmenge an mineralischen Primärrohstoffen. Die Primärrohstoffe Kiese und Sande (253 Millionen Tonnen) sowie Natursteine (210 Millionen Tonnen) stellten mit zusammen 82,1% den mit Abstand größten Anteil dar. Der Anteil von Recycling-Baustoffen betrug jedoch mit einer Menge von 75,3 Millionen Tonnen immerhin auch 13,3% und industrielle Nebenprodukte machten mit 25,8 Millionen Tonnen 4,6% aus. Die 75,3 Millionen Tonnen Recycling-Baustoffe wurden aus der Gesamtmenge von 207,9 Millionen Tonnen mineralischer Abfälle 2022, bestehend aus Boden und Steinen, Bauschutt, Straßenaufbruch, sowie Baustellenabfälle, gewonnen (siehe auch Kapitel 1.5.12 mineralische Abfälle). Knapp die Hälfte mit 35,8 Millionen Tonnen (47,6%) wurde im Straßenbau eingesetzt, gefolgt von der Verwendung im Erdbau mit 18,4 Millionen Tonnen (24,4%), in der Asphalt- und Betonherstellung mit 14,5 Millionen Tonnen (19,3%), sowie der sonstigen Verwertung mit 6,6 Millionen Tonnen (8,7%). vgl. Abbildung 101.²⁷⁴

Ein wichtiger Einsatzbereich von Kiese und Sanden ist die Herstellung von Zement- und Beton. Der Massenbaustoff Beton ist das weltweit am meisten hergestellte Material und besteht zu circa zwei Dritteln aus Kies.²⁷⁵ Vor allem beim Herstellungsprozess in der Zementproduktion und dem Brennen von Kalk werden erhebliche Mengen an CO₂e-Emissionen freigesetzt. Durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen können zwar die CO₂e-Emissionen aus der Rohstoffgewinnung sowie die weiteren negativen Umweltwirkungen wie z. B. der Flächenverbrauch, die Zerstörung von Ökosystemen, die Absenkung des Grundwasserspiegels oder der Verlust des Küstenschutzes vermieden werden. Die prozessspezifischen Emissionen, die im Verhältnis zur Rohstoffgewinnung größer sind, können allerdings nicht substituiert werden und fallen bei jeder erneuten Verarbeitung an. Wichtig in diesem Zusammenhang ist auch, dass viele Stoffströme im Zuge des Herstellungsprozesses eines Produktes dauerhafte neue chemische Verbindungen eingehen und dadurch neue Minerale und Mineralgemenge bilden, die andere Eigenschaften als der Ursprungsrohstoff aufweisen. Ein Beispiel ist das Brennen von Ziegeln, aus denen danach nicht mehr der Ausgangsstoff Ton hergestellt werden kann. Diese hergestellten Produkte können dann trotzdem nach ihrem Lebensende häufig als Substitute für andere primäre Rohstoffe wieder in den Wirtschaftskreislauf eingebracht werden.

²⁷² Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (Dezember 2024): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022 Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022, <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-14.pdf>



²⁷³ Die Nutzung natürlicher Ressourcen - Ressourcenbericht 2022, UBA 2023: https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/fb_die_nutzung_naturlicher_ressourcen_2022_0.pdf



²⁷⁴ Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (Dezember 2024): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022 Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022, <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-14.pdf>



²⁷⁵ TAB (2024): Strategien und Instrumente zur Verbesserung des Rezyklateinsatzes: Mit Fallstudien zu Kunststoffverpackungen, Elektrogeräten, sowie Baustoffen, <https://belit.drze.de/DigiBELIT/de/tab/ab/20067.pdf>



²⁷⁴ <https://www.iwkoeln.de/presse/pressemitteilungen/alexander-burstedde-thomas-puls-jurek-tiedemann-10000-bauplaner-fehlen-um-sondervermoegen-umzusetzen.html>



²⁷⁷ Bundesverband Steine und Erden e.V. (Dezember 2024): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022 Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022, <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-14.pdf>



²⁷⁸ Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Rohstoffnachfrage 2045: Ressourcen sichern, Zukunft bauen. Perspektiven für mineralische Primär- und Sekundärrohstoffe. https://cdn.prod.website-files.com/664355396b105bd9a4e9cadb/67e68247988a76b6c758f80c_Steine-Erden-Rohstoffstudie%202025%20-%20RWI.pdf



²⁷⁹ ebd.

²⁸⁰ Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (Dezember 2024): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022 Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022, <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-14.pdf>



²⁸¹ https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Rohstoffe/Downloads/Downloads-MR/aktuelle_Publikationen/Gips_2025.html



²⁸² <https://www.fehs.de/pressemitteilungen-aktuell/stahlindustrie-2024-eisenhuettenschlacken-sparen-11-mio-tonnen-naturgestein-und-46-mio-tonnen-co2>



Frostschuttschicht, Quelle: Blue Phoenix

Ein bestimmender Faktor für die Nachfrage nach Gesteinskörnungen ist die Bautätigkeit im Hoch- und Tiefbau. Diese wird durch den Bedarf im Wohnungsbau und in der Infrastruktur getrieben. Hier könnten die 500 Milliarden Euro des Sondervermögens für „Infrastruktur und Klimaneutralität“ die Bautätigkeit in den nächsten Jahren ankurbeln. So werden im Rahmen des Sondervermögens 30 Milliarden Euro pro Jahr für Bauaufträge für die kommenden 12 Jahre bereitgestellt. Allerdings zeigen sich in der Umsetzung vielfältige Herausforderungen wie z. B. der Fachkräftemangel in Höhe von circa 10.000 Experten für die Planung der Bauprojekte.²⁷⁶ Transformative Entwicklungen wie der verstärkte Einsatz von Holz, Leichtbau oder Umbau können einen weiteren Einfluss auf die Nachfrage nach Baustoffen der Steine-Erden-Industrie haben, lassen sich jedoch nur schwer quantifizieren.

Industrielle Nebenprodukte – Aufkommen, Bedarf und Nachfrage

Wie bereits beschrieben, wird ein Teil der Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen durch die Nutzung von Sekundärrohstoffen aus industriellen Nebenprodukten gedeckt. Die knapp 26 Millionen Tonnen²⁷⁷ an Sekundärrohstoffen aus industriellen Nebenprodukten im Jahr 2022 verteilen sich dabei auf Hochofenschlacken mit 7 Millionen Tonnen, Stahlwerksschlacken mit 5 Millionen Tonnen, Steinkohlenflugasche mit 2 Millionen Tonnen, sonstigen Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen mit 5 Millionen Tonnen sowie REA-Gips mit 5 Millionen Tonnen.²⁷⁸ Zusätzlich dazu betrug die Menge an Gießerei-Altsand im Jahr 2019 2 Millionen Tonnen.²⁷⁹ Aus der Gesamtmenge an mineralischen Sekundärrohstoffen in der Statistik des Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.²⁸⁰ lässt sich ableiten, dass für 2022 ebenfalls circa 2 Millionen Tonnen angenommen werden können, auch wenn dieser Wert aktuell nicht mehr

einzelnen erfasst wird. Für REA-Gips sowie Eisenhüttenschlacken liegen bereits aktuellere Zahlen vor. So ist die Menge an REA-Gips von 2022 zu 2023 auf nur noch 3,4 Millionen Tonnen zurückgegangen.²⁸¹ Die Eisenhüttenschlacken als Nebenprodukt der Stahlwerksproduktion betragen 2024 7,1 Millionen Tonnen an Hochofenschlacke und 4,7 Millionen Tonnen an Stahlwerksschlacke.²⁸² Von diesen insgesamt 11,8 Millionen Tonnen wurden 96 % in Baustoffen, Düngemitteln, sowie anlagenintern und für weitere Anwendungen genutzt. Dies hat wesentliche ökologische Vorteile zur Folge, da so der Abbau von 11 Millionen Tonnen Naturgestein und CO₂-Emissionen in Höhe von 4,6 Millionen Tonnen vermieden werden konnten.

Das Aufkommen an industriellen Nebenprodukten hängt stark von der Industriestruktur und deren zukünftiger Entwicklung ab, insbesondere im Hinblick auf die angestrebte Dekarbonisierung der Wirtschaft. So wird beispielsweise durch die Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlindustrie die CO₂e-intensive Hochofenroute bis 2045 sukzessive vollständig ersetzt. Dadurch ergeben sich Auswirkungen auf das Aufkommen an Sekundärrohstoffen wie beispielsweise der Hochofenschlacke, welche in der Zementherstellung verwendet wird. Auch die Nebenprodukte aus der Kohleverstromung wie Steinkohlenflugasche oder REA-Gips werden sukzessive geringer und mit dem Kohleausstieg spätestens 2038 ganz wegfallen. Diese Nebenprodukte müssen dann in den entsprechenden Produktionsprozessen durch andere Primär- oder Sekundärrohstoffe ersetzt werden. Die Sekundärrohstoffmenge an sonstigen Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen (und der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen) bleibt hingegen voraussichtlich konstant. Gleiches gilt für die Menge von Gießerei-Altsanden, welche voraussichtlich auch zukünftig circa 2 Millionen Tonnen betragen wird. Dabei

ist es wichtig zu beachten, dass nicht nur Sekundärrohstoffe Substitutionspotenziale aufweisen. Auch die Rückgewinnung, also das Recycling von Fertigprodukten oberhalb der ersten Fertigungsstufe, spielt eine wichtige Rolle für die Substitution von Primärrohstoffen. Dies ist jedoch in der oben aufgeführten Substitutionsquote nicht erfasst. Insbesondere bei den Industriemineralen werden nicht die Gesteinskörnungen selbst, sondern die daraus produzierten Fertigprodukte im Kreislauf geführt. So werden beispielsweise Sande, die in der Glasindustrie verwendet werden, nicht direkt recycelt, sondern die Glasscherben wieder verwendet. Im Behälter-Glasmarkt werden schon Scherbeneinsatzquoten von 90% bei grünem Glas erreicht.²⁸³ Somit lässt sich durch die Kreislaufführung von Glas bzw. Glasscherben die Nachfrage nach dem Primärrohstoff Sand, welcher hauptsächlich für die Herstellung von Glas benötigt wird, deutlich senken.



Mineralgemisch beim Deponiebau, Quelle: Stork

Relevanz von Sekundärbaustoffen – Bedeutung für Bauwirtschaft, Umwelt und Klima

Der Abfallstrom der mineralischen Abfälle bietet ein großes Potenzial, durch Sekundärbaustoffe den Primärstrom an Kiese und Sande, sowie Natursteinen für den Bau zu substituieren und die Kreislaufwirtschaft im Bau zu stärken.²⁸⁴

Durch die Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung im Rahmen der Mantelverordnung ist festgelegt, dass die Übergangsfrist für das Verfüllen von Abgrabungen und Tagebauen zum 1. August 2031 ausläuft. Dadurch ist zu erwarten, dass es ab 2031 deutlich weniger Verfüllung geben wird. Derzeit wird noch ein relativ großer Anteil an mineralischen Bauabfällen, zum größten Anteil handelt es sich um Bodenmaterial, zur Verfüllung eingesetzt. So wurden im Jahr 2022 von den mineralischen Bau- und Abbruchabfällen 54,2% einer sonstigen Verwertung zugeführt, die überwiegend in der Verfüllung von Abgrabungen und Tagebauen besteht.²⁸⁵ Weitere 36,2% wurden stofflich recycelt, während 9,6% deponiert wurden. Um einen potenziellen Verlagerungseffekt von der Verfüllung zur Deponierung ab 2031 möglichst klein zu halten und vorhandene Deponiekapazitäten zu entlasten, müssen mehr



Baustoffrecyclat, Quelle: Breer

mineralische Abfälle recycelt werden. Aus wirtschaftlichen Gründen werden diese Abfälle, die geringere Schadstoffgehalte haben, zukünftig auch eher einer stofflichen Verwertung als einer Deponierung zugeführt werden und belasten damit nicht die bereits angespannten Deponiekapazitäten.

Das Recycling ist auch wichtig, da sich die Verfügbarkeit von mineralischen (Primär-)Rohstoffen regional sehr unterschiedlich entwickelt. Die Gewinnung von Primärrohstoffen steht durch konkurrierende Nutzungen, weniger Abbaufächen und eine vielerorts geringe Akzeptanz der Bevölkerung für den Abbau bzw. die Gewinnung der wichtigen Baurohstoffe vor vielfältigen Herausforderungen. Die Gewinnung von mineralischen Baurohstoffen und Industriemineralen ist dabei in den letzten Jahren rückläufig: von 581 Millionen Tonnen im Jahr 2020 zu 558 Millionen Tonnen im Jahr 2022 und 454 Millionen Tonnen für das Jahr 2024.²⁸⁶ Gleichzeitig ist ein bundesweit rückläufiger Trend bei der Neuausweisung von Abbaufächen zu beobachten, was zu steigenden Transportentfernungen und höheren Umweltwirkungen der Rohstoffversorgung führt.

Eine Erhöhung des Anteils der mineralischen Abfälle, die zu Sekundärbaustoffen recycelt werden, könnte eine verlängerte Verfügbarkeit heimischer Primärrohstoffe bewirken. Außerdem erhöht sich dadurch die Kreislaufführung von Rohstoffen, die verursachten THG-Emissionen werden reduziert und sichere und ortsnahe Lieferketten können geschaffen bzw. ausgebaut werden.

Problemstellungen

Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe in Deutschland – Abbaustätten und Import

Deutschland hat im Jahr 2024 454 Millionen Tonnen an mineralischen Rohstoffen, die zur Rohstoffgruppe der Steine und Erden zählen, gewonnen und damit deutlich weniger als 2023, damals wurden 513 Millionen Tonnen gewonnen. Einen Großteil davon machten 2024 die Baurohstoffe aus mit 211 Millionen Tonnen an Sand und Kies (knapp die Hälfte der heimischen Rohstoffproduktion), 167 Millionen Tonnen

²⁸³ Bundesverband Glasindustrie. Jahresbericht 2021/22 - Annual Report, Düsseldorf, September 2022. https://www.bvglas.de/media/Jahresbericht/Jahresbericht_2021.pdf



²⁸⁴ Quelle: "Kreislaufwirtschaftsträger Bau e.V.: Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022-Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022", 2024

²⁸⁵ ebd.

²⁸⁶ Quellen: BGR-Bericht zur Rohstoffsituation 2020, 2022 und 2024 (erschienen 2021, 2023, 2025), verfügbar unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Rohstoffe/Produkte/Rohstoffsituationsbericht/rohstoffsituationsberichte_inhalt.html?nn=338232





Baustellenlogistik, Quelle: Breer

gebrochene Natursteine, 43 Millionen Tonnen Kalk- und Dolomitsteine (für die Zementherstellung) und 11 Millionen Tonnen an Quarzsanden und -kiesen, sowie 4,3 Millionen Tonnen an Lavaschlacke und -sand und 4,4 Millionen Tonnen an Anhydritstein. Außerdem 5,0 Millionen Tonnen an grobkeramischen Tonen für die Herstellung keramischer Produkte sowie 3,1 Millionen Tonnen an feinkeramischen Tonen und circa 2,3 Millionen Tonnen an weiteren Baurohstoffen und Industriemineralen wie Bims, Tuff und Trass, Naturwerksteine, Bentonit, Feldspat und Pegmatitsand, Schiefer, Kieselerde, Form- und Klebsand, sowie Kieselgur.

Diese Massenrohstoffe der Rohstoffgruppe Steine und Erden sind über ganz Deutschland verteilt und werden in allen Bundesländern gewonnen. Aus geologischen Gründen sind die Vorkommen jedoch im Alpenvorland, im norddeutschen Tiefland sowie in den Flusstälern konzentriert.

Für Sand und Kies wurden 2021 in Deutschland aus 2.631 Gewinnungsstellen an 2.215 Standorten Sande und Kiese für die Bauindustrie gewonnen. Dabei wurden 1.744 Gewinnungsstellen im Trockenem betrieben und 887 waren Baggerseen. Zu den Bundesländern mit den meisten Gewinnungsstellen zählten Bayern (737), Niedersachsen (533) und Nordrhein-Westfalen (251).

Aus einer Rohförderung von 309 Millionen Tonnen waren im Jahr 2021 277 Millionen Tonnen verwert-

bar. Nicht verkaufsfähige Mengen, zumeist Sand und noch feinere Bestandteile, werden dabei in der Regel zur Rekultivierung bzw. Renaturierung eingesetzt. Die Förderung von Sand und Kies ist auf circa 211 Millionen Tonnen im Jahr 2024 gesunken. Die in der Studie des BGR veröffentlichten Zahlen zur Verteilung von Sand und Kies auf die verschiedenen Anwendungsbereiche dürften ungefähr gleichgeblieben sein: Sand und Kies wurden zu circa 44 % im Tief-, Erd- und Straßenbau sowie Garten und Landschaftsbau eingesetzt. Im Jahr 2021 entfielen rund 28,8 % auf die Betonindustrie sowie 8,2 % auf die Betonfertigteilindustrie und 5,6 % auf Betonpflastersteine. Der Export machte 5,3 % der verwertbaren Fördermenge aus. Davon gingen 90,5 % an EU-Nachbarländer.

Auslaufen der Genehmigungen zur Verfüllung

Durch die Mantelverordnung entsteht ein großer Handlungsbedarf, da die Übergangsfrist für das Verfüllen von Abgrabungen und Tagebauen zum 1. August 2031 ausläuft, wodurch zu erwarten ist, dass es zukünftig deutlich weniger Verfüllungen geben wird. Im Infokasten werden die Mantelverordnung sowie ihre wichtigsten Bestandteile und Auswirkungen erläutert.

Die verstärkte Substitution von Primär- durch Sekundärrohstoffe würde diesen potenziellen Verlagerungseffekten von der Verfüllung zur Deponierung ab 2031 entgegenwirken. In diesem Kontext ist es wichtig zu betrachten wie die Nachfrage nach Sekundärbaustoffen gesteigert werden kann.

Mantelverordnung

Zum 1. August 2023 ist die Mantelverordnung in Kraft getreten, diese beinhaltet die Ersatzbaustoffverordnung (EBV), die Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), sowie Änderungen der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung, welche im Folgenden genauer erläutert werden.

1. Die Ersatzbaustoffverordnung:

- ▶ Die EBV regelt bundeseinheitlich das Inverkehrbringen und die Verwendung von mineralischen Ersatzbaustoffen, wie z. B. Recycling-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten, sowie von nicht aufbereitetem Bodenmaterial und Baggergut in technischen Bauwerken.
- ▶ Dabei ist eine Verwendung der jeweiligen Materialien nur zulässig, wenn diese einer der in der Verordnung definierten Materialklassen zugeordnet werden kann und die entsprechenden Einbauanforderungen eingehalten werden.
- ▶ Ziel der EBV ist es somit einerseits den Einsatz von Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken zu fördern und damit andererseits das Aufkommen an mineralischen Abfällen zur Ablagerung, vor allem in Deponien der Klasse I (DK-I), zu verringern.

2. Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung:

- ▶ Durch die BBodSchV werden bundeseinheitliche Anforderungen für das Verfüllen von Abgrabungen und Tagebauen mit mineralischen Rohstoffen festgelegt. Diese gelten auch außerhalb durchwurzelbarer Bodenschichten.
- ▶ Verfüllungen dürfen dabei nur noch mit „Materialien mit gleichwertiger Funktion“ erfolgen, wie z. B. unbelasteter Boden oder bestimmte Recyclingmaterialien. Diese Regelungen schränken somit den Einsatz potenziell belasteter Materialien ein und können zu einer Verlagerung hin zur Deponierung führen.
- ▶ Dabei gibt es eine Übergangsfrist für das Verfüllen von Abgrabungen und Tagebauen bis zum 1. August 2031 nach § 28 BBodSchV, wenn die erforderliche Genehmigung vor dem 16. Juli 2021 erteilt wurde. Dadurch verschiebt sich der potenzielle Verlagerungseffekt von der Verfüllung zur Deponierung aktuell auf 2031.

3. Deponieverordnung

- ▶ Die DepV wurde durch die MantelV nicht neu gefasst, sondern nur in einem Detail modifiziert, welches sich auf die EBV bezieht. Gleiches gilt für die GewAbfV.
- ▶ Die Deponieverordnung hat die Aufgabe, den Bau, Betrieb, Stilllegung und Nachsorge von Deponien so zu regeln, dass die Ablagerung von Abfällen dauerhaft umweltverträglich erfolgt.
- ▶ Außerdem wird durch die Deponieverordnung sichergestellt, dass nur Abfälle auf Deponien abgelagert werden, für die eine umweltgerechte Verwertung nicht möglich oder wirtschaftlich zumutbar ist und die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Deponieklassen erfüllen.

Deponiekapazitäten

Nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz ist in Abfallwirtschaftsplänen der Nachweis für eine mindestens 10-jährige Entsorgungssicherheit zu erbringen, wobei den Bundesländern die Planungsverantwortung für ausreichend Deponiekapazitäten zufällt. Die Genehmigung neuer Deponien kann in der Praxis durchaus länger als 10 Jahre dauern. In der Vergangenheit wurde die Grenze der 10-jährigen Versorgungssicherheit regional teils deutlich unterschritten, was mit einem bereits existierenden akuten Entsorgungsnotstand gleichzusetzen war. In den letzten Jahren hat sich die Lage verbessert, da zahlreiche Bundesländer Deponiebedarfsanalysen entweder selbst durchgeführt oder in Auftrag gegeben haben und dabei die Bedarfe anhand unterschiedlicher Szenarien dargestellt wurden. Diese verbesserte Gesamtsituation könnte allerdings durch zukünftige zusätzliche Massenströme zur Ablagerung auf Deponien wieder deutlich kritischer werden. Hinzu kommt, dass die Situation regional sehr unterschiedlich ausgeprägt ist.

In Baden-Württemberg ist beispielsweise eine mehr als ausreichende Entsorgungssicherheit für die Deponieklassen 0 bis 2 (jeweils mehr als 20 Jahre) und die Deponieklasse 3 (13 Jahre) nachgewiesen. Trotzdem besteht noch weiterer Deponiebedarf, insbesondere um Fahrtwege zu verkürzen und damit Transportkosten zu senken. Zudem finden in Baden-Württemberg aktuell noch erhebliche Verfüllungen außerhalb von Deponien in übertägigen Abbaustätten, wie Gruben, Brüchen oder im Bergbau statt. Dadurch könnten, obwohl die Lage in Baden-Württemberg im Vergleich der Bundesländer gut ist, hier ab 2031 potenzielle Engpässe drohen.

Auch in Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, sowie Sachsen-Anhalt werden Mengen aktuell in großem Maßstab in übertägigen Abbaustätten abgelagert. Für Berlin und Brandenburg (Berlin selbst verfügt über keine Deponiekapazitäten), sowie Bremen und Hessen liegen aktuell keine vollständigen Daten vor. Hessen geht im aktuellen Abfallwirtschaftsplan davon aus, dass die Entsorgungssicherheit landesweit nicht gegeben ist. Das Problem langer Transportwege aufgrund fehlender Kapazitäten trifft für die Deponieklasse 3 gleich auf einige Bundesländer zu: Die Bundesländer Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein, Thüringen und das Saarland haben aktuell keine eigenen Kapazitäten für Deponieklasse 3 und sind somit auf die Kooperation mit anderen Bundesländern angewiesen. Selbst Nordrhein-Westfalen, dass seine Entsorgungssicherheit über alle Deponieklassen deutlich nachweisen kann und zudem weitere Deponien in Planung hat, könnte eine deutliche Erhöhung der Deponiemengen vor Probleme stellen. Sachsen weist akuten Handlungsbedarf bei der Deponieklasse 2 mit einer Kapazität für 7 Jahre auf. Besonders akut ist der



Baustutt, Quelle: unsplash

Handlungsbedarf in Thüringen, wo Kapazitäten bei respektive 0, 4, 7 und 0 Jahren für die Deponieklassen 0 bis 3 liegen. Ohne die Nutzung bergrechtlicher Entsorgungswege würden dort heute bereits große Entsorgungsprobleme bestehen.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Entsorgungsweg der bergbaulichen Verfüllung/Ablagerung auf überörtlichen Abbaustätten durch die Mantelverordnung nur noch bis 2031 zur Verfügung steht. 2022 wurden von insgesamt 207,9 Millionen Tonnen mineralischen Gesamtabfallaufkommen 76 Millionen Tonnen dem Recycling zugeführt und 132 Millionen Tonnen abgelagert. Von diesen 132 Millionen Tonnen wurde der Großteil mit 112 Millionen Tonnen dem Bergbau bzw. der Deponieverwertung zugeführt und nur 20 Millionen Tonnen deponiert. Die Zahlen zeigen auf, dass potenziell eine massive Mehrbelastung droht, wenn ab 2031 viele der aktuell noch gültigen Verfüllgenehmigungen für oberörtliche Abbaustätten entfallen oder erneuert und modifiziert werden müssen. Mit dem Wegfall der Verfüllgenehmigungen ab 2031 steigt die Bedeutung fortgeschrittener Recycling- und Ersatzbaustofftechnologien erheblich. Hersteller innovativer Brech-, Sortier- und Mineralikaufbereitungstechnik können einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, hochwertige Sekundärbaustoffe bereitzustellen und wieder in die Nutzung zu bringen.

Nach Destatis wurden 2023 circa 78 Millionen Tonnen in oberörtlichen Abbaustätten abgelagert und 27,5 Millionen Tonnen dort verwertet. Dies entspricht aufsummiert fast der von dem Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. ermittelten Zahl von 112 Millionen Tonnen für Verfüllung und Deponieverwertung.²⁸⁷ Für viele Bundesländer stellen die Verfüllrechte einen bedeutenden Beitrag zur Versorgungssicherheit dar. Ein Wegfall dieser Rechte würde zu fehlenden Deponiekapazitäten für die alternative Abfallaufnahme führen und die Entsorgungssicherheit massiv gefährden. Aufgrund der langen Genehmigungsverfahren für neue Deponien ist dementsprechend dringender Handlungsbedarf vorhanden. Vor allem ein erhöhter Einsatz von Sekundärbaustoffen kann, insbesondere auch aus rechtlichen und Umweltschutz- Gründen, einen großen Beitrag leisten.

Handlungsbedarf für den Einsatz von Sekundärbaustoffen

Trotz des hohen Aufkommens mineralischer Abfälle und der grundsätzlich guten Voraussetzungen für deren stoffliche Nutzung bleibt der Einsatz von Sekundärbaustoffen im Bauwesen in Deutschland bislang hinter seinem Potenzial zurück. Wie bereits dargestellt, entfällt ein erheblicher Anteil der Verwertung mineralischer Bauabfälle auf Verfüllmaßnahmen, während der Anteil der hochwertig zu marktfähigen Sekundärbaustoffen recycelten Abfällen begrenzt ist. Vor dem Hintergrund des Auslaufens der Verfüllungen, der begrenzten Deponiekapazitäten, einer be-

²⁸⁷ Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (Dezember 2024): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022 Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022, <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-14.pdf>



grenzten Verfügbarkeit von Primärrohstoffen und ambitionierter Klima- und Ressourcenschutzziele ergibt sich ein klarer Handlungsbedarf für den Einsatz von Sekundärbaustoffen.

Möglichkeiten und Grenzen des Bauabfallrecyclings

Das Recycling mineralischer Bau- und Abbruchabfälle ist in Deutschland bereits ein zentraler Bestandteil der Kreislaufwirtschaft im Bausektor. Wie bereits beschrieben, wurden aus den circa 208 Millionen Tonnen mineralischer Bau- und Abbruchabfälle im Jahr 2022 circa 75,3 Millionen Tonnen Recyclingbaustoffe erzeugt, die insbesondere im Straßen-, Erd- und Tiefbau eingesetzt wurden und damit 13,3 % des Gesamtbedarfs an Gesteinskörnungen in Deutschland deckten. Dies zeigt, dass Urban Mining bereits heute einen messbaren Beitrag zur Rohstoffversorgung leistet.

Die Möglichkeiten des Bauabfallrecyclings sind jedoch stark stoffstromabhängig. So werden bei Ausschutt und Straßenaufbruch sehr hohe Recyclingquoten erreicht (81,7% und 93% im Jahr 2022)²⁸⁸, wohingegen bei der größten Fraktion Boden und Steine, die insgesamt fast 60% der mineralischen Bauabfälle ausmacht, der Großteil verfüllt wird. Aus diesen lassen sich bspw. neue Gesteinskörnungen herstellen oder sie substituieren natürliche Rohstoffe in der Ziegelherstellung. Die Recyclingquote lag 2022 jedoch nur bei 11,5%. Ein Großteil der Fraktion Boden und Steine wird im übertägigen Bergbau und in anderen Maßnahmen, überwiegend im Deponiebau, verwertet (75,2% im Jahr 2022).²⁸⁹

Obwohl normative und bautechnische Anforderungen den Einsatz von Recyclingbaustoffen in bestimmten Anwendungen – etwa im Hochbau oder bei tragenden Bauteilen – definieren, werden die darin eröffneten Potenziale bislang nicht ausgeschöpft. Die geltenden Normen erlauben bspw. höhere Zugabemengen rezyklierter Gesteinskörnungen, als derzeit genutzt werden, und die bautechnische Gleichwertigkeit dieser Materialien ist normativ abgesichert. Vor diesem Hintergrund liegt die zentrale Herausforderung weniger in bestehenden Grenzen, sondern vielmehr darin, die vorhandenen Potenziale innerhalb des bestehenden Regelwerks konsequenter zu nutzen und das Recycling dort auszubauen, wo es ökologisch sinnvoll, technisch machbar und wirtschaftlich tragfähig ist.

Hemmnisse für den Einsatz von Sekundärbaustoffen und Lösungswege

Trotz technischer Machbarkeit und vorhandener Stoffströme bestehen weiterhin strukturelle Hemmnisse für den verstärkten Einsatz von Sekundärbaustoffen. Diese betreffen sowohl Marktmechanismen als auch rechtliche, planerische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen. Mehrere Fachverbände, darunter der Bundesverband Baustoffe – Steine und

Erden e.V. sowie der Deutsche Abbruchverband, weisen darauf hin, dass Sekundärbaustoffe bislang nicht systematisch gleichgestellt sind und häufig als nachrangige Option wahrgenommen werden.

Ein zentraler Lösungsansatz, der häufig diskutiert wird, ist die stärkere Nachfrageaktivierung, insbesondere durch die öffentliche Hand. Öffentliche Auftraggeber vergeben jährliche Bauleistungen in dreistelliger Milliardenhöhe und könnten durch verbindliche Mindestquoten oder bevorzugte Berücksichtigung von Recyclingbaustoffen erhebliche Marktimpulse setzen. Außerdem könnten rechtliche Klärstellungen, vereinfachte Genehmigungen sowie eine stärkere Harmonisierung von Regelwerken zusätzlich unterstützend wirken.

Konkurrenz zu Primärrohstoffen

Sekundärbaustoffe stehen in direkter Konkurrenz zu mineralischen Primärrohstoffen wie Sand, Kies und Naturstein, die weiterhin den Großteil der Rohstoffversorgung der Bauwirtschaft sichern. Bundesweit wurden 2024 circa 454 Millionen Tonnen mineralische Primärrohstoffe gefördert, während der Anteil von Sekundärbaustoffen an der Versorgung mit Gesteinskörnungen bei lediglich circa 13% lag. Diese Marktstruktur ist historisch gewachsen, bildet jedoch die zunehmenden ökologischen, räumlichen und gesellschaftlichen Restriktionen der Primärrohstoffgewinnung nur unzureichend ab.

Die Versorgungslage für Sand und Kies verschärft sich regional zunehmend. Nach Ergebnissen der Studie „Sand und Kies“ der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist mittelfristig in mehreren Regionen mit Versorgungsengpässen zu rechnen, darunter im Großraum Berlin, in den Regionen Köln und Dresden sowie im mittleren Donautal zwischen Ulm und Ingolstadt.²⁹⁰ Ein überregionaler Ausgleich dieser Engpässe ist aufgrund hoher Transportkosten und damit verbundener Emissionen nur eingeschränkt möglich und würde zu spürbaren Kostensteigerungen im Bau führen.



Baustoffet, Quelle: unsplash

²⁸⁸ Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (Dezember 2024): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022 Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022, <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-14.pdf>



²⁸⁹ <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/#sidebar>



²⁹⁰ BGR - Presse - BGR legt umfangreiche Studie zu Sand und Kies in Deutschland vor: Flächen- und hohe Energiepreise – die Lage auf dem Baurohstoffmarkt verschärft sich

Fallbeispiel Bayern: Hoher Bedarf, geringe Sekundärquote:

Die Situation in Bayern verdeutlicht diese Problematik exemplarisch. Die bayerische Bauwirtschaft benötigt jährlich circa 150 Millionen Tonnen mineralische Rohstoffe. Davon werden aktuell jedoch nur etwa 10 % über Sekundärbaustoffe gedeckt, obwohl in Bayern jährlich circa 50 Millionen Tonnen an Bauabfällen anfallen. Von diesen 50 Millionen Tonnen gehen aktuell circa 60 % in die Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen, etwa 12 % in die Deponierung und nur ungefähr 20 % in Recyclinganlagen. Der mengenmäßige Output für den Wiedereinsatz in der Bauwirtschaft ist nochmals deutlich geringer.²⁹¹

Diese Struktur führt dazu, dass erhebliche Recyclingpotenziale ungenutzt bleiben, während gleichzeitig die Gewinnung von Primärrohstoffen durch Flächenknappheit, konkurrierende Nutzungen sowie Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung zunehmend unter Druck gerät. Der Verband Baustoff Recycling Bayern e.V. geht davon aus, dass der Anteil an Sekundärbaustoffen perspektivisch auf rund ein Drittel des jährlichen Bedarfes gesteigert werden könnte. Dies entspräche einem zusätzlichen Einsatz von circa 35 Millionen Tonnen Sekundärbaustoffen pro Jahr und würde die Verfügbarkeit heimischer Sand- und Kiesvorkommen deutlich verlängern.

rund 13,80 € pro Tonne. Dies würde zu einem potenziellen Umsatzrückgang von etwa 480 Millionen € pro Jahr für die Kies- und Sandindustrie führen. Diese Größenordnung verdeutlicht, warum Teile der Primärrohstoffwirtschaft dem verstärkten Einsatz von Sekundärbaustoffen kritisch gegenüberstehen.

