

05.25

57. Jahrgang
Mai 2025
Seite 249-312

www.MUELLundABFALL.de

Müll und Abfall

Fachzeitschrift
für Kreislauf-
und Ressourcen-
wirtschaft

Energiebündel für die Praxis

ESV DIGITAL
Die Contentplattform

ESV-Digital
Recht für
Energieprojekte



Souverän und rechtssicher projektieren:
Mit einer laufend erweiterten Datenbank,
die juristische Aspekte aktueller Energie-
projekte fachübergreifend adressiert.

Testen Sie 4 Wochen gratis



www.ESV-Digital.de/Energieprojekte



Kunststoffrecht plastisch



Kunststoffrecht Gesamtkommentar

Hrsg. von **Gregor Franßen**, EMLE, Rechtsanwalt und Partner bei Franßen & Nusser Rechtsanwälte, Düsseldorf, und **Prof. Dr. Walter Frenz**, Maître en Droit Public, Professor für Berg-, Umwelt- und Europarecht an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

2025, 818 Seiten, inkl. Zugang zu einem digitalen Add-on, fester Einband, € 148,-,
ISBN 978-3-503-21289-7

eBook: € 134,90. ISBN 978-3-503-21290-3

Von der Herstellung über die Kreislaufführung bis zur Entsorgung: Dieser prägnante Gesamtkommentar veranschaulicht Ihnen alle **speziell auf Kunststoffprodukte bzw. Kunststoffabfälle bezogenen Bestimmungen**. Konsequenterweise lösungsorientiert finden Sie hier u. a.:

- ▶ **praxisnahe Erläuterungen** der EU-Einwegkunststoffrichtlinie und des nationalen Rechts (EWKVerbotsV, EWKKennzV, EWKFondsG)
- ▶ eine instruktive **Einführung in die neue EU-Kunststoffabgabe**
- ▶ **informative Beiträge** zu den Themen Mikroplastik, grenzüberschreitende Abfallverbringung sowie zum Rechtsrahmen für das Recycling von Kunststoffen (Normen für Kunststoffzyklate, kreislaforientiertes Nachhaltigkeitsmanagement)
- ▶ **verständnisförderndes Hintergrundwissen** zu den europa- und verfassungsrechtlichen Grundlagen

Auch **Implikationen des Klimaschutzrechts** sind dabei durchgehend berücksichtigt.

Inklusive Add-on mit zusätzlichen Inhalten

Ein digitales Add-on bietet zudem eine Kommentierung der **spezifischen Regelungen im VerpackG** sowie einen Beitrag zum **Abfallende für recycelte Kunststoffabfälle**.



Online informieren
und versandkostenfrei bestellen:
www.ESV.info/21289



Versprochen! Zum eBook finden wir für Sie immer die richtige Lösung.

(030) 25 00 85 - 150

ESV-Lizenzen@ESVmedien.de

Bestellungen bitte an den Buchhandel oder
Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG
Genthiner Str. 30 G · 10785 Berlin
Tel. (030) 25 00 85-265
Fax (030) 25 00 85-275
ESV@ESVmedien.de · www.ESV.info

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG

Auf Wissen vertrauen

Europa nach 2030

Die Entwicklung der Abfallwirtschaft zum industriellen Standortfaktor

Europe after 2030

The development of waste management into an industrial location factor

Dr.-Ing. Alexander Gosten, Prof. Dr.-Ing. Robert Holländer, Dr. Beate Kummer, Prof. Dr. habil. Uwe Lahl, Prof. Dr.-Ing. Peter Quicker, Dr. Dirk Reichert und Dr. Barbara Zeschmar-Lahl

Zusammenfassung

Mit dem gestiegenen Lebensstandard und der parallel angewachsenen Kunststoff-Flut der 1960er Jahre gewann auch das Abfallthema an Bedeutung. In den 1970er Jahren stand der Übergang von der wilden „Kippe“ zur geordneten Deponie als Priorität ganz oben. 1986 wurden mit dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) die Prioritäten erweitert.

Hierarchie und Prioritäten haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass die Regelungen immer komplexer geworden sind. Die Aufgabe für die neue Legislatur in Deutschland bzw. der EU lautet u.E. daher: Komplexität reduzieren, ohne die wichtigen Regelungsziele aufzugeben! Nur wenn wir prioritäre Ziele regulatorisch möglichst schlank und wirkungssicher erreichen, werden wir unter den aktuellen gesellschaftlichen Randbedingungen Erfolg haben.

Erfahrungen aus der Normsetzung im Umweltbereich lehren uns, dass wir in der Vergangenheit dann schlank und wirkungssicher waren, wenn eine Regelung ganz weit vorn an den Ursachen der Probleme angesetzt hat. Darüber hinaus waren wir dann erfolgreich, wenn die Instrumente kombiniert waren, sodass für den Regelungsadressaten neben der ordnungsrechtlichen Vorgabe auch ein wirtschaftlicher Antrieb zur Normerreichung vorhanden war („well-designed policy mixes“).

Wir haben daher in zehn Handlungsfeldern ressourcenpolitische und abfallwirtschaftliche Prioritäten analysiert und Eckpunkte bestimmt, von denen wir glauben, dass sie den Industriestandort Europa weiterbringen können. Wir haben uns hierbei auf Kunststoffe und Biomasse konzentriert, weil hier wichtige nicht-fossile Kohlenstoffquellen (renewable carbon) für die Industrie in Europa erschlossen werden können.

Abstract

After almost 40 years of amendments to the existing Waste Management and Circular Economy Act, it is time to reprioritise legislation in the coming German and European legislative periods in order to combine the aspects of resources, climate neutrality, environmental impact and Europe as a business location.

The development or transformation of waste management can make an important contribution to maintaining Europe as an industrial location.

To achieve this, the existing legal framework, which begins with the last user's ‚will to dispose‘ of a product, must be changed. The structures, terminology and objectives of the relevant laws must be redefined and adjusted.

To this end, ten priority fields of action with concrete implementation proposals and regulatory recommendations for political and social decision-makers are presented. It not only explains why the carbon cycle is a leading factor for the further development of waste management and Europe as a business location, but also which regulatory levers should be activated.

1. Zehn Prioritäten für die kommenden Legislaturperioden

Mit dem gestiegenen Lebensstandard und der parallel angewachsenen Kunststoff-Flut der 1960er Jahre gewann auch das Abfallthema an Bedeutung. In den 1970er Jahren stand der Übergang von der wilden „Kippe“ zur geordneten Deponie als Priorität ganz oben. 1986 wurden mit dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) die Prioritäten erweitert, damals noch dreistufig: 1. Vermeidung, 2. Verwertung, 3. Beseitigung. Mit Umsetzung der europäischen Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG [1] in deutsches Recht als Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG, 2012) wurde die Abfallhierarchie um weitere Stufen ergänzt: 1. Vermeidung, 2. Vorbereitung zur Wiederverwendung, 3. Recycling, 4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung, 5. Beseitigung. Recycling war dabei auf das werkstoffliche Recycling¹ eingeeengt.

Hierarchie und Prioritäten haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass die Regelungen immer komplexer geworden sind. Die Aufgabe für die neue Legislatur in Deutschland bzw. der EU lautet u.E. daher: Komplexität reduzieren, ohne die wichtigen Regelungsziele aufzugeben! Nur wenn wir prioritäre Ziele regulatorisch

Dr.-Ing. Alexander Gosten
DGAW e.V., Berlin

Prof. em. Dr.-Ing. Robert Holländer
Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Universität Leipzig

Dr. Beate Kummer
Christ & Company GmbH & Co. KG, Berlin

Prof. Dr. rer. nat. habil. Uwe Lahl
BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH, Oyten

Prof. Dr.-Ing. Peter Quicker
Leiter des Lehr- und Forschungsgebiets Technologie der Energierohstoffe, RWTH Aachen University

Dr. Dirk Reichert
DESOTEC, Roeselare (Belgien)

Dr. Barbara Zeschmar-Lahl
BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH, Oyten

¹ In diesem Beitrag verwenden wir für Kunststoffe den Recyclingbegriff, der die stoffliche Nutzung von der energetischen Nutzung unterscheidet. Das stoffliche Recycling kann werkstofflich (synonym: mechanisch) oder rohstofflich (synonym: chemisch) erfolgen.

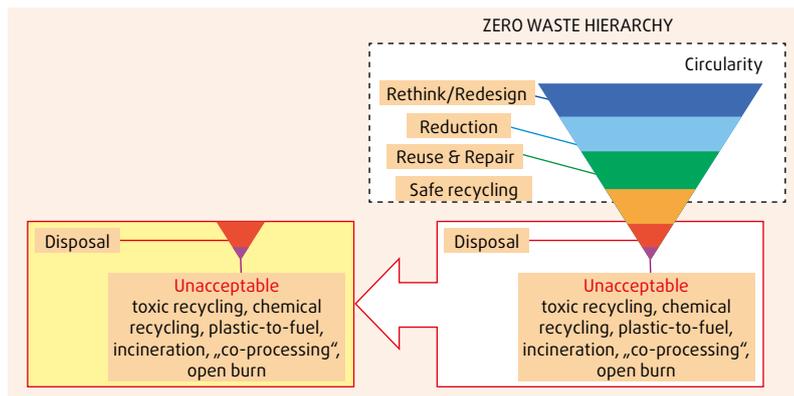


Abbildung 1
„Zero Waste“ Hierarchie (GAIA [10], verändert)

risch möglichst **schlank** und **wirkungssicher** erreichen, werden wir unter den aktuellen gesellschaftlichen Randbedingungen Erfolg haben [2].

Darüber hinaus waren wir dann erfolgreich, wenn die Instrumente flexibel kombiniert waren, sodass für den Regelungsadressaten neben der **ordnungsrechtlichen Vorgabe** auch ein **wirtschaftlicher Antrieb** zur Normerreicherung vorhanden war („well-designed policy mixes“ [3]).

Wir werden daher im Folgenden zehn abfallwirtschaftliche Prioritäten analysieren und Eckpunkte bestimmen, von denen wir glauben, dass sie den Industriestandort Europa weiterbringen können. Wir haben uns hierbei auf **Kunststoffe** und **Biomasse** konzentriert, weil hier wichtige nicht-fossile Kohlenstoffquellen (renewable carbon) für die Industrie in Europa erschlossen werden können [4, 5, 6, 7].

2. Priorität 1: Abfallvermeidung muss bei der Produktion ansetzen

2.1 Vermeidung ist bisher gescheitert

Es wird, seitdem wir in der Abfallwirtschaft über Prioritäten diskutieren, die Abfallvermeidung auf Platz 1 gesetzt. Trotz dieser Priorität gab es in den letzten beinahe 50 Jahren keine Fortschritte auf diesem Feld, nur Rückschritte. Die Abfallmengen, insbesondere Kunststoffabfälle, sind stetig gestiegen. Daher muss man über Gründe für diesen Misserfolg sprechen. Ein Grund dafür ist u.E., dass regelmäßig zu weit hinten in der Ursachenkette angesetzt wurde – so etwa das Konzept, Verpackungen zu verteuern, um ihren Einsatz zu reduzieren. So wurde die deutsche Verpackungsverordnung (Verordnung zur Vermeidung von Verpackungen) Anfang der 1990er Jahre politisch und juristisch begründet [8]. Aber auch die EU konnte Jahre später diesem Begründungsmuster nicht widerstehen [9].

2.2 Der Weg über die „Rs“

Ein viel beachtetes Konzept, um die Abfallflut abzu-bremsen, ist international unter dem Namen ‚Zero Waste‘ bekannt geworden. Abbildung 1 nach GAIA² zeigt ‚Zero Waste‘ schematisch mit der absoluten Priorität auf Vermeidung [10]. Fachlich wird die Abfallver-

meidung über die folgenden ‚Rs‘ spezifiziert: Rethink, Redesign, Reduction, Reuse & Repair³. Der deutsche Sachverständigenrat für Umweltfragen hat unlängst drei weitere ‚Rs‘ hinzugefügt (Refurbish, Remanufacture, Repurpose) [11].

Diese ‚Rs‘ setzen weiter vorne an als die Verpackungsregelungen, wirken aber nicht automatisch. Man muss sie also implementieren, und das führt dann zu dem ‚Wie‘ der Implementierung und zu einer entscheidenden Erkenntnis: Die Instrumente der Abfallwirtschaft greifen hier nicht. Die ‚Rs‘ richten sich an die Wirtschaft und die dortigen Akteure. Wird man noch konkreter, muss man über Eingriffe in die Produktion nachdenken. Man wird eine Gesetzgebung benötigen, die ein umfassendes Regime von Eingriffen in die Produktion zur Implementierung der ‚Rs‘ etabliert. Die Produkte sind aber nur die eine Seite der Medaille. Man wird auch Regulationen zum Konsum benötigen. Weil die Realität mit all ihren Produkten, Dienstleistungen und Entwicklungen sehr vielfältig ist, wird die Implementierung der ‚Rs‘ am Ende ebenfalls vielfältig und sehr kleinteilig ausfallen müssen. Wir landen dann in einer komplexeren Welt, in der staatliche Bürokratien Produktion und Konsum regeln – keine schöne Vorstellung. Es verwundert daher nicht, dass man die ‚Rs‘ zumeist sehr abstrakt diskutiert, wenn es um die Umsetzung geht.

2.3 Der Weg über Reduzierung und Obergrenzen

Ein anderer Weg zu mehr Vermeidung wäre eine Obergrenze für den Ressourcenverbrauch. Obergrenzen können entweder für einen Staat festgelegt werden, oder pro Einwohner (per capita). Derartige Obergrenzen sind für viele Sachbereiche denkbar: Energie, Emissionen, Stoffe.

Die Fixierung von Obergrenzen setzt ebenfalls weit vorn in der Ursachenkette an: beim ungebremsten Rohstoffverbrauch. Globale Systemgrenzen werden hier mittlerweile überschritten [12]. Über die Hälfte der Emissionen an Klimagasen stehen im engen Zusammenhang mit der Rohstoffbeschaffung und -verarbeitung für unseren Konsum [13]. So hat sich die Kunststoffproduktion weltweit seit den 1960er Jahren verzwanzigfacht und im Jahr 2015 einen Umfang von 322 Mio. Mg erreicht. „In den kommenden 20 Jahren ist eine weitere Verdoppelung zu erwarten“ – so die EU-Kommission in ihrer Kunststoff-Strategie von 2018 [14]. Vergleichbare Entwicklungen prognostiziert auch die OECD in ihrem Global Plastic Outlook von 2022 [15].

Setzen Europa oder Deutschland bei der Ressourcenfrage auf Obergrenzen oder Reduktion? Ziel der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie ist beispielsweise ein „stetiges und angemessenes Wirtschaftswachstum“ ([16], SDG 8.4). Das Ziel für den Indikator Gesamtrohstoffproduktivität⁴ (SDG 8.1) lautet: Beibehaltung des Trends der Jahre 2000–2010 [16]. Gegenwärtig befindet

3 Auch: refuse, reduce, reuse, repurpose, recycle, oder: refuse, rethink, reduce, reuse, repair, recycle

4 „Der Indikator Gesamtrohstoffproduktivität setzt den Wert aller an die letzte Verwendung abgegebenen Güter (in Euro, preisbereinigt) in Relation zur Masse der für ihre Produktion im In- und Ausland eingesetzten Rohstoffe (in Tonnen). Die letzte Verwendung umfasst dabei sowohl inländischen Konsum und inländische Investitionen als auch den Export.“ [16, S. 228]

2 „GAIA is a network of grassroots groups as well as national and regional alliances representing more than 1000 organizations from 92 countries. We envision a just, zero waste world built on respect for ecological limits and community rights, where people are free from the burden of toxic and plastic pollution, and resources are sustainably conserved, not burned or dumped.“ [10]

sich Deutschland ökonomisch in einer tiefgreifenden Krise, weil die Wirtschaft nicht wachsen will, sondern sogar schrumpft. Unter dem Blickwinkel des Ressourcenverbrauchs würde man zu einer positiven Bewertung kommen, denn „Verringerung der Stoffströme“ ist Abfallvermeidung [17].

2.4 Wachstum trotz Obergrenzen?

Kunststoffe sind ein gutes Beispiel, um strategisch die Frage zu stellen, wie man aus der Zwickmühle zwischen Wirtschaftswachstum und Ressourceneinsparung herauskommt: Bei gleichbleibendem (oder steigendem) Verbrauch an Kunststoffen könnte eine Reduzierung von ‚virgin plastic‘ durch Recycling, also durch Hochfahren der Kreislaufwirtschaft, erreicht werden.

Methodisch kann eine gesamte oder sektorale Obergrenze für den Verbrauch von Kunststoffen anhand der Summe aus ‚virgin plastic‘ und Rezyklaten berechnet werden. Derartige Regelungen wären schlanker als beispielsweise die ordnungsrechtliche Umsetzung der ‚Rs‘. Die Kunststoff-Strategie der Kommission von 2018 [14] enthält **keine** derartigen Obergrenzen. Die regelungspolitische Diskussion zu Obergrenzen fand zuletzt auf UN-Ebene im Rahmen des seit 2022 verhandelten Kunststoff-Abkommens (Global Plastics Treaty) statt [18], hier aber für ‚virgin plastic‘ ohne Rezyklate. NGOs wie Greenpeace schlugen konkret eine Reduktion des Kunststoffverbrauchs um 75% bis 2040 vor [19]. Ölförderstaaten wie Saudi-Arabien und Russland sprachen sich hingegen vehement gegen Produktionsobergrenzen aus. Letztlich konnten sich die mehr als 170 Länder nicht auf eine gemeinsame Position verständigen. Die Verhandlungen sollen im August 2025 in Genf fortgesetzt werden (INC-5.2) [20].

Die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) [21] der deutschen Bundesregierung enthält keine Obergrenze für Kunststoffe, sondern setzt am Verbrauch von Primärrohstoffen insgesamt an. Sie formuliert ein Reduktionsziel bis 2045 für Deutschland für den Rohstoffeinsatz für Konsum und Investitionen (Raw Material Consumption, RMC)⁵, auch „Rohstofffußabdruck“ genannt, auf 8 Mg pro Kopf und Jahr (Ausgangswerte 2021: Deutschland: 15,3 Mg/Kopf; globaler Mittelwert: 12,6 Mg/Kopf). Rein rechnerisch wird die Ressourcen-Obergrenze der NKWS durch eine etwa hälftige Deckung des Rohstoffverbrauchs aus Rezyklaten erreicht. Explizite regulatorische Vorschläge zur Implementierung dieser Obergrenze werden in der NKWS nicht gemacht.

2.5 Abfallvermeidung über den Preis

Regulatorisch können Reduzierungen auch über die Ökonomie gesteuert werden. Man könnte über den Preis den Konsum abschwächen, insbesondere auf den Handlungsfeldern, wo lokale oder planetare Grenzen [22, 23] überschritten werden. Man würde Produkte gezielt verteuern, damit weniger konsumiert wür-

den. Was umweltpolitisch schlank und zielorientiert klingt, ist eine sozialpolitisch schwer vorstellbare Konzeption. Denn das Beispiel der deutschen Verpackungsverordnung zeigte, dass Wirkungen eine **merkliche** Verteuerung voraussetzen. Derartige Teuerungen werden aber insbesondere einkommensschwache Bevölkerungsgruppen treffen.

2.6 Regulatorische Empfehlung

Wichtig ist uns, das Thema Abfallvermeidung ehrlich zu diskutieren: Abfallvermeidung ist primär Wirtschaftspolitik. Die „Rs“ führen in eine Komplexitätsfalle. Auch Innovationen werden nicht helfen, die Zwickmühle zwischen Wachstum und Nicht-Wachstum vollständig aufzulösen.

In Deutschland hat der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) kürzlich die hohe Bedeutung des Themas betont [11]. Der SRU beschreibt hier aber auch die politischen Schwierigkeiten, regulatorisch in Fragen des individuellen Lebensstils eingreifen zu wollen. Am Ende der Untersuchung des SRU steht eine „Einladung zur Diskussion“.

Wir schlagen vor, das geplante globale Kunststoff-Abkommen (UN plastic treaty [24]) schnellstmöglich zu verabschieden und in diesem Rahmen über eine Obergrenze der globalen Kunststoffproduktion zu entscheiden („restriction of plastic production“).

Wir werden in den folgenden neun Kapiteln auch über die Notwendigkeit von Investitionen für die real anfallenden Abfälle sprechen. Investitionen in Anlagentechnik für diese Abfälle werden regelmäßig mit dem Argument abgelehnt, dass sie das Ausschöpfen der Potenziale der Abfallvermeidung verhindern oder diese sogar konterkarieren. Wie hier dargestellt wird Abfallvermeidung nicht durch Instrumente der Abfallwirtschaft erreicht. Daher sticht das Argument nicht. Und die unbefriedigende Lage in der Abfallwirtschaft weltweit ist primär durch nicht getätigte oder verhinderte Investitionen entstanden.

3. Priorität 2: Beendigung der Deponierung von verwertbarem Kohlenstoff (Renewable Carbon)

3.1 Ausgangslage

In einigen EU-Ländern dominiert noch immer das Deponieren von unbehandelten Siedlungsabfällen. Weltweit ist die Deponierung – auf sehr unterschiedlichem technischem Niveau – die mit Abstand vorherrschende Entsorgungsvariante der Abfallwirtschaft.

Nach dem ‚Zero Waste‘-Konzept (siehe Abbildung 1) wird von allen Beseitigungstechniken nur die Deponierung von Abfällen akzeptiert. Hierin liegt die politische Gefährlichkeit dieses Konzepts, denn damit werden die Deponierung von kohlenstoffreichen Abfällen global zementiert und bessere Technologien als überflüssig oder nicht akzeptabel positioniert.

Warum ist die Deponierung von unbehandelten, kohlenstoffreichen Siedlungsabfällen ein Umweltproblem? Der organische Kohlenstoff (Abfall-Biomasse, insbesondere Vegetabilien) im Haus- bzw. Siedlungsabfall wird auf Deponien über einen längeren Zeitraum beinahe vollständig biologisch abgebaut. Da der Abbau

⁵ „Der Indikator Rohstoffeinsatz für Konsum und Investitionen ... setzt sich zusammen aus der inländischen Rohstoffentnahme und den direkten und indirekten Importen umgerechnet in Rohstoffäquivalente abzüglich der Rohstoffäquivalente, die für die Herstellung exportierter Güter aufgewendet werden.“
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-rohstoffkonsum#welche-bedeutung-hat-der-indikator>

im Deponiekörper hauptsächlich anaerob erfolgt, wird Methan gebildet und emittiert. Methan ist gegenüber CO₂ deutlich klimaschädlicher, sein Treibhausgaspotenzial (GWP) ist, auf einen Zeitraum von 20 Jahren bezogen, 84-mal, auf 100 Jahre bezogen, 28-mal so hoch wie das von CO₂ [25, S. 87].