Gleichzeitig besteht ein struktureller Interessenskonflikt bei der Verfüllung: Kies- und Sandgruben sind auf mineralische Abfälle angewiesen, um Rekultivierungsaufgaben zu erfüllen. In Bayern erklärt dies den hohen Anteil der Verfüllung. Ein möglicher Lösungsansatz besteht darin, Rekultivierungskonzepte flexibler zu gestalten, etwa durch die Zulassung von Verfüllungen unterhalb des ursprünglichen Geländeneiveaus. Dadurch könnten mineralische Abfälle teilweise dem Recycling zugeführt werden, ohne die Interessen der Abbaubetriebe grundlegend zu gefährden.

Preisargumente: RC-Baustoffe sind nicht das Problem

Ein häufig angeführtes Argument gegen Sekundärbaustoffe ist deren vermeintlich fehlende Wettbewerbsfähigkeit. Eine Untersuchung aus Nordrhein-Westfalen zeigt jedoch ein differenzierteres Bild. Die Bauverbände NRW haben bei 21 Betrieben Preisvergleiche für 25 Tonnen Sekundärbaustoffe und vergleichbarem Primärmaterial inklusive Transportkosten durchgeführt. Der Medianpreis für RC-Baumaterial lag bei 8,50 € pro Tonne im Vergleich zu 22 € pro Tonne für das Primärmaterial. Dabei war in allen gemeldeten Fällen das RC-Baumaterial günstiger.²⁹³

Auch wenn es sich bei diesem Beispiel um eine Momentaufnahme handelt und regionale Unterschiede zu berücksichtigen sind, deutet der erhebliche Preisabstand darauf hin, dass ökonomische Gründe allein den geringen Einsatz von Recyclingbaustoffen nicht erklären. Vielmehr verweisen die Bauverbände NRW auf Unsicherheiten bei öffentlichen Auftraggebern, insbesondere hinsichtlich der Anwendung der Ersatzbaustoffverordnung (EBV) und Sicherheitsbedenken. Der Vorsitzende des Straßen- und Tiefbauverbandes NRW stellt fest, dass RC-Baustoffe im Rahmen der EBV „bedingungslos sicher“ eingesetzt werden können, Vergabestellen jedoch aus Vorsicht häufig auf Primärmaterial zurückgreifen.²⁹⁴

Ökonomische Interessen und Zielkonflikte

Der notwendige Transformationsprozess ist jedoch mit klaren wirtschaftlichen Zielkonflikten verbunden. Für die Kalkulation der Substitutionskosten von 35 Millionen Tonnen Primärrohstoff wird auf Basis von BGR-Preisinformationen für das Jahr 2022 von einem bundesdeutschen Mittelwert für Betonsand von 7,70 € pro Tonne und für Betonkies von 11,60 € pro Tonne ausgegangen.²⁹² Unter der Annahme eines Mischpreises von jeweils 50 % und der von der BGR unterstellten Teuerungsrate von 10 % bis 15 % pro Jahr ergibt sich ein aktueller Näherungspreis von

Lösungsansätze und Einbindung der Primärrohstoffindustrie

Ein erfolgreicher Ausbau des Einsatzes von Sekundärbaustoffen erfordert daher einen Ausgleich der Interessen. Neben einer stärkeren Nachfrageaktivierung, insbesondere durch die öffentliche Beschaffung, sind folgende Maßnahmen zentral:

- Rechtliche Gleichstellung güteüberwachter Recyclingbaustoffe mit Primärbaustoffen, einschließlich klarer Abfallende-Regelungen und Produktstatus.

²⁹¹ https://issuu.com/sbm_verlag/docs/bm_2021_08/s/13063764



²⁹² BGR - Presse - BGR legt umfangreiche Studie zu Sand und Kies in Deutschland vor: Flächen- und hohe Energiepreise – die Lage auf dem Baurohstoffmarkt verschärft sich

²⁹³ Quelle: Bauverbände NRW, „RC-Baustoffe im Preisvorteil“, 2023, <https://www.bauverbaende.nrw/aktuelles/aktuelle-news/rc-baustoffe-im-preisvorteil-gleichstellung-statt-sand-und-kiesabgabe>



²⁹⁴ ebd.



Kiesgrube, Quelle: unsplash



HMVA-2 im Straßenbau, Quelle: Blue Phoenix

- ▶ Regionale Rohstoff- und Kreislaufstrategien, die Versorgungssicherheit, Recycling und Rekultivierung gemeinsam betrachten.
- ▶ Transformationspfade für Primärrohstoffhersteller, etwa durch die stärkere Integration von Recyclingaktivitäten, den Betrieb eigener Aufbereitungsanlagen oder neue Geschäftsmodelle im Bereich Urban Mining.
- ▶ Planerische und genehmigungsrechtliche Anpassungen, um Nutzungskonkurrenzen zwischen Verfüllung, Recycling und Rohstoffgewinnung zu entschärfen.

Der vom bayerischen Industrieverband Baustoffe, Steine und Erden (BIV) formulierte Leitsatz: „Recyclen was geht, abbauen, was nötig ist.“²⁹⁵ bringt diesen Ansatz prägnant auf den Punkt. Die Kreislaufführung mineralischer Rohstoffe ersetzt die Primärrohstoffgewinnung nicht vollständig, kann sie aber gezielt ergänzen und langfristig stabilisieren. Voraussetzung hierfür ist ein koordinierter politischer und wirtschaftlicher Rahmen, der regionale Besonderheiten berücksichtigt und alle beteiligten Akteure in den Transformationsprozess einbindet.

Konkurrenz zur Verfüllung

Die Verfüllung von Abgrabungen und Tagebauen stellt derzeit einen der wichtigsten konkurrierenden Verwertungswege für mineralische Bauabfälle dar und steht in einem strukturellen Spannungsverhältnis zum hochwertigen Recycling. Die Verfüllung ist im Regelfall Bestandteil der Betriebsgenehmigung für den Lagerstättenbau und damit eine rechtliche Verpflichtung der rohstoffgewinnenden Unternehmen. Sie dient dazu, nach Abschluss des Abbaus, die ursprüngliche oder eine vergleichbare Nutzung der Fläche wiederherzustellen und ist damit ein zentraler Bestandteil der heimischen Rohstoffgewinnung.

Mindestens bis zum Auslaufen der Übergangsfrist der Mantelverordnung zum 1. August 2031 stellt die Verfüllung einen systemrelevanten und konkurrierenden Lösungsweg dar, da ein erheblicher Teil der mineralischen Abfälle weiterhin für Rekultivierungszwecke benötigt wird. Ein vorzeitiger oder pauschaler Entzug dieser Massenströme würde die betroffenen Rohstoffbetriebe in Zielkonflikte mit ihren Genehmigungsaufgaben bringen und könnte die Akzeptanz zukünftiger Abbauvorhaben zusätzlich beeinträchtigen. Ausbleibende oder eingeschränkte Verfüllungsmöglichkeiten können dazu führen, dass Grundstückseigentümer ihre Flächen nicht mehr für den temporären Rohstoffabbau zur Verfügung stellen, wodurch die langfristige Sicherung heimischer Rohstoffvorkommen erschwert würde.

Abnehmende Bedeutung der Verfüllung nach 2031

Mit Inkrafttreten der Mantelverordnung steigen jedoch die qualitativen Anforderungen an Verfüllmaterial deutlich. Dies trifft insbesondere Schadstoffgrenzwerte, Dokumentationspflichten und Abbaubedingungen. Nach Einschätzung der DERA (2023) ist daher mittelfristig mit einer Abnahme der Massenströme in die Verfüllung zu rechnen, da ein Teil der bislang zur Verfüllung benutzten mineralischen Abfälle die künftigen Anforderungen nicht mehr erfüllen wird.²⁹⁶ Ab circa 2031 ist somit davon auszugehen, dass sich die Verfüllung als Verwertungsweg strukturell verengt und der Druck auf alternative Entsorgungs- und Verwertungswege deutlich zunimmt.

Der Unterausschuss Rohstoffe (UAK Rohstoffe) hat in diesem Zusammenhang betont, dass Stoffstromumlenkungen nur dann zielführend sind, wenn sie mit nachvollziehbaren Vorteilen für Ressourcenschutz, Klimaschutz und weiteren Nachhaltigkeitszielen ein-

²⁹⁵ Quelle: Bayerischer Industrieverband - Baustoffe, Steine und Erden e.V. (BIV)

²⁹⁶ Abschlussbericht Dialogplattform Recyclingrohstoffe – Handlungsoptionen zur Stärkung des Beitrags von Recyclingrohstoffen für die Versorgungssicherheit mit Metallen und Industriemineralen, verfügbar unter: <https://www.acatech.de/publikation/abschlussbericht-dialogplattform-recyclingrohstoffe/>



hergehen. Eine bloße Verlagerung von der Verfüllung hin zur Deponierung wäre demnach weder ökologisch noch ordnungspolitisch sinnvoll.

Asbestproblematik als zusätzliche Systemgrenze

Ein wesentliches zusätzliches Hemmnis für eine Ausweitung des Recyclings ergibt sich aus der vorsorgebedingten Ausschleusung asbestverdächtiger Materialien. Hintergrund ist, dass bis 1993 Putze, Spachtelmassen sowie Abstandshalter für Betonbewehrung teilweise unter Einsatz von Asbestfasern hergestellt wurden. Betroffen ist insbesondere der Betonabbruch aus dem Gebäuderückbau.

Im Rahmen des Nationalen Asbestdialogs wurde abgeschätzt, dass im Worst-Case-Szenario rund 20 bis 30 Millionen Tonnen mineralischer Bauabfälle zukünftig deponiert werden müssten, da eine stoffliche Verwertung aus Vorsorgegründen nicht möglich ist.²⁹⁷ Diese Mengen stehen weder für die Verfüllung noch für das Recycling zur Verfügung und erhöhen den Druck auf die ohnehin begrenzten regionalen Deponie-Kapazitäten zusätzlich. Diese vorsorgebedingte Ausschleusung ist zwar notwendig, hat jedoch auch erhebliche Auswirkungen auf die Kreislaufführung mineralischer Rohstoffe und muss deshalb bei einer Weiterentwicklung des Rechtsrahmens mitberücksichtigt werden. Gleichzeitig gibt es auch schon Verfahren und Lösungen, um asbesthaltige Bauteile zu erkennen und abzutrennen.

Lösungsansätze im Spannungsfeld von Verfüllung, Recycling und Rohstoffsicherung

Vor diesem Hintergrund besteht der Handlungsbedarf nicht in einer pauschalen Verdrängung der Verfüllung, sondern in einer differenzierten und zeitlich gestaffelten Steuerung der Stoffströme, insbesondere im Übergang bis und nach 2031. Zentrale Ansatzpunkte dabei sind:

- ▶ die Priorisierung des hochwertigen Recyclings und die Nutzung von industriellen Nebenprodukten dort, wo es technisch, ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll ist,
- ▶ die Weiterentwicklung von Rekultivierungs- und Verfüllungskonzepten, etwa durch flexiblere Zielniveaus und eine stärkere Berücksichtigung der Ressourcenschonung,
- ▶ die klare Abgrenzung unvermeidbarer Deponierung, insbesondere bei asbestverdächtigen Materialien sowie
- ▶ eine integrale regionale Betrachtung von Rohstoffgewinnung, Verfüllung, Recycling und Deponiekapazitäten im Rahmen von Rohstoff- und Kreislaufwirtschaftskonzepten

Nur wenn die Verfüllung weiterhin als notwendiger Bestandteil der Rohstoffgewinnung anerkannt wird und zugleich gezielt Raum für hochwertiges Recycling geschaffen wird, lassen sich Zielkonflikte entschärfen, Verlagerungseffekte vermeiden und die Kreislaufführung mineralischer Rohstoffe nachhaltig gestalten.

²⁹⁷ DERA 2023 zitiert Nationaler Asbestdialog, 2020: Abschlussbericht Dialogplattform Recyclingrohstoffe – Handlungsoptionen zur Stärkung des Beitrags von Recyclingrohstoffen für die Versorgungssicherheit mit Metallen und Industriemineralen, verfügbar unter: <https://www.acatech.de/publikation/abschlussbericht-dialogplattform-recyclingrohstoffe/>



Besprechung Neubau, Quelle: unsplash

Akzeptanzprobleme bei Bauherren und der Öffentlichkeit

Trotz jahrzehntelanger Erfahrungen im Umgang mit mineralischen Sekundärbaustoffen bestehen weiterhin erhebliche Akzeptanzprobleme bei Bauherren, Planenden, Vergabestellen und in Teilen der Öffentlichkeit. Diese Akzeptanzprobleme stehen im deutlichen Gegensatz zur tatsächlichen Rolle von Sekundärbaustoffen: Seit über 25 Jahren fallen jährlich rund 210 Millionen Tonnen nicht gefährliche mineralische Bau- und Abbruchabfälle an, von denen knapp 90 % durch Verfüllung und Recycling verwertet werden. Dennoch bleibt der Einsatz von Recyclingbaustoffen vielfach auf bewährte Bereiche beschränkt, während weitergehende Einsatzmöglichkeiten nur zögerlich genutzt werden.

Die Ursachen liegen weniger in bautechnischen Einschränkungen, sondern viel mehr in rechtlichen Unsicherheiten, haftungsbezogenen Risiken und administrativen Hürden. Insbesondere der fehlende oder uneinheitlich geregelte Produktstatus nach dem Recyclingprozess führt dazu, dass Sekundärbaustoffe weiterhin als Abfälle wahrgenommen werden, obwohl sie güteüberwacht, qualitätsgesichert und normgerecht einsetzbar sind. Öffentliche Auftraggeber reagieren darauf häufig mit Zurückhaltung und greifen aus Vorsorge auf Primärrohstoffe zurück, selbst wenn Recyclingbaustoffe technisch und wirtschaftlich gleichwertig oder überlegen wären.

In der öffentlichen Wahrnehmung verstärken zudem Begriffe wie „Downcycling“ oder pauschale Umwelt- und Sicherheitsbedenken die Skepsis. Der UAK Baurohstoffe weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass eine sachgerechte Bewertung nicht an der formalen Hierarchie der Abfallverwertung, sondern an der tatsächlichen Substitution von Primärrohstoffen, sowie an Ressourcenschutz und Klimawirkungen ansetzen muss.²⁹⁸

Lösungsansätze zur Steigerung der Akzeptanz von Recyclingbaustoffen

Zur Überwindung der Akzeptanzprobleme sind insbesondere folgende Maßnahmen zentral:

- ▶ Rechtssichere Festlegung des Endes der Abfalleigenschaft für güteüberwachte Recyclingbaustoffe unmittelbar nach dem Aufbereitungsprozess und rechtssichere Konkretisierungen der Anerkennung als Nebenprodukt.
- ▶ Verbindliche Berücksichtigung von Sekundärbaustoffen in öffentlichen Ausschreibungen, einschließlich klarer Vorgaben zur Gleichstellung mit Primärbaustoffen.
- ▶ Gezielte Informations- und Qualifizierungsmaßnahmen für Bauherren, Planende und Genehmigungsbehörden, um Unsicherheiten abzubauen.
- ▶ Transparente Kommunikation der Umwelt- und Klimavorteile, insbesondere der tatsächlichen Substitutionsleistung und regionalen Wertschöpfung.



Aufbruch der Fundamente, Quelle: Breer

Genehmigungen von Recyclinganlagen

Recycling- und Aufbereitungsanlagen nehmen eine Schlüsselrolle in der Kreislaufführung mineralischer Baurohstoffe ein. Sie stellen die Schnittstelle zwischen Abfallerzeugung und stofflicher Verwertung dar und sind Voraussetzung für die Bereitstellung qualitativ hochwertiger Sekundärbaustoffe. Trotzdem erweisen sich Genehmigungsprozesse als zunehmender Engpass für den weiteren Ausbau der Recyclingkapazitäten. In der Praxis zeigen sich lange Genehmigungsdauern, hohe Anforderungen aus dem Immissions- und Umweltrecht, sowie eine ausgeprägte regionale Uneinheitlichkeit der Genehmigungspraxis. Dies betrifft sowohl neue Anlagen als auch die Erweiterung und Modernisierung bestehender Anlagen, etwa zur Einführung sensorgestützter Sortierverfahren oder weitergehender Aufbereitungstechnologien. Gerade diese Technologien sind jedoch zentral, um höhere Sortenreinheiten zu erreichen und Recyclingbaustoffe verstärkt für hochwertige Anwendungen, wie beispielsweise in der Bauprodukterstellung, nutzbar zu machen.

Zusätzlich ist es wichtig zu berücksichtigen, dass Recyclinganlagen zukünftig zusätzliche Stoffströme aufnehmen sollen, etwa in Folge der Mantelverordnung und einer abnehmenden Bedeutung der Verfüllung nach 2031. Ohne einen parallelen Ausbau der genehmigten Kapazitäten besteht die Gefahr, dass Stoffströme verstärkt in Richtung Deponierung gelenkt werden, obwohl sie grundsätzlich recyclingfähig wären.

Lösungsansätze für eine leistungsfähige Recyclinginfrastruktur

Zur Sicherung ausreichender Recyclingkapazitäten sind folgende Schritte erforderlich

- ▶ Beschleunigung und Harmonisierung von Genehmigungsverfahren, insbesondere bei Erweiterungen bestehender Anlagen.
- ▶ Planungs- und Investitionssicherheit durch klarere und stabilere Rahmenbedingungen.
- ▶ Förderung moderner Aufbereitungstechnologien, um die stoffliche Qualität und Einsatzbreite von Recyclingbaustoffen zu erhöhen.

²⁹⁸ Abschlussbericht Dialogplattform Recyclingrohstoffe – Handlungsoptionen zur Stärkung des Beitrags von Recyclingrohstoffen für die Versorgungssicherheit mit Metallen und Industriemineralen, verfügbar unter: <https://www.acatech.de/publikation/abschlussbericht-dialogplattform-recyclingrohstoffe/>





Industrielle Flächennutzung, Quelle: unsplash

- Integration von Recyclinganlagen in regionale Rohstoff- und Kreislaufwirtschaftskonzepte, um Stoffstrombedarfe und Kapazitäten frühzeitig abzustimmen.

Eine leistungsfähige Recyclinginfrastruktur ist Voraussetzung dafür, dass regulatorisch verursachte Stoffstromumlenkungen nicht zu Entsorgungsgpässen führen.

Abwägung von Nutzungskonkurrenzen

Nutzungskonkurrenzen bei Flächen für die Abfallwirtschaft bezeichnen Konflikte, die entstehen, wenn begrenzte Flächenressourcen gleichzeitig unterschiedlichen Nutzungsansprüchen unterliegen. Abfallwirtschaftliche Einrichtungen wie Recyclinganlagen, Deponien, Müllverbrennungsanlagen oder mechanisch-biologische Behandlungsanlagen benötigen geeignete Standorte hinsichtlich Flächengröße, Verkehrsanbindung, geologischer Voraussetzungen und Abstand zu sensiblen Nutzungen. Diese Anforderungen stehen häufig im Wettbewerb mit anderen Flächennutzungen wie Wohnen, Gewerbe, Landwirtschaft oder Naturschutz. Zudem sind Flächen in verkehrsgünstiger Lage für Gewerbe- und Logistikunternehmen besonders attraktiv. Abfallwirtschaftliche Belange spielen bei der Abwägung zur künftigen Flächennutzung in der Regel keine große Rolle, zumal abfallwirtschaftliche Anlagen häufig mit Geruchs-, Lärm- und Staubemissionen sowie einem erhöhten Verkehrsaufkommen in Verbindung gebracht werden.

Zur Sicherung von Flächen für den Zubau von abfallwirtschaftlichen Anlagen muss das gesellschaftliche und wirtschaftliche Interesse an der Herstellung von Sekundärbaustoffen bzw. einer stärkeren Kreislauf-führung mineralischer Abfälle ein stärkeres Gewicht bei der Abwägung öffentlicher und privater Belange erhalten.

Weiterentwicklung der Ersatzbaustoffverordnung (EBV)

Die Ersatzbaustoffverordnung ist als bundeseinheitliche Regelung am 1. August 2023 in Kraft getreten und bildet den zentralen bundeseinheitlichen Rechtsrahmen für den Einsatz mineralischer Ersatzbaustoffe (MEB). Sie verfolgt das Ziel, den Einsatz von Sekundärbaustoffen zu stärken und gleichzeitig ein hohes Schutzniveau für Boden und Grundwasser sicherzustellen. Erste Ergebnisse des wissenschaftlichen Monitorings zeigen jedoch, dass die mit der EBV verbundenen Ziele bislang nur eingeschränkt erreicht werden und keine signifikante Erhöhung des Einsatzes von MEB festgestellt werden konnten.

Im Rahmen des vom Umweltbundesamt initiierten Monitorings wurde unter anderen ein Planspiel mit über 100 Vertretern aus Wirtschaft, Verwaltung und Verbänden durchgeführt. Die Auswertung zeigt, dass mineralische Ersatzbaustoffe weiterhin in den bereits etablierten Verwertungswegen eingesetzt werden, während neue Anwendungsfelder bislang nur eingeschränkt erschlossen werden konnten. Als wesentliche Ursachen werden weniger technische Defizite, sondern vielmehr Vollzugs- und Anwendungshemmnisse identifiziert.

Zentrale Hemmnisse betreffen insbesondere die hohe Komplexität der analytischen Anforderungen, Unsicherheiten bei der Auslegung von Einbaukonstellationen sowie umfangreiche Dokumentations- und Nachweispflichten. Diese führen in der Praxis zu Zurückhaltung bei Bauherren und Auftraggebern, sowie zu verlängerten Genehmigungs- und Entscheidungsprozessen. In der Folge greifen Vergabestellen aus Vorsorge häufig auf Primärrohstoffe zurück, obwohl der Einsatz güteüberwachter Recyclingbaustoffe rechtlich zulässig wäre.²⁹⁹

Das Monitoring macht zudem deutlich, dass die bestehende Regelungssystematik der EBV von vielen Akteuren als zu wenig praxisnah empfunden wird, insbesondere bei kleineren Bauvorhaben und standardisierten Einbausituationen. Damit bleibt ein wesentlicher Bestandteil des vorhandenen Recyclingpotenzials ungenutzt, obwohl Umwelt- und Ressourcenziele damit unterstützt werden könnten. Gleichzeitig ist eine statistisch belastbare Aussage zu den Auswirkungen der EBV auf die eingesetzten Mengen der Ersatzbaustoffe noch nicht möglich, da entsprechende Zahlen fehlen. Unabhängig davon befindet sich die Baukonjunktur seit Jahren auf einem Tiefstand.

Lösungsansätze zur Weiterentwicklung der EBV

Vor diesem Hintergrund besteht Einigkeit, dass eine Weiterentwicklung der EBV notwendig ist, um ihre Steuerungswirkung zu verbessern, ohne das bestehende Schutzniveau abzusenken. Auf Basis des wissenschaftlichen Monitorings und der im Plan-spiel identifizierten „low-hanging-fruits“ lassen sich folgende Ansatzpunkte ableiten:

- ▶ Vereinfachung und Harmonisierung analytischer Verfahren, um Prüfaufwand und Interpretationsspielräume zu reduzieren,
- ▶ Klarstellungen für häufige und unkritische Einbaukonstellationen, etwa bei grundwasserfernen Anwendungen oder über Grundgebirge,
- ▶ Entlastung bei Dokumentations- und Nachweispflichten, insbesondere durch kleinstmengenbezogene oder digitale Lösungen,
- ▶ Stärkung der Rechtssicherheit für Bauherren und Vergabestellen, etwa durch klarere Vollzugshinweise und bundeseinheitliche Auslegungshilfen.

Eine zeitnahe Novellierung der EBV wird daher von zahlreichen Akteuren als notwendiger Schritt gesehen, um den Einsatz mineralischer Ersatzbaustoffe tatsächlich zu erhöhen und ihre Rolle als gleichwertige Baustoffe im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu festigen. Die Weiterentwicklung der EBV ist damit ein zentraler Hebel, um Akzeptanz, Planungssicherheit und Marktdurchdringung von Sekundärbaustoffen nachhaltig zu verbessern.

Innovative Recyclingtechnologien: Fallbeispiele und Best Practise

Innovative Technologien und praxisnahe Initiativen spielen eine entscheidende Rolle, um die stoffliche Verwertung mineralischer Bauabfälle zu verbessern, die Qualität von Sekundärbaustoffen zu erhöhen und neue Einsatzfelder zu erschließen. Neben regulatorischen und marktbezogenen Hemmnissen kann technologische Innovation direkt zu einer höheren Materialeffizienz, geringeren Umweltwirkungen und neuen Märkten für Sekundärbaustoffe führen.

Erfolgreiche Projekte und Initiativen

Die praktische Umsetzung kreislaufwirtschaftlicher Ansätze im Bausektor wird zunehmend durch Bündnisse, Partnerschaften und regionale Netzwerke gestützt. Die QUBA Qualitätssicherung Sekundärbaustoffe GmbH ist beispielsweise eine bundesweit tätige Organisation, die durch Güteüberwachung, Qualitätssicherung und Zertifizierung die Akzeptanz geprüfter Sekundärbaustoffe stärkt und deren Einsatz in der Baupraxis erleichtert. Das regionale Bündnis „Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“ aus Rheinland-Pfalz (siehe Infobox)³⁰⁰ gilt als Vorbild für die kooperative Gestaltung von Angebots- und Nachfrageprozessen in der Bauwirtschaft, um den Einsatz von Sekundärbaustoffen zu fördern und die Kreislaufwirtschaft zu stärken. Ein ergänzendes Projekt zur stofflichen Kreislaufführung ist die Online-Plattform „Reuse Rheinland-Pfalz“, die regionale Akteure, Referenzprojekte und Fachinformationen zur Wie-

²⁹⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wissenschaftliches-monitoring-zur-evaluierung-uba-2025-abschlussbericht-dialogplattform-recyclingrohstoffe/>



³⁰⁰ <https://klimabuendnis-bauen.rlp.de/klimafreundlich-bauen/projekte/reuse-rheinland-pfalz>



Abbruch, Quelle: unsplash

derverwendung von Bauteilen in der Bauwirtschaft zusammenführt. Ziele der Plattform sind es dabei die Wiederverwendung als komplementären Ansatz zur stofflichen Verwertung zu stärken, die Sichtbarkeit von Best-Practice-Beispielen zu erhöhen und Netzwerke zu etablieren.

Bündnis „Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“ (Rheinland-Pfalz)

Ziel: Förderung der diskriminierungsfrei Ausschreibung und Verwendung gütegesicherter Recyclingbaustoffe im Bauwesen.

Hintergrund: Die Landesregierung in Rheinland-Pfalz hat gemeinsam mit kommunalen Spitzenverbänden, Architekten- und Ingenieurkammern, Wirtschaftsverbänden und dem Baustoffüberwachungsverein eine Vereinbarung zur umfassenden Wiederverwertung mineralischer Bauabfälle geschlossen. Die Initiative zielt darauf ab, selektiven Rückbau, hochwertiges Stoffstrommanagement und den Einsatz von Recyclingbaustoffen z. B. im Straßen- und Wegebau zu fördern.

Ergebnisse:

- ▶ Förderung von selektivem Baustoffrückbau als Voraussetzung für qualitativ hochwertiges

Recycling

- ▶ öffentliche Maßnahmen, wie der Einsatz von Recycling-Beton und Flüssigboden bei Landesbauprojekten
- ▶ Vernetzung von Akteuren und Bereitstellung von Informationsangeboten und Fachgesprächen

Technologische Entwicklungen und Innovationen

Technologische Innovationen bieten die Chance aktuelle zentrale Limitationen im Bauabfallrecycling zu adressieren. Dazu zählen mangelnde Sortenreinheit, hohe Aufbereitungskosten und eingeschränkte Einsatzoptionen für Sekundärbaustoffe. Neue Verfahren bieten die Möglichkeit sowohl qualitativ hochwertigere Recyclingbaustoffe als auch neue Nutzungsmöglichkeiten in der Bauproduktion zu schaffen.

Lösungsansätze und Perspektiven für innovative Recyclingtechnologien

Die vorgestellten Projekte und Technologien zeigen, dass Innovationen sowohl im organisatorischen Umfeld als auch auf technologischer Ebene entscheidende Hebel für die Kreislaufwirtschaft im Bau darstellen:

- ▶ Förderung föderaler Netzwerke und Bündnisse, die regionale Kreislaufstrategien mit konkreten Einsatzquoten verbinden.
- ▶ Standardisierung und Gütesicherung technischer Recyclingprozesse zur Erhöhung der Marktakzeptanz von Sekundärbaustoffen.
- ▶ Integration schneller Sortiertechnologien und digitaler Materialflüsse (z. B. BIM-gestützte Stoffstromverfolgung³⁰¹), um Stoffstromqualität und Einsatzsicherheit zu erhöhen.
- ▶ Verstärkte F&E-Förderung für neue Materialkreisläufe, einschließlich kombinierter mechanischer und chemischer Recyclingprozesse.

Durch die systematische Verbindung von politischer Initiative, technologischer Innovation und Marktentwicklung kann die Bauindustrie den Übergang zu einer hochwertigen Kreislaufwirtschaft beschleunigen.

Der stärkere Ausbau der erneuerbaren Energien wird, auch durch das Auslaufen der Kohleverstromung bis zum Jahr 2038, zunehmend wichtiger. Laut Koalitionsvertrag vom Februar 2026 soll der Kohleausstieg bis spätestens 2038 stattfinden. Die Steigerung der Energieeffizienz von Entsorgungsanlagen, die Vergärung von Biomasse oder die Nutzung von Sonne und Wind auf Deponien sind dabei neben der Auskopplung von Strom, Fern- und Prozesswärme in den thermischen Abfallbehandlungsanlagen wichtige Beiträge der Kreislaufwirtschaft auf dem Weg zur Sektorkopplung und zur Erhaltung der Systemstabilität.

 <https://circular-cities-and-regions.ec.europa.eu/news/ccri-success-circ-boost-revolutionises-construction-recycled-concrete>



Bauschutt, Quelle: unsplash



Bauschutt, Quelle: unsplash

BauCycle – optische Sortierung für hochreines Materialrecycling

Das Fraunhofer IOSB hat in dem Projekt BauCycle ein Verfahren zur optischen Sortierung feinfraktionaler Bauabfälle entwickelt. Dabei wird mit hyperspektralen Sensoren eine Trennung von Beton, Ziegeln, Sand-Kalk-Stein und Gips ermöglicht. Mit einer Reinheit von bis zu 99,5 % lassen sich daraus hochwertige Recyclingbaustoffe für die erneute Nutzung gewinnen und so den Bedarf an Primärrohstoffen reduzieren. Dieser Ansatz zielt darauf ab, feinfraktionierte Abfallanteile zu erschließen, die bislang nur begrenzt stofflich nutzbar sind.

mehr Informationen unter: <https://www.iosb.fraunhofer.de/de/projekte-produkte/baecycle.html>

Innovative Ansätze zur Kunststoff- und Reststoffverwertung (Kooperation Sika & Sulzer)

Ein gemeinsames Projekt zwischen Sika und Sulzer hat zum Ziel in Zukunft Kunststoffabfälle aus dem Bau mechanisch und chemisch zu recyceln und somit bislang schwer wiederverwendbare Materialien in hochwertige Rohstoffe zu überführen. Solche ganzheitlichen Recyclingketten können maßgeblich zur Reduktion von Scope-3-THG-Emissionen beitragen und eröffnen neue Möglichkeiten für Sekundärrohstoffe.

mehr Informationen unter: <https://www.globenewswire.com/de/news-release/2025/06/03/3092425/0/de/JOINT-VENTURE-F%C3%9CR-INNOVATIVES-KUNSTSTOFFRECYCLING-F%C3%96RDERT-KREISLAUFWIRTSCHAFT-IM-BAUWESEN.html>; <https://ml-eu.globenewswire.com/Resource/Download/bdc95e74-7123-4f05-b69d-c22e46d2bf1a>

MORPHIT – Ganzheitliche Nutzung von Bauabfällen

Die MORPHIT-Technologie nutzt einen patentierten Prozess, um Bauabfälle ohne komplexe Sortierung in leistungsfähige Baustoffe zu transformieren, die bis zu 80 % Nicht-Recyclingmaterial enthalten können. Dies reduziert die Abhängigkeit von Voraufbereitung und minimiert gleichzeitig Deponiebedarf und Rohstoffverbrauch.

mehr Informationen unter: <https://presse.industrie-contact.de/news-turning-trash-into-treasure-innovative-solution-morphit-transforms-construction-waste-into-sustainable-building-material?id=227063&l=deutsch&menuid=34401>

CO₂-Speicherung in Recyclingbaustoffen

Unternehmen wie die REMEX GmbH oder auch der Baustoffrecycler Feess bringen Recyclingbaustoff nach der Zerkleinerung in speziellen Silos mit biogenem CO₂ aus Biogasanlagen zusammen, bis der Baustoff vollständig gesättigt ist. Der so carbonatisierte Recyclingbaustoff bindet dauerhaft CO₂ und kann anschließend wieder im Straßen- oder Tiefbau bzw. im Recyclingbeton eingesetzt werden. Durch diese Technik könnten künftig bis zu 55 Millionen Tonnen Bauschutt pro Jahr in Deutschland als CO₂-Speicher dienen und so zur Klimaneutralität sowie zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft beitragen.

mehr Informationen unter: <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/feess-und-neustark-weihen-pilotanlage-zur-speicherung-von-co2-in-abbruchbeton-ein-191124/>, <https://remondis-aktuell.de/recycling/co2-speicherung-in-recyclingbaustoffen/>

4.4 Die Kreislaufwirtschaft als Energielieferant



Die Kreislaufwirtschaft als wichtiger Energieerzeuger.

Die energiepolitische Lage in Deutschland befindet sich seit einigen Jahren in einem tiefgreifenden Wandel. Getrieben durch Klimaschutzziele, geopolitische Spannungen und wirtschaftliche Herausforderungen steht Deutschland vor der Aufgabe, seine Energieversorgung zugleich sicher, bezahlbar und nachhaltig zu gestalten. Spätestens seit der Energiekrise infolge des russischen Angriffs auf die Ukraine im Jahr 2022 ist deutlich geworden, wie stark energiepolitische Fragen mit außen- und sicherheitspolitischen Entwicklungen verknüpft sind.