In Entwicklungsländern ist der Anteil an Abfall-Biomasse im Siedlungsabfall in der Regel höher als in wohlhabenderen Ländern, was in Kombination mit unkontrollierter Ablagerung oder einer nicht vorhandenen Gaserfassung auf der Deponie die Treibhausgasemissionen sehr hoch ausfallen lässt. In diesen Ländern gibt es regelmäßig auch keinen Schutz vor Emissionen ins Grund- und Oberflächenwasser (wie Abdichtung, Sickerwasserfassung). So werden Schadstoffe ausgelaugt und können ungehindert in die Umwelt gelangen.

3.2 Situation in der Europäischen Union

In der EU müssen Deponien einen definierten technischen Mindeststandard aufweisen. Aber selbst gesicherte Deponien (sanitary landfills) sind weiterhin ein wichtiger Klimasünder in der Abfallwirtschaft. Laut einer Studie von Prognos und CE Delft können die größten Emissionseinsparungen in der Abfallwirtschaft der EU durch eine verminderte Deponierung der in Siedlungsabfällen enthaltenen kohlenstoffhaltigen Abfallstoffe wie Vegetabilien, aber auch Papier und Karton erzielt werden. Dies würde für 2035 eine Emissionsreduzierung von bis zu 120 Millionen Mg CO₂-Äq. bedeuten [26]. Eine vollständige Beendigung der Deponierung würde eine noch höhere Reduzierung der Treibhausgasemissionen bewirken.

2021 wiesen neun der 27 Mitgliedstaaten mit insgesamt rund 105 Millionen Einwohnern – das ist knapp ein Viertel der EU-Bevölkerung – immer noch Deponierungsraten für Siedlungsabfälle von über 50 % auf (Malta: 85 %, Griechenland: 78 %, Rumänien: 76 %, Zypern: 62 %, Kroatien: 58 %, Portugal: 53 %, Lettland: 52 %, Spanien: 52 %, Ungarn: 51 %) [27]. Bereits 2019 hat die High-Level Group on Energy-Intensive Industries bei der EU-Kommission in ihrem Masterplan zur Transformation energieintensiver Industrien gefordert: „Enforce EU ban on landfilling of recoverable and recyclable materials“ [28, S. 50].

Regulatorisch wird sich in der geltenden EU-Deponierichtlinie **bemüht**, dass ab 2030 Abfälle, die recycelt oder anderweitig verwertet werden können (insbesondere Siedlungsabfälle), nicht mehr auf Deponien angenommen werden [29, 30]. Die Mitgliedsstaaten sollen demnach alle erforderlichen Maßnahmen ergreifen, damit 2035 nicht mehr als 10 % des Siedlungsabfallaufkommens deponiert wird. Diese Regelung kann, wie in der EU-Richtlinie 2018/850 [29] vorgesehen, um weitere fünf Jahre für jene Mitgliedsstaaten verlängert werden, die 2013 mehr als 60 % ihres Siedlungsabfallaufkommens deponiert haben (trifft zu auf Polen, Ungarn, Estland, Slowakei, Malta, Zypern, Rumänien und Griechenland [31]).

3.3 Regulatorische Empfehlung

Regulatorisch wäre für die EU das verbindliche Setzen eines Enddatums für das Deponieren von unbe-

handelten⁶ Siedlungsabfällen notwendig. 2035 ist ein Datum, das ambitioniert, aber nicht unrealistisch ist⁷. Dies würde durch eine **Verschärfung der EU-Deponierichtlinie** zu erreichen sein, in der der Zielwert von maximal 10 % auf null gesetzt werden müsste und Abweichungen hiervon nicht mehr zulässig wären.

Die Beendigung der Deponierung in der EU ist regulatorisch mit einem **Verbot des Exports von Siedlungsabfällen, Sortierfraktionen, gemischten Kunststoffabfällen, Abfall-Biomassen** und anderen kohlenstoffreichen Abfällen zu verbinden. Die EU hat die diesbezüglichen Änderungen am Basler Übereinkommen mit der Verordnung (EU) 2024/1157 umgesetzt [32]. Da aber die Gefahr bestand, dass unter dem Deckmantel „Recycling“ weiterhin Abfälle aus Europa migrieren, wurde kürzlich das Exportverbot weiter verschärft. Ein **generelles Exportverbot** für Siedlungsabfälle und Sortierfraktionen tritt hiernach zum 21. Mai 2027 in Kraft.

4. Priorität 3: Rohstoffversorgung klimaneutral sicherstellen

4.1 Ausgangslage

Die aktuelle Weltlage zeigt, welche Priorität die Sicherheit der Rohstoffversorgung für entwickelte Volkswirtschaften zwischenzeitlich eingenommen hat.

4.2 Erneuerbare Energien benötigen seltene Metalle

Die hier vorgeschlagenen Prioritäten in der Abfallwirtschaft setzen den Einsatz von erneuerbaren Energien (kurz EE) voraus (siehe insbesondere Kapitel 5). Nur über eine ausreichende Versorgung mit EE wird die neue Kohlenstoffwirtschaft klimaneutral erreichbar sein. Ressourcenpolitisch wird dieser Weg allerdings in eine ‚Knappheit‘ strategisch wichtiger Metalle führen, weil viele der benötigten Technologien auf seltene Metalle zurückgreifen müssen, für die es in Deutschland bzw. der EU kaum nennenswerte natürliche Vorkommen gibt.

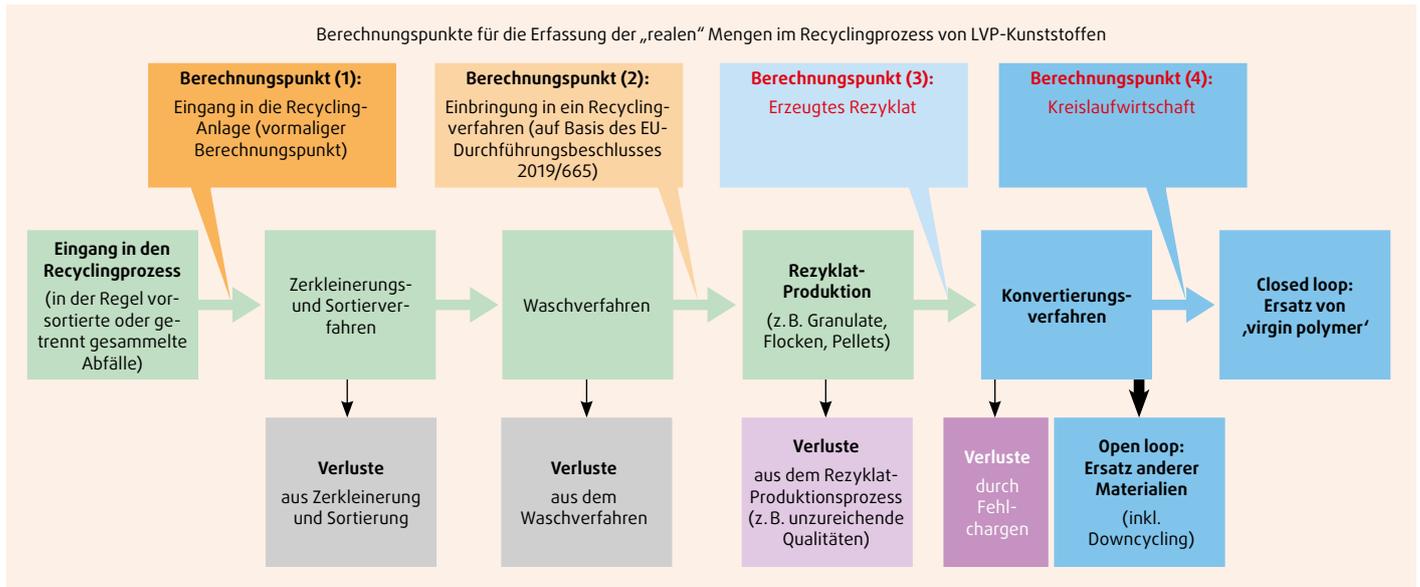
Die EU hat mit dem Critical Raw Materials Act (CRMA) [33] begonnen, sich diesem Thema zu stellen. Bis 2030 sollen hiernach 25 % des Bedarfes der EU an kritischen Rohstoffen durch Recycling gedeckt werden.

4.3 Substitution von fossilem Kohlenstoff

Abbildung 2 aus [34] zeigt, wo beim Kunststoffrecycling (und beim Recycling anderer organischer Rohstoffe) Prioritäten bestehen. In der Vergangenheit wurden hohe Recyclingquoten über die Art der statistischen Berechnungen erreicht, so etwa die Berechnungspunkte (1) oder (2) [35]). Der Berechnungspunkt (3) erfasst die erzeugten Rezyklatmengen. Die erzeugten Rezyklate können hochwertig oder minderwertig

6 Was ist *unbehandelter* Siedlungsabfall? In Deutschland hat man dies über den TOC/Heizwert (H_o) und einen Grenzwert der organischen Restaktivität des Deponieguts geregelt, um die Methanbildung im Deponiekörper zu reduzieren.

7 2035 gelten auch andere einschneidende Verbote: <https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20221019STO44572/verkaufsverbot-fur-neue-benzin-und-dieselfahrzeuge-ab-2035-was-bedeutet-das>



tig eingesetzt werden. Nur der Berechnungspunkt (4) würde einen Ersatz von Neumaterial durch Rezyklate erfassen (Substitution)⁸.

2021 lag die EU-weite Quote nach Berechnungspunkt (2) für Kunststoffverpackungen bei rund 40 %, in Deutschland sogar bei beinahe 50 % [36]. Für Berechnungspunkt (3) oder (4) gibt es keine veröffentlichten Zahlen. In der Regel werden Rezyklate aus dem Verpackungsbereich nicht hochwertig zur Substitution von ‚virgin plastic‘ eingesetzt, sondern werden als Füllstoff zugemischt oder zu Produkten verarbeitet, wo ansonsten Holz oder Zement eingesetzt würde. Daher gehen wir davon aus, dass die Substitution im Verpackungsbereich (Berechnungspunkt 4) heute bei unter 10 %, vielleicht nur bei 5 % liegen wird, wobei das PET-Flaschenrecycling den wesentlichen Beitrag hierfür liefert. Für andere Verpackungsabfälle dürfte die Substitution von ‚virgin plastics‘ im Bereich von 1 % liegen.

Das europaweite ‚Recycling‘ von Elektro- und Elektronikaltgeräten liegt seit Jahren bei 80 % [37]. Allerdings wird hier nur erfasst, welche Mengen der getrennt abgegebenen Altgeräte in eine Aufbereitungsanlage gehen [38], also Berechnungspunkt (1). Werte nach Berechnungspunkt (3) oder (4) sind nicht bekannt.

Die Beispiele ließen sich etwa auch auf Bioabfälle erweitern. In der gesamten abfallwirtschaftlichen Gesetzgebung in Deutschland bzw. der EU dominieren die Quoten nach Berechnungspunkt (1) oder (2). Dies hat die Tür für das Downcycling weit geöffnet. Unabhängig von der ökobilanziellen Sinnhaftigkeit eines Ersatzes von Holz ist Downcycling ungeeignet, die Kohlenstoffversorgung der Chemieindustrie sicherzustellen bzw. ‚virgin plastic‘ zu substituieren. **Gelingen würde dies nur über hochwertiges stoffliches Recycling und Quoten nach Berechnungspunkt (4).**

Dies hat auch die EU erkannt und mit der Einwegkunststoffprodukte-Regelung [39, Art. 6 (5)] oder der kürzlich in Kraft getretenen Verpackungsverordnung (EU) 2025/40 ab 2030 ([40], Art. 7) aufgegriffen. Dort

sind für Verpackungen ab 2030 folgende Substitutionsquoten (aus post-consumer-Rezyklaten) einzuhalten:

1. 30 % für kontaktempfindliche Verpackungen (Definition: siehe Fußnote 21 [41]) in der Verordnung (EU) 2025/40, ausgenommen Einweg-Getränkeflaschen, die aus Polyethylenterephthalat (PET) als Hauptbestandteil bestehen;
2. 10 % für kontaktempfindliche Verpackungen aus anderen Kunststoffen als PET, ausgenommen Einweg-Getränkeflaschen aus Kunststoff;
3. 30 % für Einweg-Getränkeflaschen aus Kunststoff und
4. 35 % für andere als die unter Punkt 1 bis 3 genannten Kunststoffverpackungen.