³⁰² <https://international-aluminium.org/landing/aluminium-recycling-saves-95-of-the-energy-needed-for-primary-aluminium-production/>



³⁰³ <https://internationalcopper.org/policy-focus/climate-environment/recycling/>



4.4.1 Energieerzeugung in Deutschland: Der Beitrag der Kreislaufwirtschaft im Überblick

Die Energieabhängigkeit von Deutschland ist seit Jahrzehnten ein zentrales Thema der Wirtschafts- und Sicherheitspolitik. Als rohstoffarmes Industrieland verfügt Deutschland nur über begrenzte eigene Vorkommen an fossilen Energieträgern und ist daher stark auf Energieimporte angewiesen. Bei Erdgas ist die Importabhängigkeit besonders ausgeprägt.

Bis 2022 war Russland der wichtigste Lieferant für Erdgas. Durch den Angriff Russlands auf die Ukraine kam es jedoch zu einem drastischen Einschnitt in der deutschen Energieversorgung. Die bisherigen Lieferbeziehungen brachen weitgehend weg, was kurzfristig zu extrem steigenden Energiepreisen und Versorgungsängsten führte. Diese Krise hat deutlich gemacht, wie wichtig es ist, heimische Potentiale zur Energieeinsparung und zur Energieerzeugung zu nutzen.

Energieeinsparung durch Substitution von Primärrohstoffen

Die Substitution von Primärrohstoffen durch Sekundärrohstoffe (Recyclingmaterialien) ist ein wichtiger Baustein zur Energieeinsparung und zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Primärrohstoffe wie Eisenerz, Bauxit oder Erdöl müssen zunächst aufwendig gefördert, transportiert und verarbeitet werden – Prozesse, die meist sehr energieintensiv sind. Werden diese durch bereits vorhandene Materialien ersetzt, entfällt ein großer Teil dieses Energieaufwands:

Die Energieeinsparungen bei der Gewinnung von Metallen erfolgen überwiegend in den Ländern, in denen die Primärrohstoffe gewonnen werden, tragen damit aber zum globalen Klimaschutz bei.

Material Energieeinsparung durch Substitution

Aluminium	ca. 95 % (Einschmelzen vs. Elektrolyse aus Bauxit) ³⁰²
Kupfer	ca. 85 % im Vergleich zur Primärgewinnung ³⁰³
Stahl	ca. 72–75 % ³⁰⁴
Zink	ca. 95 % im Vergleich zur Primärgewinnung ³⁰⁵
Kunststoffe	ca. 80 % (je nach Sorte und Reinheit) ³⁰⁶
Glas	ca. 2–3 % pro 10 % Altglas-Anteil im Schmelzgemenge ³⁰⁷

Energieerzeugung aus Abfällen – Überblick

Die Energieerzeugung in der Kreislaufwirtschaft folgt dem Grundprinzip, Ressourcen möglichst lange im Wirtschaftskreislauf zu halten und Abfälle als Wertstoffe zu nutzen. Ziel ist es, Stoff- und Energiekreisläufe zu schließen, den Einsatz von Primärrohstoffen zu reduzieren und Emissionen zu minimieren.

Die Energieerzeugung in der Kreislaufwirtschaft umfasst

- ▶ die energetische Verwertung von Primärabfällen aus Haushalten, Industrie und Gewerbe
- ▶ die energetische Verwertung von Ersatz- und Sekundärbrennstoffen sowie sonstigen Abfällen aus Abfallbehandlungsanlagen sowie
- ▶ die Energieerzeugung aus abfallstämmiger Biomasse.

Dies erfolgt

- ▶ in klassischen Abfallverbrennungsanlagen (TAB, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Altholzverbrennungsanlagen und Biomassekraftwerken sowie Klärschlammverbrennungsanlagen),
- ▶ in Anlagen zur Mitverbrennung von Abfällen (Zementwerke, Kohlekraftwerke, Industriekraftwerke) sowie
- ▶ in biologischen Abfallbehandlungsanlagen (Bioabfallvergärungsanlagen und MBA mit Vergärungsstufe).

³⁰⁴ EuRIC: Fakten Metallrecycling; GLE SCRAP METAL: Energy Efficiency and Recycling: Start with Recycling Scrap Metal Energy Efficiency and Recycling: Start with Recycling Scrap Metal (glescrap.com)

³⁰⁵ Verband Deutscher Metallhändler und Recycler e.V.: Metall in Fakten Metall in Fakten – VDM Verband Deutscher Metallhändler und Recycler e.V.

³⁰⁶ <https://plasticsrecycling.org/resources/our-power-our-planet-how-plastic-recycling-drives-clean-energy-and-a-circular-economy/>



³⁰⁷ <https://www.gpi.org/facts-about-glass-recycling>



Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland 2025 (in TWh)

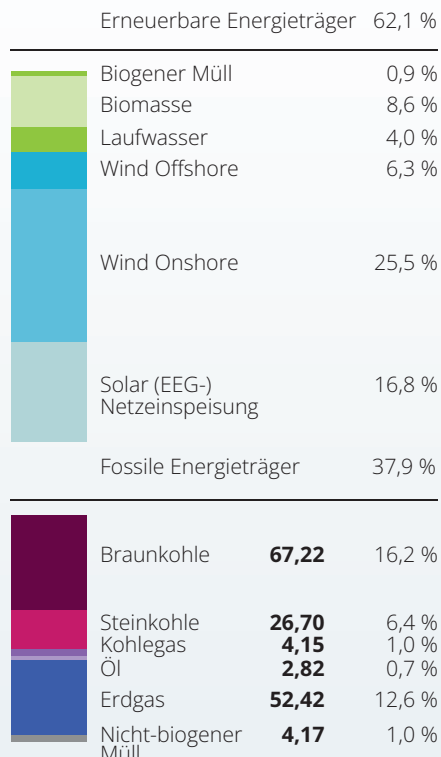


Abb. 102, Quelle: BDEW: Die_Energieversorgung_2025_FINAL_2025_12_17_1.pdf

Darüber hinaus wird das in den stillgelegten Deponien entstehende, so genannte „Deponiegas“ verwertet. Diese Mengen gehen aber durch die Ausgasung der Deponiekörper kontinuierlich zurück. Die Energieerzeugung der Kreislaufwirtschaft umfasst jedoch bereits mehr. So werden auch die Flächen von Altstandorten, beispielsweise Deponien, für die Energieerzeugung genutzt. Ferner gibt es bei den klassischen TAB auch erste Projekte zur Erzeugung von Wasserstoff und Methanol.

Der Gesamtbeitrag der Kreislaufwirtschaft zur Energieerzeugung wird statistisch nicht erfasst. Die verfügbaren Datengrundlagen sind sehr heterogen und zum Teil widersprüchlich, die Methoden und definitorischen Systemgrenzen sind ebenfalls unterschiedlich. Bezogen auf die erzeugte Energie in Form von Strom, Wärme und Prozessdampf werden häufig nur die Nettowerte, also die in das öffentliche Netz eingespeisten Mengen erfasst.

Nettostromerzeugung im Sinne des Wärmeplanungsgesetzes nach Energieträgern in Deutschland zur leitungsgebundenen Wärme-erzeugung 2025 (in TWh)

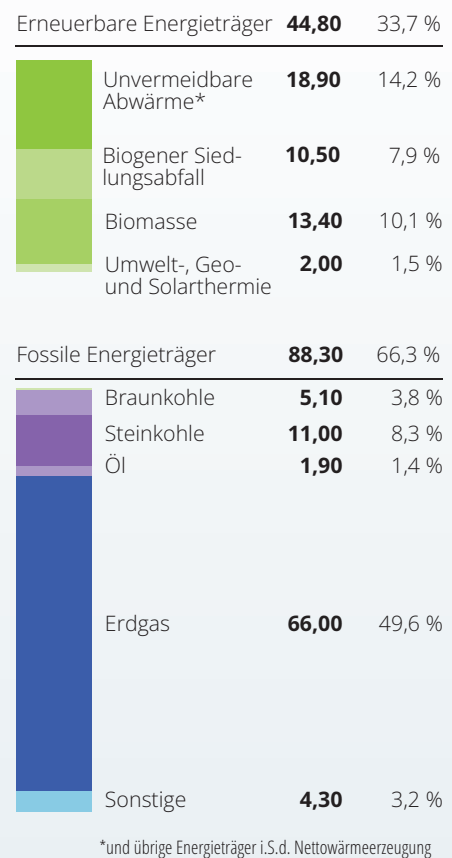


Abb. 103, Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.html?l=de&DE&interval=year&year=2022

Eine grobe Abschätzung der aus Abfällen erzeugten Energiemenge in Form von Strom, Wärme und Dampf kommt für die wesentlichen Energieerzeuger zu den folgenden Ergebnissen:

- Thermische Abfallbehandlungsanlagen: Die erzeugte Wärme und der erzeugte Prozessdampf der ITAD-Anlagen liegt im Jahr 2024 bei rund 26,1 TWh, der erzeugte Strom bei rund 10,5 TWh.³⁰⁸
- Klärschlammverbrennung: Die erzeugte Menge an Wärme und Strom beträgt im Jahr 2023 rund 1,3 TWh.³⁰⁹
- Abfallstämmige Biomasse: Im Jahr 2024 liegt die aus abfallstämmiger Biomasse erzeugte Energie bei rund 4,4 TWh.³¹⁰
- Deponiegas: Der Energiegehalt der Deponiegasmenge wird für das Jahr 2023 mit 1,1 TWh angegeben, dies entspricht somit nicht unbedingt der tatsächlich erzeugten Energiemenge.³¹¹
- Biodiesel: Im Jahr 2024 wurde Biodiesel mit einem Energiegehalt von rund 0,03 TWh erzeugt.
- Überschlüssig ergibt sich für die Energieerzeugung aus Abfällen eine Gesamtsumme von rund 43,4 TWh.³¹²

³⁰⁸ itad_jahresbericht-2024-2025.pdf. Die TAB, die in der ITAD organisiert sind, repräsentieren mehr als 95 % der Anlagenkapazitäten in Deutschland. Vor diesem Hintergrund liegen die erzeugten Energiemengen aus diesen Ablagen etwas höher als angegeben.



³⁰⁹ <https://www.klamm.de/news/etwas-weniger-klärschlamm-thermisch-verwertet-21N1733980908992.html?utm>



³¹⁰ https://www.bioenergie.de/themen/strom?utm_



³¹¹ <https://www.statista.com/statistics/737720/energy-production-from-renewable-municipal-waste-in-germany/?utm>



³¹² Summe aus zwei unterschiedlichen Bezugsjahren.



Kompostwerk Bückeberg, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Stromerzeugung durch die Kreislaufwirtschaft

Im Jahr 2025 betrug die öffentliche Nettostromerzeugung insgesamt rund 415 TWh. Auf die Verbrennung von biogenem Müll und nicht-biogenem Müll entfallen rund 7,95 TWh (= 2 %). Innerhalb der gesamten Stromerzeugung aus Biomasse wird die Erzeugung speziell aus der abfallstämmigen Biomasse mit rund 4,4 TWh angegeben.³¹³

Der Anteil der Kreislaufwirtschaft ist im Vergleich zum Jahr 2022, dem Basisjahr des letzten Statusberichtes, in etwa gleich geblieben. Wesentliche Unterschiede resultieren aus dem Wegfall der Kernkraft zur Stromerzeugung sowie dem Rückgang der Anteile der Braunkohle (- 39 TWh) und der Steinkohle (- 29 TWh).

Wärmeerzeugung durch die Kreislaufwirtschaft

Für das Jahr 2025 liegen noch keine abschließenden Ergebnisse vor, die genau die Fernwärmeerzeugung aus Abfall (z. B. aus Müllverbrennungsanlagen) in kWh oder TWh beziffern können. Die Statistiken für das Jahr 2025 sind zumeist noch in Arbeit oder werden erst 2026 veröffentlicht. Es gibt aber bereits belastbare Größenordnungen, aus denen sich eine erste Abschätzung ableiten lässt, um einen Vergleich mit vorliegenden Informationen zur Stromerzeugung der Kreislaufwirtschaft des Jahres 2025 zu ermöglichen:

Der Vergleich mit den Zahlen des Jahres 2022 gestaltet sich bei der Wärmeerzeugung insofern etwas schwierig, als der Anteil des „Nicht-biogenen Mülls“ in die Kategorie „Unvermeidbare Abwärme und übrige Energieträger im Sinne des Wärmeplanungsgesetzes“ eingegangen ist und daher in diesem Kontext nicht mehr exakt zu beziffern ist. Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass der Anteil der TAB an der Fernwärmeversorgung in Deutschland nach wie vor etwa 16 % beträgt.³¹⁴

4.4.2 Energieerzeugung durch die thermische Verwertung von Abfällen

Neben den Thermischen Abfallbehandlungsanlagen (TAB), zu denen die Müllverbrennungsanlagen und die EBS-Kraftwerke zählen, liefern beispielsweise auch Altholzkraftwerke und Bioabfallvergärungsanlagen Strom und Wärme sowie Biogas als Energieträger aus Abfällen. Der Beitrag der beiden letzten Anlagentypen ist jedoch statistisch nicht sauber abgrenzbar, da nicht exakt zwischen der Verbrennung von Biomasse und abfallstämmiger Biomasse unterschieden werden kann.

Im Jahr 2024 haben die 92 Mitgliedsanlagen der ITAD rund 10,49 TWh Strom produziert, dies entspricht in etwa den Größenordnungen der Vorjahre. Die Nutzung der Abwärme liegt bei den ITAD-Anlagen hingegen mit 26,09 TWh für Fernwärme und Prozessdampf etwas höher als in den Vorjahren (+6 % gegenüber 2021). Der Anteil der TAB an der gesamten Fernwärmeversorgung in Deutschland liegt nach wie vor bei etwa 16 %.

Die Kreislaufwirtschaft leistet auch einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung der Zementindustrie. Hier werden in großem Maße Sekundärbrennstoffe (wie beispielsweise Altreifen, heizwertreiche Fraktionen aus Industrie-/ Gewerbeabfällen, aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen oder Klärschlamm) beim Klinkerbrennprozess eingesetzt. Im Jahr 2024 wurden in den Zementwerken rund 2,9 Millionen Tonnen Sekundärbrennstoff eingesetzt. Über die Sekundärbrennstoffe wurden rund 14 TWh Energie erzeugt, dies entspricht einem Anteil von 76,6 % am gesamtem Brennstoffeinsatz der deutschen Zementindustrie.³¹⁵

³¹³ https://www.bioenergie.de/themen/strom?utm_source=chatgpt.com



³¹⁴ Fernwärme - EEW Energy from Waste

³¹⁵ Informationen aus dem Bereich Statistik, Bauwirtschaft und Rohstoffe des VDZ vom 24.02.26

Kennzahlen der ITAD-Mitgliedsanlagen zur Energieerzeugung (in MWh)

	Wärme _{exp}	Prozessdampf _{exp}	Gesamt	
2021	10.816.000	13.824.000	24.640.000	
2022	10.552.000	14.452.000	25.004.000	
2023	10.341.000	15.089.000	25.430.000	
2024	10.512.000	15.573.000	26.085.000	

	Strom _{prod}	Strom _{exp}	R1-Wert	Anlagen
2021	10.280.000	7.798.000	0,84	84
2022	10.366.000	7.865.000	0,85	91
2023	10.715.000	8.202.000	0,86	92
2024	10.490.000	7.975.000	0,83	92

Abb. 104, Quelle: itad_jahresbericht-2024-2025.pdf, S. 62, Daten noch in weiterer Abstimmung



Holzhackschnitzel, Quelle: Reiling

4.4.3 Energieerzeugung aus abfallstämmiger Biomasse

Die Biomasse spielt in Deutschland eine zentrale Rolle innerhalb der erneuerbaren Energien – insbesondere im Wärmesektor und bei der gesicherten Stromerzeugung. Unter dem Begriff Biomasse werden jedoch verschiedene Arten biogenen Materials zusammengefasst: Neben abfallstämmigen Biomassen, d. h. organischen Abfällen, die bei der Produktion von Holz, Papier, Lebensmitteln und anderen Produkten anfallen, werden unter dem Begriff auch andere nicht abfallstämmige Biomassen erfasst wie z. B. Energiepflanzen oder Holz aus Wäldern und landwirtschaftliche Reststoffe und Nebenprodukte wie Gülle und Mist.

Unterschieden wird dabei zwischen fester (u. a. Altholz) und flüssiger (u. a. Pflanzenöl) Biomasse sowie dem Bio-, Klär- und Deponiegas. Unter dem Begriff Biomasse wird ebenfalls der biogene Anteil im Restabfall (rund 40 %) erfasst.

Aufgrund der sehr vielfältigen Rohstoffarten, Zustandsformen und Behandlungsverfahren kann Biomasse insgesamt in allen energierelevanten Sektoren eingesetzt werden. Dies beinhaltet sowohl die Erzeugung von Wärme und Strom als auch den Einsatz als Treibstoff im Verkehr.

Aus Biomasse insgesamt und biogenem Abfall wurden im Jahr 2024 im Rahmen der öffentlichen Nettostromerzeugung etwa 48,9 TWh Strom bereitgestellt, dies entspricht einem Anteil von 17 % an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (286 TWh). Bedeutend für die Stromerzeugung aus Biomasse sind vor allem Biogas (28,6 TWh), feste Biomasse (10,1 TWh) und der biogene Anteil des Abfalls (5,5 TWh). Insgesamt liegt die Stromerzeugung aus Biomasse in den letzten 10 Jahren auf etwa dem gleichen Niveau.³¹⁶

Eine detailliertere Abgrenzung zwischen abfallstämmiger Biomasse/biogenem Abfall und nicht abfallstämmiger Biomasse ist über die Energiestatistiken jedoch nicht möglich. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass die tatsächliche Stromerzeugung (Bruttostromerzeugung) deutlich höher liegt, da ein Teil der Energie im Rahmen des Eigenbedarfs genutzt und nicht in das öffentliche Netz eingespeist wird. Ähnlich verhält es sich beim Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Wärmeerzeugung. Die Biomasse insgesamt hatte im Jahr 2024 mit 161 TWh einen Anteil von rund 63 % an der gesamten Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien. Für die Wärmeerzeugung waren überwiegend feste Biomasse (vornehmlich Holz – sowohl Frisch – als auch Altholz) mit 121,7 TWh verantwortlich, flüssige Biobrennstoffe trugen 2,2 TWh bei, gasförmige Biomasse 22,6 TWh und biogener Abfall weitere 14,5 TWh.³¹⁷ Nicht berücksichtigt ist auch hier der Eigenverbrauch.

Im Verkehr wird Biomasse insgesamt hauptsächlich als Biokraftstoff im Bereich des Land-, Luft- und Schiffsverkehrs eingesetzt. Der Absatz betrug



Fermentierungsanlage zur Gaserzeugung, Quelle: Breer

³¹⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom>



³¹⁷ ebd.

Integratives Energiekonzept Cröbern



Das integrative Energiekonzept am Standort der Zentraldeponie Cröbern ermöglicht eine weitgehend klimaneutrale und kostenstabile Energieversorgung. Kern ist die Kombination aus Photovoltaik, Deponiegasverstromung sowie Batterie- und Gasspeichern.

Die bestehende PV-Leistung wurde auf rund 8,3 MW ausgebaut; ein wichtiger Baustein ist die 2025 in Betrieb genommene 6 Hektar große PV-Anlage mit 6,9 MW. Zwei neue Blockheizkraftwerke verstromen Deponiegas, unterstützt durch einen rund 5.000 m³ fassenden Gasspeicher, sodass die Stromproduktion verstärkt in die Nacht verlagert werden kann. Geplante Batteriespeicher gleichen Spitzen in Erzeugung und Verbrauch aus. Bei einem Gesamtbedarf von rund 10 GWh werden so künftig mehr als 90 % des Stroms CO₂-neutral selbst erzeugt. Aus der Bioabfallvergärung in der Kompost-Energie-Anlage wird Wärme am Standort genutzt und der erzeugte Strom nach den EEG-Regeln vollständig ins Netz eingespeist.

Durch die schrittweise Umsetzung sinken Emissionen und externer Strombezug deutlich, zugleich werden die Entsorgungsgebühren in der Region Leipzig langfristig stabilisiert. Langfristig können zudem etwa 30 elektrisch betriebene Abfallsammel-fahrzeuge versorgt werden.

im Jahr 2024 ca. 33,8 TWh und verteilte sich zu 49,2 % auf Biodiesel, zu 21,2 % auf Bioethanol, zu 8,3 % auf Biomethan und 0,02 % auf Pflanzenöl mit 0,02 TWh.³¹⁸ Das Delta zu 100 % entfällt auf erneuerbaren Strom. Der Einsatz abfallbasierter Biomasse ist hier jedoch aufgrund der Verfügbarkeit sowie rechtlicher Begrenzungen des Anteils biogener Rest- und Abfallstoffe, die fossilstämmigen Kraftstoffen beigemischt werden dürfen, begrenzt.

Auch wenn detaillierte Daten zum Einsatz abfallstäm-miger Biomasse nur begrenzt öffentlich verfügbar sind, kann festgehalten werden, dass der Einsatz von Biomasse einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leistet, dies zeigt sich auch in der Einsparung von allein 74,1 Millionen Tonnen CO₂e durch den Einsatz von Biomasse in der öffentlichen Strom- und Wärme-produktion sowie im Verkehrssektor.

4.4.4 Nutzung von Altstandorten für die Energieerzeugung

Neben Dachflächen und klassischen Freiflächenanlagen rücken zunehmend sogenannte Altstandorte in den Fokus der Photovoltaiknutzung. Hierzu zählen insbesondere ehemalige Deponien, Industrie- und Gewerbebrachen, Bergbauhalden, Militärkonversionsflächen sowie andere vorbelastete Areale, die für eine landwirtschaftliche oder bauliche Nutzung nur eingeschränkt geeignet sind.

Die Nutzung solcher Flächen für Photovoltaikanlagen bietet mehrere Vorteile: Sie vermeidet Nutzungskonflikte mit der Landwirtschaft, reduziert zusätzlichen Flächenverbrauch und trägt zur Revitalisierung brachliegender Areale bei.

Nach einer Hochrechnung von Appelt³¹⁹ wird der Anteil der Flächen auf Deponien und Altablagerungen, die für eine PV-Anlage geeignet sind, auf 4.200 ha geschätzt. Für ein MWp werden etwa 1,2 ha Fläche benötigt, daraus ergibt sich ein Potenzial von etwa 3.500 MWp. Daraus ließe sich gemäß dem UBA-Emissionsfaktor von 363 g/kWh (2024) eine Einsparung von rund 1,27 Millionen Tonnen CO₂e ableiten.

Eine überschlägige Rechnung für Deutschland kommt zu folgendem Ergebnis.

Flächen- und Leistungsschätzung

Parameter	Schätzung
Stillgelegte Deponien (gesamt)	1 000 Anlagen
Durchschnittliche Deponiegröße	ca. 1–3 ha (konservativ angenommen)
Potenzielle PV Belegung pro Hektar	~1 MWp/ha (Standardwert)
Bundesweite PV Leistung	1 000 × 2 ha × 1 MWp ≈ ~2 000 MWp (2 GWp)
Bundesweite Fläche	~2 000 ha (20 km²)

Erläuterung:

- ▶ Wenn im Durchschnitt pro stillgelegter Deponie 2 ha sinnvoll belegt werden können, entspricht das rund 2 GWp installierter Leistung deutschlandweit.
- ▶ Realistisch ist jedoch ein Spektrum:
- ▶ Konservativ: 1 GWp (bei 1 ha/Deponie)
- ▶ Ambitioniert: 3–4 GWp (bei 3–4 ha/Deponie), je nach Form, Neigung und Eignung.

Damit liegen die Ergebnisse der Hochrechnung nach Appelt in der Bandbreite des ambitionierten Ausbaupfades der überschlägigen Rechnung.

³¹⁸ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom>



³¹⁹ Appelt, J.: Planung und Realisierung von Photovoltaikanlagen auf Deponien. In: Witzenhausen Institut: Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung V, 2023; S. 468



Energiegewinnung mit PV-Anlage, Quelle: ZAK

 Deponiebuch aller Deponien
- inwesd.de

Informationen über die Deponiegasnutzung und geplante Photovoltaik-Projekte finden sich für die Mitglieder der InwesD im so genannten "Deponiehandbuch".³²⁰

4.4.5 Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff

Neben der Erzeugung von Strom und Wärme könnten die TAB langfristig auch den sich abzeichnenden Weg zur Wasserstoff-Wirtschaft (H_2) unterstützen. Viele Betreiber von TAB haben sich intensiv mit dem Thema Elektrolyse beschäftigt. Aufgrund politischer und rechtlicher Restriktionen sind jedoch viele Planungen ein- bzw. zurückgestellt. Hinzu kommen beträchtliche Herausforderungen, die einen wirtschaftlichen Betrieb erschweren bzw. den sog. orangenen Wasserstoff kurzfristig unrealistisch erscheinen lassen.

Dabei sind die TAB-Standorte ideal, um bei geeigneten Rahmenbedingungen beispielsweise folgende Systemdienstleistungen zu erbringen:

- ▶ H_2 aus den TAB ist treibhausgasneutral und somit klimafreundlich, da für die Erzeugung keine zusätzliche Energie benötigt wird, sondern zurückgewonnene Energie aus der Abwärme der Abfallverbrennung eingesetzt wird.
- ▶ Auf den TAB-Standorten können nicht nur Elektrolyse, sondern auch H_2 -Tankstellen errichtet werden, beispielsweise für die Betankung von Müllfahrzeugen oder Bussen. Im Fall von Müllfahrzeugen fallen, wenn diese nach der Anlieferung betankt werden, keine zusätzlichen Wege zu einer externen Tankstelle an.
- ▶ H_2 kann auch in das Erdgasnetz oder, falls vorhanden, in ein separates H_2 -Netz eingespeist werden.

Wasserstoff kann ferner für die Weiterverarbeitung des künftig abzuscheidenden CO_2e aus dem Rauchgas genutzt werden, beispielsweise zur Produktion von Basisrohstoffen wie Methanol als Grundstoff für die Kunststoffherstellung. Die TAB sind aktuell maßgeblich in die Carbon Management Strategie der Bundesregierung eingebunden. Einzelne Projekte zur Produktion von Wasserstoff oder Methanol sind bereits in der Planung bzw. in der Umsetzung, dies ist jedoch mit einer Reduzierung der Energieauskopplung von bis zu 50 % verbunden. Dies kann insbesondere im Winter zu Nutzungskonkurrenzen bei der Fernwärmeauskopplung führen.

Eine fortschreitende Energiewende sowie eindeutige europa- und weltweite Regelungen sind unerlässlich, um Rahmenbedingungen zu setzen, die dazu führen, dass diese Optionen wirtschaftlich umsetzbar sein werden. Aufgrund der langen Entwicklungszeiten von verfahrenstechnischen Prozessen gilt es, diese Techniken zeitnah bis zur Marktreife zu entwickeln, damit sie in den nächsten Jahren erprobt und eingesetzt werden können.

Sowohl die Energieerzeugung als auch die intelligente Energienutzung hat für die Unternehmen der Kreislaufwirtschaft in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Erlöse aus der Energieerzeugung wirken sich dämpfend auf die Kosten bzw. Gebühren für die Behandlung von Abfällen aus. Da für die Energieerzeugung keine Primärenergieträger benötigt werden, ergibt sich über die Gutachten ein positiver Beitrag zum Klimaschutz.

Systemrelevante Aufgaben der TAB im Kontext der Energiewende

Die so genannten „Systemdienstleistungen“ sind für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb von Stromnetzen erforderlich und durch alle Beteiligten (Übertragungsnetz- und Verteilnetzbetreiber, Erzeugungsanlagen und Großabnehmer) zu erbringen. Diese müssen die Abweichungen (z. B. der Frequenz) im Netz kontinuierlich prognostizieren, überwachen sowie die erforderlichen Korrekturen mittels Systemdienstleistungen vornehmen.

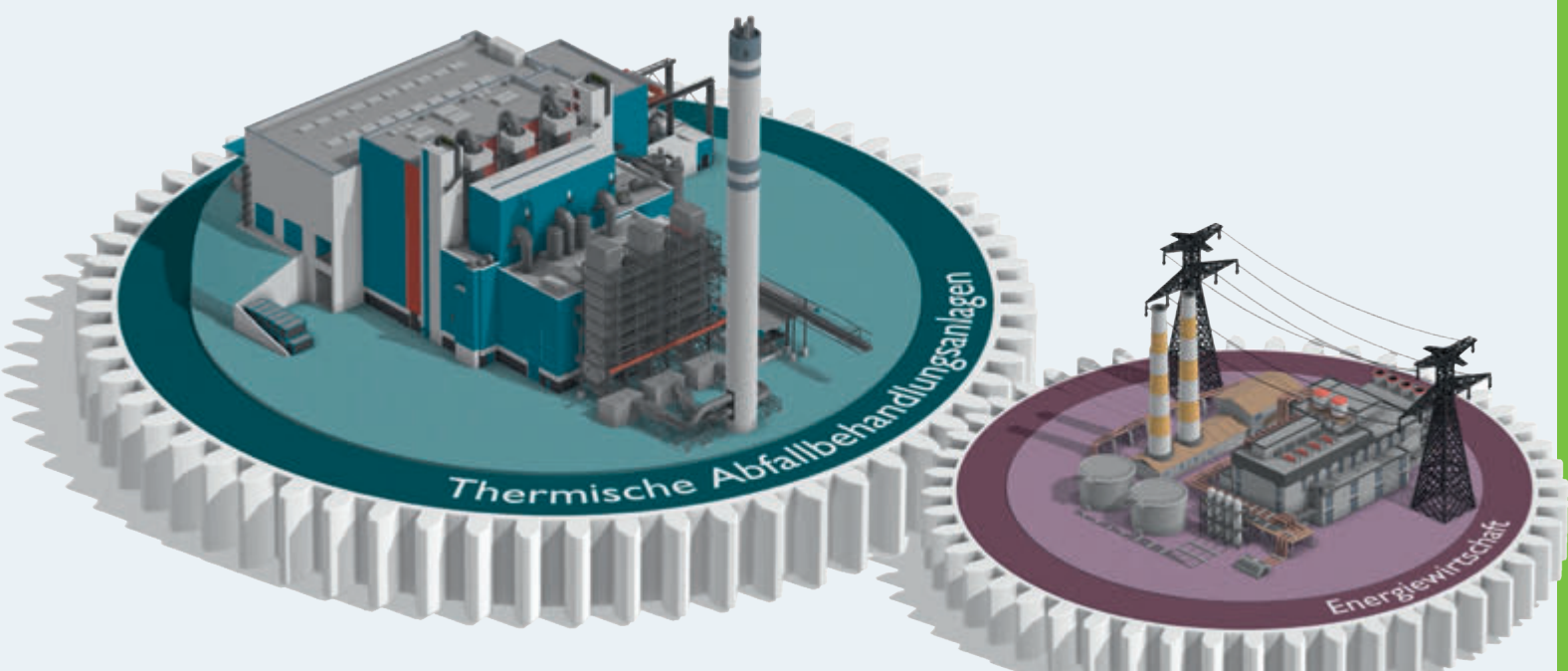
Insbesondere Frequenz- und Spannungshaltung sowie der Versorgungswiederaufbau sind viele Jahrzehnte mit den konventionellen, also in der Regel fossil oder nuklear betriebenen, Kraftwerken realisiert worden. Der Ausbau der regenerativen Energien in Deutschland hat hier bereits zu tiefgreifenden Veränderungen geführt. Der Ausstieg aus der Atomenergie bis April 2023 sowie der Kohleausstieg bis zum Jahr 2038 werden die Stromerzeugung und damit auch das Erbringen der Systemdienstleistungen fundamental verändern. Die Systemdienstleistungen müssen dann weitestgehend mit alternativen Ansätzen (inkl. Speichertechnologien) bereitgestellt werden.

Die TAB können und müssen somit verstärkt Systemdienstleistungen anbieten. Obwohl es sich um Anlagen mit vergleichsweise geringer Leistung handelt, werden sie aufgrund der dezentralen Verteilung in Deutschland an Bedeutung gewinnen, gerade durch das Abschalten der klassischen Kraftwerke mit zum Teil über 1.000 MW installierter Leistung. Die TAB verfügen über Turbinen und Generatoren, also rotierende Massen, mit deren Trägheit sich kurzfristige Leistungsungleichgewichte ausgleichen und die Frequenz stabilisieren lassen. Ebenso können Abfallverbrennungsanlagen am Regelenergiemarkt teilnehmen. Über 30 TAB sind bereits für die Bereitstellung von Minutenreserve qualifiziert, mehrere Anlagen auch schon für die Bereitstellung von Sekundärregelleistung. Auch die Teilnahme am Regelenergiemarkt wird an Bedeutung gewinnen. Die Strom erzeugenden

TABs haben zu etwa 1/3 die Fähigkeit des Versorgungswiederaufbaus nach einem Blackout aus eigener Kraft, also die Schwarzstartfähigkeit, da die Abfallverbrennungsanlagen unabhängig von einer anderen Stromversorgung den Betrieb starten können.

Hinzu kommt, dass die Verbrennungsanlagen dezentral über Deutschland verteilt sind und damit bestens zur dezentral organisierten Energiewende passen. Zudem sind die Standorte etabliert und akzeptiert und verfügen über erfahrenes Personal, sodass diese Standorte auch für neue Anlagen im Rahmen der Energiewende, z. B. für Anlagen zur Produktion von Wasserstoff oder Biogas sowie Speicheranlagen, attraktiv sind.

Der regenerativ erzeugte Strom wird immer kostengünstiger. Zum einen könnten neu gebaute TAB, welche alte Anlagen ersetzen, auf Verstromung und Kraft-Wärme-Kopplung verzichten und ausschließlich Wärme produzieren. Das ist an Industriestandorten und in Großstädten attraktiv, wo über das ganze Jahr ein Mindestabsatz an Wärme garantiert ist. Der Wasser-Dampf-Kreislauf würde anders gestaltet und die Kosten würden sinken. Damit können diese Abfallverbrennungsanlagen aber auch nicht mehr die genannten Systemdienstleistungen erbringen. Zum anderen kann eine gesicherte klimafreundliche Stromerzeugung im volatilen Strommarkt an Bedeutung gewinnen. Somit werden die meisten Anlagen vermutlich bei der Strom- und Wärmeproduktion bleiben, da damit ein hohes Maß an Flexibilität gewährleistet ist und Strom als universeller Energieträger auch in Wärme (Power to Heat) und stoffliche Energieträger wie Wasserstoff oder Methan (Power to Gas) umgewandelt werden kann.



4.5 Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft



Klimaneutralität braucht Kreisläufe

Der Klimaschutz befindet sich in einem tiefgreifenden Transformationsprozess, der alle Sektoren der Wirtschaft und Gesellschaft gleichermaßen betrifft. Die Kreislaufwirtschaft übernimmt dabei eine Schlüsselrolle. Der erste große Entwicklungsschritt – die Transformation von einer abfallorientierten Entsorgungswirtschaft hin zu einer umfassenden Kreislaufwirtschaft – hat in den vergangenen zwei Jahrzehnten bereits deutliche Beiträge zur Reduktion von Treibhausgasemissionen geleistet. Maßgeblich dafür waren in Deutschland das gesetzlich verankerte Ablagerungsverbot für unbehandelte Siedlungsabfälle, erhebliche Investitionen in mechanisch-biologische und thermische Behandlungsverfahren sowie der zunehmende Einsatz moderner Sortier- und Recyclingtechnologien. Diese Reformen führten insbesondere zu einer starken Reduktion der Methanemissionen aus Abfalldeponien und legten damit die Grundlage für den größten sektoralen Emissionsrückgang seit 1990.

Gleichzeitig haben Anlagenhersteller, Entsorgungsunternehmen und die verarbeitende Industrie ihre technologischen Entwicklungen vorangetrieben. Durch Digitalisierung, Sensorik und Automatisierung konnten Stoffströme präziser erfasst, höherwertig sortiert und effizienter verwertet werden. Die Kreislaufwirtschaft hat dadurch ihre Rolle als Klimaschutzakteur gestärkt und gleichzeitig bewiesen, dass ökologische Verbesserung und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit kein Widerspruch sein müssen. Heute steht die Branche am Beginn eines zweiten Transformationsprozesses – der Entwicklung hin zu einem umfassenden zirkulären Wirtschaftsmodell, welches über das klassische Recycling hinausgeht. Dieser Ansatz betrachtet Wertschöpfungsketten ganzheitlich, von der Produktgestaltung über das Nutzungsverhalten, die Mehrfachnutzung und Reparatur bis hin zu Rückgewinnung und Wiedereinsatz der Materialien.

Mit Blick auf die angestrebte Klimaneutralität bis 2045 wird deutlich: Deutschland wird am Ende jeden verfügbaren Beitrag zur Vermeidung von Treibhausgasen benötigen – insbesondere auch aus der Kreislaufwirtschaft. Durch eine vollständige Erschließung der Potenziale in Vermeidung, Wiederverwendung und hochwertigem Recycling können zusätzliche Reduktionspotenziale realisiert werden, die in ihrer Gesamtwirkung weit über die direkte Emissionsbilanz des Abfallsektors hinausgehen. Die Kreislaufwirtschaft stärkt die Ressourceneffizienz, reduziert die Abhängigkeit von Primärrohstoffen, mindert energieintensive Herstellungsprozesse und leistet damit einen substanziellen Beitrag zu Klimaschutz, Resilienz und wirtschaftlicher Stabilität.

4.5.1 Klimaschutz als gesamtgesellschaftliche Aufgabe

Der Klimaschutz ist eine gesamtgesellschaftliche und sektorübergreifende Aufgabe, deren Anforderungen sich in den vergangenen Jahren kontinuierlich verschärft haben. Mit dem Klimaschutzplan 2050, dem Klimaschutzprogramm 2030 und insbesondere dem Bundes-Klimaschutzgesetz wurde eine verbindliche Grundlage für die Emissionsreduktion geschaffen. Die 2019 verabschiedete Fassung des Klimaschutzgesetzes (KSG) führte erstmals verbindliche sektorale Jahresemissionsmengen ein. Die 2021 erfolgte Novellierung verschärfte die Ziele teilweise erheblich, insbesondere aufgrund der Vorgaben des Bundeserfassungsgerichts, das eine langfristige und generationengerechte Klimapolitik eingefordert hatte.

Mit der Novellierung des Klimaschutzgesetzes im Jahr 2023/24 wurde ein grundlegender Steuerungswechsel eingeleitet: Statt sektoralen Ex-post-Kontrollen rückt nun eine vorausschauende und sektorübergreifende Betrachtung der Jahresemissionsmengen in den Vordergrund. Zwar bleiben die sektoralen Zielpfade sichtbar, ihre harte Bindungswirkung wird jedoch zugunsten eines flexibleren, gesamtgesellschaftlichen Ansatzes reduziert. Entscheidend ist zukünftig, ob die Gesamtemissionsmengen 2021–2030 eingehalten werden. Damit sollen Emissionen vor allem dort gemindert werden, wo die größten Reduktionspotenziale bestehen – unabhängig vom Sektor.



Schadstoffemissionen, Quelle: unsplash

Das Klimaschutzgesetz umfasst weiterhin klare Vorgaben zu:

- ▶ nationalen Klimaschutzzielen,
- ▶ zulässigen Jahresemissionsmengen,
- ▶ der Klimaschutzplanung der Bundesregierung,
- ▶ der Prüfung durch den unabhängigen Expertenrat für Klimafragen,
- ▶ sowie der Vorbildrolle des öffentlichen Sektors.

Die Emissionen werden jährlich durch das Umweltbundesamt (UBA) ausgewertet und veröffentlicht. Abweichungen von den Zielpfaden müssen – sofern sie über mehrere Jahre hinweg auftreten – durch zusätzliche Maßnahmen berücksichtigt werden. Für den Sektor „Abfallwirtschaft und Sonstiges“ war für 2030 ursprünglich ein Zielwert von 5 Millionen Tonnen CO₂e vorgesehen; die Novelle senkte diese Zielmarke auf 4 Millionen Tonnen CO₂e. Angesichts der weitreichenden Erfolge des Deponierungsverbots ist davon auszugehen, dass dieser Zielwert nicht nur erreicht, sondern möglicherweise unterschritten wird.

Zentral bleibt das langfristige Ziel: Mindestens -65 % Emissionsreduktion bis 2030 (gegenüber 1990), -88 % bis 2040 und Klimaneutralität bis 2045. Für unvermeidbare Emissionen – etwa aus der Landwirtschaft, Abfallverbrennung oder der Zementindustrie – rechnet die Bundesregierung weiterhin mit rund 5 % der Emissionen von 1990 als Restmenge. Diese müssen perspektivisch über Senken, CO₂-Entnahme oder technische Abscheidung ausgeglichen werden. Bereits heute ist klar, dass Deutschland zur Erreichung der Gesamtziele weitere Reduktionspotenziale erschließen muss – auch aus der Kreislaufwirtschaft. Stoffliche Substitution, materialeffizientes Design, Recycling und Energiegewinnung aus Abfä-

len werden im Zeitverlauf immer wichtiger, weil die verbleibenden Reduktionshebel in anderen Sektoren teurer, komplexer oder technologisch schwieriger zu erschließen sind.

4.5.2 Entwicklung der CO₂e-Emissionen

Die Treibhausgasemissionen Deutschlands sind seit 1990 deutlich gesunken – von rund 1.081 Millionen Tonnen CO₂e auf rund 622 Millionen Tonnen CO₂e im Jahr 2024.³²¹ Nach Einschätzung des UBA und des Expertenrats ist dieser Rückgang einer Kombination aus strukturellen und kurzfristigen Effekten zuzuschreiben:

Rückgang der Kohleverstromung und fortschreitender Ausbau erneuerbarer Energien,

- ▶ eine durch Energiepreise und Konjunktur beeinflusste geringere Energienachfrage,
- ▶ milde Witterungsverläufe und kurzfristige Sondereffekte in einigen Industriebereichen.

Gleichzeitig bestehen deutliche sektorale Unterschiede:

Während Energiewirtschaft und Industrie ihre Jahresziele teilweise übererfüllt haben, liegen insbesondere Verkehr und Gebäude erneut über ihren sektoralen Zielmarken. Der Verkehr gilt dabei als strukturell problematisch, da seine Emissionen kaum sinken und der Hochlauf alternativer Antriebe sowie eine Mobilitätswende nur langsam vorankommen. Um das 2030-Ziel von 438 Millionen Tonnen CO₂e zu erreichen, müssen 2024–2030 im Durchschnitt jährlich rund 30,7 Millionen Tonnen CO₂e zusätzlich eingespart werden. Damit steigen die Erwartungen an

³²¹ Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/finale-daten-fuer-2023-klimaschaedliche-emissionen>; https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.umweltbundesamt.de%2Fsystem%2Ffiles%2Fdocument%2F2026_EM_Entwicklung_in_D_Trendtabelle_THG.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK
Hinweis: Gemäß den internationalen Berichterstattungsregeln für Treibhausgasemissionen wird immer die gesamte Zeitreihe seit 1990 neu berechnet. Dadurch kommt es zu Abweichungen bei den Angaben gegenüber der Berichterstattung vorhergehender Jahre.



alle Sektoren – insbesondere an sektorübergreifende Lösungsansätze, wie sie die Kreislaufwirtschaft durch Rohstoffsubstitution, Energieeffizienz und ressourcenoptimierte Materialkreisläufe bereitstellen kann.

Der internationale Rahmen zur Erfassung der Treibhausgasemissionen ist durch die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) vorgegeben. In diesem System werden Emissionen, die aus Abfallbehandlung und Abwasser entstehen, im Quellsektor 5 „Abfall und Sonstiges“ abgebildet. Um Doppelerfassungen zu vermeiden, werden hier ausschließlich direkte, nicht-energetische Emissionen berücksichtigt, also jene Treibhausgase, die unmittelbar im Rahmen biologischer oder chemischer Abbauprozesse entstehen – insbesondere Methan (CH₄) aus Deponien sowie Emissionen aus biologischen Behandlungsverfahren.

Im Jahr 2024 entfielen laut Umweltbundesamt insgesamt rund 5,3 Millionen Tonnen CO₂e auf diesen Sektor, darunter 3,9 Millionen Tonnen Methan (CH₄) in CO₂e. Der größte Anteil der Methanemissionen stammt weiterhin aus der Abfalldeponierung (51 %), gefolgt von der mechanisch-biologischen Behandlung (MBA) mit 24 % und der Abwasserbehandlung mit rund 25 %. Die Kategorie „Übrige Emissionen“ spielt mit 0,1 % praktisch keine Rolle. Diese Struktur belegt auch heute noch die zentrale Bedeutung des Ablagerungsverbots für unbehandelte Siedlungsabfälle, das seit 2005 wirksam ist: Die deutliche Reduktion des biologisch abbaubaren Anteils auf Deponien hat den langfristigen Methanrückgang erst ermöglicht.³²²

Andere klimarelevante Leistungen der Kreislaufwirtschaft werden in anderen Sektoren bilanziert: Emissionen aus Abfalltransporten beispielsweise im Verkehrssektor, energetische Verwertung im Energiesektor, und die Substitution energieintensiver Primärrohstoffe (z. B. in der Stahl- oder Chemieindustrie) im Industriesektor. Mit dieser sektorübergreifenden Wirkung erklärt sich, warum die direkte Bilanz des Sektors 5 zwar klein ist, seine tatsächliche Klimarelevanz jedoch weit darüber hinausreicht

Seit 1990 sind die Gesamt-GHG-Emissionen des Sektors 5 von rund 41 Millionen Tonnen CO₂e auf 5,3 Millionen Tonnen CO₂e (2024) gesunken – ein Rückgang von etwa 87 %. Damit verzeichnet der Sektor „Abfall und Sonstiges“ den stärksten Emissionsrückgang aller Emissionssektoren Deutschlands. Während der Anteil an den Gesamtemissionen 1990 noch 3,3 % betrug, liegt er inzwischen bei nur noch 0,8 %. Bemerkenswert ist außerdem: Obwohl der Abfallsektor absolut betrachtet ein vergleichsweise kleiner Emittent ist, steuert er 7,3 % zur gesamten nationalen Emissionsminderung seit 1990 bei – ein Beleg für die außerordentlich hohe Wirkung regulatorischer Maßnahmen in diesem Bereich.³²³

4.5.3 CO₂e-Vermeidungspotenziale auf allen Stufen der Wertschöpfung³²⁴

Die Kreislaufwirtschaft umfasst eine Reihe aufeinander aufbauender Wertschöpfungsstufen: die Sammlung und den Transport von Abfällen und Wertstoffen, die mechanische und mechanisch-biologische Behandlung, Sortierung und Aufbereitung, die stoffliche und energetische Verwertung sowie die Beseitigung von Reststoffen. Auf allen diesen Stufen entstehen direkte oder indirekte Potenziale zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen. Eine systemische Analyse dieser Potenziale macht deutlich, dass gerade die Verbindung einzelner Prozessschritte entscheidend für die Gesamtwirkung ist.

Sammlung und Transport

Bevor Abfälle recycelt oder verwertet werden können, müssen sie zuverlässig erfasst und zu Sortier- oder Behandlungsanlagen transportiert werden. Dieser Bereich ist traditionell mit fossilen Antrieben verbunden, doch die Branche befindet sich in einem dynamischen Wandel. Immer mehr kommunale und private Unternehmen testen den Einsatz batterieelektrischer oder wasserstoffbetriebener Sammelfahrzeuge, was eine erhebliche Reduktion der CO₂e-Emissionen ermöglicht – besonders wertvoll, da Sammelfahrzeuge hohe Jahreskilometerleistungen und viele Stopp-and-Go-Zyklen aufweisen. Parallel wird in einigen Regionen Biodiesel bzw. HVO 100 als Übergangstechnologie eingesetzt. Intelligente Logistiksysteme, digitale Erfassung, Routenoptimierung und Behältermonitoring tragen ebenfalls zu Emissionsreduktionen bei und steigern die Effizienz der Sammlung.



Abfallabfuhr, Quelle: awm Münster

³²² Umweltbundesamt, https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2Fwww.umweltbundesamt.de%2Fsystem%2Ffiles%2Fdocument%2F2026_EM_Entwicklung_in_D_Trendtabelle_THG.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK



³²³ ebd.

³²⁴ Öko-Institut e.V., Prognos AG, ifeu, IREES: Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft (2024), https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Abschlussbericht_Klimaschutzpotenziale-Kreislaufwirtschaft.pdf



Sortierung und Aufbereitung

Der technologische Fortschritt in deutschen Sortieranlagen ist in Europa führend. Moderne Anlagen arbeiten heute mit Nahinfrarot-Technik, hyperspektraler Bildverarbeitung, KI-gestützter Mustererkennung und automatisierten Greifersystemen, die eine immer präzisere Sortierung ermöglichen. Sortierquoten und Reinheitsgrade sind entscheidend, um Sekundärrohstoffe in Qualität und Menge bereitzustellen, die in industriellen Fertigungsprozessen Primärmaterial ersetzen können.

Durch die verbesserte Detektion von Materialfraktionen lassen sich immer mehr Stoffe stofflich verwerten: PET-Rezyklate fließen in Flaschen-zu-Flaschen-



Altpapierereingang, Quelle: Römbke

Kreisläufe; PP- und PE-Rezyklate werden zunehmend in hochwertigen Anwendungen eingesetzt; Metalle werden aus Abfallströmen zuverlässig separiert. Dieser qualitative Fortschritt bildet die Grundlage für die steigenden Anforderungen an den Rezyklateinsatz im Rahmen europäischer und nationaler Regulierung sowie der NKWS.

Stoffliche Verwertung

Die stoffliche Verwertung leistet den größten Anteil an den Klimaschutzpotenzialen der Kreislaufwirtschaft, da sie energieintensive Primärproduktionen substituiert. Jeder Tonne recycelten Aluminiums steht z. B. eine Primärproduktion gegenüber, die bis zu 95 % mehr Energie verbraucht. Auch bei Kunststoffen, Glas und Metallen wirken signifikante Einsparpotenziale. Hier entstehen die großen indirekten Klimagutschriften in den Sektoren Industrie 2.A–2.C, insbesondere bei:

- ▶ Metallproduktion (Eisen, Aluminium, Kupfer – enorme Potentiale durch Schrottnutzung),
- ▶ Chemische Industrie (Kunststoffrecycling, chemisches Recycling, Pyrolyseöle),

- ▶ Zementindustrie (Substitution mineralischer Rohstoffe, Ersatzbrennstoffe),
- ▶ Bauwirtschaft (Wiederverwendung und Einsatz von Nebenprodukten, hochwertiges Recycling von Beton, Ziegeln und Baustoffen).

Durch den Wandel zu einer umfassenden Circular Economy entstehen zusätzliche stoffstrombezogene Potenziale, die auf technologischen, organisatorischen und regulatorischen Maßnahmen beruhen.

Energetische Verwertung

Die thermische Behandlung von Abfällen bleibt ein integrierter Bestandteil des Systems, da nicht alle Stoffströme stofflich verwertet werden können. Moderne Anlagen gewinnen aus Abfällen Strom, Fernwärme und Prozessdampf und ersetzen damit fossile Energieträger wie Erdgas, Kohle oder Heizöl. Die Anlagen rücken zudem stärker in den Fokus der Wärmeplanung, da sie große, kontinuierlich nutzbare Abwärme-Potentiale bereitstellen.

Die Novellierung der 17. BImSchV und die Umsetzung der europäischen BVT-Schlussfolgerungen (Waste Incineration BREF) erhöhen den technischen Standard, verbessern Abgasreinigungsprozesse und unterstützen die Integration der Anlagen in kommunale Wärmenetze. Ein zunehmend relevantes Zukunftsthema ist die CO₂-Abscheidung an thermischen Abfallbehandlungsanlagen: Da der Abfallstrom teils biogene Bestandteile enthält, ermöglichen solche Anlagen perspektivisch negative Emissionen.

Beseitigung und Deponien

Die verbleibenden Reststoffe werden deponiert, wobei strenge Kriterien sicherstellen, dass nur stabile und nicht reaktive Materialien abgelagert werden. Die Weiterentwicklung der Deponieverordnung, die Einführung einer verpflichtenden Verwertungsprüfung und verbesserte Gasfassungssysteme haben zu einer fortgesetzten Minderung der verbleibenden Emissionen geführt. Zudem bieten Deponiestandorte zunehmend Potenziale für die Installation von Photovoltaik auf großen, nicht konkurrierenden Flächen.

4.5.4 Beiträge der Kreislaufwirtschaft zum Klimaschutz ³²⁵

Rahmensetzende Maßnahmen

Rahmensetzende Maßnahmen adressieren Systemstrukturen und können die gesamte Kreislaufführung beeinflussen. Sie betreffen:

Produktdesign und Ökodesign-Standards,

- ▶ Vorgaben für den Rezyklat-Einsatz, die Materialeffizienz und die Reparaturfähigkeit,
- ▶ Einschränkungen oder Substitution emissionsintensiver Primärprodukte,
- ▶ Steuerungsimpulse für Konsum, geteilte Nutzung und verlängerte Produktlebensdauer,

³²⁵ Öko-Institut e.V., Prognos AG, ifeu, IREES: Klimaschutzpotenziale der Kreislaufwirtschaft (2024), https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Abschlussbericht_Klimaschutzpotenziale-Kreislaufwirtschaft.pdf



- ▶ fiskalische Instrumente wie Rohstoffabgaben oder ökologische Lizenzentgelte,
- ▶ Digitalisierung über Produktpässe und Tracking-Systeme.

Diese Maßnahmen verschieben ganze Stoffströme, bevor überhaupt Abfall entsteht, und erhöhen das systemische Klimaschutzpotenzial deutlich – etwa durch langlebige Bauprodukte, modulare Elektronik oder eine verschlankte Verpackungswirtschaft. Ihre größten Effekte liegen in nachgelagerten Produktionsprozessen außerhalb des Abfallsektors.

Prozessbezogene Maßnahmen

Prozessbezogene Maßnahmen beziehen sich auf die operativen Schritte der Kreislaufwirtschaft – von der Erfassung bis zur finalen Verwertung. Hierzu zählen: emissionsarme Logistik (E-Antriebe, H₂-Fahrzeuge),

- ▶ digitale Erfassung, Sensorik und optimierte Routenplanung,
- ▶ hochautomatisierte Sortierverfahren (NIR- und Kamerasysteme, KI-Sortierung),
- ▶ verbesserte Aufbereitungsprozesse für Kunststoffrezyklate, Metalle und Verbundmaterialien,
- ▶ optimierte Anlagen für thermische Abfallverwertung inkl. Vorbereitung für CCU/CCS und Metallrückgewinnung aus Aschen,
- ▶ Nutzung alter Deponiestandorte für Photovoltaik.

Diese beispielhaften Maßnahmen verbessern die Effizienz des bestehenden Systems und steigern die Qualität der Sekundärrohstoffe, was wiederum die stoffstrombezogenen Effekte erhöht.

Stoffstrombezogene Maßnahmen

Stoffstrombezogene Maßnahmen bündeln die klimarelevanten Potenziale einzelner Materialgruppen und konzentrieren sich darauf, besonders emissionsintensive Primärmaterialien durch hochwertige Sekundärrohstoffe zu ersetzen. Sie wirken damit „am Material selbst“ und erzielen genau dort große Effekte, wo die Unterschiede zwischen Primär- und Sekundärproduktion besonders ausgeprägt sind.

Beispielhaft lassen sich wesentliche stoffstrombezogene Hebel wie folgt zusammenfassen:

- ▶ **Metalle & Mineralische Baustoffe:**
Hohe Klimawirkung durch Substitution energieintensiver Primärmaterialien (z. B. Stahl, Aluminium, Zement). Höhere Erfassungs- und Sortiertiefen sowie verbessertes Recycling reduzieren erhebliche Prozess- und Energieemissionen.
- ▶ **Kunststoffe:**
Klimanutzen durch höhere werkstoffliche Recyclingquoten, verbesserte Sortenreinheit und den verstärkten Einsatz von Rezyklaten in Verpackungen, Konsumgütern und Bauanwendungen. Damit lassen sich große Mengen an fossil basierten Primärkunststoffen ersetzen.

Papier, Glas & Verpackungen:

Geschlossene Kreisläufe senken Energiebedarf und Ressourcenverbrauch deutlich. Optimierte Erfassung und Sortierung stabilisieren Sekundärqualitäten und ermöglichen eine weitgehende Substitution von Frischfasern oder Neuglas.

Biogene Abfälle:

Getrennte Sammlung und eine Kaskadennutzung (energetische Nutzung des Biogases und stoffliche Nutzung von Kompost und den Gärresten als Ersatz von Düngemitteln) vermeiden Methanemissionen und ersetzen fossile Energie sowie mineralische Dünger.

- ▶ **Textilien:** Verbesserte Rücknahme- und Recyclingstrukturen ermöglichen Faser-zu-Faser-Kreisläufe und reduzieren die heute sehr emissionsintensive Primärfaserproduktion.

Über alle Stoffströme hinweg gilt: Je höher die Qualität und Reinheit der Sekundärrohstoffe und je geschlossener die Kreisläufe, desto größer der Klimanutzen. Stoffstrombezogene Maßnahmen bilden damit den operativen Kern der Circular Economy und tragen maßgeblich zur Dekarbonisierung zahlreicher industrieller Wertschöpfungsketten bei.

Eine vollständig realisierte Circular Economy würde diese Potenziale nochmals deutlich steigern. Voraussetzung dafür wären u. a.:

- ▶ europäisch harmonisierte Standards für Rezyklate,
- ▶ verpflichtende Rezyklat-Einsatzquoten,
- ▶ digitale Produktpässe, die Rücknahmesysteme sichern,
- ▶ funktionierende Sekundärrohstoffmärkte,
- ▶ technische Weiterentwicklung in Recyclingverfahren und CCU/S in der thermischen Behandlung.

Die Kreislaufwirtschaft hat bereits erhebliche Beiträge zum Klimaschutz geleistet und verfügt über ein Mehrfaches dieses Beitrags als zusätzlich erschließbares Potenzial. Die Herausforderung besteht weniger im technologischen Fortschritt – viele Lösungen sind bereits verfügbar –, sondern in der konsequenten Umsetzung, der Rahmensetzung, der Marktentwicklung und der Koordination der Akteure.

Die Klimaschutzziele 2030 sind erreichbar – aber nur, wenn auch die Kreislaufwirtschaft ihr volles Potenzial einbringen kann.



Schnelladesäule, Quelle: ASP

4.5.5 Volkswirtschaftliche Kosten und Umsetzungspfad

Der Weg zu einer klimaneutralen Wirtschaft bis 2045 stellt Deutschland vor enorme strukturelle, technologische und volkswirtschaftliche Herausforderungen. Viele zentrale Wirtschaftsbereiche – die Energieversorgung, die Industrieproduktion, der Verkehrs- und Gebäudesektor, aber zunehmend auch Lieferketten und Konsumverhalten – müssen gleichzeitig transformiert werden. Transformationsprozesse dieser Größenordnung erfordern erhebliche Investitionen von Staat, Wirtschaft und Haushalten und müssen deshalb nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch effizient ausgestaltet werden.

Grundsätzlich gilt: Die wirksamsten Klimaschutzmaßnahmen sollten dort umgesetzt werden, wo sie die höchste CO₂-Minderung pro eingesetztem Euro erzielen. Emissionen, die kostengünstig vermieden werden können, sollten priorisiert werden, um finanzielle Spielräume für anspruchsvollere, kapitalintensive Maßnahmen zu schaffen. Vor diesem Hintergrund hat die Studie „Klimapfade für Deutschland“ bereits 2018 gezeigt, dass rund 80 % der erforderlichen Reduktionen in den Bereichen Energie, Industrie, Gebäude und Landwirtschaft positive oder neutrale Vermeidungskosten aufweisen – das heißt, die Maßnahmen kosten langfristig nicht mehr, als sie einsparen oder erwirtschaften.

Im Gegensatz dazu zeigt die Analyse der Kreislaufwirtschaft, dass Maßnahmen zur Stärkung der stofflichen Verwertung, der Rezyklatnutzung, der Metallrückgewinnung, der Optimierung der Sortierprozesse oder der Energiegewinnung aus nicht stofflich verwertbaren Reststoffen in der Regel sehr niedrige oder sogar negative Vermeidungskosten aufweisen. Das bedeutet: Die Maßnahmen sind meist kostendeckend oder sogar wirtschaftlich vorteilhaft, weil sie Material-, Energie- oder Entsorgungskosten reduzieren. Zwar können kurzfristige Schwankungen der Wertstoffpreise die Wirtschaftlichkeit beeinflussen, das zugrunde liegende Prinzip bleibt jedoch bestehen: Kreislaufwirtschaftliche Maßnahmen gehören zu den effizientesten Klimaschutzinstrumenten.

Hinzu kommt, dass viele dieser Maßnahmen innerhalb weniger Jahre umsetzbar sind, da Technologien, Anlagen und Wertschöpfungsketten in Deutschland bereits vorhanden sind. Die volkswirtschaftliche Attraktivität steigt weiter, wenn man die importseitige Abhängigkeit Deutschlands bei kritischen Rohstoffen und die strategischen Vorteile robuster Sekundärrohstoffmärkte berücksichtigt.

Damit wird immer deutlicher, dass die Kreislaufwirtschaft nicht nur ökologisch sinnvoll, sondern auch ein zentrales Element volkswirtschaftlicher Effizienz ist. Mit vergleichsweise begrenztem Mitteleinsatz können überproportional hohe Emissionsminderungen

erzielt werden. Vor diesem Hintergrund sollte die Kreislaufwirtschaft in politischen Strategien, Förderprogrammen und Transformationspfaden noch deutlich stärker berücksichtigt werden, als dies bislang der Fall ist.

4.5.6 Klimaschutz in Europa

Die europäischen Klimaziele verpflichten alle Mitgliedstaaten zu einer tiefgreifenden Emissionsreduktion: Bis 2030 sollen die Netto-Treibhausgasemissionen um mindestens 55 % gegenüber 1990 sinken, bis spätestens 2050 muss die EU klimaneutral sein. Die Kreislaufwirtschaft ist dabei einer der zentralen strategischen Hebel der europäischen Klimapolitik.

Eine bereits 2008 durchgeführte europaweite Analyse³²⁶ zeigte erstmals, welches Potenzial in einer Optimierung der Abfallwirtschaft steckt. Betrachtet man die Stoffströme Papier, Glas, Kunststoffe, Metalle, Holz, Textilien, Altreifen sowie Sortierreste und Industrieabfälle, hätten allein durch stoffliche und energetische Verwertung 206 Mio. t CO₂e eingespart werden können. Gleichzeitig verursachte die Deponierung von Restabfällen – insbesondere aufgrund des hohen organischen Anteils – europaweit 114 Millionen Tonnen CO₂e an Methanemissionen. Der Klimanutzen der Verwertung wurde damit weitgehend von den negativen Effekten der Deponierung überlagert.

Die aktuelle Situation hat sich zwar verbessert, aber noch nicht grundlegend verändert. Noch immer werden in der EU jährlich große Mengen an Siedlungs-, Gewerbe- und Industrieabfällen deponiert, obwohl viele dieser Stoffe entweder stofflich verwertbar oder zumindest energetisch nutzbar wären.

Es bleibt eine strategische Herausforderung, dass die EU-Politik bei der Umsetzung des Green Deals das Deponierungsverbot für unbehandelte Siedlungsabfälle noch nicht in die Prioritätenliste gesetzt hat, obwohl es einer der sofort wirksamsten Hebel wäre. Eine konsequente Umsetzung würde:

- ▶ Methanemissionen massiv reduzieren,
- ▶ hochwertige Recyclingströme freisetzen,
- ▶ Sekundärrohstoffmärkte stärken,
- ▶ die Energiewende unterstützen (durch Abwärme und Energie aus Restabfällen),
- ▶ und gleichzeitig natürliche Ressourcen schützen.

Für die deutsche Kreislaufwirtschaft ist klar: Europa wird seine Klimaziele nur dann effizient erreichen, wenn es Deponierungsreduktion, hochwertiges Recycling und energetische Nutzung konsequent kombiniert.

³²⁶ Prognos – IFEU – INFU, Resource savings and CO₂ reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO₂ reduction target in 2020, 2008

Europa³²⁷

Methanemissionen aus Deponien stellen europaweit weiterhin eine bedeutende Quelle für die Erderwärmung dar. Das bei Abbauprozessen organikhaltiger Abfälle entstehende Methan zählt nach Kohlendioxid zu den wichtigsten Treibhausgasen. Noch immer wird in vielen europäischen Ländern ein hoher Anteil der Siedlungsabfälle deponiert – entweder direkt oder als stabilisierte Outputfraktion aus der mechanisch-biologischen Behandlung von Restabfällen. Im Jahr 2022 belief sich die Gesamtmenge der deponierten Siedlungsabfälle in den EU-27-Mitgliedstaaten sowie im Vereinigten Königreich auf insgesamt 78,7 Millionen Tonnen (26 % des Siedlungsabfallaufkommens).

Wenn die jährlich deponierten Mengen aus den Jahren 2022 bis 2050 unverändert blieben, würden die daraus resultierenden Methanemissionen bis zum Jahr 2130 rund 1.515 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (GWP100) erreichen. Die konsequente Umsetzung des EU-Ziels, den Anteil der Deponierung von Siedlungsabfällen bis 2035 auf maximal zehn Prozent zu reduzieren – bzw. bis 2040 im Fall einer Verlängerungsoption –, könnten diese Emissionen auf etwa 701 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente halbieren. Ein vollständiges oder nahezu vollständiges Deponierungsverbot für Siedlungsabfälle hätte einen noch deutlich stärkeren Minderungseffekt.

Dabei ist entscheidend zu verstehen, dass ein Ende der Deponierung – wie es im Szenario für 2050 angenommen wird – nicht automatisch zu einem sofortigen Ende der Emissionen führt. Ein erheblicher Anteil des Methans entsteht noch viele Jahre nach dem letzten Ablagern von Abfällen. Im Status-quo-Szenario würden rund 37 % der gesamten Methanemissionen (562 von 1.515 Millionen Tonnen CO₂e) erst nach dem Ende der Deponierung anfallen. Im Szenario mit Umsetzung der europäischen Abfallrahmenrichtlinie liegt dieser Anteil immer noch bei 27 %.

Diese Zahlen verdeutlichen eindrücklich, dass heutzutage Entscheidungen über Abfallmanagement und Deponierung langfristige Folgen für das Klima haben. Unterbleiben zusätzliche Maßnahmen, summieren sich die zwischen 2022 und 2050 deponierten Siedlungsabfälle auf 1.902 Millionen Tonnen und führen zu erheblichen Methanemissionen, die ohne Gegenmaßnahmen kaum zu kontrollieren wären. Da Methan insbesondere kurzfristig eine sehr starke Erwärmungswirkung besitzt (sichtbar in GWP20), können umfassende Reduktionen der Methanemissionen die Erderwärmung in den kommenden Jahrzehnten spürbar verlangsamen – vorausgesetzt, sie gehen Hand in Hand mit ambitionierten CO₂-Minderungsstrategien.

Auch wenn bei der Modellierung von Methanemissionen aus Deponien weiterhin gewisse Datenherausforderungen bestehen – etwa aufgrund eingeschränkter Informationen zu historischen Ablagerungen oder abweichender Einschätzungen zu tatsächlichen Emissionsmengen – sind die verfügbaren Daten dennoch ausreichend belastbar, um klare, robuste Tendenzaussagen zu treffen. Einzelne Studien, beispielsweise auf Basis satellitengestützter Messungen, legen nahe, dass reale Emissionen zum Teil höher liegen könnten als in nationalen Berichtssystemen ausgewiesen. Diese Unsicherheiten verändern jedoch nicht das zentrale Ergebnis: Die Vermeidung weiterer Deponierung von Siedlungsabfällen ist eine der wirksamsten Maßnahmen, um langfristige Methanemissionen erheblich zu reduzieren. Die Kernaussage bleibt damit eindeutig und für politische wie strategische Entscheidungen hoch relevant.