Für Altfahrzeuge sind ebenfalls Substitutionsquoten für Kunststoffe geplant [42]⁹. Die NKWS der Bundesregierung stellt in Aussicht, dass für Deutschland bzw. für die EU weitere Substitutionsquoten für andere Sektoren kommen sollen.

Somit stehen wir regulativ in einer Situation, in der mit extrem viel Aufwand Quoten nach den Berechnungspunkten (1) und (2) erhoben werden [43] und ein ganzes Regime neuer Quoten nach Berechnungspunkt (4) demnächst hinzukäme. **Das kann so nicht funktionieren.** Aus Vereinfachungsgründen schlagen wir daher vor, dass parallel zur Einführung der neuen Substitutionsquoten die alten Quoten nach (1) und (2) kontrolliert auslaufen sollen. Dieser Vorschlag würde auch das neue EU-Ziel, eine Verdopplung der Zirkularität bis 2030 zu erreichen, betreffen. Zirkularität ist unspezifisch, ökologisch wenig hilfreich und schließt Downcycling ein.

4.4 Regulatorische Empfehlung

Die Einführung von Substitutionsquoten für das stoffliche Recycling [44] ist zwar richtig und überfällig, hat aber den Nachteil, dass sie regulatorisch relativ kompliziert ist. Auch bürokratisch wird mit diesem Regime eine neue, umfangreiche Vollzugsaufgabe zu meistern sein. Sofern die alten Quoten nach Berechnungspunkt

Abbildung 2
Berechnungspunkte für die Erfassung des Recyclingerfolges (aus [34])

⁸ Beispiel PET: dort funktioniert das werkstoffliche closed-loop-Recycling

⁹ „The preferred option is to set a medium level of ambition with target for recycled plastics content of 25 % by 2030, of which 25 % from closed loop ELV treatment.“

(1) oder (2) weiter gelten würden, wäre diese Aufgabe u.E. unlösbar. Daher sollte der Aufbau des neuen Regimes der Substitutionsquoten unbedingt einhergehen mit einem Bürokratieabbau, also einer schrittweisen Abschaffung der alten Quoten.

Schlanker und konsequenter wäre es, auch die vielen neuen Substitutionsquoten erst gar nicht einzuführen und stattdessen alles über **eine einzige einheitliche Kohlenstoff-Substitutionsquote** für die gesamte chemische Industrie zu regeln. Dies wäre eine große Erleichterung und könnte die staatlichen Vollzugskapazitäten bündeln. Wäre so etwas umsetzbar? Diese Möglichkeit untersuchen wir im nächsten Kapitel.

5. Priorität 4: Defossilisierung durch Kohlenstoff-Substitution

5.1 Ausgangslage

Ziel der EU ist die Senkung der Nettotreibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55% gegenüber dem Stand von 1990 und die Klimaneutralität, die bis 2050 erreicht werden soll [45, 46]. Dieses Ziel ist nur realisierbar, wenn bis 2050 **auch** eine Defossilisierung – d. h. der weitgehende Verzicht auf fossile Rohstoffe – der Industrie stattfindet. Die Kunststoffindustrie als bedeutender Teil der chemischen Industrie plant eine Defossilisierung von 65% bis 2050 [47].

Im Fokus der Defossilisierung steht die gesamte organische bzw. Kohlenstoff-Chemie¹⁰. Diese macht etwa drei Viertel der heutigen chemischen Industrie in Deutschland bzw. der EU aus. Heute ist die Rohstoffbasis der organischen Chemie hauptsächlich Erdöl und Erdgas, in einigen Ländern wie China auch noch Kohle. Etwa die Hälfte des in der EU von der chemischen Industrie eingesetzten fossilen Inputs wird energetisch genutzt, die andere Hälfte dient als Kohlenstoffquelle und baut die organischen Moleküle auf. Für beide Nutzungsarten (Energie, Kohlenstoff) stellt sich die Notwendigkeit der Defossilisierung gleichermaßen [48]. Für die Energie ist der Umstieg auf EE der Weg. Für Kohlenstoff ist der Umstieg auf erneuerbaren Kohlenstoff (Renewable Carbon) erforderlich (s. u.).

5.2 Renewable Carbon für die chemische Industrie

Für die Kohlenstoff-Substitution (mit Renewable Carbon) kommen insbesondere folgende Optionen in Betracht (z. B. [49]):

- ◆ A: Biomasse
- ◆ B: neu synthetisierte Kohlenstoffverbindungen aus CO₂ und (grünem) Wasserstoff
- ◆ C: stoffliches Recycling¹¹ von Kohlenstoffträgern wie Kunststoffen

Die Abfallwirtschaft kann zukünftig nicht nur den wesentlichen Beitrag für die Option C, sondern auch einen wichtigen Teilbeitrag für die Optionen A und B

liefern (s. u.). Abbildung 3 nach [50] zeigt die Kohlenstoffquellen schematisch.

Bereits 2021 hat die EU-Kommission eine Mitteilung vorgelegt, nach der der Aufbau von nachhaltigen Kohlenstoffkreisläufen prioritär ist [51]. Als indikatives globales Ziel wird vorgeschlagen, dass 2030 mindestens 20% des eingebrachten Kohlenstoffs aus nachhaltigen nicht-fossilen Quellen stammen sollte.¹² Allerdings ist dieses quantitative Ziel nicht verbindlich, und es werden auch keine rechtlichen Regelungen vorgeschlagen, wie dieses Ziel erreicht werden soll. Auch an anderer Stelle [28] bleibt die 20%-Quote unverbindlich.

Derzeit stammen gut 10% des Kohlenstoffs der chemischen Industrie in Deutschland bzw. in der EU aus Biomasse. Eine Quote von 20% bis 2030 müsste daher **knapp 10% zusätzlich** aus den genannten drei Optionen (A, B und C) erbringen. Wir analysieren im Folgenden, wie die drei Optionen das Erreichen dieses Zieles unterstützen können und welche regulatorischen Handlungsnotwendigkeiten bestehen.

5.2.1 Option A: Biomasse

Das nutzbare Biomasse-Potenzial aus Abfall-Biomasse und Reststoffen wird in Deutschland auf 110 Mio. Mg TS abgeschätzt [52, 53]. Für die Option A sollte man sich aus ökologischen Gründen auf Abfall-Biomasse konzentrieren. Mit den Techniken der Einzelstoffextraktion, der Bioraffinerie und dem chemischen Verwerten (wie Biomethan-Umwandlung, Gasifizierung, Pyrolyse) liegen Erfahrungen vor, aus Abfall-Biomasse unterschiedliche chemische Rohstoffe erzeugen zu können [54, 55, 56]. Aber es werden u.E. bei einer gesteigerten Defossilisierung auch Reststoffe und Anbau-Biomasse stärker genutzt werden müssen [57]. Was für die Landwirtschaft in diesem Sektor positiv wäre, wird ökologisch kritisch gesehen. Zu berücksichtigen ist, dass die Kommission grundsätzliche Vorbehalte gegenüber der Nutzung von Anbau-Biomasse für technische Zwecke hegt, wobei dies insbesondere für Biomasse gilt, die in die energetische Nutzung geht. Insgesamt stellt sich mit der Nutzungsperspektive von Abfall-Biomasse für diesen Wirtschaftsbereich eine neue Entwicklungsperspektive, die hochwertigere Wertschöpfungen erlauben könnte.

5.2.2 Option B: Neu synthetisierte Kohlenstoffverbindungen aus CO₂ und (grünem) Wasserstoff

Bei der Option B handelt es sich um Stoffe, die aus CO₂ unterschiedlicher Quellen und Wasserstoff neu hergestellt werden. Der Wasserstoff wird beispielsweise aus Wasser elektrolytisch (durch Elektrizität) gewonnen. Wenn die Elektrizität aus dem EE-Bereich stammt, wird der Wasserstoff als „grün“ bezeichnet.

Für die Option B wurden unterschiedliche Begrifflichkeiten eingeführt. Wir verwenden im Folgenden für Option B synonym auch CCU (Carbon Capture and Use) und für die hergestellten Stoffe die Bezeichnung

¹⁰ Und auch die Stickstoff-Chemie auf Basis von Ammoniak

¹¹ Ein Nutzen des mechanischen Recyclings für die Defossilisierung wird dann erreicht, wenn es tatsächlich zur Reduzierung der Produktion von ‚virgin plastics‘ führt. Das mechanische Recycling ist zwar kein Beitrag zur Defossilisierung der Rohstoffbasis der chemischen Industrie im engeren Sinn, aber ein Beitrag zur Defossilisierung durch Substitution fossiler Produktion und wird daher hier einbezogen.

¹² „Bis 2030 sollten mindestens 20% des in chemischen und Kunststoffprodukten verwendeten Kohlenstoffs aus nachhaltigen nichtfossilen Quellen stammen, wobei die Ziele der EU in Bezug auf die biologische Vielfalt und die Kreislaufwirtschaft sowie der künftige politische Rahmen für biobasierte, biologisch abbaubare und kompostierbare Kunststoffe in vollem Umfang zu berücksichtigen sind.“ [51]

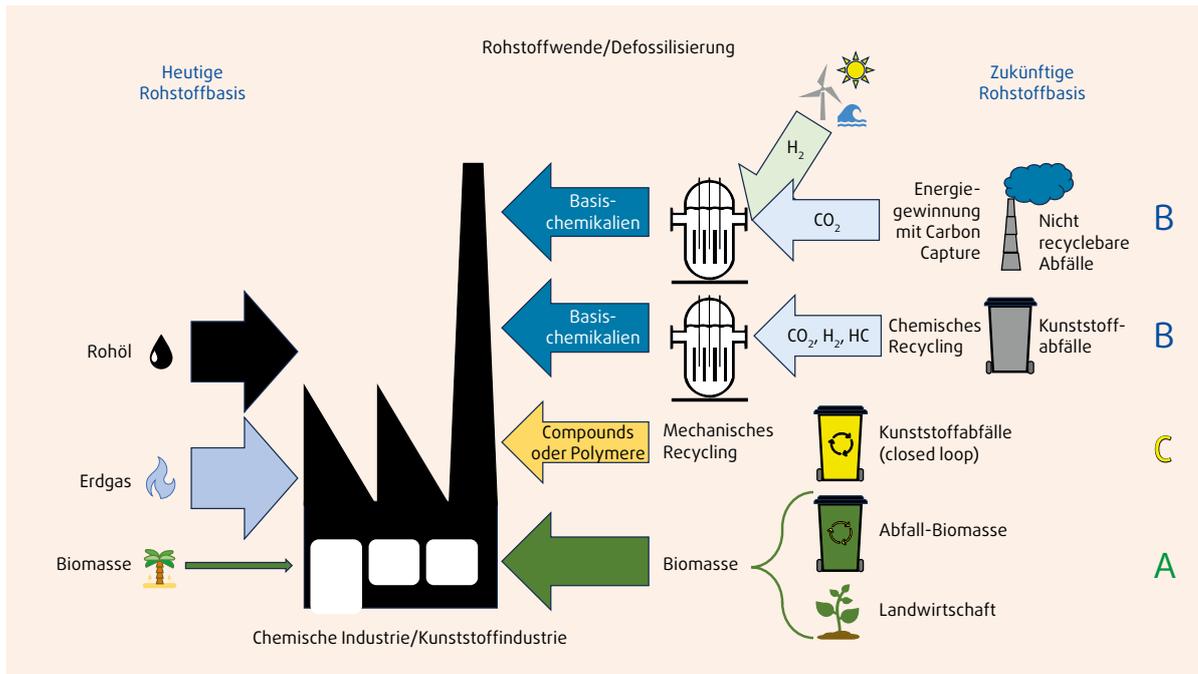


Abbildung 3
Defossilisierung der
chemischen resp.
Kunststoff-Industrie,
nach [50]

„EE-Stoffe“. Auf EU-Ebene wurde für EE-Stoffe auch die Abkürzung RFNBO („Renewable Fuels of Non-Biological Origin“) eingeführt.