³²⁷ Prognos – ifeu (2026), Methane emissions from Europe's landfills, <https://www.prognos.com/en/projekt/methane-emissions-europe-landfills>



Jährliche Methanemissionen zwischen 2022 und 2130 für die jährlichen Siedlungsabfälle, die zwischen 2022 und 2050 je nach Szenario auf Deponien abgelagert werden.

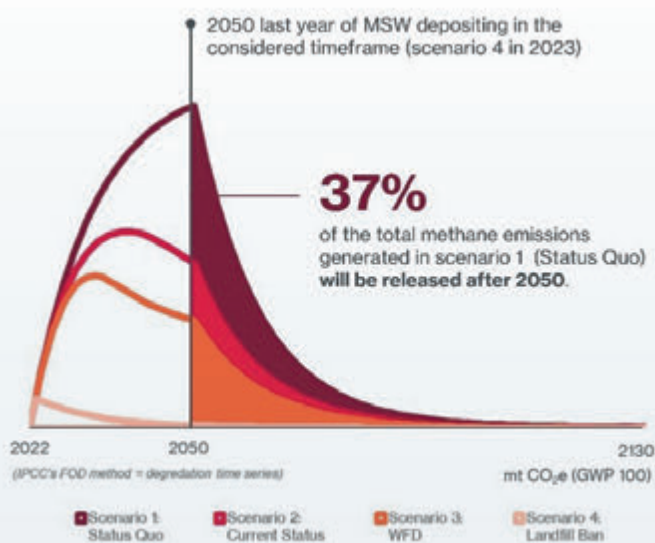


Abb. 105, Quelle: Kanadevia Inova AG, Prognos, ifeu, Study on methane emissions from Europe's landfills, Scenarios and Data Challenges



10
EUROPA

Abfall. Rohstoff. Standortfaktor: Europas Balance zwischen Anspruch und Umsetzung

Europa verfügt über erhebliche Potenziale, Abfälle als strategische Rohstoffquelle zu nutzen – von Metallen über Kunststoffe bis hin zu mineralischen Fraktionen. Zwischen politischem Anspruch und tatsächlicher Umsetzung bestehen jedoch weiterhin deutliche Lücken: bei der stofflichen Verwertung, bei der Datenqualität und im Vollzug. Die aktuellen Statistiken zeigen klar: Die Materialkreisläufe bewegen sich, sind aber noch weit von einer geschlossenen Zirkularität entfernt.

4.6.1 Abfallaufkommen in der EU: stabile Struktur, große Hebel im Bau- und Industriesektor

In der EU 27 fielen 2022 rund 2,23 Milliarden Tonnen³²⁸ Abfälle an. Bildlich gesprochen: Würde man diese Menge zu einem kompakten Quader pressen und auf die Grundfläche des Europäischen Parlaments stellen, reichte dieser „Abfall-Wolkenkratzer“ bis in die Stratosphäre – auf rund 30 Kilometer Höhe.

Die Struktur ist seit Jahren stabil: Bau- und Abbruchabfälle stellen mit 38 % den größten Anteil, gefolgt von Bergbau und Gewinnung mit 23 %. Abfall- und Wasserdienstleistungen tragen 10 % bei, die verarbeitende Industrie 10 % und Haushalte 9 %; die übrigen gut neun Prozent verteilen sich vor allem auf Dienstleistungen und Energie. Diese Verteilung macht deutlich, warum die Diskussion „Abfall als Ressource“ nicht bei Haushaltsabfällen enden darf: Die großen Hebel liegen im Bau, der Infrastruktur und dem Industriesektor.

Bei der Behandlung wurden 2022 in der EU 1,98 Milliarden Tonnen³²⁹ Abfälle verarbeitet. Davon galten 61 % als verwertet – 41 % durch stoffliches Recycling, 14 % als Verfüllung (Backfilling) und 6 % durch energetische Verwertung. 39 % wurden beseitigt, darunter 30 % deponiert. Der langfristige Trend zeigt mehr Verwertung und weniger Beseitigung; dennoch bleibt das Deponieniveau hoch und die Unterschiede zwischen Mitgliedstaaten sind beträchtlich.

Siedlungsabfälle (im Sinne der erweiterten Siedlungsabfalldefinition) stehen politisch im Fokus, machen aber nur rund ein Zehntel des Gesamtaufkommens aus. 2023 erzeugte die EU durchschnittlich 511 kg Siedlungsabfall pro Kopf – drei Kilogramm weniger als 2022 (absolut 229 Millionen Tonnen).³³⁰ Davon wurden 48 % recycelt oder kompostiert (rund

246 kg pro Person), 25,2 % energetisch verwertet und 22,5 % deponiert. Gegenüber 2013 sank die Deponierungsquote spürbar von 29,7 % auf 22,5 %, während die stoffliche Verwertung zulegte. Das belegt die Wirkung getrennter Sammlungen, von Investitionen und regulatorischer Leitplanken – ohne jedoch flächendeckend sicherzustellen, dass die Zielspur ≤ 10 % Deponierung bis 2035 bereits erreicht ist.

4.6.2 Zirkularitätsrate (CMUR): Fortschritt bleibt begrenzt

Wie bereits erwähnt, lag die europäische Zirkularitätsrate – Anteil recycelter Materialien am gesamten Materialeinsatz – 2024 bei 12,2 % und stagniert seit 2010 mit 10,7 % auf vergleichsweise niedrigem Niveau.³³¹ Die EU strebt bis 2030 eine nahezu Verdopplung an. Die Spanne zwischen den Mitgliedstaaten ist groß: Die Niederlande erreichen 32,7 %, Italien 21,6 % und Malta 18,6 %, während Rumänien (1,3 %), Irland (2,0 %) und Finnland (2,0 %) deutlich zurückliegen. Materialeitig dominieren Metalle die Rückführung, während fossile Energieträger nur gering genutzt werden.

Recycling allein wird die Zirkularität nicht verdoppeln; es braucht zusätzlich einen geringeren Primärmaterialverbrauch, langlebige und reparierbare Produkte sowie verlässliche Märkte für Rezyklate.

4.6.3 Herausforderungen: Umsetzungslücken, Monitoring- defizite und Vollzug

Der Environmental Implementation Review (EIR)³³² 2025 bestätigt fortbestehende Defizite bei der Umsetzung von Abfall- und Kreislaufzielen sowie Investitionen und attestiert methodische sowie datenbe-

³²⁸ Eurostat, Abfallstatistik ENV_WASGEN - https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasgen/default/table?lang=de



³²⁹ Eurostat, Abfallstatistik ENV_WASTRT - https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasgen/default/table?lang=de



³³⁰ Eurostat, Abfallstatistik ENV_WASMUN https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/line?lang=de



³³¹ Eurostat, Abfallstatistik ENV_ac_cur https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_cur/default/table?lang=en



³³² https://environment.ec.europa.eu/publications/2025-environmental-implementation-review_en



zogene Lücken. Ergänzend zeigen die Frühwarnmechanismen zu den Zielen 2025 (55 % Recycling für Siedlungsabfälle, 65 % für Verpackungen), dass 18 von 27 Mitgliedstaaten nicht auf Kurs sind. Zwar hat sich das Bild leicht aufgehellt, doch müssen viele Länder getrennte Sammlung, Sortierqualität und Recyclingkapazitäten deutlich schneller ausbauen, um sowohl die Ziele 2025 als auch das Deponieziel 2035 zu erreichen.

Auf dem Deponiepfad bleibt das Tempo insgesamt zu niedrig. Trotz Fortschritten ist die Deponierung mit 22,5 % weiterhin zu hoch, und mehrere Länder weisen zwar sinkende Deponierungsraten auf, jedoch nicht in der Geschwindigkeit, die erforderlich wäre, um das Ziel von ≤ 10 % bis 2035 zu sichern. Hinzu kommen Defizite bei der getrennten Sammlung – insbesondere von Bioabfällen, Kunststoffen und Textilien – sowie bei der Sortierqualität. Regionale Infrastrukturengpässe führen zu Ausweichströmen in Verbrennung und Deponie, wobei die damit verbundenen Materialverluste in den Quoten nicht immer sichtbar werden.

Das Monitoring ist vor allem dort lückenhaft, wo Abfallströme nicht vollständig in harmonisierten Statistiksystemen erfasst werden. Eurostat weist selbst darauf hin, dass die Vergleichbarkeit herausfordernd bleibt, da bestimmte Abfallbewegungen – etwa Direktanlieferungen an industrielle Anlagen, Fälle ohne vorherige Sortierung, Eigenkompostierung oder nicht notifizierungspflichtige Ströme – nur teilweise abgedeckt sind. Um EU-weit besser vergleichbare Aussagen darüber zu treffen, wie die in der EU erzeugten Abfälle tatsächlich endbehandelt werden, hat Eurostat die Methodik angepasst und verknüpft die Behandlungsdaten aus der Abfallstatistik Verordnung (WStatR) mit Außenhandelsdaten (COMEXT). So wird aus nationalen „im Land behandelten“ Mengen (WASTRT) durch die Handelskorrektur (behandelt im Land + exportiert zur Behandlung – importiert zur Behandlung) eine import-/exportbereinigte Sicht auf die Behandlung der im Land erzeugten Abfälle (WASOPER)³³³, wobei diese Statistik die großen mineralischen Abfälle ausklammert. So sollen Doppelzählungen vermieden werden. Gleichzeitig arbeitet Eurostat an methodischen Präzisierungen – etwa an output-orientierten Messpunkten bei Strömen wie Verpackungen, gestützt durch den Durchführungsbeschluss (EU) 2019/665. Trotz dieser Fortschritte bleibt die Vergleichbarkeit zwischen den Ländern anspruchsvoll, nicht zuletzt wegen Abgrenzungsfragen etwa zwischen Backfilling und Recycling.

Der EIR 2025 verweist zusätzlich auf Vollzugsprobleme: verspätete Richtlinienumsetzung, unzureichende behördliche Kapazitäten und Investitionslücken. Diese Punkte adressiert die Kommission durch länderspezifische „Priority Actions“ und Vertragsverletzungsverfahren.

Sektorübergreifend wird deutlich, dass qualitative Verwertung entscheidender ist als reine Mengenbetrachtung. Im Bauwesen etwa wird „Recycling“ häufig als Downcycling umgesetzt, beispielsweise über mineralische Ersatzbaustoffe, während hochwertiges Kreislaufführen (noch) die Ausnahme bleibt. Berichte weisen darauf hin, dass Unterschiede bei Definitionen und Berichtswegen dazu führen, dass hohe Construction & Demolition – „Recyclingquoten“ den realen Kreislaufnutzen überschätzen. Vergleichbare Muster zeigen sich bei Textilien mit geringen Faser-zu-Faser-Quoten ebenso wie bei Mischkunststoffen und Kompositen. Fortschritt entsteht daher erst dort, wo inputorientierte Quoten echten outputorientierten Zielsystemen weichen, Definitionen harmonisiert werden und Produktpolitik (Ökodesign, Reparierbarkeit, Rezyklateinsatz) den Materialbedarf bereits im Vorfeld reduziert.

Für die Bewertung der Zirkularität gilt daher: Fortschritt zeigt sich dort, wo Inputorientierung echten Output-Zielen weicht, die Harmonisierung der Definitionen vorankommt und die Produktpolitik (Ökodesign, Reparierbarkeit, Rezyklateinsatz) den Materialbedarf senkt. Erst dann entfalten Recyclinginvestitionen systemische Wirkung – besonders in rohstoffintensiven Sektoren wie Bau, Infrastruktur, Metall und Chemie. Dass die Zirkularitätsrate trotz jahrzehntelanger Abfallpolitik noch gering ist, unterstreicht den Handlungsbedarf. Die EU Zielmarke von 23,2 % bis 2030 ist ambitioniert, aber erreichbar, wenn der Primärmaterialereinsatz sinkt, Sekundärrohstoffmärkte gestärkt und Exportlecks geschlossen werden.

4.6.4 EU-Reformen für robustere Kreisläufe

Mit einem umfassenden Paket an Reformen setzt die EU derzeit entscheidende Weichen, um Kreisläufe zu schließen, Qualität zu sichern und die Abfallwirtschaft resilienter zu machen. Ein zentraler Baustein ist die neue Abfallverbringungsverordnung (EU) 2024/1157, die sowohl die Schließung von Exportschlupflöchern als auch eine stärkere Kontrolle und vollständige Digitalisierung der Verfahren bis Mai 2026 vorsieht. Dies soll illegale Ausfuhren erschweren, Vollzug effizienter machen und Investitionsanreize für innergemeinschaftliche Behandlungs- und Recyclingkapazitäten schaffen. Zusätzlich gelten abgestufte Exportbeschränkungen für bestimmte Kunststoffabfälle.

Parallel richtet die EU ihre Kreislaufpolitik stärker auf ressourcenintensive Sektoren aus. Die Novelle der Abfallrahmenrichtlinie verankert erstmals verbindliche Reduktionsziele für Lebensmittelabfälle bis 2030 (–10 % in Verarbeitung und Herstellung, –30 % pro Kopf in Handel, Gastronomie und Haushalten) und führt eine EU-weite erweiterte Herstellerverantwortung für Textilien ein. Die verpflichtende getrennte Textilsammlung ab 2025 erhält damit einen klaren, auf Qualitätsrecycling ausgerichteten Rahmen.

 Eurostat, Abfallstatistik, ENV_WASOPER https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasoper/default/table?lang=en&category=cli_dri_was



Zirkularitätsrate in der EU 2024 (Circular material use rate (Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe))

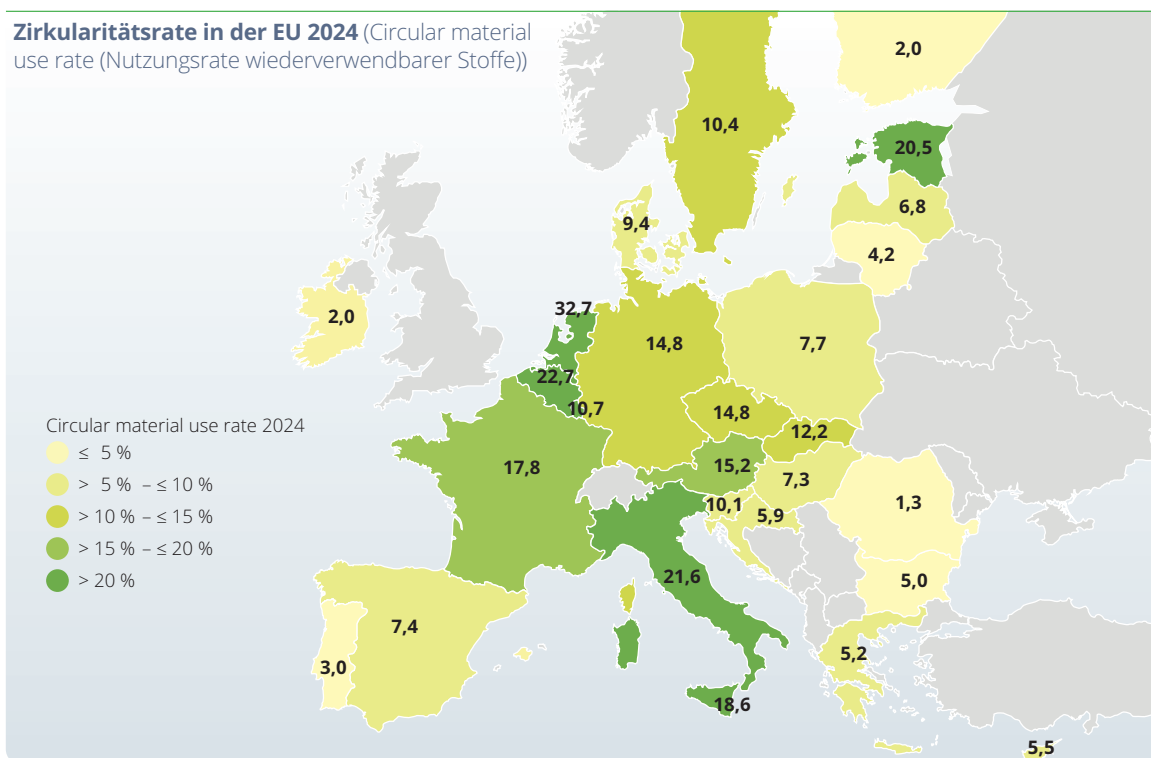


Abb. 106, Quelle: Datengrundlage Eurostat [ENV_AC_CUR], eigene Darstellung

Auch die Produktpolitik wird gestärkt. Die Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) rückt Lebensdauer, Reparierbarkeit und verbindliche Rezyklateinsatzquoten ins Zentrum und legt damit die Grundlagen für bessere Materialkreisläufe bereits vor dem Abfallstadium – besonders relevant für Sektoren wie Bau, Infrastruktur und Chemie.

Ein weiteres Element betrifft die Verpackungsabfälle: Eurostat hat hier die Methodik deutlich präzisiert, einschließlich einheitlicher Messpunkte und strengerer Regeln für Verbundmaterialien. Die neuen Waste-Management-Indikatoren verknüpfen zudem erstmals systematisch die Behandlungsdaten der Abfallstatistik mit Außenhandelsdaten und ermöglichen so eine realistischere Bewertung der tatsächlichen Endbehandlung. Einschränkungen bleiben jedoch bestehen, etwa im Hinblick auf nicht vollständig erfasste Ströme oder Eigenkompostierung. Mit der vollständig digitalisierten Abfallverbringung ab 2026 wird jedoch eine breitere Datenbasis geschaffen.

Schließlich betont die Europäische Umweltagentur (EEA) für mengenstarke Ströme wie Bau- und Abbruchabfälle die Bedeutung von Qualitätskriterien und klareren Abgrenzungen zwischen Backfilling und Recycling. Damit sollen ausgewiesene Quoten künftig stärker die reale Kreislaufleistung abbilden. Insgesamt entsteht ein kohärentes Maßnahmenpaket, das regulatorische Zahnräder – von Exportregulierung über Produktdesign bis zur Datengüte – so miteinander verzahnt, dass die europäische Kreislaufwirtschaft nicht nur wächst, sondern zugleich qualitativ besser und resilienter wird.

Zusammenfassend bleibt festzustellen: Europa hat seine Deponieabhängigkeit spürbar reduziert – ein Erfolg, der vor allem auf getrennte Sammlung, regulatorische Vorgaben und thermische Kapazitäten zurückgeht. Die stoffliche Verwertung steigt, jedoch zu langsam – besonders bei Mischkunststoffen, Kompositen und mineralischen Baustoffen. Datenqualität und Transparenz bleiben Schlüsselgrößen, damit politische Ziele mess- und justierbar bleiben. Neue Eurostat-Indikatoren schaffen Fortschritte, verlangen aber konsequente Harmonisierung und Vollständigkeit.

Regulatorisch setzt die EU mit der WFD-Novelle und der Abfallverbringungsverordnung die richtigen Marktsignale: EPR für Textilien, Lebensmittelabfallziele, Digitalisierung und Exportkontrollen verschieben Kostenstrukturen zugunsten von Prävention, Wiederverwendung und Recycling. Gleichzeitig zeigt der EIR 2025, dass Vollzug und Infrastrukturfinanzierung darüber entscheiden, ob Mitgliedstaaten – insbesondere jene mit hohen Deponierungsraten – ihre Transformationsgeschwindigkeit ausreichend erhöhen.



5

Kreislaufwirtschaft - Aufgaben, Ziele und Perspektiven

Die Kreislaufwirtschaft am Scheideweg?

Mit der Entwicklung der Kreislaufwirtschaft zu einer Circular Economy sind viele Ziele und Hoffnungen verbunden, die sich im Wesentlichen mit mehr Klimaschutz, weniger Ressourcenverbrauch, vor allem aber mit mehr Kreislaufführung von Rohstoffen verbinden. Insbesondere der letzte Aspekt wird wegen der aktuell entstehenden Unsicherheiten durch eine Neuordnung der internationalen Zusammenarbeit und Machtverhältnisse und der Veränderung von Warenströmen durch Zölle und der Auswirkungen auf die Lieferketten immer wichtiger. Welche Möglichkeit bietet die Circular Economy, Deutschland und Europa langfristig unabhängiger von Rohstoffimporten und damit resilienter zu machen?

Notwendig und wichtiger Teil der Kreislaufwirtschaft ist die Herstellung von Sekundärrohstoffen, die den Einsatz von Primärrohstoffen verringern sollen. Hier gibt es aktuell jedoch eine Reihe von Problemen, die die bisherigen Erfolge gefährden.

Dazu zählen u. a. die Volatilität der Preise für Rohstoffe, die materialabhängig geringe Bereitschaft zum Einsatz von Sekundärrohstoffen, ungeklärte Abfall-Ende-Eigenschaften, die Verlagerung von Produktionsstätten, zweifelhafte Importqualitäten, Brand-Risiken beim Betrieb von Recyclinganlagen, die Versicherbarkeit von Recyclinganlagen, steigende Anforderungen an die Genehmigung und den Betrieb von Recyclinganlagen oder auch vermehrte Insolvenzen, um nur einige zu nennen. Die notwendigen Maßnahmen für einen wirtschaftlichen Betrieb der Infrastrukturen liegen vor, müssen aber schnell umgesetzt werden. Weiterhin abzuwarten kann zu vermehrten Insolvenzen und damit verbunden zu einem Abbau von Anlagenkapazitäten führen, der nicht mehr umkehrbar sein wird.

Die Kreislaufwirtschaft benötigt eine gesellschaftliche und politische Neuorientierung

Seit nunmehr über 30 Jahren betrachten wir die Abfall- oder Entsorgungswirtschaft als Kreislaufwirtschaft. In den 80er Jahren gab es die erste Anlage im Rheinland, die aus Siedlungsabfall Wertstoffe sortierte. Zahlreiche Abfallwirtschaftskonzepte und Studien wurden erstellt, um die Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln. Im Sommer 1990 begann in Bonn und Potsdam die Einführung des Dualen Systems Deutschland (DSD). Zahlreiche stoffstromspezifische Verordnungen wurden entworfen und zum Teil auch in Kraft gesetzt. Das Ziel war stets, neben den schon lange bestehenden getrennten Erfassungs- und Vermarktungsstrukturen für PPK, Schrott, Glas, Textilien, Boden und Bauschutt, weitere Abfallfraktionen, insbesondere aus den gemischten Fraktionen des Siedlungsabfalls, wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen. Mit der Entwicklung der Kreislaufwirtschaft waren viele Hoffnungen und Erwartungen verbunden.

Seitdem wird kein unbehandelter Hausmüll mehr in Deutschland deponiert, sondern schadlos thermisch verwertet, wobei die Metalle recycelt werden und die Hausmülldeponien wurden stillgelegt und verwahrt. Unstrittig war auch schon zu dieser Zeit, dass das Deponieren von unbehandelten Abfällen in jeder Beziehung ökologisch „schlecht“ ist und für die Zukunft „abgeschafft“ werden muss. Die Umsetzung der TaSi (Technische Anleitung Siedlungsabfall) bis 2005 ist nicht nur in Deutschland und in Teilen der EU eine ökologische Erfolgsgeschichte. Daher ist es umso unverständlicher, dass Ausnahmen festgeschrieben worden sind, so dass in der EU noch für die nächsten Jahrzehnte unbehandelte Siedlungsabfälle deponiert werden können. (Neun EU-Staaten mit über 100 Millionen Einwohner deponieren noch über 50 % ihrer Siedlungsabfälle.)

Inzwischen sind die Zusammenhänge zwischen bestimmten Emissionen und einer unerwünschten Klimaerwärmung hinreichend bekannt, so dass das Deponieren von unbehandelten Siedlungsabfällen, das immer auch die Emission von Methan und anderen klimarelevanten Gasen zur Folge hat, überhaupt nicht mehr tolerabel ist, sofern die politischen Maßnahmen zur Reduktion der Erderwärmung ernst genommen werden sollen, denn die Deponierung ist für 25 % der Methanemissionen der EU verantwortlich. Auch wissen wir 20 Jahre nach der vollständigen Umsetzung der TaSi, dass die inzwischen stillgelegten Deponien immer noch deutlich größere Mengen Methan ausgasen als prognostiziert. Im globalen Maßstab ist die Abfallablagerung eine der wesentlichen Quellen für die Erderwärmung. Der große Beitrag der TaSi für die Reduktion von klimarelevanten Emissionen wird leider politisch und im Berichts-

wesen und der Bilanzierung der Emissionen zu wenig gewürdigt, zumal Methan 21 mal klimarelevant als CO₂ ist. Stattdessen werden in Deutschland die CO₂-Emissionen der Verbrennung, die nur wenige % im Vergleich zu den Methan-Emissionen der Deponierung betragen, vielfach kritisch gesehen.

Dem großen Ziel, aus dem Abfall zusätzliche Fraktionen zu sortieren, die wieder recycelt werden könnten, das heißt, stofflich wieder dem Wirtschaftskreislauf zugeführt werden können, ist man genauso wenig nähergekommen wie der Abfallvermeidung unter der Regie des KrWG. Erfolgreiches Rückführen in den Wirtschaftskreislauf und das Vermeiden von Abfall findet außerhalb des Abfallrechtes statt.

Das Kunststoffrecycling steht seit 1990 noch immer vor den gleichen Herausforderungen. Bei einigen anderen Fraktionen haben die Herausforderungen zugenommen, so dass die tatsächlichen Recyclingquoten des stofflichen Recyclings in einigen Bereichen eher zu sinken scheinen.

Zugenommen haben seit 35 Jahren allerdings die Regelwerke, die zu immer höheren Anforderungen an die Recyclingbetriebe, die Recyclingprodukte und Transporteure geführt haben. Faktisch ist es sehr schwer, ein Recyclingprodukt, das einmal Abfall geworden ist, aus dem Abfallrecht wieder in das „normale“ Produktrecht zu bekommen. Die sogenannten Abfallende-Eigenschaften sind abstrakt formuliert, aber wenig hilfreich für die Praxis, so dass die Abfälle im Abfallrecht bleiben, was das Wieder-Inverkehrbringen deutlich behindert.

Es wird schon seit längerer Zeit auch darauf hingewiesen, dass die Anforderungen an Recyclingprodukte oder Sekundärrohstoffe deutlich höher und umfangreicher sind als bei Primärrohstoffen. Dies betrifft sowohl die Stoffe selbst als auch den Umgang mit Sekundärrohstoffen und die betreffenden Betriebe. Der Gesetzgeber unterstellt einerseits, dass von allen Stoffen, die einmal rechtlich zu Abfall geworden sind, grundsätzlich eine Gefahr ausgeht und schadlos entsorgt werden müssen. Die schadlose Entsorgung ist letztlich nur durch eine thermische oder chemische Behandlung möglich. Andererseits wird durch detaillierte Vorgaben ein Recycling mit Recyclingquoten gefordert, die sich teilweise jenseits der praktischen Realität befinden und keinen Bezug mehr zu den Absatzmöglichkeiten für Sekundärrohstoffe haben.

Es muss eine neue gesellschaftliche und politische Diskussion über die bestehenden Regelungen mit den aktuellen Grenzwerten und zunehmenden Anforderungen an die Genehmigung, den Betrieb von Recyclinganlagen, den Transport und das Inverkehrbringen angestoßen werden. Im Zuge dessen sollte geklärt werden, ob die Vorgaben an den Umgang mit Abfall kontinuierlich vom Gesetz- und Verordnungsgeber

weiter verschärft werden können, was das stoffliche Recycling mindestens behindert oder, ob möglichst viele Abfälle wieder in den Verkehr gebracht werden sollen, indem der gleiche Maßstab wie bei neuen Produkten angelegt wird. Es geht also um den Abbau von Regelungen- und Bürokratie ohne die Schutzziele zu gefährden.

Beides geht nicht gleichzeitig: Wir befinden uns also an einem Scheideweg.

Wie steht es aktuell um die Kreislaufwirtschaft und welche Maßnahmen stehen auf der Agenda, um die Ergebnisse zu verbessern?

Ziele und Probleme

Aktuell erleben wir eine Neuordnung der internationalen Zusammenarbeit und Machtverhältnisse. Dies führt zu einer Veränderung von Warenströmen und Lieferketten. Das Bewusstsein für politische, militärische und wirtschaftliche Abhängigkeiten und Erpressbarkeiten hat wieder deutlich zugenommen.

In den 70er Jahren gab es spätestens seit der so genannten „Ölkrise“, eine bewusste Politik der Diversifizierung der Beschaffung und der strategischen Investitionen in die weltweiten Lieferketten (Bergwerke und Rohstoffverarbeitende Betriebe) durch die deutsche Politik und die Wirtschaft. Die BGR-Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe überwachte kontinuierlich alle Rohstoffe und deren Verfügbarkeit. Mit gezielten Investitionen im Ausland wurden Lieferketten abgesichert. Diese Grundsätze wurden in den 90er Jahren im Vertrauen auf ewig kostengünstige Rohstoffe aus Russland und China verlassen.

Die EU ist dabei, das Ruder wieder herumzureißen. Vom CRM Critical Material Act bis zur PPWR zieht sich der Gedanke durch, importierte Primärrohstoffe zu substituieren. Inzwischen wird zum Beispiel Anthrazit- und Koksrohstoffe als kritischer Rohstoff eingestuft, nachdem Deutschland, als eines der wenigen Länder mit Anthrazit- und Koksrohstofflagerstätten, freiwillig die Produktion eingestellt hat.

Vor diesem Hintergrund kommt der Kreislaufwirtschaft zukünftig eine strategische Rolle bei der Erhöhung der Resilienz Europas und Reduktion von Abhängigkeiten und Importen zu. Exporte von Abfällen werden daher von der EU inzwischen nicht nur unter ökologischen Aspekten kritisch gesehen sondern zunehmend auch als unerwünschter Rohstoff- und Energieexport aufgefasst.

Gleichzeitig soll die Erderwärmung gestoppt werden. Dies erfordert eine Defossilierung. Da auf Kohlenstoff aber nicht verzichtet werden kann, muss der Kohlenstoff im Kreislauf geführt werden. Dies erfordert neue Technologien und Kennziffern. Somit braucht es eine Defossilierungsquote als führende Größe der Circular Economy, die sukzessive die vielen anderen Quoten ersetzen kann. Darin liegt eine ungeheure Chance für die gesamte Branche, die jetzt genutzt werden sollte.

Welche Möglichkeit bietet die Circular Economy, Deutschland und Europa langfristig unabhängiger von Rohstoffimporten und damit resilienter zu machen?

Das UBA hat im „Ressourcenbericht 2022“ Zahlen veröffentlicht, die ein deutlich anderes (realistischeres) Bild zu den aktuellen Substitutionsraten ergeben. Der bvse hat eine Substitution fossiler Kunststoffneeware durch Recyclingware von unter 8% ermittelt.

Bei der Herstellung und dem Inverkehrbringen von Sekundärrohstoffen gibt es aktuell jedoch eine Reihe von Problemen, die nicht nur das Wachstum der Kreislaufwirtschaft behindern, sondern sogar die bisherigen Erfolge gefährden.

Beispielhaft aufgeführt seien hier die folgenden Gründe:

- ▶ Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Primärrohstoffen und importierten Sekundärrohstoffen,
- ▶ De-Industrialisierungstendenzen in Deutschland,
- ▶ Mangelnde Recyclingfähigkeit von neuen Materialien und Produkten,
- ▶ steigende Anforderungen an Recyclingprodukte und deren Produzenten,
- ▶ Reduktion der Recyclingkapazitäten durch Brandereignisse,
- ▶ abnehmende Versicherbarkeit von Recyclingbetrieben oder auch die
- ▶ Ausschleusung von gefährlichen Stoffgruppen wie PFAS und einer Null-Schadstoff-Politik reduziert die Absetzbarkeit von Recyclingprodukten.

Grenzen einer Circular Economy in Deutschland

Bei der Einschätzung der Möglichkeiten einer Circular Economy wird häufig übersehen, dass die Effizienz und die Effektivität des Recyclings energetische, technische, ökologische und wirtschaftliche Grenzen haben, die beachtet werden müssen. Eine 100%ige Wiedergewinnung der in den Abfällen enthaltenen Wertstoffe ist weder technisch möglich noch wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll. Für eine realistische Prognose der Mengen aus dem Recycling und die wirtschaftliche sowie technologische Ausrichtung des Gesamtsystems müssen die jeweiligen Grenzen berücksichtigt werden.

Der ökonomische Aufwand und die ökologischen Folgen (z. B. Energie- und Materialverbrauch) nehmen mit steigender Recyclingquote überproportional zu und übersteigt irgendwann den ökologischen Nutzen. Vor diesem Hintergrund könnte es vielleicht sinnvoll sein, die bestehenden Recyclingquoten einer Analyse zu unterziehen, ob und inwieweit sich diese noch im Bereich des „ökologischen Gewinns“ befinden. Dies umso mehr, als sich die marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen für das Recycling in den letzten zwei Jahren deutlich verschlechtert haben.