CO₂ kann aus der Luft gewonnen werden (Direct Air Capture, DAC). Für DAC sprechen Argumente des Klimaschutzes, weil quasi als Nebenwirkung der CO₂-Gewinnung die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre rechnerisch reduziert würde. Allerdings ist die CO₂-Konzentration in der Luft vergleichsweise niedrig (< 0,05 Vol.-%), was DAC energie- und flächenintensiv macht. Und die Entwicklung der Technik ist erst an ihrem Anfang. Nach Angaben der Internationalen Energieagentur wurden weltweit bisher 27 DAC-Anlagen in Betrieb genommen. Die Anlagen weisen aber zumeist nur sehr geringe Abscheidkapazitäten auf (< 1.000 Mg/a), sind also Pilotanlagen. Eine etwas größere Anlage mit beinahe 40.000 Mg/a soll 2025 auf Island in Betrieb gehen [58].

CO₂ kann auch aus sogenannten Punktquellen gewonnen werden. Wenn es sich hierbei um unvermeidbare Emissionen handelt, ist eine Abtrennung der Emissionen die einzige Möglichkeit für den Klimaschutz und diese vermiedene Emission sollte u.E. nicht gegenüber DAC abgewertet werden. Zudem ist diese Klimaschutzmaßnahme energetisch effizienter und auch kostengünstiger durchzuführen. Die CO₂-Konzentration im gefassten Abgas beträgt in der Regel mehrere Prozent (WtE-Anlagen (Waste-to-Energy): circa 10 Vol.-% [59], Zementwerke: circa 25–30 Vol.-% [60])¹³. Fossile Kraftwerke werden als Punktquelle zukünftig in der EU nicht zur Verfügung stehen, weil sie abgeschaltet sein dürften. Als Punktquellen kommen aber Kraftwerke in Betracht, die Biomasse oder Biogas als Brennstoff [61, 62] nutzen.

Das aus all diesen Punktquellen abgetrennte CO₂ kann Synthese-Anlagen in verflüssigter Form oder gasförmig per Pipeline zugeführt werden. In diesen Anla-

gen bringt man das CO₂ mit Wasserstoff zur Reaktion. Ein möglicher Reaktionsweg führt zu Methanol als EE-Stoff. Aus Methanol kann dann beinahe die gesamte organische Chemie aufgebaut werden. Neben Methanol existiert auch eine Reihe weiterer Basischemikalien und Syntheserouten, um zu EE-Stoffen zu gelangen, die hier aber nicht vertieft werden¹⁴.

Für EE-Stoffe und CCU verlangt die Kommission, dass die THG-Einsparung über 90 % betragen sollte, was sinnvoll ist und machbar sein dürfte. Weiter wird verlangt, dass der Kohlenstoff aus Punktquellen in einem Land außerhalb der EU nur dann als erneuerbar anerkannt wird, wenn in dem betreffenden Land ein ‚Efficient Carbon Pricing‘ vorhanden ist [63, 64]. Hiermit soll erreicht werden, dass außerhalb der EU kein ‚schmutziges‘ CO₂ verwendet wird und damit die Klimabilanz der EU belastet würde. Mit diesen Anforderungen werden aber Kooperationen mit sehr vielen Ländern, die ein hohes Potenzial an EE haben, ausgeschlossen, weil diese regulatorischen Anforderungen gegenwärtig dort nicht erfüllt werden können [65].

5.2.3 Option C: Mechanisches und chemisches Recycling von Kohlenstoffträgern wie Kunststoffen

Recycling sollte ‚virgin plastic‘ ersetzen oder als Kohlenstoffquelle für die Neuproduktion von Kunststoffen bzw. Chemikalien fungieren und so zur Defossilisierung der chemischen Industrie beitragen.

Beim Recycling geht es auch um die Anzahl der Kreisläufe. Am Ende der ersten Produktlebensphase ist der Input in den Kreislauf, der Abfallkunststoff, noch komplett fossilen Ursprungs. Er ersetzt aber, je nach Effizienz, ‚virgin plastic‘, also fossilen Rohstoff. Mit jedem weiteren Kreislauf wird weiterer fossiler Rohstoff ersetzt. Daher könnte man, idealtypisch gedacht, bei unendlich vielen Kreisläufen fossilen Rohstoff vollständig ersetzen. Dieser Grundgedanke wird

¹³ Innovative Techniken können mittels reinem Sauerstoff betrieben werden, was die CO₂-Konzentration im Abgas dieser Punktquellen auf über 90 % steigern könnte.

¹⁴ Und es gibt auch die Option, den Wasserstoff an Stickstoff gebunden der chemische Industrie zur Verfügung zu stellen.

uns im nächsten Abschnitt bei der Frage der Dauer der Kohlenstoffspeicherung in Produkten beschäftigen.

Auf die unterschiedlichen Recycling-Technologien gehen wir in Kapitel 6 näher ein.

5.2.4 Dauerhafte Speicherung in Kohlenstoffkreisläufen

Defossilisierung ist streng genommen nur dann klimaneutral, wenn der Kohlenstoff **dauerhaft** von der Atmosphäre abgetrennt und gespeichert ist. Für den Bereich der organischen Chemie scheint dies schwierig, weil die Erzeugnisse, in denen der erneuerbare Kohlenstoff gespeichert wird, diese wieder als CO₂ verlässt, sobald Erzeugnisse zu Abfall geworden sind und beispielsweise über die Müllverbrennung energetisch verwertet werden. Somit könnten wir – linear gedacht – heute nur von einer kurz- bis mittelfristigen Speicherung in Erzeugnissen ausgehen. Aber wie sieht dies aus, wenn Kohlenstoff dauerhaft im Kreis geführt würde?

Regulatorisch wird in der Delegierten Verordnung (EU) 2024/2620 [66] bei der Einstufung, ob Treibhausgase in einem Erzeugnis dauerhaft chemisch gebunden sind, eine einseitige Fokussierung auf mineralische Stoffe vorgenommen. Organische Materialien sind nicht einbezogen bzw. sogar explizit ausgeschlossen¹⁵. Zukünftig sollen aber CO₂-Entnahmen zertifiziert werden können, wenn die Speicherung von CO₂ in Erzeugnissen so erfolgt, dass das CO₂ nicht wieder in die Atmosphäre abgegeben wird. Laut EU-Verordnung 2024/3012 [67], die den Rahmen für diese Zertifizierung bildet, muss die Dauer der Speicherung mindestens 35 Jahre betragen¹⁶. Allerdings beschränkt die Kommission die Möglichkeit der Zertifizierung inputseitig auf **biogenen und atmosphärischen Kohlenstoff** (bzw. CO₂) und damit in letzterem Fall auf Direct Air Capture (DAC). Industrielle Punktquellen wie WtE-Anlagen oder Zementwerke, in deren gefasstem Abgas das CO₂ in einer 200- bis 600-fach höheren Konzentration als in der Atmosphäre vorliegt (vgl. Abschnitt 5.2.2), sind damit ausgeschlossen.

Es gibt Gründe, warum die EU das Thema des Kohlenstoffkreislaufs restriktiv angeht. So treten bei Kohlenstoffkreisläufen je nach eingesetzter Technik Verluste auf, die ersetzt werden müssen (s. u.). Und es gibt chemische Produkte auf Kohlenstoffbasis, die sich einem Kreislauf grundsätzlich entziehen, weil sie bestimmungsgemäß umweltoffen eingesetzt werden (etwa Pflanzenschutzmittel, Pharmaka, Kosmetika oder Tenside). Und es gibt Produkte, die anteilig den Kreislauf verlassen und unbeabsichtigt in die Umwelt gelangen (wie Reifen- oder Faserabrieb aus Textilien).

Die Kohlenstoffverluste sind aber insgesamt kein überzeugendes Argument, die Speicherung (Sequestrierung) im Kohlenstoffkreislauf pauschal sehr re-

striktiv zu handhaben. So gibt es Produkte etwa im Baubereich, die ihren Kreislauf erst nach Jahrzehnten starten. Aber es gibt natürlich auch schneller drehende Produkte wie Verpackungen, die im extremen Fall schon nach Tagen oder Wochen zu Abfall werden.

Kohlenstoffverluste treten übrigens auch bei von der Kommission akzeptierten Sequestrierungsstrategien auf [67]. So ist das ‚Carbon Farming‘ – kohlenstoffspeichernde Landwirtschaft – ein wichtiges Standbein der EU-Klimapolitik und soll ebenfalls zertifiziert werden können. Hier soll es bereits genügen, wenn die Bewirtschaftung über mindestens fünf Jahre erfolgt und u. a. zur Abscheidung und vorübergehenden Speicherung von atmosphärischem oder biogenem CO₂ in biogenen Kohlenstoffspeichern oder zur Verringerung von Bodenemissionen führt [67].

5.2.5 Substitution von fossilem Wasserstoff – eine Untervariante der Option B

Defossilisierung kann anteilig auch erreicht werden, wenn der in der chemischen Industrie als Reaktionsmittel direkt eingesetzte fossile Wasserstoff durch ‚grünen‘ Wasserstoff ersetzt wird. So soll in der EU der Beitrag der für Endenergieverbrauchs- und **nichtenergetische** Zwecke genutzte erneuerbare Wasserstoff¹⁷ bis spätestens 2030 mindestens 42 % und bis 2035 sogar 60 % des für diese Zwecke heute genutzten fossilen Wasserstoffs betragen [68]. Die Substitution kann neben Wasserstoff auch durch EE-Stoffe bzw. RFNBO vorgenommen werden¹⁸.

Die Regelung wurde für die Industrie insgesamt konzipiert und wird ökonomischen Druck auf die Verwendung fossilen Wasserstoffs ausüben. Häufig werden in der chemischen Industrie Stoffe aber nicht nur über einen einzigen Syntheseweg hergestellt. Die Wasserstoff-Quote könnte daher auch zu Verschiebungen hin zu Verfahren führen, die Wasserstoff nicht direkt einsetzen, was im Einzelfall sogar kontraproduktiv sein dürfte. Des Weiteren sind viele Prozesse der chemischen Industrie Koppelprozesse. Soll man beispielsweise den Wasserstoff, der zwangsweise bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse¹⁹ anfällt und in anderen Prozessen eingebracht wird, in die zu substituierende Quote einbeziehen?

Und schließlich ist die Frage relevant, wer für die Einhaltung der Quoten verantwortlich ist. Auch hier sind im Wesentlichen zwei Möglichkeiten zu unterscheiden: das jeweilige Unternehmen oder der Mitgliedsstaat. Die Wirtschaft plädiert vehement für die Verantwortung bei den Mitgliedsstaaten und weist schon heute darauf hin, dass die Ziele nur erreichbar sind, wenn der Staat ausreichend Fördermittel bereitstellt.

Mit der Quote für erneuerbaren Wasserstoff bzw. RFNBO wird eine Regelung eingeführt, die in der chemischen Industrie nicht zielgenau wirken wird und an-

15 The conditions present in waste incinerators are sufficient for the decarbonation reaction to start. Therefore, carbon captured and utilised in products that have a significant share of end-of-life treatment through incineration should not be considered as permanently chemically bound.

16 Article 2 (11), carbon storage in products' means any practice or process that captures and stores atmospheric or biogenic carbon for at least 35 years in long-lasting products, allows on-site monitoring of the carbon stored and is certified throughout the monitoring period.

17 Oder als RFNBOs (renewable fuels of non-biological origin), siehe nachfolgende Fußnote

18 Hier Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001: Nummer 36 erhält folgende Fassung:

„36. ‚erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs‘ „flüssige oder gasförmige Kraftstoffe, deren Energiegehalt aus erneuerbaren Energiequellen mit Ausnahme von Biomasse stammt;“

19 $2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ NaCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2 + 2 \text{ NaOH}$

dere wirtschaftlichere Optionen **verdrängt**. Die demnächst anstehende Umsetzung dieser Regelung in deutsches Recht sollte u.E. Ausgangspunkt für grundsätzlichere Überlegungen sein.

5.3 Für die Gleichwertigkeit aller drei Optionen

In einem Szenario, das kostenmäßig das Günstigste wäre, würde die Defossilisierung der chemischen Industrie u.E. mit Schwerpunkt Option A (Biomasse) und C (Recycling) betrieben [4]. Hierfür würde aber mittelfristig der **abtrennbare** Biomasse- und Kunststoffabfall benötigt [4].

Die Option B (EE-Stoffe) ist zwar die teuerste Option, aber sie hat auch ein hohes Potenzial, insbesondere wenn man die Entwicklungszusammenarbeit mit EE-reichen Ländern sieht. Aus der Sicht des Standortes Deutschland bzw. der EU weisen die Optionen A und C den weiteren Vorteil auf, dass sie eine heimische Versorgung mit Rohstoffen ermöglichen würden.

Gegen eine stärkere Einbeziehung der Abfallwirtschaft in die Defossilisierung wird häufig das Argument der unterschiedlichen technischen Reife der abfallwirtschaftlichen Verfahren ins Feld geführt. Der von der Kommission durch die Wasserstoffquoten favorisierte Weg ist allerdings in vergleichbarem Umfang technologisches Entwicklungsland wie beispielsweise das chemische Recycling oder die Bioraffinerie. Dies beginnt schon bei der Elektrolyse, geht über die Rückgewinnung von CO₂ aus der Luft (DAC) [69] und endet bei den unterschiedlichen Verfahren zur Erzeugung von RFNBO. So werden gegenwärtig zunächst Pilotanlagen gebaut, wie der Elektrolyseur von RWE in Lingen. Und allein der Ferntransport von Wasserstoff wirft technisch sehr schwierige Fragen auf. Pyrolyseöl, Synthesegas oder Biomasse in ihren unterschiedlichsten Formen sind zwar einfacher zu transportieren, zumeist in den vorhandenen Infrastrukturen, aber auch für diese Technologien wird noch Entwicklungsarbeit erforderlich sein [55, 70].

5.4 Defossilisierung – man wartet ab

Die Förderstrategie der Kommission und vieler Mitgliedsstaaten setzt bei den einzelnen notwendigen Technologien zur Erzeugung von Wasserstoff an und ermittelt den Zuschussbedarf (CAPEX-Förderung) für die jeweilige Etablierung der Technologie. Die ehemalige Bundesregierung wollte, dass in Deutschland bis 2030 grüner Wasserstoff aus Elektrolyseuren mit insgesamt 10 Gigawatt Leistung gewonnen wird. Da aus 1 GWh Strom 0,74 GWh H₂ bereitgestellt werden können [71], entspräche dies einer Jahresproduktion von 2,6 Mio. Mg Wasserstoff²⁰. Gegenwärtig kommt die Investitionsbereitschaft in Deutschland aber nicht so richtig voran. So sind bisher (Stand September 2024) seitens der Wirtschaft Projekte mit nur insgesamt 0,3 Gigawatt Leistung beschlossen worden [72]. Grund für die Zurückhaltung seitens der Wirtschaft sind die nicht ausreichenden Förderzusagen des Staates, komplizierte Regelungen (beispielsweise die ‚Grünstrom‘-Kriterien) und die zu hohen Kosten. Hat man in frü-

heren Studien auf eine Entwicklung der Preise auf zwei bis drei Euro je kg Wasserstoff gehofft [73], liegen die Kosten unter den heutigen Bedingungen mehr als doppelt so hoch. Standortverlagerungen in Länder mit niedrigen Stromkosten werden offen diskutiert.

Im Rahmen des Konsultationsverfahrens zum Entwurf der Mitteilung der Kommission zum industriellen CO₂-Management (Industrial Carbon Management [74]) hat sich der europäische Chemieverband (Cefic) 2023 ausführlich mit der Defossilisierung der chemischen Industrie bis 2050 befasst [75, 76]. Zentrales Narrativ ist auch hier die Etablierung von „nachhaltigen Kohlenstoffkreisläufen“, was mit dem Wording der Kommission [51] identisch ist und sich im Kern mit unserem Wording der Defossilisierung deckt. Die Optionen für den Aufbau der Kreisläufe sind nach Cefic [75]²¹:

1. Nachhaltige Biomasse = Nutzung von Kohlenstoff aus Pflanzen
2. Atmosphärischer Kohlenstoff = Nutzung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre
3. Technosphären-Kohlenstoff = Nutzung von Kohlenstoff aus industriellen Prozessen
4. Geosphären-Kohlenstoff = Nutzung von Kohlenstoff, der in früheren Lebenszyklen der hergestellten Produkte aus fossilen Quellen stammte

Option 1 entspricht der in Abschnitt 5.2.1 genannten Option A (Biomasse), Option 2 und 3 entsprechen der Option B (‚EE-Stoffe‘: Kohlenstoffverbindungen, beispielsweise aus CO₂ und EE-Strom/Wasserstoff), und Option 4 der Option C (Recycling fossiler Kunststoffabfälle, z. B. Pyrolyseöl, u. a.). Hervorzuheben ist hier die klare Positionierung, dass fossiler Kohlenstoff nach dem ersten Lebenszyklus als *clean* zu gelten hat, zumal er dann neuen fossilen Kohlenstoff ersetzt.

Da die Cefic-Optionen mit der Etablierung der Kreisläufe kombiniert werden, folgt in der Betrachtung der Grundgedanke eines „Carbon Chemical pool“. Kohlenstoff wird in Produkten mehr oder weniger dauerhaft gelagert und so werden die Ziele für 2050 einhaltbar. Wird die Option Biomasse genutzt, geht Cefic sogar von einer Kohlenstoff-Entfernung („Carbon Removal“, negative Emissionen) aus.

Cefic liefert in verschiedenen Papieren Vorschläge, wie eine Defossilisierungsquote zu berechnen wäre [75, Annex II]. So wird als Punkt der Quotenermittlung der erste „Übertritt“ (Anlieferung) des jeweiligen Rohstoffs in ein chemisches Unternehmen vorgeschlagen. Die Ermittlung von Zähler und Nenner der Quote sollten jeweils die Mengen (in Mg) des im Rohstoffinput enthaltenen Kohlenstoffs sein [75, Annex II]:

- ◆ Zähler = [SUMME (nachhaltiger nicht-fossiler Input i (in Mg) * Kohlenstoffgehalt i)]
- ◆ Nenner = [Gesamtinput i (in Mg) * Kohlenstoffgehalt i]

Positiv gedacht, bereitet sich die Industrie also auf die Defossilisierung vor. So gibt es zahlreiche vorbereitende Arbeiten und gute Papiere. Was derzeit fehlt, sind Investitionsentscheidungen. Man wartet ab.

21 1. Sustainable biomass = using carbon from plants
2. Atmospheric carbon = using carbon from the atmosphere
3. Technosphere carbon = using carbon from industrial processes
4. Geosphere carbon = using carbon that in previous lifecycles of manufactured products came from fossil sources

20 $10 \text{ GW}_{\text{el}} * 8.760 \text{ h/a} \rightarrow 87.600 \text{ GWh H}_2/\text{a}$. $1 \text{ GWh H}_2 \equiv 30 \text{ Mg H}_2$.
 $87.600 \text{ GWh H}_2 \equiv 2.628.000 \text{ Mg H}_2$.

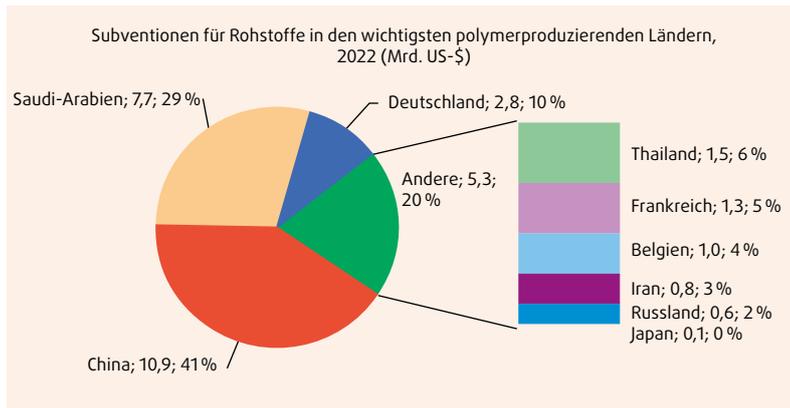


Abbildung 4
Subventionen (in Mrd. US-\$) für Rohstoffe in den wichtigsten polymerproduzierenden Ländern 2022, nach [79]

5.5 Regulatorische Empfehlung

Die Kommission hat 2023 einen Bericht zur Überleitung der chemischen Industrie in die Klimaneutralität vorgelegt, in dem sie die hohe Bedeutung („Key Aspect“) der Defossilisierung der Rohstoffbasis begründet [28]. Das **indikative** Ziel, dass Chemikalien und Kunststoffe ab 2030 mindestens 20 % nicht-fossilen Kohlenstoff enthalten sollten [28, 51], ist hierzu u.E. nicht ausreichend. Notwendig wäre eine **verbindliche** Festlegung von Defossilisierungsquoten²².

Eine bindende Quote könnte von zwei Seiten (Zähler oder Nenner, nach Cefic) aus umgesetzt werden:

- ◆ die gestufte Erhöhung des Einsatzes von Kohlenstoff nicht-fossilen Ursprungs (Option A, B und C),
- ◆ die gestufte Verringerung des Einsatzes fossiler Rohstoffe.

Beide Vorgehensweisen scheinen uns möglich.

Die Quoten geben den klaren Rechtsrahmen, reichen aber für eine ‚Bankability‘ von Investitionen noch nicht aus.

Alle drei Optionen – Biomasse, EE-Stoffe und Recycling – müssen die Defossilisierung dauerhaft sicherstellen (‚permanent‘). Dieser Effekt muss über Jahrzehnte, ja über Jahrhunderte sichergestellt sein. Nur so wäre die Rohstoffwende bzw. Defossilisierung vollzogen und bliebe die chemische Industrie eine wichtige Sparte der klimaneutralen Wirtschaft. Daher sind als ergänzende Regelung sowohl für EE-Stoffe als auch für das (Kunststoff-)Recycling ein Kohlenstoffkreislauf zu normieren und eine klare Anerkennung des in Produkten gebundenen Kohlenstoffs als ‚permanent chemisch gebunden‘ oder zumindest ‚langfristig gebunden‘ erforderlich (s. o. „Carbon Chemical pool“).