Vergleich ökologischer Aufwand (Energie- und/oder Materialverbrauch) zur Recyclingquote

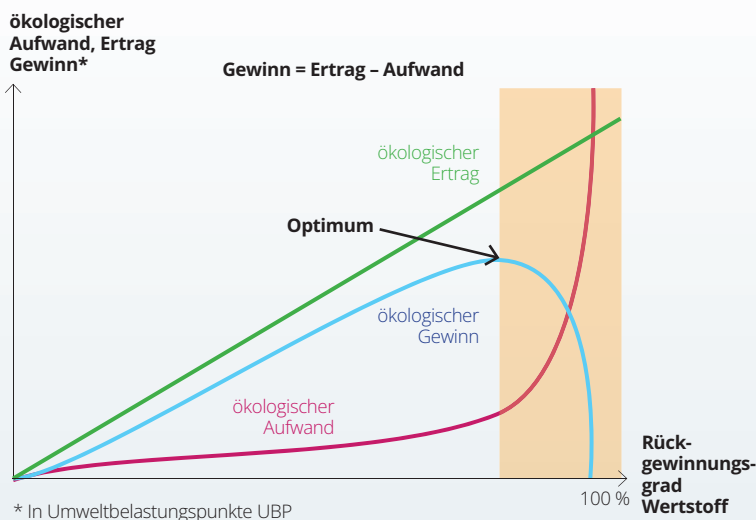


Abb. 107, Quelle: Prof. Bunge, Abfallwirtschaft: Wir Schweizer machen's anders. Warum? Vorträge-Konferenzband zur 17. Recy & DepoTech-Konferenz

Seit nunmehr 30 Jahren beträgt das jährliche Abfallaufkommen in Deutschland ziemlich konstant etwa 400 Millionen Tonnen, obwohl bestimmte industrielle Abfallarten nicht mehr anfallen, weil die Branchen in Deutschland verschwunden sind und/oder die Produktion ins Ausland verlagert worden ist. Der damit auch verbundene „Export“ von Produktionsabfällen wurde durch andere Abfallarten kompensiert. Je höher unsere Anforderungen an die Reinheit von Stoffen und die Produktqualität sind, desto mehr

Abfall entsteht, nicht zuletzt aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes. Sauberes Wasser führt zu Klärschlamm, saubere Luft zu Filterstäuben, sauberer Kompost zu Sortierresten und so weiter. Eine Abfallvermeidung oder Abfallverringering ist unter diesen Rahmenbedingungen schwierig. Die Kreislaufwirtschaft selbst kann keine Abfälle vermeiden, ihr werden Abfälle von anderen überlassen. In der Kreislaufwirtschaft ist Abfall ein Teil des Lebenszyklus von Produkten.

Selbst wenn es gelänge, die gesamte Abfallmenge wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückzubringen, wäre Deutschland noch auf erhebliche Mengen von Primärrohstoffen angewiesen. Das statistische Bundesamt weist für das Jahr 2022 einen Rohstoffverbrauch von rund 2,5 Milliarden Tonnen aus, davon rund 740 Millionen Tonnen Erze und rund 570 Millionen Tonnen Steine, Erden und Industriemineralien. Somit gibt es einen deutlich höheren Bedarf an Primärrohstoffen als die Potenziale an Sekundärrohstoffen aus dem Abfallaufkommen. Das heißt, eine Circular Economy kann allein durch das perfekte stoffliche und thermische Verwerten innerhalb der Kreislaufwirtschaft nicht erreicht werden.

Ein vollständiges Recycling der Abfallmengen ist zudem nicht möglich. Durch das Recycling werden Schadstoffe aus den Produktkreisläufen ausgeschleust, somit wird auch zukünftig immer ein bestimmter Anteil der Abfallmengen beseitigt bzw. thermisch verwertet werden müssen. Viele (Wert-) Stoffe, das gilt auch für Metalle, können nicht beliebig oft im Kreislauf gefahren werden, da sich die Stoffeigenschaften mit jedem Zyklus verändern und diese am Ende somit dem Kreislauf entzogen werden müssen. Die Zellulosefaser ist dafür ein einfaches und verständliches Beispiel. Im Prinzip trifft dies aber für die allermeisten Stoffe zu. Daher müssen neben den Reststoffen und Sortierresten auch die übrigen Stoffe oder Abfälle ab einem bestimmten Zeitpunkt deponiert bzw. thermisch verwertet werden.

Durch die kontinuierlichen Fortschritte in den Werkstoffwissenschaften wurden in einer Reihe von Technologiebereichen vielfältige Innovationen in vergleichsweise kurzer Zeit erzielt. Die positiven Eigenschaften der Werkstoffe wurden dabei u. a. durch sehr differenzierte Rezepturen zur Herstellung von festen Verbänden genutzt. Die vielen neuen Werkstoff- und Verbundmaterialien werden am Ende ihrer Nutzung der Kreislaufwirtschaft überlassen. In den Sortier- und Aufbereitungsanlagen können diese Materialien oftmals entweder nicht erkannt und/oder in vielen Fällen nicht so aufbereitet werden, dass wieder definierbare und sortenreine Qualitäten dem Wirtschaftskreislauf zugeführt werden können. Insbesondere im Produktdesign liegen mit der schadstoffarmen und recyclingfreundlichen Gestaltung von Konsumprodukten wichtige Ansatzpunkte zur zukünftigen Steigerung von deren Recyclingfähigkeit.



Bau- und Abbruchabfälle , Quelle: AVG

Ein erheblicher Teil der Abfälle, insbesondere im Bereich der Siedlungsabfälle, lässt sich daher aktuell nicht oder nicht mehr stofflich recyceln, sondern muss thermisch verwertet werden. Der Anspruch der Branche bleibt, diesen Anteil durch die Nutzung innovativer Sortier- und Aufbereitungstechnologien in Zusammenarbeit mit der Industrie weiter zu reduzieren. Neue Technologien, wie beispielsweise das Chemische Recycling oder Carbon Capture bei der thermischen Abfallbehandlung können künftig eventuell für neue Kreisläufe sorgen.

Diese Betrachtungen zeigen, dass die Strategie einer vollständigen Schließung der Stoffkreisläufe auf absehbare Zeit nicht umgesetzt werden kann. Zum einen muss in den kommenden Jahren der Rohstoffimport schrittweise gesenkt werden, zum anderen sind Bauwerke, Produkte und Verpackungen so zu gestalten, dass sie recyclingfähig und möglichst schadstofffrei sind. Die Ziele der Circular Economy können schlussendlich nur erreicht werden, wenn Umfang und Qualität der Recyclingprozesse weiter gesteigert werden. In der Vergangenheit wurde bereits darauf hingewiesen, dass es für den Weg in

eine Circular Economy nicht ausreichend sein wird, nur Recyclingquoten für die Anlagenbetreiber vorzugeben, wenn für die entstehenden Rezyklate keine Absatzmärkte geschaffen werden. Für produzierte Rezyklate, die keine Abnehmer finden, entsteht am Ende ein Entledigungswille, das heißt, sie werden wieder zu Abfall. Dies ist sowohl abfallwirtschaftlich als auch volkswirtschaftlich nicht tragbar. Auf Dauer ebenso wenig zielführend werden Rezyklate sein, die aktuell nur durch Zuzahlungen der Kreislaufwirtschaft einen Abnehmer finden. Das bedeutet, dass zeitnah die konsequente Implementierung von Instrumenten notwendig sein wird, die den Einsatz von Sekundärrohstoffen wirtschaftlicher als den Einsatz von Primärrohstoffen machen werden.

Wirkungsbereiche der Circular Economy

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz regelt die Marktaufteilung zwischen kommunalen und privatwirtschaftlichen Betrieben und begnügt sich auf unsystematische Weise mit der getrennten Sammlung als Kernelement der Kreislaufwirtschaft und der Anlieferung an so genannte R-Anlagen gemäß Anhang zum KrWG, wobei z. B. das Vorbereiten des Abfalls für die Verbrennung auch als Recycling (R-1 und R-11) eingestuft wird.

Die Transformation der Kreislaufwirtschaft in eine Circular Economy hat die folgenden wesentlichen Ziele, die sich zum Teil gegenseitig bedingen:

- ▶ Reduktion des gesamten Ressourceneinsatzes (absolut und spezifisch)
- ▶ Reduktion des Energieeinsatzes (absolut und spezifisch)
- ▶ Reduktion von Emissionen
- ▶ Reduktion von Abhängigkeiten zu außereuropäischen Lieferländern
- ▶ Reduktion des Einsatzes von fossilem Kohlenstoff

Die wesentlichen Wirkungsbereiche befinden sich im Gegensatz zum KrWG nicht am Ende des Produktlebenszyklus, sondern betreffen bereits die Produktion und den Einsatz der verwendeten Materialien. Die Ökodesignverordnung ist ein erster, aber wichtiger Schritt in die Richtung "Design for Recycling". Danach soll konsequenterweise ein Produktpass folgen, der die Verwertung am Ende der Nutzungsphase produktspezifisch ermöglichen soll. Idealerweise können dann mehr Anteile eines Produktes recycelt und wieder in den Verkehr gebracht werden oder sie werden als bisher auf Grund ihres Schadstoffinhaltes thermisch verwertet bzw. deponiert. Ob der Aufwand für den Produktpass in einem vernünftigen Verhältnis zu deutlich mehr stofflichen Recycling steht, bleibt abzuwarten.

Damit wird die Kreislaufwirtschaft auf dem Weg in die Circular Economy in der Sphäre des Produktrechtes und nicht mehr im Abfallrecht geregelt werden müssen. Die Belange des Umweltschutzes können weiterhin im Anlagenrecht (BlmschG, etc.) geregelt werden. Erst wenn ein Stoff nicht mehr stofflich wieder in den Verkehr gebracht werden kann, sollte er zu Abfall werden, der dann chemisch oder physikalisch beseitigt werden muss. Sollte dies auch nicht möglich sein, verbleibt die Deponierung.

Notwendige Voraussetzungen für die Entwicklung einer Circular Economy

Die Circular Economy braucht das Engagement der Bürgerinnen und Bürger

Um eine hochwertige stoffliche Verwertung von Abfällen sicherzustellen, ist eine getrennte Erfassung an der Anfallstelle erforderlich. Sowohl in privaten Haushalten als auch in der Industrie und im Gewerbe stellt die sortenreine Trennung der Fraktionen eine wesentliche Grundlage der Kreislaufwirtschaft dar, um stoffliche Kontaminationen zu verringern und qualitativ hochwertige Sekundärrohstoffe zu erhalten.

Daher ist zur Umsetzung einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft das Engagement und die Akzeptanz der Bürgerinnen und Bürger erforderlich. Ein prominentes Beispiel der vergangenen Jahre war die deutschlandweite Verschärfung der Bioabfallverordnung zum 1. Mai 2025. Die öffentliche Kritik in den Medien und in der Gesellschaft war zunächst groß, da der Fokus primär auf der Berichterstattung über die potenziellen Strafgebühren lag. Dabei ist es umso wichtiger, bei neu eingeführten Maßnahmen zur Abfalltrennung vorrangig dessen Bewandnis und Wichtigkeit zu kommunizieren, um dadurch die Akzeptanz der Bürgerinnen und Bürger bereits zu Beginn einer Maßnahme zu erhalten. Zielgerichtete Informationskampagnen sind ein elementares Werkzeug, um solche Situationen zu vermeiden.

Die Sammlungslogistik selbst muss für alle Stoffströme niederschwellig strukturiert werden, um eine möglichst sortenreine Trennung zu ermöglichen. Dazu gilt es, die Balance zwischen einer möglichst großen Zahl gut erreichbarer Lade- und Abgabestellen wie beispielsweise Glas- und Altkleider Container und einem ansprechenden Erscheinungsbild dieser Einrichtungen im öffentlichen Raum zu schaffen. Hierbei spielt auch die Digitalisierung der Abholung der Abfälle durch Routenoptimierungen und Füllstandsmessungen der Abfallcontainer eine tragende Rolle, um die Infrastruktur der Abgabesysteme zu optimieren.

Zuletzt muss die Akzeptanz bedacht werden, um diese optimal an die lokalen Gegebenheiten anzupassen.

Für eine Circular Economy ist aber nicht nur die Bereitschaft zur getrennten Erfassung und die Akzeptanz von Anlagen wichtig, sondern auch die Abkehr von Gewohnheiten. Das beginnt bei der Akzeptanz von Produkten aus Sekundärrohstoffen (cremeweiß statt reinweiß) und endet bei Verpackungen, die auf ihre Grundfunktionen reduziert und, wo möglich, im Mehrwegverfahren eingesetzt werden.

Die Grafik zur Circular Economy im Kapitel 4.2.1 dieses Berichtes zeigt, dass die Verbraucher auch durch ein verändertes Nutzungs- und Besitzverhalten wichtige Beiträge leisten können. Beim Sharing verzichten die Menschen zugunsten gemeinschaftlicher Anschaffungen auf privates Eigentum. Ausleihsysteme für Baugeräte und Werkzeuge werden zunehmend beliebter. Gemietete oder geleaste Maschinen und Geräte sind hochwertiger, halten länger und weisen einen höheren Ausnutzungsgrad auf. Die Vermieter dieser Geräte haben zudem ein großes Interesse an wenigen Reparaturen und einem geringen Wartungsaufwand. Mit der Sharing Economy entsteht eine völlig neue Wirtschaftsbranche mit einer Vielzahl von Arbeitsplätzen. Mithilfe des Internets wird Mobilität organisiert, werden Waren getauscht, Lebensmittel vor dem Verfall gerettet oder für getragene Kleidung neue Besitzer gefunden.

Getrennthaltung in Industrie und Gewerbe – die GewAbfV

Seit Ende der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts wird die getrennte Erfassung und Sammlung vom Gesetzgeber als die wichtigste Voraussetzung für eine Kreislaufwirtschaft angesehen. In allen abfallrechtlichen Verordnungen nimmt die Ausweitung der getrennten Erfassung und deren getrennte Sammlung einen breiten Raum ein. Zeitweilig wurde in der Öffentlichkeit bereits die Existenz einer getrennten Sammlung mit dem Recycling gleichgesetzt, was in Europa früher auch zulässig war. In der Abfallrahmenrichtlinie der EU wurden für Europa die Ziele einer getrennten Erfassung und Sammlung vorgegeben.

In den jahrelangen und heftigen Auseinandersetzungen um die einschlägigen Verordnungen ging es im Wesentlichen nicht um das Wieder-Inverkehrbringen von möglichst vielen Anteilen des Abfalls, sondern um die Frage, wer darf Abfallbehälter aufstellen, Transportieren, die Rechnung schreiben und wer bezahlt am Ende. Für alle Beteiligten der Branche sind dies naturgemäß immer die entscheidenden Fragen der Abfallgesetzgebung.

Umweltpolitisch sind es jedoch die falschen Fragen, zumal die getrennte Sammlung mit der Erfassung und dem Transport nur Mittel zum Zweck sind. Auch das anschließende Recycling ist nicht Selbstzweck, wie im KrWG, sondern nur ein Mittel zum Zweck auf dem Weg zu einer Circular Economy.

Es gab und gibt gute Gründe für eine getrennte Erfassung von Abfällen, wenn mit der getrennten Erfassung sortenreine Fraktionen erfasst werden. In der Industrie, der Landwirtschaft und den größeren Gewerbebetrieben und Handelsunternehmen wird dies umgesetzt, weil in diesen Betrieben sortenreine Fraktionen in einem größeren Umfang anfallen.

Diese sortenreinen Fraktionen können nicht nur bei Metallen einen positiven Wert haben. Auch sind diese Fraktionen für die Betriebe der Kreislaufwirtschaft, wenn technisch und wirtschaftlich möglich, gut recyclingfähig oder verwertbar. Alle Betriebsleiter der Industrie, der Landwirtschaft, des Gewerbes und des Handels sehen in der getrennten Erfassung eine Möglichkeit, Erlöse zu erzielen bzw. die Entsorgungskosten zu reduzieren, was zwangsläufig zu einer hochwertigen Entsorgung führt.

Die weitaus größere Kostensenkung wurde jedoch durch Effizienzverbesserung der Prozesse in den letzten Jahrzehnten erreicht. So sind die spezifischen Abfallmengen je Produkteinheit, sei es das Auto, die Tonne Stahl oder Kunststoff etc., dramatisch gesunken.

All dies wurde vom Gesetzgeber in der 2017 inkraftgetretenen GewAbfV nicht ausreichend berücksichtigt, weil den 3,5 Millionen Gewerbebetrieben unterstellt wurde, dass sie recyclingfähige werthaltige Abfall weiterhin über die Restmülltonne entsorgen würden. In der GewAbfV wurden speziell die gewerblichen Abfallerzeuger adressiert und zur Getrennthaltung von zahlreichen Fraktionen verpflichtet. Die Unternehmen der Kreislaufwirtschaft wurden zu einem bestimmten technischen Stand der Sortieranlagen und zu bestimmten Recyclingquoten verpflichtet.

Im Rückblick waren die Einwände der Branche im Rahmen der Anhörungen zur GewAbfV begründet: Die GewAbfV berücksichtigt in der aktuellen Form weder die abfallwirtschaftliche Realität noch die betriebswirtschaftlichen Zusammenhänge bei den Unternehmen. Insbesondere wird ignoriert, dass den Betrieben der Kreislaufwirtschaft der Abfall angedient wird und diese keinen Einfluss auf den Inhalt haben. Obwohl die Verordnung eindeutig die Abfallerzeuger adressiert, scheint sich der Vollzug und die Diskussion auf einzelne Akteure der Kreislaufwirtschaft zu konzentrieren, weil unterstellt wird, dass die Unternehmen der Kreislaufwirtschaft nicht in der Lage seien, zu erkennen, welche Bestandteile des Gewerbeabfalls werthaltig sind und recycelt werden können.

Der Vollzug würde sich deutlich verbessern, wenn sich andererseits die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen in Gewerbe und Industrie deutlich erhöhen würde. Für Metalle, Holz, Mineralien, Glas, PPK oder sortenreine Kunststoffe und andere Produktionsabfälle gibt es funktionierende Märkte. Hierzu bedarf es keiner GewAbfV. Für kontaminierte oder gemischte Abfälle mit vielen Verbundmaterialien, die der Kreislaufwirtschaft überlassen werden, gibt es oft kaum Märkte. Hinzu kommt, dass die Sekundärrohstoffe mit den Sortier- und Vorbehandlungsverfahren gegenüber Primärrohstoffen häufig nicht wettbewerbsfähig sind, so dass die thermische Verwertung aktuell die einzig verbleibende Alternative ist, die direkt fossile Primärrohstoffe substituiert und Metalle zurückgewinnt.

Kreislaufwirtschaft – Aufgaben, Ziele und Perspektiven

Zum Glück entwickelt sich die Technologien der Sortieranlagen extrem weiter, so dass auch Gemische sinnvoll sortiert werden können. In anderen Ländern gibt es dazu bereits interessante Ansätze.

Es gibt im Einzelfall gerade bei kleineren Unternehmen viele betriebliche Gründe, warum die Getrennterfassung der Fraktionen und das Recycling von marktfähigen Produkten aus dem Gewerbeabfall nicht so umgesetzt werden, wie der Gesetzgeber es sich vorgestellt hat.

Nicht nur in den kleineren Gewerbebetrieben und Baustellen sondern auch bei Sammlungen aus privaten Haushaltungen haben die getrennten Erfassungen in den unterschiedlichen Hol- und Bringsystemen nicht überall die gewünschte Wirkung entfaltet. Aufgrund von Fehlwürfen in den Behältern kann das intendierte Ziel einer getrennten Erfassung in Einzelfällen nicht erreicht werden.

Ein maßgeblicher Aspekt ist neben den tatsächlichen Inhalten und Abfallmengen auch die Frage des Platzes bei den vielen kleinen bzw. sehr kleinen Gewerbebetrieben. Faktisch ist hier die Gewerbeabfalltonne ein Konkurrenzprodukt zur Restmülltonne. Daher ähnelt sich bei diesen Gewerbebetrieben auch der Inhalt der Restmülltonne. Die Ausweitung der getrennten Sammlung konkurriert zunehmend mit anderen Nutzungsansprüchen auf Flächen, die zugleich immer knapper und teurer werden.

Normwesen, Technische Regelwerke und Zertifizierungen

In Deutschland obliegt die Erarbeitung technischer Regeln, Normen und Zertifizierungen unter anderem dem Deutschen Institut für Normung (DIN), dem Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) sowie der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Die Vereinheitlichung technischer Standards und Prozesse hat in der Vergangenheit maßgeblich zur industriellen Entwicklung beigetragen. Jedoch zeigt sich zunehmend, dass bestehende technische Regeln teils auf eine lineare Wirtschaftsweise ausgelegt sind und somit Überarbeitungsbedarfe aufweisen, um den Transformationsprozess hin zu einer zirkulären Wirtschaftsweise voranzutreiben.

Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 2023 ein bedeutender Schritt mit der Veröffentlichung der „Deutschen Normungsroadmap Circular Economy“ unternommen, die vom DIN in Zusammenarbeit mit der Deutschen Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) und dem Verband Deutscher Ingenieure (VDI) unter Förderung des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) erarbeitet wurde. Die Normungsroadmap schafft einen Handlungsrahmen und identifiziert über 200 Nor-

mungs- und Standardisierungsbedarfe in sieben wirtschaftsrelevanten Sektoren, zu denen beispielsweise „Bauwerke und Kommunen“ zählen. In diesem Sektor sollen Normen und Standards zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs und zur Förderung von Recycling und Abfallvermeidung beitragen. Darüber hinaus müssen übergeordnete Herausforderungen gelöst werden, wie beispielsweise die Prüfung, Zertifizierung und Zulassung von Sekundärmaterialien. Dies erfordert ebenso eine gezielte Unterstützung der Zertifizierungssysteme, zu denen beispielsweise die Zirkularitätsindizes der Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) oder der Resource-Score im Bausektor zählen.

Auch auf internationaler Ebene gewinnen die Entwicklung und Weiterentwicklung technischer Regelwerke in Bezug auf das zirkuläre Wirtschaften an Bedeutung. Mitunter wurde im Jahr 2024 die ISO 59004:2024 veröffentlicht, die Begrifflichkeiten, Grundsätze und Leitlinien für die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft enthält.

Den technologischen Vorsprung halten und ausbauen

Mit der großen Innovationswelle in den 90er Jahren, die durch zahlreiche Gesetze und Verordnungen initiiert worden ist, hat der Anlagen- und Maschinenbau sehr viele Verfahren entwickelt, die seinerzeit international führend waren und zum Teil auch patentrechtlich geschützt worden sind. Diese Phase begründete Deutschlands Ruf als Technologieanbieter im Bereich Umwelt- und Recyclingtechnik. In den Folgejahren konnten jedoch viele innovative Recyclingverfahren und deren Hersteller dem zunehmenden internationalen Wettbewerbs- und Preisdruck nicht standhalten; Anlagen wurden stillgelegt oder ins Ausland verlagert, Unternehmen übernommen oder vom Markt verdrängt. Die deutsche Innovationsführerschaft konnte daher nicht durchgängig gesichert werden.

Aktuell zeigt sich ein ambivalentes Bild: Deutschland verfügt weiterhin über eine starke industrielle Basis, wie im Bereich hochautomatisierter Sortiertechnik, Sensorik (NIR, KI-gestützte Bilderkennung) sowie Digitalisierung von Stoffströmen. Gleichzeitig steigt der Anteil einschlägiger Patentanmeldungen in wichtigen Export- und Absatzmärkten deutlich an, insbesondere in Asien und Nordamerika. Technologische Dynamik entsteht dort häufig im Zusammenspiel von staatlicher Industriepolitik, Venture Capital und großskaliger Demonstration. Auch in europäischen Nachbarstaaten sind marktfähige Lösungen etwa im Bereich des batterie- und elektroaltgerätespezifischen Recyclings oder der industriellen Kreislaufführung kritischer Rohstoffe zu beobachten.

Vor diesem Hintergrund müssen nationale Anstrengungen in Forschung, Entwicklung und industrieller Skalierung konsequent fortgeführt und strategisch gebündelt werden. Mit der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) der Bundesregierung, der Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess) sowie der Einbettung in den europäischen Green Deal und den Circular Economy Action Plan sind hierfür politische Leitplanken gesetzt. Förderprogramme wie „Ressourceneffizienz und Circular Economy“ im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms, das BMBF-Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltigkeit“ (FONA), die Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWK) „Industrie 4.0“ mit Fokus auf digitale Stoffstromtransparenz sowie IPCEI-Projekte im Bereich Batteriezellfertigung und -recycling adressieren zentrale Zukunftsfelder. Gleichwohl bleibt die Gefahr struktureller Abhängigkeiten bestehen, wenn Schlüsseltechnologien oder industrielle Wertschöpfungsstufen ins Ausland abwandern – die Entwicklung der deutschen Solarindustrie wirkt hier weiterhin als warnendes Beispiel.

Es ist unstrittig, dass der Weg in die Circular Economy neue Technologien, Verfahren und Anlagen erfordert. Neben mechanischen Aufbereitungsprozessen gewinnen chemisches Recycling, biobasierte Verfahren, Design-for-Recycling-Ansätze sowie digitale Produktpässe zunehmend an Bedeutung. Bund und Länder fördern Start-ups und technologieorientierte Ausgründungen gezielt, unter anderem über Programme wie EXIST, den Hightech-Gründerfonds oder spezifische Innovationscluster im Bereich Circular Economy. Auch branchenseitige Initiativen und Corporate-Venture-Strukturen unterstützen junge Unternehmen bei Pilotierung und Markteintritt.

Parallel dazu ist eine strukturelle Stärkung der Hochschul- und Forschungslandschaft erforderlich, um ausreichend qualifizierten Nachwuchs für eine zunehmend digitalisierte und automatisierte Kreislaufwirtschaft zu gewinnen. Mit dem Kompetenzaufbau in den Bereichen Künstliche Intelligenz, Robotik, Werkstoffwissenschaften, Verfahrenstechnik und Life-Cycle-Assessment steigen die Qualifikationsanforderungen entlang der gesamten Prozesskette deutlich. Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen – etwa im Verbund mit industrienahen Instituten – spielen eine zentrale Rolle bei der Entwicklung skalierbarer Demonstrationsanlagen und bei der Validierung neuer Geschäftsmodelle. Die wichtigste deutschsprachige „Leistungsschau“ der Absolventinnen und Absolventen ist weiterhin der jährliche „DGAW-Wissenschaftskongress“, der an wechselnden Hochschulstandorten jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ein Forum bietet, ihre Forschungsergebnisse einem Fachpublikum vorzustellen.

Eine enge Zusammenarbeit zwischen Anlagenbetreibern, -planern und -herstellern sowie gezielte Forschungsprogramme für Zukunftsbereiche der Kreislaufwirtschaft – etwa KI-gestützte Sortiersysteme, robotergestützte Demontage, emissionsarme Antriebstechnologien, Recycling von Lithium-Ionen-Batterien, Power-to-X-Verfahren oder Carbon-Capture-and-Utilization-Konzepte – werden auf allen Wertschöpfungsstufen zu weiteren Anstrengungen bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen führen und technologisches Neuland erschließen. Programme zur Dekarbonisierung der Industrie, Reallabore der Energiewende sowie Förderlinien für klimaneutrale Produktionsverfahren flankieren diese Entwicklung. Verbände und größere Unternehmen der Kreislaufwirtschaft können hierbei als Innovationsmotor wirken, indem sie Pilotprojekte initiieren, Standards mitentwickeln, Investitionssicherheit einfordern und regulatorische Hemmnisse bei der Markteinführung neuer Technologien adressieren. Der Erhalt und Ausbau des technologischen Vorsprungs wird letztlich davon abhängen, ob es gelingt, neue Entwicklungen auch über die Seed Phase hinaus bis zur industriellen Skalierung in Deutschland dauerhaft zu etablieren.

Notwendige Voraussetzung: Planungs- und Investitionssicherheit

Die von allen gesellschaftlichen Akteuren gewünschte und geforderte Ausweitung der Kreislaufwirtschaft, sprich das Wieder-Inverkehrbringen von Rohstoffen aus Abfällen, und erst recht die Transformation in eine Circular Economy, erfordert die Errichtung von vielen neuen Anlagen bzw. die Ausweitung der Kapazitäten von bestehenden Anlagen oder die Anpassung von Anlagen auf neue Technologien. Dabei werden zukünftig die Anforderungen an Sicherheit, Digitalisierung und Flexibilität eine immer wichtigere Rolle einnehmen. Eine weitere Herausforderung wird es sein dennoch die Kosten niedrig zu halten. Auch sind viele Anlagen vor dem Inkrafttreten der TaSi errichtet worden, so dass Ersatzinvestitionen notwendig sind, um die Kapazitäten zu erhalten. Vor dem Hintergrund der globalen Entwicklungen ist jetzt eigentlich Tempo bei der Planung und Genehmigung von Abfallbehandlungsanlagen und den notwendigen Standorten für Transport, Umschlagkapazitäten sowie Zwischenlagerung angesagt.

Behördlicherseits steigen jedoch die Anforderungen an die Antragsunterlagen. Die Anforderungen an die Gutachten und die zu beachtenden Themen, insbesondere aus dem Bereich des Naturschutzes, haben zugenommen. Es ist die Frage der Güterabwägung und der Prioritäten neu zu stellen, um wieder zügig rechtskräftige Genehmigungen in Deutschland zu ermöglichen.

Während z. B. der §16 des BlmschG auf Antrag zulässt, dass auf eine Offenlegung und Öffentlichkeitsbeteiligung verzichtet werden kann, wurde noch im Jahr 2024 in § 16.2 ein Satz ergänzt, der dazu führt, dass faktisch bereits bei einer geringen Mengenschwelle Genehmigungsanträge für Änderungen und neue Anlagen einer Offenlegung und Beteiligung der Öffentlichkeit unterzogen werden müssen. Damit können interessierte Kreise, die selbst nicht betroffen sind, Projekte der Kreislaufwirtschaft auf unbestimmte Zeit mindestens verzögern. Auf jeden Fall werden die Projekte verteuert bzw. durch Nebenbestimmungen ggf. unmöglich gemacht werden.

Da die Planungs- und Genehmigungskosten bereits 10% der Investition ausmachen können und die Branche einschlägige Erfahrungen mit der Verzögerungsmaschinerie einschlägiger Organisationen in den letzten Jahrzehnten hat, erhöht dies nicht die Investitionsbereitschaft der Branche.

Anlagen der Kreislaufwirtschaft benötigen häufig Amortisationszeiten von 10 bis 25 Jahren, damit ist für die Investoren eine entsprechende Planungs- und Rechtssicherheit notwendig. In der Vergangenheit haben sich in Deutschland Investitionen, die im Vertrauen auf angekündigte und beschlossene gesetzliche Vorgaben gemacht worden sind, zu oft als Fehlinvestition erwiesen. Entweder hat die Politik die Rahmenbedingungen kurzfristig wieder verändert oder der mangelnde Vollzug hat die Märkte dahingehend beeinflusst, dass die neuen Anlagen nicht wirtschaftlich betrieben werden konnten. Klare Rahmenbedingungen und realistische Umsetzungszeiträume, wie sie beispielsweise beim Verbot der Ablagerung unvorbehandelter Siedlungsabfälle auf Deponien oder bei der Einführung der 17. BImSchV gegolten haben, haben in der Vergangenheit zu wichtigen und großen Innovationen und Investitionen geführt, was zu einem grundlegenden Wandel der Strukturen für die Verwertung und die schadlose Entsorgung von Abfällen geführt hat.

Eindeutige Rahmenbedingungen auf nationaler und internationaler Ebene werden auch künftig für eine erfolgreiche Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft notwendig sein. Bei neuen technischen Regelungen sollten die Erfahrungen bei der Einführung der TASI berücksichtigt werden.

Der Gesetzgeber ist in den letzten Jahren dazu übergegangen, verstärkt technische Details, also das „wie“, in die Verordnung aufzunehmen, anstatt sich auf die Ziele, das „wozu“, zu konzentrieren. Hierbei wird außer Acht gelassen, dass auch die Kreislaufwirtschaft sich technologisch ständig weiterentwickelt. Der Gesetzgeber versucht verstärkt, einen technischen Standard detailliert festzuschreiben, der bei seiner Verkündung mitunter schon veraltet ist. Der Gesetzgeber und die einschlägigen Behörden versuchen Konzepte der Vergangenheit zu zemen-

tieren und scheinen wenig Vertrauen in die Innovationsfähigkeit der Branche zu haben, was letztlich die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft behindert.

Eine wichtige Voraussetzung der Planungs- und Investitionssicherheit ist eine Reduktion der Vorgaben auf realistische Ziele und zeitlich limitierte Genehmigungsverfahren, deren Antragsunterlagen sich auf die wesentlichen Aspekte – die relevanten Emissionspfade - beschränken.

Das Vertrauen in Ankündigungen und den Vollzug von umweltpolitischen Maßnahmen ist in den letzten Jahrzehnten bei vielen Unternehmen je nach Region deutlich reduziert. Es gibt zu viele Beispiele für Investitionen, die im Vertrauen auf eine veränderte Abfallgesetzgebung oder Vollzug getätigt worden sind und sich schlussendlich als unrentabel erwiesen haben. Das hat auch zum Untergang von Unternehmen beigetragen. Der Gesetzgeber sollte durch die Festlegung der großen Linien die Entfaltung der vielen Ideen zur Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft für einen konstanten Rahmen sorgen.

Eine weitere wichtige Voraussetzung für Investitionen sind planbare Abfallmengen im Eingang und verlässliche Entsorgungs- und Vermarktungsmöglichkeiten im Ausgang der Behandlungsanlagen. Leider haben Eingriffe der Politik in der Vergangenheit die Rahmenbedingungen immer wieder verändert, was zu Lasten der Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs geht.

Vor diesem Hintergrund ist die nationale und europäische Abfallpolitik, aber auch die Energie- und Klimagesetzgebung gefordert, nicht nur auf der Ziel- und Quotenebene zu agieren, sondern nachfolgend auch die Instrumente zur Regulierung von Angebot und Nachfrage der Sekundärrohstoffmärkte und Energiekosten im Auge zu behalten. In den letzten Jahren scheint die Politik für die Kreislaufwirtschaft verstärkt kleinteilige planwirtschaftliche Ansätze zu verfolgen.

Die Unternehmen der Kreislaufwirtschaft wollen und können die anstehenden Veränderungsprozesse mitgestalten und organisieren. Die Politik muss jedoch für verlässliche technologieoffene Rahmenbedingungen sorgen, damit die Chancen genutzt werden können, um die Transformation voranzutreiben. Die Märkte und technischen Innovationen der Unternehmen der Kreislaufwirtschaft können die Veränderungen zu einer Circular Economy bringen.

Mögliche Hemmnisse für die Entwicklung einer Circular Economy

Obwohl seit langem ein großer gesellschaftlicher Konsens darüber besteht, dass sich die Kreislaufwirtschaft zu einer Circular Economy weiter entwickeln soll, scheint es doch einige Hemmnisse auf diesem Weg zu geben.