Hieran anknüpfend könnten für die defossilisierten Chemikalien (ähnlich wie für CCS) handelbare Gutschriften aus dem Emissionshandel ausgekehrt werden. So würde eine 20%ige Defossilisierung einer Chemikalie oder eines Unternehmens, egal über welche der drei Optionen, eine ebenso hohe Entlastung von fossilen Treibhausgasemissionen ergeben. Die Bundesregierung hat eine diesbezügliche Prüfung angekündigt [21].

Und würde die Defossilisierungsquote auch beispielsweise für den **Hersteller** von Kunststoff-Erzeugnissen gelten, gäbe es einen Leitmarkt für defossilisierte Erzeugnisse, was gut zu den Ankündigungen

²² Auch das indikative Ziel von RED III, die Defossilisierung um jährlich 1,6% zu steigern, würde hiermit integriert.

der EU-Kommission mit ihrem neuen „Clean Industrial Deal“ („create a market for captured carbon“ [77] und ihrem Net-Zero Industry Act [78]²³ passen würde.

Die Nutzung von fossilen Rohstoffen zur Erzeugung von Chemikalien und Kunststoffen ist bisher steuerfrei und weist dadurch den Tatbestand der Subvention auf. In Deutschland beliefen sich die Subventionen für die Polymerproduktionsindustrie im Jahr 2022 auf beinahe 3 Mrd. US-Dollar (knapp 2,7 Mrd. EURO) (vgl. Abbildung 4 nach [79]). Trotz gegenteiliger Versprechungen (u. a. G 20) sind die Steuervorteile nicht verringert worden. Es wäre also ein ausreichendes Budget für Förderungen einer Transformation vorhanden, wenn die Subvention gestrichen würde.

Niemand kann heute prognostizieren, welche Technologien zur Defossilisierung morgen das Rennen machen werden. Daher ist es gut, dass wir neben einem Portfolio regulatorischer Vorschläge auch unterschiedliche, konkurrierende Optionen (A, B oder C) haben. Die EU bzw. Deutschland sollte technologieoffen die Optionsvielfalt zulassen [28]. Hier hat die Kommission bereits, wie oben dargestellt, einen entscheidenden Fehlern gemacht, nämlich die verbindliche Festlegung einer Wasserstoffquote für die chemische Industrie.

Industriepolitisch sollte erkannt werden, dass die Standortentwicklung der chemischen Industrie in Deutschland sehr viel mit der damaligen Rohstoff- und Energiebasis (Kohle und Atomkraft) zu tun hatte. Mit günstigem Erdgas aus Russland konnten die Standorte gehalten werden. Viele Standorte der Chemieindustrie stehen heute auf der Kippe. In den letzten zwei Jahren ist die Produktion bereits merklich zurückgegangen [80].

Die von uns empfohlene, in Stufen hochlaufende verbindliche Defossilisierungsquote für die chemische Industrie bedeutet, dass chemische Produkte (beispielsweise Kunststoffe) in Stufen weniger fossilen und dafür mehr nicht-fossilen Kohlenstoff (Renewable Carbon) enthalten müssen. Dies führt bis 2050 zu einem „Mischbetrieb“ zwischen fossil und nicht-fossil über alle Defossilisierungsoptionen. Erst 2050 wäre die Defossilisierung dann abgeschlossen. Die Zielerreichung lässt sich nur über eine eindeutige und nachprüfbare Bilanzierungsmethode verfolgen, dokumentieren und auch vermarkten. Daher ist es regulatorisch erforderlich, neben der Quote selbst auch diese Bilanzierungsmethode zu fixieren (als Massenbilanz). Eine derartige Bilanzierung ist auch nicht gänzlich neu²⁴. Diese Bilanzierung stellt kein Manko dar [80].

²³ Der Net-Zero Industry Act der EU wurde im Mai 2024 verabschiedet und tritt zum Jahresbeginn 2026 in Kraft. Er schreibt den EU-Staaten unmittelbar vor, den Ausbau ihrer heimischen Fertigungskapazitäten für saubere Schlüsseltechnologien zu fördern. Hierzu gehört auch der CO₂-Fußabdruck. Also ergeben sich weitere Anknüpfungspunkte für die Etablierung von Leitmärkten.

²⁴ Sie wird bereits im Strom- und Biokraftstoff-Sektor angewandt (und regulatorisch anerkannt). So ist es möglich, dass ein Hersteller von erneuerbarem Strom seine Elektrizität in den großen Strommarkt einspeist und ein Kunde an ganz anderer Stelle sich rechnerisch diese Elektrizität zuordnet (und bezahlt), auch wenn die von ihm real entnommene Elektrizität nicht erneuerbar ist und nur dem Einspeise-Mittel entsprechen würde.

Zirkulär agieren



Die durch das **KrWG** und den **EU-Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft** verankerte Circular Economy wird im vorliegenden Werk umfassend und interdisziplinär dargestellt. Das Handbuch punktet mit einer gleichermaßen komplexen wie lösungsorientierten Darstellung akuter Problemfelder und erläutert dabei Fragen aus rechtlicher, technischer, naturwissenschaftlicher und abfallwirtschaftlicher Sicht.

Geeignet als **strukturierte Arbeitshilfe** für Verantwortliche in Abfallwirtschaftsunternehmen, Abfallbeauftragte und -manager, Umweltjuristen sowie für Behörden, Ministerien und Verbände, mit verständnisfördernden Übersichten, anschaulichen Abbildungen und Praxisbeispielen.

Vorteile auf einen Blick

- ▶ **über 40 instruktive Beiträge**
- ▶ **viele weitere Querschnittsthemen** wie Ressourcenproblematik sowie Wettbewerbs- und Vergaberecht
- ▶ **wichtige Instrumentarien** wie Gebührengestaltung, steuerliche Aspekte, ökonomische Anreize, Information und Ökodesign

Handbuch Kreislaufwirtschaft Recht, Ingenieur- und Naturwissenschaften, Nachhaltigkeit, Klimaschutz, Digitalisierung

Herausgegeben von Prof. Dr. jur. Walter Frenz,
Maître en Droit Public, Professor für Berg-, Umwelt-
und Europarecht an der Rheinisch-Westfälischen
Technischen Hochschule Aachen

2024, 1.326 Seiten, mit zahlreichen farbigen
Abbildungen, Übersichten und Praxisbeispielen,
fester Einband, € 149,-. ISBN 978-3-503-20067-2
eBook: € 135,90. ISBN 978-3-503-20068-9



Interview-Podcast
mit dem Heraus-
geber Prof. Dr. Frenz



Online informieren
und versandkostenfrei bestellen:
www.ESV.info/20067

ESV LIZENZEN

Versprochen! Zum eBook finden
wir für Sie immer die richtige Lösung.

☎ (030) 25 00 85-295, -296

✉ ESV-Lizenzen@ESVmedien.de

Bestellungen bitte an den Buchhandel oder
Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG
Genthiner Str. 30 G · 10785 Berlin
Tel. (030) 25 00 85-265
Fax (030) 25 00 85-275
ESV@ESVmedien.de · www.ESV.info

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG

Auf Wissen vertrauen

6. Priorität 5: Gleichwertigkeit der Recycling-Technologien

6.1 Ausgangslage

In der Abfallhierarchie gibt es heute pauschale Prioritäten für technische Lösungen (stofflich vor energetisch). Chemische Verwertung von Kunststoffen oder Biomasse kam erst später in die Diskussion. Zwar zählt auf EU-Ebene das chemische Recycling auch zum Recycling²⁵, dennoch wird auch hier dem mechanischen bzw. werkstofflichen Recycling Priorität zugesprochen. Diese Sichtweise ist u.E. überholt, da diese Pauschalität aufgrund der neuen Prioritäten (Defossilisierung) und der veränderten ökobilanziellen Rahmenbedingungen nicht mehr sachgerecht ist.

6.2 Ökobilanzieller Vergleich von werkstofflichem und chemischem Recycling

Eine ökobilanzielle Bewertung der Recycling-Technologien für die Wirkungskategorie Klimaschutz würde nach 2030 nur noch geringe Unterschiede ergeben, einfach weil die Versorgung der unterschiedlichen Recyclingverfahren (Vorkette) mit Energie, zu diesem Zeitpunkt prognostiziert, jeweils weitgehend klimaneutral erfolgt. Heutige energetische Unterschiede zwischen den Techniken sind in Zukunft zwar weiterhin vorhanden, aber klimabezogen nicht mehr (so) relevant, weil Strom und Wärme keinen hohen THG-Rucksack mehr tragen. Verfahren der materiellen Biomasse-Verwertung liefern sogar THG-Einsparungen (negative Emissionen). Natürlich ist der Einwand berechtigt, dass die jeweils verbrauchte Energiemenge kumuliert ebenfalls ein wichtiges ökologisches Kriterium darstellt, insbesondere solange EE noch knapp ist. Hier weist das mechanische Recycling auf den ersten Blick klare Vorteile auf [81]. Die im Kunststoff gebundene (chemische) Energie bleibt weitgehend erhalten. Dies ist aber unter den ökobilanziellen Kriterien, die die Toxizität abbilden, ein Nachteil, weil durch das mechanische Recycling auch gefährliche oder sogar verbotene Stoffe (insbesondere Kunststoffadditive) in ein Erzeugnis eingebracht werden und so die ökobilanziellen Ergebnisse schlecht ausfallen lassen (siehe auch Kapitel 7).

Beim chemischen Recycling hingegen wird die erforderliche Energie in der Regel aus den Abfallkunststoffen selbst gewonnen, was zu Verlusten an Kohlenstoff führt [82]. Der Erhalt des Ausgangsprodukts ist in der bisherigen Fachdiskussion der entscheidende ökobilanzielle Vorteil des mechanischen bzw. werkstofflichen gegenüber dem chemischen Recycling. Allerdings trifft dieser Vorteil nur zu, wenn das heutige Downcycling als Recycling anerkannt wird. Die Ergebnisse relativieren sich, wenn als Recycling nur die Substitution von ‚virgin plastic‘ bzw. fossilem Kohlenstoff anerkannt würde. Dann lägen die Kohlenstoffverluste heute bei Verpackungen beispielsweise bei über 90% (s. o.). Nun liegen die niedrigen Kohlenstoff-Substitutionsraten daran, dass die heutigen Quoten das hoch-

wertige Recycling nicht explizit verlangen. Aber wie weit kann sich das mechanische Recycling bei der Kohlenstoff-Substitution zukünftig steigern? Wir haben keine finale Klarheit.

Allerdings sind auch die Leistungsdaten für das chemische Verwerten nicht final, sowohl für Kunststoffe [81] als auch für Biomasse. Wir müssen daher anerkennen, dass die Recycling-Technologien insgesamt noch Chancen brauchen, sich zu entwickeln.

Wichtig ist letztlich, dass *beide* Verfahrensprinzipien (chemisch, mechanisch) erforderlich sind, um die notwendige Defossilisierung zu erreichen. Sie stehen daher **nicht** im Gegensatz zueinander, sie ergänzen sich [83]. Hinzu kommt noch das Argument, dass das chemische Recycling sehr vielfältig ist und technologisch nicht nur aus Pyrolyse (und Cracken) besteht²⁶. Ein großer Vorteil der chemischen Recyclingverfahren gegenüber dem mechanischen Recycling ist zudem, dass in der Regel auch Duroplaste und Elastomere verwertet werden können.

Verbleibt das Argument, dass das chemische gegenüber dem mechanischen bzw. werkstofflichen Recycling zu teuer wäre. Richtig ist, dass das chemische Recycling heute sehr teuer ist und auch zukünftig aufgrund der technischen Komplexität teurer bleiben wird. Das chemische Recycling wird daher nur eine relevante Rolle spielen, wenn es für die Defossilisierung benötigt wird. Es gibt also keinen Grund, das chemische Recycling mit Kostenargumenten abzuwerten. Denn sollte das werkstoffliche Recycling die Defossilisierungsquoten weitgehend allein und zudem kostengünstiger erbringen können, hätte das chemische Recycling keine Zukunft. Aber bereits heute ist erkennbar, dass es sowohl bei Kunststoffen als auch bei Biomasse Abfallqualitäten gibt, die werkstofflich nicht mehr zu recyceln sind.