Ein wesentliches Hemmnis scheint das KrWG zu sein, dass die Begriffe Verwertung und Recycling sehr weit fasst, (siehe Anlage 2 KrWG), so dass die amtliche Statistik (Stand März 2026) ein Recyclingquote von 70 % ausweist. Für gefährliche Siedlungsabfälle beträgt die Recyclingquote sogar 97 % und für alle Siedlungsabfälle 68 %. Zuzüglich einer energetischen Verwertungsquote von 12 %, kommt Deutschland auf eine Verwertungsquote von 82 %, so dass es eigentlich keine Hemmnisse mehr zugeben scheint. Es regelt Verantwortlichkeiten und nicht das Substituieren von Primärrohstoffen. Es ist bislang nicht gelungen, praxistaugliche einheitliche Regelungen in Deutschland und der EU für das Ende der Abfallgemeinschaften zu definieren (abgesehen von einzelnen Ausnahmen). Es besteht ein gewaltiges Misstrauen der Umweltministerien, dass von einer gelesenen Zeitung, einem gebrauchten Möbelstück, einem Stück Schrott, das in den Besitz eines zertifizierten sachkundigen Entsorgers übergeht, eine größere Gefahr ausgeht als beim Inverkehrbringer oder Letztbesitzer.

Desgleichen werden an die Behandlung, den Transport und das Wieder-Inverkehrbringen von Recyclingprodukten oder Sekundärrohstoffen deutlich höhere Anforderungen gestellt als bei neuen Produkten oder den Primärrohstoffen. Während die „normale“ Wirtschaft von der Gewerbeaufsicht überwacht wird, sind es bei Betrieben der Kreislaufwirtschaft die Umweltbehörden, die immer neue Formate des Berichtswesen, der Statistik, der Laboranalytik und gutachterlichen Stellungnahmen von den Betrieben der Kreislaufwirtschaft einfordern.

Die Abfallgesetzgebung fußt auf Annahmen der frühen 90er Jahre. Inzwischen haben die Werkstoffwissenschaften weltweit eine unendlich große Zahl von neuen Materialien kreiert. Diese Materialien sind in komplexen Verbindungen in vielen neuen Produkten zum Teil überhaupt nicht mehr recyclingfähig. Aus den gemischten Siedlungsabfällen lässt sich daher aktuell kaum noch etwas stofflich recyceln, so dass sie thermisch verwertet werden müssen.

Faktisch haben wir es nur noch mit Verbundwerkstoffen zu tun, die eine große Vielzahl von Additiven beinhalten. Ein Teil der Additive gilt inzwischen als dauerhaft schädlich für die Umwelt und den Menschen, so dass die Materialien konsequenterweise

allesamt einer thermischen Verwertung zugeführt werden müssten. Während für das Inverkehrbringen von den über 14.000 chemischen Verbindungen der PFAS-Gruppe zukünftig strenge Grenzwerte gelten, bzw. gar nicht mehr in den Verkehr gebracht werden dürfen sollen beim Kunststoffrecycling diese Grenzwerte für eine Übergangszeit von 23,5 Jahre nicht gelten, so dass das Kunststoffrecycling zukünftig der größte Emittent von PFAS sein wird. Damit besteht die Gefahr, dass alle Produkte des Kunststoffrecyclings in Misskredit gebracht werden, was zu entsprechenden Verbraucherreaktionen führen wird oder die Auswirkungen von PFAS sind nicht wirklich gravierend. Das stoffliche Recycling von schadstoffbelasteten Abfällen (Materialien) ist leider nicht immer gut oder besser als eine schadlose thermische Verwertung.

Auch muss konstatiert werden, dass die Komplexität der Stoffe und das menschliche Verhalten dazu geführt haben, dass seit 35 Jahren schlechte Sammelqualitäten in bestimmten Sammelgebieten beklagt werden.

Ebenso ist die Vermarktung von Recyclingprodukten ein sehr volatiles Geschäft, weil es im Wettbewerb mit Import- und Neuware bestehen muss und an vielen Stellen Vorbehalte gegenüber Recyclingprodukten bestehen.

Seit einigen Jahren kommt es durch die Elektrifizierung zahlreicher Produktgruppen regelmäßig zu Brandereignissen in Anlagen und Fahrzeugen der Kreislaufwirtschaft. Das Ausmaß der Brandereignisse hat dazu geführt, dass die Anforderungen an den Brandschutz gestiegen sind und die Versicherungen von Recyclinganlagen nicht mehr oder nur nach der Investition in eine sehr aufwändige Brandschutztechnik mit sehr teuren Policen absichern wollen. Dies hat dazu geführt, dass ein Teil der Kreislaufwirtschaft nicht mehr versichert ist. Die Investitionsbereitschaft wird dadurch aktuell stark beeinflusst.

Das Genehmigungs- und Abfallrecht stellen wesentliche Transformationshemmer dar. Überkomplexe Vorgaben, lange Verfahren und die holprige Umsetzung der elektronischen Abfallverbringung bremsen die Kreislaufwirtschaft aus, in dem sie die Etablierung effizienter Kreisläufe und den Aufbau stabiler Sekundärrohstoffströme erschweren.

Wird die Circular Economy bezahlbar sein?

Die EU verlagert richtigerweise die Ansätze für eine Transformation auf die Produktphase. Die neuen Anforderungen an die Stoffe, die Dokumentation und die Nachverfolgung des Verbleibs werden die Kosten von Produkten steigern. Insbesondere wenn zusätzlich eine Bürokratie zur Überwachung des Inverkehrbringens und des Verbleibs von Produkten

aufgebaut wird. Diese Kosten trägt der Verbraucher aus seinem Nettoeinkommen. Im gewerblichen und industriellen Bereich werden die Kosten auf die Produkte umgelegt, die dann letztlich auch der Verbraucher bezahlen muss.

Der Betrieb, der Ausbau und der Unterhalt der Infrastruktur der Kreislaufwirtschaft erfordert fortlaufende Investitionen und die Refinanzierung der Kosten. Die Erwartungen an den Leistungsumfang und die Pflichten der Kreislaufwirtschaft sind sehr umfangreich und nehmen weiter zu. Auch wenn wir eines Tages nur noch Produkte haben, die sehr langlebig und recyclingfähig sein werden (Zero-Waste), werden wir noch über Jahrzehnte die gesamte Infrastruktur der Kreislaufwirtschaft benötigen.

Die Personal- und Energiekosten sind zwei maßgebliche Kostenarten, die politisch gewollt, kontinuierlich erhöht werden. Die Kommunen verteilen diese Kosten auf die Abfallgebühren. Im gewerblichen Bereich versuchen die Betriebe (Abfallerzeuger) die gestiegenen Entsorgungskosten an die Kunden weiterzugeben oder die Wirtschaftlichkeit der Betriebe sinkt mit den entsprechenden Konsequenzen.

Die Kosten für die Verwertung von Abfällen, die einer erweiterten Produktverantwortung unterliegen, wie z. B. die Verpackungsabfälle (gelber Sack bzw. Behälter) werden hingegen über Lizenzentgelte gedeckt, die vom Hersteller für jede einzelne Verpackung an die Dualen Systeme zu entrichten sind und die Verbraucher bereits beim Kauf des Produktes/der Verpackung bezahlen. Die erwartete Ausweitung der erweiterten Produktverantwortung ist eine große Chance für die Betriebe der Kreislaufwirtschaft auf ein gesichertes Umsatzwachstum.

Als eine neue und große Herausforderung für die Bezahlbarkeit der Kreislaufwirtschaft in Deutschland, hat sich der deutsche Alleingang mit dem BeHG erwiesen. Wie erwartet, hat die Einführung des BeHG keine Lenkungswirkung zur Reduktion der klimarelevanten Emissionen, wohl aber zum Abfallexport in Ländern, die diese Abgabe nicht kennen, beigetragen. Faktisch trägt der private Haushalt in Deutschland die BeHG-Abgabe, ohne dass er eine „Gegenleistung“ vom Staat erhält oder durch sein Verhalten die Abgabenlast beeinflussen kann. (Die Abgabe wird aktuell noch nicht von allen öRE in der Abfallgebühr berücksichtigt.) Die Abgabe kommt ausschließlich dem Bund zugute. Die Länder haben keinen Anteil an den Einnahmen.

Über die weitere Entwicklung dürfen alle Beteiligten spekulieren. Eine verbindliche Aussage des Wirtschafts- und Finanzministeriums gibt es nicht, so dass die Branche diese Kostenposition nicht hinreichend genau planen bzw. kalkulieren kann. Auf jeden Fall werden die Kosten für die Unternehmen der Branche und Verbraucher in einem unbekanntem Ausmaß erhöht,

was das Vertrauen in die Rahmenbedingungen der Kreislaufwirtschaft nicht erhöhen wird.

Da die Zahl der Haushalte in Deutschland zunimmt, die an der finanziellen Belastungsgrenze auf Grund der Preissteigerungen für Energie und Lebensmittel sowie für das Wohnen leben, dürfte die Akzeptanz für weitere Abgaben politisch kaum noch vorhanden sein.

Dies ist die Chance für neue Geschäftsmodelle, um die Abgabenlast zu reduzieren. Ein Ansatz ist es, dass für immer neue Produktgruppen nicht mehr der Verkauf an den Endverbraucher vorgesehen ist, sondern eine Bezahlung nach Nutzung. Es wird dann eine Miete oder Leasingrate bezahlt und die Entsorgung verbleibt beim Inverkehrbringer.

Vorreiterfunktion der öffentlichen Hand

Die öffentliche Hand vergibt jährlich Aufträge in Höhe eines dreistelligen Milliardenbetrages an private Unternehmen in Deutschland. Damit verfügt Deutschland über einen der größten öffentlichen Beschaffungsmärkte in Europa, der etwa 15 % des Bruttoinlandsprodukts entspricht. Die öffentliche Hand besitzt somit ein einzigartiges Potenzial, den Markt für Recyclingprodukte zu beeinflussen und kann durch ihre Lenkungswirkung entscheidende Veränderungen anstoßen.

Trotz des Einflusses der öffentlichen Beschaffung wurden laut Vergabestatistik im Jahr 2023 lediglich 14 % der Aufträge (bezogen auf die Gesamtzahl an Vergaben) und etwa 23 % aller Aufträge (in Bezug auf das Gesamtauftragsvolumen) unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien vergeben. Es ist daher von zentraler Bedeutung, dass die öffentliche Hand ihrer Funktion als Vorreiter gerecht wird, um den Einsatz von Recyclingprodukten und die Kreislaufwirtschaft voranzubringen. Die öffentliche Hand ist der entscheidende Treiber beim Einsatz von Recyclingrohstoffen – sei es als Rezyklate in Produkten oder als Ersatzbaustoffe bei Bauprojekten. Die konsequente Umsetzung der Verpflichtung der Vorbildfunktion der Öffentlichen Hand bedarf auch einer hinreichenden Kontrolle und ggf. rechtlicher Klagemöglichkeiten.

In Deutschland sind die Anforderungen zur kreislaufwirtschaftsfördernden Beschaffung in § 45 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) enthalten. Darüber hinaus gibt es weitere Vorschriften auf Länderebene sowie interne Vorschriften des Bundes zur nachhaltigen Beschaffung. Ziel ist es u. a., dass der öffentliche Bedarf nach Möglichkeit verstärkt über Recyclingprodukte gedeckt wird. Die bestehenden Regelungen zur zirkulären Wirtschaft (insbesondere in § 45 Abs. 2 KrWG) reichen allerdings so nicht aus, um Zirkularität in der öffentlichen Beschaffung wirksam umzusetzen. Sie sollen daher durch geeignete Regelungen ergänzt und konkretisiert werden.

Zwar eröffnet das europäische Vergaberecht große Chancen für eine nachhaltige öffentliche Beschaffung. Die bisherigen gesetzlichen Regelungen zum „Green Public Procurement“ haben in vielen EU-Mitgliedstaaten, auch in Deutschland, aber kaum etwas bewirkt. Gerade im Bereich der mineralischen Baustoffe werden häufig noch immer nur Primärrohstoffe zugelassen oder Anforderungen (Grenzwerte) formuliert, die wenig plausibel oder gar notwendig erscheinen. Nachhaltigkeitsaspekte werden noch zu wenig als Mindestanforderung im Sinne von Ausschlusskriterien für Lieferungen und Leistungen formuliert. Auch die Möglichkeit der Einbindung von Nebenangeboten durch die öffentlichen Beschaffungsstellen, wird noch zu wenig genutzt, um umwelt- und ressourcenfreundliche Varianten in die Vergabeverfahren einzubeziehen.

In der Praxis wird das „Green Public Procurement“ jedoch noch immer nicht zufriedenstellend umgesetzt, weil u. a. die Verzahnung zum Vergaberecht fehlt.

Einige Verbände der Kreislaufwirtschaft fordern daher u. a. die Einführung einer Berichts- oder Nachweispflicht der öffentlichen Hand für den Einsatz von Produkten, die Recyclingprodukte enthalten sowie eine Begründungspflicht im Falle der Nicht-Beschaffung bzw. eine Vorgabe, dass grundsätzlich Sekundärrohstoffe zu bevorzugen seien. An Sekundärrohstoffe sollten zudem keine höheren Anforderungen gestellt werden als an Primärrohstoffe. Durch die Verwendung von Einkaufsleitfäden und Textbausteinen, sowie der Weiterbildung der MitarbeiterInnen hinsichtlich potenzieller neuer Vergaberichtlinien kann Sicherheit bei der Vergabe und Beschaffung hergestellt werden

Da je nach Region der Einsatz von Sekundärrohstoffen höhere Kosten verursacht als der Einsatz von Primärrohstoffen, sollten diese mit der Vergabeentscheidung kompensiert werden können. Obwohl die öffentliche Hand als Vorbild voran gehen und durch ihre Einkaufsmacht die Transformation unterstützen und beschleunigen sollte, gibt es seit längerer Zeit Zweifel daran, ob das Engagement ausreichend ist. Erschwerend kommt hinzu, dass Anforderungen, die von Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie von Industrie und Gewerbe zu beachten sind, nicht für die öffentliche Hand gelten. Es gibt allerdings auch Vorzeigeunternehmen, die die Transformation vom linearen zum zirkulären Wirtschaften und eine nicht-fossile Energiewirtschaft auch ohne gesetzliche Verpflichtungen vorantreiben und umsetzen.

Dass die zirkuläre Beschaffung ein kontrovers diskutiertes Thema ist, hat das Ringen um die Veröffentlichung des Aktionsprogramms der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie gezeigt. Im Mittelpunkt der immer wieder verschobenen Veröffentlichung steht

der Paragraf 45 und die Verbindlichkeit in der Umsetzung. Vor allem das Bundeswirtschaftsministerium und das Verkehrsministerium haben Bedenken angemeldet.

Grenzen des Recyclings

Neben den betriebswirtschaftlichen Aspekten des Recyclings gewinnt die Tatsache, dass sich die Materialien und Produkte über die Jahrzehnte verändert haben, zunehmend an Bedeutung. Trends zur Miniaturisierung, Verbundwerkstoffen und Werkstoffvielfalt tragen nicht dazu bei, das Recycling zu verbessern.

Beispielhaft wird dies an bestimmten großen und bekannten Abfallfraktionen dargestellt:

So nimmt z.B. das klassische Zeitungspapier ab und die PPK-Materialien mit immer neuen Additiven zu. In Deutschland wird schon sehr lange Papierrecycling betrieben, was zu einer insgesamt verkürzten Faserlänge führt. Dies wurde durch Fasern aus Osteuropa kompensiert. Weil diese Papiere aktuell weniger zur Verfügung stehen und der PPK-Markt sich auch auf Seiten der verarbeitenden Papierfabriken verändert hat, zeichnet es sich ab, dass die Recyclingquote für PPK sinkt und weitere Veränderungen zu erwarten sind.

Ebenso verhält es sich mit der in der Vergangenheit erfolgreichen und hochprofitablen getrennten Textilerfassung. Der globale Markt für Kleidung hat sich verändert und die Bestandteile der Kleidung mit der Faserlänge der Baumwolle ebenfalls. Auch hier zeichnen sich Veränderungen ab.

Über die Auswirkungen der PPWR und der Mantelverordnung gab und gibt es kritische Prognosen, ob sie am Ende wirklich zu mehr stofflichen Recycling führen werden. Die Erfolge der Mantelverordnung können noch nicht klar nachgewiesen werden.

Die Stärke der deutschen Recyclingwirtschaft lag auch daran, dass es eine Vielzahl von Abnehmern (Betriebe) für die Recyclingprodukte oder Sekundärrohstoffe gab. Da sich die Zahl der Betriebe in den letzten Jahren reduziert hat und mutmaßlich aktuell weiter reduzieren wird, was maßgeblich auf die hohen Energiekosten und Auflagen in Deutschland zurückzuführen ist, muss dies als eine echte Bedrohung für eine funktionierende und wachsende Kreislaufwirtschaft angesehen werden.

Maßnahmen und Strategien zur Förderung der Circular Economy

In den vergangenen 10 Jahren sind zahlreiche Rechtsakte, wie die Ökodesign-Verordnung, die Verpackungsverordnung und der Critical Raw Materials Act, auf den Weg gebracht worden, mit denen ein Übergang von einem linearen hin zu einem zirkulären Wirtschaftssystem unterstützt werden soll. Die ernüchternde Realität ist ein Anstieg der von der European Environment Agency veröffentlichten Circular Material Use Rate (CMU) um einen Prozentpunkt auf 12,2 % in besagtem Zeitraum. Umso größer sind die Hoffnungen auf den für dieses Jahr geplanten Circular Economy Act (CEA), mit dem in der EU u. a. die Rohstoffversorgung und die Resilienz gestärkt werden sollen. In Anbetracht der gegenwärtigen geopolitischen Lage wird der Beitrag der Circular Economy zu Themen, die über die Nachhaltigkeit hinaus gehen, damit einmal mehr deutlich. Die Ziele des CEA sind die Etablierung eines einheitlichen Marktes für Sekundärrohstoffe, die Erhöhung der Versorgung mit hochwertigen Rezyklaten und die Stimulation von deren Nachfrage, um letztlich bis 2030 den Anteil von Recyclingmaterialien zu verdoppeln. Die EU steht damit vor keiner leichten Aufgabe, da unterschiedliche nationale Vorgaben derzeit den effizienten Austausch von Sekundärrohstoffen auf dem Binnenmarkt erschweren. Zudem laufen viele bürokratische Prozesse noch auf alten Bearbeitungswegen und damit zumeist langsam ab.

Zumindest ein Hemmnis soll noch bis Mitte des Jahres, mit der Implementierung eines EU weiten einheitlichen Systems für die elektronische Abwicklung von grenzüberschreitenden Abfalltransporten (eng. Digital Waste Shipment Systems „DIWASS“), gemindert werden. Verbände kritisieren jetzt schon, dass das System nicht vollständig funktionsfähig ist, was einen reibungsfreien Start in Frage stellt.

Das von der EU angestrebte Ziel, Weltmarktführer in der Circular Economy zu sein, würde auch bedeuten, dass die Mitgliedstaaten vergleichbare technologische und regulative Entwicklungsstadien erreichen. Bis jedoch in allen Staaten funktionierende und an die jeweiligen Voraussetzungen angepasste Recyclinginfrastrukturen geschaffen worden sind, kann es noch lange dauern. Deshalb ist ein funktionierender Binnenmarkt die Voraussetzung für die grenzüberschreitende Verwertung in bestehenden und hochwertigen Anlagen, was vermutlich ökologisch der bessere Weg ist. Dabei sind auch weiterhin die Potenziale einer europäischen Arbeitsteilung zu berücksichtigen. Viele der angestrebten Maßnahmen des CEA zur Stärkung des Angebots und der Nachfrage nach Sekundärrohstoffen, wie die bessere Rückgewinnung von Elektronikschrott und Kriterien für zirkuläre öffentliche Beschaffung, finden sich bereits in der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie

(NKWS) wieder. Bemerkenswerterweise strebt die Bundesregierung an, die NKWS der Vorgängerregierung als Grundlage für die Erarbeitung eines Eckpunktepapier mit kurzfristig realisierbaren Maßnahmen zu nutzen. In dem Ende vergangenen Jahres vorgelegten Investitions-Sofortprogramm sucht man die Stichworte Rohstoff, Abfall und Kreislauf jedoch vergebens. Die Zukunftsthemen Nachhaltigkeit und Klimaschutz sowie Energiewende und Rohstoffwende scheinen nach einschlägigen Fachzeitschriften (z. B. Nachhaltige Industrie) vielfach in den Hintergrund gerückt zu sein, auch wegen den derzeitigen geopolitischen Spannungen.

Immerhin sind im Sofortprogramm auch Maßnahmen enthalten, von denen die Kreislaufwirtschaft profitieren kann, namentlich die Beschleunigung von Genehmigungsverfahren und der Bürokratieabbau. Diese können nach Aussagen der Verbände einen Beitrag für den dringend benötigten Schub in der Kreislaufwirtschaft liefern und den Auf- und Ausbau von Recyclinginfrastrukturen fördern. An dieser Stelle bieten sich die Möglichkeiten zur Beschleunigung von Prozessen durch Bevorzugungen bei Genehmigungsverfahren oder die vorläufige Zulassung von Anlagen für einen begrenzten Zeitraum an, um Vorhalten gegen einen voll ausgelasteten Betrieb auf den Prüfstand zu stellen.

Die genannten Maßnahmen zielen auch darauf ab, dem derzeitigen Abbau von Recyclinginfrastrukturen entgegenzuwirken. Neben steigenden Energiekosten, die einen wirtschaftlichen Betrieb bei den derzeitigen Preisen der Sekundärrohstoffe erschweren, sind es vor allem gefährliche Stoffströme wie falsch entsorgte Lithium-Ionen-Batterien, die Mitarbeitende und die Betriebe gefährden. In einer Branche, die sich ohnehin mit einem Mangel an Facharbeitern, Ingenieuren und Spezialisten konfrontiert sieht, kann diese Situation dadurch verschärft werden. Der Einsatz von KI kann einen wichtigen Beitrag im Umgang mit diesen und weiteren gefährlichen Stoffen leisten und zeigt die zunehmenden Anforderungen von Softwarekompetenzen an die Mitarbeitenden. Infolge von Bränden stellt die derzeitige Versicherungssituation ein wesentliches Hemmnis für den Betrieb und Aufbau neuer Anlagen dar. Hersteller und Inverkehrbringer von problematischen Produkten müssen durch die Politik stärker in die Verantwortung genommen werden. Die reine Unterstützung bei der Versicherung der Recyclinganlagen würde nur eine End-of-Pipe Maßnahme darstellen. Stattdessen muss beim Import von Produkten und Stoffen auf die Einhaltung von Umwelt- und Qualitätsstandards stärker geachtet oder Maßnahmen zur Internalisierung nachfolgender Kosten aufgrund von Gefahren bei der Handhabung (Stichwort Erweiterte Herstellerverantwortung) konsequenter umgesetzt werden. Einerseits soll die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen gestärkt werden, andererseits gibt es schon jetzt zahlreiche Herausforderungen, beste-



Altglassammelcontainer, Quelle: unsplash

hende und teils gut funktionierende Infrastrukturen sicher zu betreiben.

Die Gründe für die derzeit geringe Nachfrage nach Rezyklaten sind vielfältig und begründen sich im Wesentlichen durch den Preis sowie die vorhandenen Mengen der gewünschten Qualitäten. Die Materialkosten sind auf europäischer Ebene für herstellende Betriebe meist doppelt so hoch wie die Energie- oder Personalkosten. Bei den Herstellern von Kunststoffverpackungen können diese sogar bis zu 80 % der gesamten Produktionskosten ausmachen. Vor dem Hintergrund einer schwächelnden Wirtschaft und steigenden Energie-, Lohn- und Nebenkosten erscheinen Rezyklate bspw. aus Kunststoff, die oft teurer als Neuware sind, wenig reizvoll. Der geringe Preis von fossilen Primärrohstoffen resultiert laut dem Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung aus Subventionen oder der Externalisierung der Umweltkosten. Die Verarbeiter, Verpacker und Inverkehrbringer verkennen jedoch zu häufig die Vorteile, die sich aus nationalen oder gar regionalen Stoffkreisläufen ergeben. Neben weniger klimaschädlichen Rohstoffen sind es stärkere Unabhängigkeiten von Rohstoffimporten und steigenden Preisen die Wirtschaftsinstituten zufolge Sekundärrohstoffe langfristig vorteilhaft machen. Hier ist es an der Politik, durch Vorgaben von Mindesteinsatzquoten und die Kennzeichnung von Produkten Anreize zu schaffen. Die Umsetzung dieser Maßnahmen gilt es jedoch durch das Monitoring der Rezyklateinsatzquoten zu begleiten. Dabei muss beachtet werden, dass steigende Anforderungen mitunter auch zu mehr Berichtspflichten führen. Dies kann zum Anlass genommen werden, alte Regelungen und Gesetze hinsichtlich ihrer Aktualität und Effektivität zu hinterfragen.

Die von den produzierenden Unternehmen oftmals genannten Qualitätsunterschiede von Primär- zu Sekundärrohstoffen können durch diese selbst maßgeblich beeinflusst werden. Es gibt bereits Hersteller aus dem Konsumgüterbereich, die zeigen, dass Design for Recycling funktioniert und sich bezahlt macht. Bislang arbeiten die produzierenden und ent-sorgenden Unternehmen nur sporadisch zusammen, obwohl genau hier ein wichtiger Hebel zur Schließung von Informations- und damit Stoffkreisläufen liegt, sodass bessere Sekundärrohstoffe zurückge-wonnen werden können.

Die genannten Strategien und Maßnahmen operieren auf internationaler wie auch nationaler Ebene. Oftmals wird dabei die Rolle von Städten unterschätzt, die eine hohe Dichte an sozioökonomischen Aktivitäten haben und für einen Großteil des Ressourcenverbrauchs und die Abfallentstehung verantwortlich sind. Dies ist insbesondere bei der Erfassung, Sammlung und Rückführung von Wertstoffen wichtig, weshalb Städte auch Raum zur Forschung und Entwicklung innovative Sammelsysteme geben. Hier gilt es durch entsprechende Fördermaßnahmen und die Bereitschaft der Kommunen für Kooperationen die nötigen Grundlagen zu schaffen.

Darüber hinaus können die Kommunen durch ihr Verwaltungshandeln die Rolle der öffentlichen Hand zur Förderung der Circular Economy direkt erfüllen, wie im Bergischen Städtedreieck bereits aufgezeigt wurde. Somit stellen Städte entscheidende Hebel für nachhaltige Transformationsprozesse dar. Dies spiegelt sich in dem Trend wider, dass diese zunehmend die Führung in der Eindämmung von nicht-nachhaltigen Entwicklungen von ihren nationalen Regierungen übernehmen. In der Vergangenheit haben zahlreiche Kommunen in Deutschland Ressourcenstrategien erarbeitet, die sich vor allem auf den

effizienten Umgang bereits angefallener Abfallströme fokussiert haben. Mittlerweile rücken Strategien zur Abfallvermeidung in Form von Zero-Waste-Strategien in den Fokus der Kommunen, die nicht auf Null-Abfall, sondern den bewussteren Umgang mit den verfügbaren Ressourcen abzielen. Deren Entwicklung findet häufig unter Beteiligung der lokalen wirtschaftlichen Akteure als auch Bürger statt, denen die Relevanz der Circular Economy für die Erreichung der Klimaziele zumeist bewusst ist und deren Akzeptanz den Erfolg bei der Umsetzung von Strategien und Maßnahmen maßgeblich bestimmt.

Zusammenfassung: Perspektiven für die Kreislaufwirtschaft

Mit der Entwicklung der Kreislaufwirtschaft zu einer Circular Economy sind viele Ziele und Hoffnungen verbunden, die sich im Wesentlichen mit mehr Klimaschutz, weniger Ressourcenverbrauch, vor allem aber mit mehr Kreislaufführung von Rohstoffen verbinden. Insbesondere der letzte Aspekt wird wegen der aktuell entstehenden Unsicherheiten durch eine Neuordnung der internationalen Zusammenarbeit und Machtverhältnisse und der Veränderung von Warenströme durch Zölle und der Auswirkungen auf die Lieferketten immer wichtiger. Welche Möglichkeit bietet die Circular Economy, Deutschland und Europa langfristig unabhängiger von Rohstoffimporten und damit resilienter zu machen?

Notwendig und wichtiger Teil der Kreislaufwirtschaft ist die Herstellung von Sekundärrohstoffen, die den Einsatz von Primärrohstoffen verringern sollen. Hier gibt es aktuell jedoch eine Reihe von Problemen, die die bisherigen Erfolge gefährden. Dazu zählen u. a. der Preisverfall bei Primärrohstoffen, geringere bzw. verlagerte Produktion, zweifelhafte Importqualitäten, Risiken beim Betrieb von Recyclinganlagen, geringe Bereitschaft zum Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Produktion, um nur einige zu nennen. Die passenden Gegenmaßnahmen liegen vor und müssen schnell umgesetzt werden, die Politik tut sich jedoch seit Jahren schwer, hierfür den gesetzlichen Rahmen zu liefern. Weiter abwarten kann zu weiteren Insolvenzen und zu einem Abbau von Recyclingkapazitäten führen, der nicht mehr umkehrbar sein wird. Wie steht es aktuell um die Kreislaufwirtschaft und welche Maßnahmen stehen auf der Agenda, um die Funktion zu erhalten und die Ergebnisse zu verbessern?

Die Unternehmen der Kreislaufwirtschaft waren noch nie so direkt gefordert, eine echte stoffliche Recyclingwirtschaft zu entwickeln, um die Resilienz Europas zu erhöhen und dem Import von Rohstoffen

und Halbzeug zu reduzieren. Die Chancen waren seit dem Beginn der 90er Jahren nie so groß und vielfältig wie jetzt. Gleichzeitig waren die tatsächlichen und strategischen Bedrohungen für die Behandlung und dem Umgang mit Abfall noch nie so groß wie aktuell.

Die Kreislaufwirtschaft steht tatsächlich an einem Scheidepunkt.

Durch regelmäßige Brandereignisse haben sich die Kapazitäten reduziert. Es zeichnet sich ab, dass das Vertrauen der Branche in die Zukunft auf Grund von Erfahrungen der Vergangenheit so weit gesunken ist, dass viele Anlagen nicht mehr aufgebaut werden. Dort, wo die Unternehmen bereit sind, Anlagen wieder zu errichten, können sie den alten genehmigungsrechtlichen Bestandsschutz verlieren und sind vielfältigen neuen Anforderungen ausgesetzt. Hinzu kommt, dass die Brandschutzmaßnahmen relativ zur Investitionssumme eine extreme Höhe erreichen und die Versicherungswirtschaft Anforderungen stellt, die aus kaufmännischer und auch aus technischer Sicht unerfüllbar sind, bzw. exorbitante Prämien und Selbstbehalte gefordert werden.

Da es immer mehr Anlagen in Deutschland gibt, die nicht versichert sind, sinkt die Bereitschaft zu Investitionen oder die Unternehmen haben eine Größe erreicht, dass sie sich selbst versichern können, wie dies in der Großindustrie schon seit langem üblich ist. Dies wird zu weiteren strukturellen Umbrüchen und Branchenkonzentrationen führen. Am Ende wird der Brandschutz auf die Preise umgelegt, was die Kosten für den Abfallerzeuger weiter erhöht und in der Regel zu Ausweichmanövern bei den Erzeugern führen wird.

Die sinkende Bereitschaft zu Ersatzinvestitionen in der klassischen, mittelständisch geprägten Recyclingwirtschaft wird, gepaart mit Betriebsnachfolgerproblemen, zu weiteren Konzentrationen der Branche führen. Da die erzeugende Industrie einen wachsenden Bedarf an Sekundärrohstoffen hat, wird sie selbst sich des Recyclings annehmen, wenn keine geeigneten leistungsfähigen Recycler am Markt gefunden werden. Diese kapitalkräftigen Industrieunternehmen werden nicht nur das chemische Recycling vorantreiben.

Im Ergebnis ist es in Deutschland schon seit einigen Jahren versäumt worden, konsequent an einer eigenen und pragmatischen „Philosophie“ zur Weiterentwicklung der Strukturen einer umfassenderen Kreislaufwirtschaft weiterzuarbeiten. Die Kreislaufwirtschaft beginnt eben nicht in dem Moment, wo Produkte dem Entsorger überlassen werden. Es ist abzusehen, dass im Zuge der Circular Economy Maßnahmen zur Abfallvermeidung und zur Recyclingfähigkeit künftig deutlich früher ansetzen werden.

Abzuwarten bleibt, ob die „Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie“ mittel- und langfristig für eine Orientierung der Kreislaufwirtschaft sorgen kann.

Dass wir bei der Schließung der Stoffkreisläufe in vielen Bereichen nicht wesentlich weitergekommen sind, ist daran zu erkennen, dass der Anteil, der in der deutschen Industrie eingesetzten Sekundärrohstoffe seit etwa 30 Jahren bei rund 12 % stagniert. Daher ist es spätestens jetzt an der Zeit, mit der gezielten Substitution von Neuware bzw. mit der Konkretisierung von Überlegungen zum „Minimal Content“, also einem verpflichtenden Rezyklat-Anteil in bestimmten Produkten, zu beginnen und somit Vorgaben für den tatsächlichen Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Produktion zu starten.

Die gesetzgeberischen Initiativen sollten so eindeutig formuliert sein, dass sich daraus auch eine Investitionssicherheit für die Unternehmen der Kreislaufwirtschaft ableiten lässt. Ohne die Formulierung und Festlegung eindeutiger Ziele und Vorgaben, wie zum Beispiel verpflichtende Substitutionsquoten für Produzenten oder Vorgaben in der öffentlichen Beschaffung, werden die Infrastrukturdefizite für die tatsächliche Kreislaufführung von Rohstoffen oder auch CO₂ in absehbarer Zeit nicht behoben werden können.

Auch bei einer erfolgreichen Transformation in eine Circular Economy, die viele Stoffe/Materialien für lange Zeit in geschlossenen Kreisläufen halten kann, wird es notwendig sein, kontinuierlich Schad- und Störstoffe aus dem Kreislauf zu entfernen und schadlos zu verwerten. Daher ist es notwendig, auch weiterhin eine Entsorgungs-Infrastruktur aufrecht zu erhalten, die wirtschaftlich betrieben werden kann. Der Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2026 zeigt wieder im Detail auf, wo die Branche heute steht und an welchen Stellen fachlicher und politischer Handlungsbedarf zur Schließung der Stoffkreisläufe besteht. Angesichts der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedeutung der Kreislaufwirtschaft muss der Diskurs mit der Politik, der Wirtschaft und der Gesellschaft geführt werden, um jetzt die entscheidenden Weichen zu stellen.

Vor diesem Hintergrund unterstreicht die Zusammenarbeit von insgesamt 16 Verbänden der Kreislaufwirtschaft und der IFAT zur gemeinsamen Herausgabe des „Statusberichtes der deutschen Kreislaufwirtschaft“ zum einen die Einstellung, die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft als gemeinschaftliche Aufgabe zu verstehen und zum anderen den gemeinsamen Willen der Branche, die anstehenden Entscheidungen für die Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft zusammen mit den Stakeholdern abzustimmen und umzusetzen.



Quelle: unsplash

Glossar

Abfallhierarchie

Eine durch § 6 KrWG festgelegte fünfstufige Rangordnung zum Umgang mit Abfällen, nach der „diejenige Maßnahme Vorrang haben [soll], die den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen (...) am besten gewährleistet.“ Die Maßnahmen der Vermeidung und der Abfallbewirtschaftung stehen dabei in folgender Rangfolge:

1. Vermeidung,
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung,
3. Recycling,
4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,
5. Beseitigung.

Abfallintensität

Indikator für die Entkopplung von Netto-Abfallaufkommen und Wirtschaftsleistung*

Abraum

Gestein ohne oder mit sehr geringem Wertgehalt (taubes Gestein), das gefördert werden muss, um die Rohstoffe einer Lagerstätte abbauen zu können.**

Agglomerationsräume

ist vergleichbar mit Ballungsgebiet, Metropol- oder Verdichtungsraum.*

Altschrott

Schrott, der sich aus nicht mehr genutzten Verbrauchsgütern (Konsumgüterschrott) und Industriegütern zusammen setzt.*

Andienungspflicht

Gesetzliche Vorschrift (bestimmte) Abfälle an den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger abzuführen (Vgl. § 17 KrWG).

anthropogen

Vom Menschen verursachte Veränderungen werden als anthropogen bezeichnet. Hierzu zählen im Umweltbereich

- Grundwasserabsenkungen
- Flussbegradigungen
- Klimawandel
- alle Kunststoffe
- usw.***

Aschen und Schlacken

Rückstände aus einem Verbrennungsprozess, wie der Müllverbrennung. Aschen und Schlacken können sich zur weiteren Verwertung eignen, da aus ihnen – abhängig von dem eingesetzten Abfall – verschiedene verbleibende Wertstoffe gewonnen werden können. ****

Biodiversität

ist die biologische Vielfalt.***

biogeochemisch

befasst sich mit den chemischen, biologischen und physikalischen Prozessen, welche dem Aufbau und den Funktionen von Ökosystemen oder auch Landschaften zu Grunde liegen.*****

Biomasse

Sammelbegriff für unter anderem feste und flüssige Biomasse, Biogas, Klär- und Deponiegas sowie den biogenen Anteil des Restabfalls.*

chemisch-physikalische Behandlungsanlage

Anlage zur Behandlung der gefährlichen Inhaltsstoffe von überwiegend flüssigen gefährlichen Abfällen. Dabei werden die gefährlichen Inhaltsstoffe durch chemisch-physikalische Reaktionen zur Stoffumwandlung (z. B. Neutralisation, Oxidation, Reduktion) zerstört und in ungefährliche Inhaltsstoffe umgewandelt. Eine anschließende umweltverträgliche Verwertung oder Beseitigung dieser Abfälle wird damit erst ermöglicht. ****

Dekarbonisierung

der Umstieg von fossilen Brennstoffen auf kohlenstofffreie und erneuerbare Energiequellen

Deponieklassen

Kategorisierung für Deponien mit folgender Aufteilung:

- **DK 0** für mineralische Abfälle mit geringem Schadstoffgehalt (z. B. unbelastete Böden)
- **DK I** für mäßig belastete (nicht gefährliche) Abfälle (z. B. Bauschutt, Böden und Schlacken (mineralische Abfälle))
- **DK II** für belastete und genehmigte gefährliche Abfälle
- **DK III** für gefährliche Abfälle (oberirdische Ablagerung)
- **DK IV** für Sonderabfälle (Untertageablagerung)*

DRI-(Direct Reduced Iron)Verfahren

bezeichnet eine Technologie, mit der Eisenerz nicht aufgeschmolzen, sondern direkt in festem Zustand zu metallischem Eisen reduziert wird

Duales System

System der flächendeckenden, haushaltsnahen Sammlung und Entsorgung von gebrauchten Verpackungen. Es wurde in Reaktion auf die Einführung der Verpackungsverordnung von 1991 eingeführt, mit der deutsche Hersteller erstmals in die Pflicht genommen wurden, Verpackungen nach dem Gebrauch zurückzunehmen und bei deren Entsorgung mitzuwirken. 1993 wurde das Duale System Deutschland, „der Grüne Punkt“ eingeführt. Seit 2003 entstanden mit der Landbell AG, der ISD Interseroh AG, der Zentek GmbH, der Reclay Systems GmbH, RKD Recycling Kontor Dual GmbH & Co. KG, der BellandVision GmbH, der Veolia Umweltservice Dual GmbH, der ELS Europäische Lizenzierungs-Systeme GmbH und Noventiz Dual GmbH neue Akteure.****

Eigenschrotte

Kreislaufmaterialien, die in den Stahlwerken anfallen und dort unmittelbar wieder eingeschmolzen und in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden.*

energetische Verwertung

Einsatz von Abfällen als Ersatzbrennstoff z. B. in Zementwerken, Kohlekraftwerken oder Müllverbrennungsanlagen.***

End-of-Life-Recyclingrate (EOL-RR)

Beitrag der recycelten Materialien zur Rohstoffnachfrage, Recycling-Rate am Ende des Lebens

Erdüberlastungstag

der Tag, an dem die Weltbevölkerung so viele Ressourcen beansprucht hat, wie die Ökosysteme erneuern können

Ersatzbrennstoffe

Mittel- beziehungsweise hochkalorische, aufbereitete Abfallstoffe, die durch Verbrennung Regelbrennstoffe wie Kohle, Öl oder Gas bei der Produktion von Energie als Strom, Prozessdampf und/oder Fernwärme ersetzen können.****

Green Deal

ist der Fahrplan für eine nachhaltige EU-Wirtschaft. Mehr Informationen: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de

Green Public Procurement

= grüne Beschaffung, ist definiert als die Beschaffung von Produkten oder Dienstleistungen unter Berücksichtigung von Umweltaspekten.*

inerte Materialien

wenig oder kaum reaktionsfreudige Materialien.***

Kaskadennutzung

Form der Nutzung von Rohstoffen oder daraus hergestellten Produkten, in der eine stoffliche Nutzung so lange und so häufig wie möglich durchgeführt wird und erst am Ende des Produktlebenszyklus eine energetische Verwendung stattfindet. Dabei werden sogenannte Nutzungskaskaden durchlaufen, die von höheren Wertschöpfungsniveaus in tiefere Niveaus fließen. Hierdurch wird die Rohstoffproduktivität gesteigert.**

Klärschlamm

Reststoff, bei der Abwasserreinigung in Kläranlagen entsteht. Klärschlamm kann entwässert, getrocknet oder in anderweitig behandelter Form vorliegen. Rohschlamm ist Klärschlamm, der Abwasserbehandlungsanlagen unbehandelt entnommen wird. Aus Klärschlämmen können wichtige Rohstoffe wie beispielsweise Phosphor zurückgewonnen werden. Er kann außerdem einer thermischen Verwertung zugeführt werden. ****

Konzept der planetaren Grenzen

trifft Aussagen zur Stabilität des Ökosystem der Erde und den Lebensgrundlagen der Menschen. Mehr Informationen: <https://www.bmu.de/themen/europa-internationales-nachhaltigkeit-digitalisierung/nachhaltige-entwicklung/integriertes-umweltprogramm-2030/planetare-belastbarkeitsgrenzen/>

Kritische Rohstoffe

sind Rohstoffe von großer wirtschaftlicher Bedeutung für die EU, bei denen aufgrund der Konzentration der Bezugsquellen und des Mangels an guten, erschwinglichen Ersatzstoffen ein hohes Risiko von Versorgungsunterbrechungen besteht (Quelle: <https://www.consilium.europa.eu/de/infographics/critical-raw-materials/#:~:text=Kritische%20Rohstoffe%20sind%20Rohstoffe%20von,hohes%20Risiko%20von%20Versorgungsunterbrechungen%20besteht>)

Leichtstofffraktionen

gemischte Verpackungen*

Leichtverpackungen

Verpackungen, die sich überwiegend aus Kunststoffen, Metallen, und Getränkekartons zusammensetzen.*

Littering

achtlose Entsorgung von Abfällen im öffentlichen Raum. Es erfolgt keine Nutzung der dafür vorgesehenen Abfallbehälter.*

Lokalisierungsquotient

setzt den Anteil eines Marktsegmentes an den Erwerbstätigen eines Bundeslandes ins Verhältnis zum entsprechenden Wert in der Bundesrepublik. Ein Lokalisierungsquotient größer 1 drückt eine überdurchschnittliche Ausprägung aus, d. h., es liegt eine Spezialisierung in diesem Marktsegment vor.*

mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA)

Verfahren, mit dem Restabfälle in unterschiedliche Fraktionen aufgeteilt und somit für die weitere Verwertung aufbereitet werden. Bei der klassischen MBA werden zunächst Metalle und heizwertreiche Bestandteile zur energetischen Verwertung getrennt. Die zurückbleibende Deponiefraktion wird nach einer biologischen Behandlung auf Deponien abgelagert. Beim Stabilisierverfahren dagegen werden die Restabfälle zunächst getrocknet und für eine weitere Aufbereitung vorbereitet. Durch die Trocknung lassen sich verwertbare Fraktionen, wie Ersatzbrennstoffe, Eisen und Nicht-Eisen-Metalle besser selektieren, sodass keine oder nur geringe Mengen mineralischer Abfälle auf Deponien entsorgt werden. ****

Mitverbrennung

Thermische Verwertung, von überwiegend aufbereiteten, heizwertreichen Abfallstoffen, in beispielsweise Kohlekraft- und Zementwerken.*

Monoverbrennung

Verwertung in Thermischen Abfallbehandlungsanlagen, wie Müllverbrennungsanlagen, Müllheizkraftwerken und Ersatzbrennstoffkraftwerken.*

Müllverbrennungsschlacken

sind Rückstände aus den Müllverbrennungsanlagen und bestehen aus Metallen, Mineralstoffen und unverbrannten Anteilen.*

Neuschrott

Produktionsabfälle in der Industrie, die beispielsweise beim Zuschnitt und Stanzen anfallen, und nach der Aufbereitung als Neuschrott wieder eingeschmolzen werden.*

notifizierungspflichtige Abfälle

Abfälle, für die im Falle der grenzüberschreitenden Verbringung eine Notifizierungspflicht besteht. Diese basiert auf der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2006 über die Verbringung von Abfällen. Dem Verfahren der vorherigen schriftlichen Notifizierung und Zustimmung unterliegen insbesondere

- alle Abfälle, die beseitigt werden sollen,
- in Anhang IV der Verordnung aufgeführte Abfälle (dies sind insbesondere gefährliche Abfälle) und nicht gelistete Abfälle, die verwertet werden sollen.

Eine Verbringung von Abfällen muss mittels Notifizierungsformular und Begleitformular sowie weiterer erforderlicher Unterlagen bei der am Versandort zuständigen Behörde beantragt werden. Eine Verbringung ist nur zulässig, sofern die zuständigen Behörden am Versand- und Bestimmungsort sowie ggf. in Transitstaaten zugestimmt haben. ****

Öko-Audit

ist ein Verfahren, bei dem ein Betrieb freiwillig sein Umweltverhalten überprüft, verbessert und offenlegt. Kernpunkt ist der Aufbau eines Umweltinformationssystems (Umweltmanagement), das auf eine kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes abzielt. ***

Papier- und Faserschlämme

Nebenprodukte der Produktion von Papier und Kartonagen. Faserschlämme können durch thermische Behandlung energetisch oder als Zusatz beispielsweise in der Produktion von Ziegeln stofflich genutzt werden. (Quelle: www.enargus.de: Abfall aus der Papierproduktion.)

PPP-Gesellschaften

ist eine Zweckgesellschaft, bestehend aus der öffentlichen Hand und Unternehmen der Privatwirtschaft

Primärabfälle

Nicht aufbereiteter Abfall. Abfall in dem Status, in dem er sich zum Zeitpunkt seines Entstehens befindet. (Quelle: z. B. Deutsche Bundestag, 2016, Drucksache 18/10026, Gesetzesentwurf der Bundesregierung, Entwurf eines zweiten Gesetzes zur Änderung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/100/1810026.pdf>)

Primärressourcen

sind Primärrohstoffe, die unbearbeitet sind.*

Pyrolyse

ist die Bezeichnung für die thermische Spaltung chemischer Verbindungen, wobei unter Sauerstoffausschluß durch hohe Temperaturen ein Bindungsbruch innerhalb von großen Molekülen erzwungen wird. *****

R1 Faktor/Kriterium

Mithilfe einer speziellen Berechnungsmethode wird der spezifische R 1-Faktor/Kriterium einer Anlage ermittelt. Anlagen mit dem Faktor R 1 stellen ein Verwertungsverfahren dar, dessen Hauptverwendung als Brennstoff oder als anderes Mittel der Energieerzeugung gemäß Anlage 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes erfolgt.

Rebound-Effekt

Effekt, der beschreibt, dass aufgrund von Effizienzsteigerungen erreichte Einsparungen nicht zu einem in gleichem Maße geringeren Ressourceneinsatz führen, da es durch diese Einsparungen zu vermehrter Nutzung kommt. Es kann unter anderem zwischen direktem (Ausweitung der Nutzung in derselben Anwendung) und indirektem (Ausweitung der Nutzung in anderen Anwendungen) Rebound-Effekt differenziert werden. Dieser Effekt wird in seiner extremen Ausprägung (höherer Ressourceneinsatz durch Effizienzsteigerung) auch als Jevons-Paradox bezeichnet.**

Regranulat

wird aus Mahlgut über einen Schmelzprozess als Granulat gewonnen. Regranulat hat eine gleichmäßige Korngröße und keinen Staubanteil und ist problemlos verarbeitbar.*****

Rezyklat

Produkt eines Recyclingprozesses.

Rohstoffäquivalente

Maß für direkte und indirekte Stoffströme ohne versteckte Stoffströme. Bei der Berechnung wird die Masse aller über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg eingesetzten Rohstoffe einbezogen. Berücksichtigt werden dabei nur die verwerteten Rohstoffe, nicht aber die nicht verwerteten Entnahmen.**

Rohstoffverbrauch (DMI = engl.: direct material input)

ist gleichzusetzen mit dem DMI abiotisch (DMIa) für abiotische Materialien und Güter. Der Begriff berücksichtigt die Entnahmen abiotischer Rohstoffe aus der inländischen Umwelt, die Einfuhr abiotischer Güter aus dem Ausland und den Handel mit abiotischen Gütern zwischen den Bundesländern (Quelle: https://www.statistikportal.de/sites/default/files/2019-10/m_rohstoffentnahme_8.pdf)

Sekundärabfälle

Abfälle, die bereits mit dem Ziel einer bestimmten weiteren Verwendung aufbereitet wurden.

Sekundärrohstoff

Durch Recycling wiedergewonnener Rohstoff.**

Senke

Endpunkt von Stoffströmen. Im Kontext natürlicher Ressourcen wird unter Senken die Aufnahmefunktion der Natur, z. B. für Schadstoffe, verstanden.**

Sharing Economy

heißt wörtlich übersetzt „Wirtschaft des Teilens“ und bezeichnet die gemeinschaftliche Nutzung von Gütern durch Teilen, Tauschen, Leihen, Mieten oder Schenken sowie die Vermittlung von Dienstleistungen. Mehr Informationen: <https://www.bundestag.de/resource/blob/377486/21fc4300787540e3881dbc65797b2cde/sharing-economy-data.pdf>

Spuckstoffe

Reststoffe, wie Metalle und Kunststoffe aus beispielsweise Büroklammern und Kunststoffhüllen, die in der Papierproduktion aus Altpapier nicht verwendet werden. (Quelle: PTS fibre based solutions: Reststoffe der Papierindustrie 2014: Ungenutzte Biomasse?, http://www.recydepotech.at/media/153_Dornack_-_Reststoffe_der_Papierindustrie.pdf.)

Stoffkreislauf

Bezeichnung für die kreislaufförmige Stoffbewegung in Ökosystemen, die den Stoffhaushalt ausmachen und aus Auf- und Abbauprozessen bestehen. (Quelle: www.spektrum.de, Lexikon der Geowissenschaften, <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/stoffkreislauf/15738>)

stoffliche Verwertung

Direkte Verwertung verschiedener, separierter Abfallfraktionen in der Produktion neuer Produkte.*

Stoffstrom

Gerichtete Bewegung von Stoffen und Stoffgemischen. Es gibt natürliche Stoffströme wie den Nährstoffkreislauf in Ökosystemen und vom Menschen induzierte oder veränderte Stoffströme wie Rohstoffströme und Abfallströme.**

Substitutionsquote

Verhältnis von eingesetzten Sekundärrohstoffen bezogen auf die ursprünglich im Produkt eingesetzten Primärrohstoffe.*

Thermische Abfallbehandlung

Abfallbehandlung durch Verbrennung (Müllverbrennung), Vergasung oder Pyrolyse.**

Treibhausgas-Inventar

ist eine jährlich erstellte Bilanzierung der Treibhausgas-Emissionen nach international einheitlichen Vorgaben der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen.

Unterflursystem

Sammelsysteme, bei denen großvolumige Behälter teilweise oder ganz in den Untergrund eingelassen sind, sodass nur die Einwurfsäule oberirdisch sichtbar ist.*

Überlassungspflicht

Verpflichtung nach § 17 KrWG von „Erzeugern oder Besitzern von Abfällen aus privaten Haushaltungen (...), diese Abfälle den nach Landesrecht zur Entsorgung verpflichteten juristischen Personen (öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger) zu überlassen, soweit sie zu einer Verwertung auf den von ihnen im Rahmen ihrer privaten Lebensführung genutzten Grundstücken nicht in der Lage sind oder diese nicht beabsichtigen.“

werkstoffliches Recycling

Verwertung von Kunststoffabfällen, bei der die chemische Struktur sortenreiner Abfälle zu einem neuen Produkt erhalten bleibt. Somit wird ein Sekundärrohstoff für neue Kunststoffprodukte gewonnen. (Quelle: <https://www.aurora-kunststoffe.de/index.php/de/faq-haeufig-gestellte-fragen/90-werkstoffliches-recycling>)

Wiedereinsatzquote

ist ein Indikator, der zeigt, wie hoch der Sekundärrohstoffeinsatz in Bezug auf die im Kreislauf geführte Menge ist

WZ-Code

(Wirtschaftszweig-Code) ist ein 5-stelliger Code des Statistischen Bundesamtes zur einheitlichen Klassifizierung von Unternehmensaktivitäten.

Zero-Waste-Strategie

ist eine Strategie, bei der Rohstoffe nicht vergeudet und weitestgehend kein Abfall produziert werden soll.*

Zirkularitätsrate (Circular material use rate, kurz CMU)

Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe

* Prognos AG
** Glossar zum Ressourcenschutz des Umweltbundesamtes 2012
*** <https://www.umweltdatenbank.de/cms/>
**** www.umweltbundesamt.de
***** www.bmu.de
***** www.kunststoffe.de
***** www.chemie.de

Weitere Bildquellen

Seite 12: Straßenreinigung nach CSD-Parade, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Seite 14: Verpackungsmaterial, Quelle istock

Seite 16: Laubdienst mit Kleinkehrmaschine, Quelle: ASP

Seite 24: Sammlung Altpapier, Quelle: ASP

Seite 30: Sortieranlage für Kunststoffe, Quelle: REMONDIS

Seite 44: Flachglas, Quelle: Reiling

Seite 74: Baustelle ZRE, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Seite 81: Energieberg, Quelle: Stadtreinigung Hamburg

Seite 90: Hafen, Quelle: istock, Aluminiumschrott, Quelle: TSR

Seite 122: Skizzen, Quellen: Optocycle, WasteAnt, Zebrafant

Seite 160: Karosserie, Quelle: istock

Seite 161: Granulat, Quelle: istock

Abkürzungsverzeichnis

AbfVerbrG _____	Abfallverbringungsgesetz	CCU _____	Carbon Capture and utilization
AI-Act _____	EU Artificial Intelligence Act	CEA _____	Circular Economy Act
AltfahrzeugV _____	Altfahrzeugverordnung	CEC4Europe _____	Circular Economy Coalition for Europe
AltholzV _____	Altholzverordnung	CLR _____	Circular Liquid Resource
AltöIV _____	Altölverordnung	CMU _____	Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe
AöR _____	Anstalten öffentlichen Rechts	CNG _____	Compressed Natural Gas
AW _____	Abfallverzeichnis-Verordnung	CO₂ _____	Kohlendioxid
BattG _____	Batteriegesetz	CO₂e _____	Kohlendioxid-Äquivalent
BBSR _____	Bundesinstitut für Bau, Stadt und Raumforschung	CPB _____	chemisch-physikalische Behandlungsanlagen
BBodSchV _____	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung	CRF _____	Common Reporting Formats
BDI _____	Bundesverband der deutschen Industrie e.V.	CRMA _____	Critical Raw Materials Act
BGK e.V. _____	Bundesgütegemeinschaft Kompost	CSR _____	Corporate Social Responsibility
BGR _____	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	CSRD _____	Corporate Sustainability Reporting Directive
BGRB _____	Bundesgütegemeinschaft Recycling-Baustoffe e.V.	DepV _____	Deponieverordnung
BHKW _____	Blockheizkraftwerke	DERec _____	Direct Effects of Recovery
BIM _____	Building Information Modeling	DIERec _____	Direct and Indirect Effects of Recovery
BlmSchV _____	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes	DIN ISO 9001 _____	Qualitätsmanagementnorm DIN EN ISO 9001
BIP _____	Bruttoinlandsprodukt	DIN ISO 14001 _____	Umweltmanagementsystemnorm DIN EN ISO 14001
BMBF _____	Bundesministeriums für Bildung und Forschung	DK _____	Deponieklassen
BRB _____	Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe e.V.	DMI _____	Direct Material Input
BSR _____	Berliner Stadtreinigung	DPP _____	Digitaler Produktpass
BWS _____	Bruttowertschöpfung	DRI _____	Direct Reduced Iron
CCS _____	Carbon Capture and Storage	DSGVO _____	Datenschutz-Grundverordnung
		EBS _____	Ersatzbrennstoff
		EBS-Kraftwerk _____	Ersatzbrennstoff-(Heiz-)Kraftwerk
		EBV _____	Ersatzbaustoffverordnung
		ECERA _____	European Circular Economy Research Alliance

EdDE e.V. _____	Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.	GewAbfV _____	Gewerbeabfallverordnung
EfbV _____	Entsorgungsfachbetriebsverordnung	GWB _____	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen
ElektroG _____	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten	ha _____	Hektar
ELV _____	End-of-Life Vehicles Directive	HBI _____	Hot Briquetted Iron
EMAS _____	Eco-Management and Audit Scheme	HMV-Schlacken _____	Hausmüllverbrennungsschlacken
ENVI _____	Ausschuss für Umweltfragen, Volksgesundheit und Lebensmittelsicherheit (the European Parliament's Committee on Environment, Public Health and Food Safety)	IGAM _____	Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Müllverbrennungsschlacken
EoL _____	End-of-Life	IKT _____	Informations- und Kommunikationstechnik
EOL-RR _____	Beitrag der recycelten Materialien zur Rohstoffnachfrage, Recycling-Rate am Ende des Lebens	ITAD _____	Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.
EPR _____	Erweiterte Herstellerverantwortung	kg _____	Kilogramm
ERDE _____	Initiative Erntekunststoffe Recycling Deutschland	kg/(E*a) _____	Kilogramm pro Einwohner Jahr
ESM _____	Environmentally Sound Management	KI _____	Künstliche Intelligenz
ESN _____	Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Stahl- und NE-Metall-Recycling Wirtschaft e.V.	KRU _____	Ressourcenkommission am Umweltbundesamt
ESPR _____	Ecodesign for Sustainable Products Regulation	KrWG _____	Kreislaufwirtschaftsgesetz
EWKFondsG _____	Einwegkunststofffondsgesetz	KVA _____	Klärschlammmonoverbrennungsanlage
F&E _____	Forschung & Entwicklung	KWK _____	Kraft-Wärme-Kopplung
Fe-Metalle _____	Eisenmetalle	LME _____	London Metal Exchange
FEU _____	öffentlich-rechtliche Fonds, Einrichtungen und Unternehmen	LVP _____	Leichtverpackungen
FONA _____	Forschung für nachhaltige Entwicklung	MBA _____	mechanisch-biologische Abfallbehandlung
GESA _____	Gemeinsame Stelle für Altfahrzeuge der Bundesländer	MGB _____	Müllgroßbehälter
		MHKW _____	Müllheizkraftwerk
		Mio. _____	Million
		MiZa _____	Mission Zero Academy
		MVA _____	Müllverbrennungsanlage
		MW _____	Megawatt
		MWh _____	Megawattstunde
		MWp _____	Megawatt Peak

Mrd. _____	Milliarde	TASi _____	Technische Anleitung Siedlungsabfall
NE-Metalle _____	Nichteisen-Metalle	THG _____	Treibhausgas
NKWS _____	nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie	TM _____	Trockenmasse
OECD _____	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)	TS _____	Trockensubstanz
örE _____	Öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger	Tsd. _____	Tausend
PACE _____	Platform for Accelerating the Circular Economy	TWh _____	Terawattstunde
PAK _____	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe	UBA _____	Umweltbundesamt
PCB _____	polychlorierte Biphenyle	UNFCCC _____	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen
PET _____	Polyethylenterephthalat	VDI ZRE _____	nationales Zentrum Ressourceneffizienz
POP-Verordnung _____	Verordnung über persistente organische Schadstoffe	VerpackG _____	Verpackungsgesetz
PPK _____	Papier, Pappe, Karton	VgV _____	Vergabe öffentlicher Aufträge
PPP _____	öffentlich-privatwirtschaftliche Gesellschaften	VKU e.v. _____	Verband kommunaler Unternehmen
PPWR _____	Packaging and Packaging Waste Regulation	VOB _____	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
ProgRess _____	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm	VOL _____	Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen
PV-Anlagen _____	Photovoltaik-Anlagen	WEEE-Richtlinie _____	Richtlinie 2012/19/EU des europäischen Parlaments und Rates über Elektro- und Elektronik-Altgeräte
REA-Gips _____	Rauchgasentschwefelungsanlagen Gips	WZ_Code _____	Wirtschaftszweig-Code
RETech _____	German RETech Partnership	ZAST _____	Zweckverband für Abfallwirtschaft Südwestthüringen
RIR _____	Recycled Input Rate	ZKS _____	Zentrale Koordinierungsstelle
SAV _____	Sonderabfallverbrennung	ZRE _____	Zentrum für Ressourcen und Energie
SUPD _____	Single-Use Plastics Directive	ZSVR _____	Zentrale Stelle Verpackungsregister
svB _____	sozialversicherungspflichtig Beschäftigte		
TAB _____	Thermische Abfallbehandlungsanlagen		

Herausgeber



kooperativ
zirkulär
handeln

Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e.V.

Westring 10
59320 Ennigerloh
Tel.: +49 2524 9307180
info@asa-ev.de
www.asa-ev.de



Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V.

Berliner Allee 57
40212 Düsseldorf
Tel.: +49 211 828953-0
zentrale@bdsv.de
www.bdsv.de



BDE

Kreislauf. Wirtschaft. Zukunft.

Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser und Kreislaufwirtschaft e.V.

Behrenstraße 29
10117 Berlin
Tel.: +49 30 5900335-0
info@bde.de
www.bde.de



BVA
BUNDESVERBAND
ALTÖL E.V.

BVA Bundesverband Altöl e.V.

Jägerstraße 6
10117 Berlin
Tel.: +49 30 23321507
info@bva-altoelrecycling.de
www.bva-altoelrecycling.de



Bundesverband deutscher Sonderabfallverbrennungsanlagen e.V.

Speicker Str. 2
41061 Mönchengladbach
Tel.: +49 511 76088461
www.bdsav.de



Bundesverband Sekundärrohstoffe
und Entsorgung e. V.

Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.

Fränkische Straße 2
53229 Bonn
Tel.: +49 228 98849-0
info@bvse.de
www.bvse.de



**BAUSTOFF
RECYCLING
BAYERN**

Baustoff Recycling Bayern e.V. München

Geschäftsstelle Pfaffenhofen a.d. Ilm
Löwenstraße 2
85276 Pfaffenhofen a.d. Ilm
Tel.: +49 8441 788209-0
info@baustoffrecycling-bayern.de
www.baustoffrecycling-bayern.de



**RESSOURCEN
NEU
DENKEN.**

Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft e.V.

Von-der-Heydt-Straße 2
10785 Berlin
Tel.: +49 30 84591477
info@dgaw.de
www.dgaw.de

INSTITUT FÜR
BAUSTOFF
FORSCHUNG

FEHS

Institut für Baustoff-Forschung e.V.

Bliersheimer Str. 62
47229 Duisburg
Tel.: +49 2065 99450
fehs@fehs.de
www.fehs.de

inwesD

Interessengemeinschaft Deutsche Deponiebetreiber

**Interessengemeinschaft
Deutsche Deponiebetreiber e.V.**

Am Coloneum 4
50829 Köln
Tel.: +49 221 7170151
info@inwesd.de
inwesd.de

ITAD

**Interessengemeinschaft der
Thermischen Abfallbehandlungs-
anlagen in Deutschland e.V.**

Peter-Müller-Straße 16 a
40468 Düsseldorf
Tel.: +49 211 9367609-0
info@itad.de
www.itad.de

IFAT

**Weltleitmesse für Wasser-,
Abwasser-, Abfall- und Rohstoff-
wirtschaft**

81823 München
Tel.: +49 89 94920720
newsline@messe-muenchen.de
www.ifat.de



VDMA
Abfall- und Recyclingtechnik

**Verband Deutscher
Maschinen- und Anlagenbau e.V.**

Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt am Main
Tel.: +49 69 6603-0
info@vdma.org
www.vdma.org



**Verband Deutscher
Metallhändler
und Recycler e.V.**

**Verband Deutscher
Metallhändler und Recycler e.V.**

Hedemannstraße 13
10969 Berlin
Tel.: +49 30 2593738-0
vdm@vdm.berlin
www.vdm.berlin

VHI

Verband der Holzwerkstoff-
und Innentürenindustrie e.V.

**Verband der Deutschen
Holzwerkstoffindustrie e.V.**

Schumannstraße 9
10117 Berlin
Tel.: +49 30 28091250
vhimail@vhi.de
www.vhi.de

V&U

VERBAND KOMMUNALER
UNTERNEHMEN e.V.
ABFALLWIRTSCHAFT
UND STADTREINIGUNG VKU[®]

**Verband kommunaler
Unternehmen e.V.**

Invalidenstraße 91
10115 Berlin
Tel.: +49 30 58580-0
info@vku.de
www.vku.de

Impressum

Bearbeitung

Prognos AG

Werdener Straße 4
40227 Düsseldorf
Tel.: +49 211 91316-110
info@prognos.com
www.prognos.com

Patrick Bechhaus
Dr. Bärbel Birnstengel
Madeleine Brodka
Marieke Eckhardt
Nico Dietzsch
Dr. Jochen Hoffmeister
Philipp Hutzenthaler
Dr. Georg Klose
Jannis Lambert
Yanik Moldt
Robert Norpoth
Hendrik Schramm
Nadja Schütz
Fenja Wittek

INFA GmbH

Beckumer Straße 36
59229 Ahlen
Tel.: +49 2382 964-500
info@infa.de
www.infa.de

Matthias Adloff
Jakob Breer
Julika Deveaux
Prof. Dr. Klaus Gellenbeck
Markus Gieske
Dr. Niklas Heller
Guido Keil
Rüdiger Reuter
Manfred Santjer
Cara Schweer

INZIN e.V.

Werdener Straße 4
40227 Düsseldorf
Tel.: +49 211 91316-163
institut@inzin.de
www.inzin.de

Carina Diemel
Prof. Dr. Martin Faulstich
Dr. Ewa Harlacz
Daniel Ohl
Konstantin Saure
Klara Theobald

Layout, Satz und Bildauswahl

TafelmitKollegen KG

c/o eobiont
Immanuelkirchstraße 3-4
10405 Berlin
Tel.: +49 30 99 28 615-0
service@tafelmitkollegen.de
www.tafelmitkollegen.de

Breer visuelle Kommunikation

Friedrichstr. 81
45525 Hattingen
Tel.: +49 172 2808618
ralfbreer@t-online.de

Druck

LUC GmbH

Ludgeristraße 13
59379 Selm

Copyright 2026

Kreislaufwirtschaft als Wettbewerbsvorteil.

Willkommen auf der IFAT Munich – Solutions for Water,
Recycling and Circularity

Vom Abfall zur Ressource: Auf der IFAT Munich erleben Unternehmen, wie Kreislaufwirtschaft zum Wachstumstreiber wird – mit smartem Materialmanagement, Digitalisierung oder automatisierter Sortiertechnik. So lassen sich Kosten senken, CO₂ vermeiden und Lieferketten sichern. Kreislaufwirtschaft wird hier nicht diskutiert – sie wird gemacht. International. Innovativ. Industrietauglich.

4.–7. Mai 2026 | Messe München
Jetzt Ticket sichern: ifat.de



ifat.de

IFAT
Munich