Und dann gibt es noch **eine weitere Option**, die wir gerne vorschlagen möchten.

6.3 Energetische Verwertung – eine weitere Option des chemischen Recyclings

Die heutige energetische Verwertung von Abfällen erfolgt entweder in Müllverbrennungsanlagen (Waste-to-Energy, WtE) oder über den Einsatz aufbereiteter (Kunststoff-)Abfälle (RDF, Refuse Derived Fuel) für die Mitverbrennung in Industrieanlagen (beispielsweise Zementwerken). Insbesondere WtE-Anlagen stellen heute in weiten Teilen Europas das Rückgrat der Abfallwirtschaft dar. Sie liefern Strom und Wärme mit zumeist hohen Wirkungsgraden, dienen der Rückgewinnung von Metallen und Baustoffen und stellen eine wichtige Schadstoffsene dar. Bei der industriellen Mitverbrennung werden fossile Brennstoffe wie Kohle oder Öl ersetzt.

Für die Mitverbrennung und für WtE-Anlagen wird eine Abscheidung von CO₂ aus dem Abgasstrom diskutiert und zum Teil auch geplant (s. o. CCU und CO₂-Punktquellen). In den Niederlanden [84] und in Finnland [85] ist jeweils eine Pilotanlage in Betrieb.

25 Article 3(17) of the Waste Framework Directive: ‚recycling‘ means any recovery operation by which waste materials are reprocessed into products, materials or substances whether for the original or other purposes. It includes the reprocessing of organic material but does not include energy recovery and the reprocessing into materials that are to be used as fuels or for backfilling operations.

26 Neben Pyrolyse (und Cracken) sind auch die Gasifizierung, die Solvolyse, die Hydrolyse, die Depolymerisation und auch biochemische Verfahren in der Entwicklung.

Die Unterschiede zwischen chemischem Recycling (beispielsweise Gasifizierung von Kunststoffen zu Synthesegas CO/H_2 [86]) und dem geplanten CCU nach energetischer Verwertung [86] sind bezüglich der Reaktionsabläufe nicht so groß, als dass man hieraus fachlich eine hierarchische Abstufung ableiten könnte²⁷. Da die energetische Verwertung mit CCU EE-Stoffe für die Defossilisierung hervorbringen würde, stellte sie u.E. auch eine Form des chemischen Recyclings dar und wäre, der obigen Analyse folgend, dem mechanischen bzw. werkstofflichen Recycling gleichwertig.

Die Grundidee muss u.E. sein, die Leistung der WtE-Anlagen als Schadstoffsenske zu erhalten und sie in die Defossilisierungsstrategie der chemischen Industrie, soweit möglich, einzubauen. Dies gelingt regulatorisch über die Einbeziehung in den Emissionshandel (EU Emissions Trading System, EU ETS), wie dies in Deutschland seit 2024 der Fall und in der EU geplant ist. Hierüber erwächst den Betreibern ein Incentive, CO_2 abzuscheiden und dadurch ETS-Kosten zu vermeiden. Da sich nicht alle Kunststoffe und Biomasse getrennt sammeln oder abtrennen lassen, wird immer eine relevante Restmenge im Restabfall verbleiben. Dies ist ein entscheidendes Argument, die WtE-Anlagen mit CCU als sinnvolles ergänzendes Recyclingverfahren zu nutzen. Damit würde die Rohstoffversorgung der chemischen Industrie weiter abgesichert. Die hohe WtE-Dichte in Europa ist ein Vorteil, um Standorticherung für die chemische Industrie zu betreiben. So waren 2021 knapp 500 WtE-Anlagen (ohne Verbrennungsanlagen für gefährliche Abfälle) in 23 Ländern Europas im Betrieb, die 103 Mio. Mg Abfälle energetisch verwertet haben [87], was in etwa der gleichen Menge an erzeugtem CO_2 entspricht.

Da in Europa mehr als die Hälfte des CO_2 im WtE-Abgas biogenen Ursprungs ist ([59], kann sogar ein beachtlicher anteiliger Beitrag für die THG-Neutralität geliefert werden (negative Emissionen, siehe [51, 66]).

6.4 Alleinstellungsmerkmal des chemischen Kunststoff-Recyclings

Ein Alleinstellungsmerkmal des chemischen Recyclings [4]²⁸ von Kunststoffen ist, dass es immer wieder zu einer hohen Qualität der Neuprodukte (,virgin plastic‘) führt und daher grundsätzlich unendlich viele Kreisläufe möglich wären. An dieser Stelle (sehr viele Kreisläufe) ergeben sich ökobilanziell im Vergleich entscheidende Nachteile für das werkstoffliche Recycling. Selbst das heutige Vorzeige-Recycling der PET-Flaschen schafft im ersten Kreislauf derzeit nur rund 30 % *bottle to bottle* [88]. Mehrere closed-loop-Kreisläufe mit hohem Wirkungsgrad sind **materialtechnisch** gegenwärtig nicht darstellbar. Wie weit der Zusatz von Recycling-Additiven diese Nachteile kompensieren kann, ist offen. Die Systemvorgabe, mehrere Kreisläufe realisieren zu müssen (Carbon Chemical pool), würde daher

dazu führen, dass dem chemischen Recycling ökobilanzielle Vorteile gegenüber dem mechanischen Recycling erwachsen.

6.5 Mindestanforderungen

Der Wettbewerb der Recycling-Technologien sollte primär wirtschaftlicher Natur sein, sollte aber u.E. auch, um Fehlinvestitionen zu vermeiden, ganz wenige regulatorische Mindestanforderungen erfüllen.

Die hier propagierte Gleichwertigkeit von werkstofflichem und chemischem Recycling ist nur dann gerechtfertigt, wenn alle Wettbewerber bei den Emissionen in die Umwelt den gleichen Standard aufweisen (,Level Playing Field‘). Aus Sicht des Umweltschutzes müssen – und dies ist nicht trivial – bei der Luftreinhaltung und beim Gewässerschutz gleiche Standards angesetzt werden. Im Vergleich weisen bisher nur WtE-Anlagen einen hohen Emissionsschutzstandard auf. So können Anlagen zum mechanischen Recycling [89, 90] ebenso wie Anlagen des chemischen Recyclings relevante Emissionsquellen sein. Insbesondere die hohen Mikroplastik-Emissionen von Kunststoffrecyclinganlagen (Luft und Abwasser) [91, 92, 93, 94] sind u. E. gegenüber dem heutigen Stand deutlich zu reduzieren. Sicher auch aus diesem Grund hat die EU-Kommission in der Taxonomie-Verordnung für die Taxonomiekonformität der Sortierung und stofflichen Verwertung von Abfällen festgelegt, dass diese Anlagen die besten verfügbaren Techniken (BVT) anwenden müssen. Kunststoff-Recyclinganlagen müssen daher zukünftig über eine Filteranlage verfügen, die mindestens 75 % des Mikroplastiks (>5 μm) entfernt, bevor das Wasser abgeleitet wird²⁹. Und schließlich ist bei vielen Abfallaufbereitungsanlagen der Brandschutz ungenügend, was im Brandfall extrem hohe Emissionen nach sich zieht [95].

Ab 2030 sollte u.E. als weitere Mindestanforderung gelten, dass Recycling (werkstofflich oder chemisch) eine Mindestquote an Kohlenstoffsubstitution von 50 % erreicht. Dies entspricht der Quote, die die EU-Kommission in ihrer Taxonomie-Verordnung [96] und den entsprechenden Delegated Acts für die Taxonomiekonformität der stofflichen Verwertung^{30,31} festgelegt hat [97]. Recycling sollte also entweder stofflich über das Rezyklat mindestens die Hälfte des ,virgin plastic‘

29 **Sorting and material recovery of non-hazardous waste: Do no significant harm criteria for pollution prevention:** „For activities falling under the scope of the best available techniques (BAT) conclusions for waste treatment (implementing Decision (EU) 2018/1147), the activity implements the relevant techniques for pollution prevention and control and meets the relevant associated emission limits (BAT-AELs).“

Plastics recycling facilities have filtration installed prior to wash discharge that is capable of removing at least 75 % of microplastics >5 μm .“ <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity/395/view>

30 **Material recovery from non-hazardous waste: Substantial contribution criteria to climate mitigation:** „The activity converts at least 50 %, in terms of weight, of the processed separately collected non-hazardous waste into secondary raw materials that are suitable for the substitution of virgin materials in production processes.“ <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity/326/view>

31 **Sorting and material recovery of non-hazardous waste: Substantial contribution criteria to circular economy:** „For materials for which separate collection is mandatory, the activity converts at least 50 %, in terms of weight, of the processed separately collected non-hazardous waste into secondary raw materials that are suitable for the substitution of primary raw materials in production processes.“ <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity/395/view>

27 So finden im Fall der Gewinnung von Methanol aus Synthesegas oder aber aus CCU ($\text{CO}_2 + \text{H}_2$) Gleichgewichts-Reaktionen statt, die chemisch ähnlich und über Rekonvertierungsreaktionen miteinander verbunden sind.

28 Definition dort: „Prozesse basierend auf Abfallkunststoffen, die durch Pyrolyse oder Gasifizierung zu einem Naphtha-ähnlichen Grundstoff bzw. Synthesegas umgewandelt werden, auf dem jeweils die Grundstoffchemie aufgebaut werden kann.“

substituieren oder mindestens 50% des Kohlenstoffs aus dem Abfall sollte bilanziell in Neuprodukte („virgin plastic“ oder Chemikalien) enthalten sein. Für das werkstoffliche Recycling von Biomasse wie Holz oder Papier dürfte diese Anforderung umsetzbar sein, für das mechanische und das chemische Recycling wird es eine Herausforderung darstellen.

6.6 Regulatorische Empfehlung

Regulatorisch sollten alle Recycling-Verfahren für Kunststoffe oder Biomasse, deren Emissionen nach den besten verfügbaren Techniken reduziert werden und die bilanziell eine Substitution von mindestens 50% des fossilen Kohlenstoffs durch erneuerbaren Kohlenstoff erreichen, als gleichwertig anerkannt werden.

7. Priorität 6: Kein ‚toxisches‘ Kunststoff-Recycling

7.1 Ausgangslage

Die Defossilisierung sollte zur Steigerung des Recyclings führen. Das darf aber nicht zu Lasten des Gesundheits- bzw. Verbraucherschutzes gehen. Die Belastung von Kunststoff-Rezyklaten mit problematischen Stoffen ist mittlerweile als Problem erkannt [34, 50, 98, 99]. Daher sollten im Falle des werkstofflichen bzw. mechanischen Recyclings nur Rezyklate aus definierten, streng **kontrollierten Kreisläufen** in „kontaktempfindlichen“ Bereichen eingesetzt werden dürfen, wie dies in der EU für Lebensmittelverpackungen seit kurzem bereits Rechtslage ist.

Ein Moratorium für den Einsatz von Rezyklaten aus ungesicherten Kreisläufen ergibt sich zudem auch aus dem Stoffrecht. So ist das Herstellen von Rezyklaten stoffrechtlich gleichbedeutend mit der Herstellung eines Stoffes bzw. Stoffgemisches und wäre nach REACH registrierungspflichtig, gäbe es nicht das sogenannte Recycling-Privileg. Voraussetzung für die Ausnahme von den Anforderungen der Titel II (Registrierung), V (Nachgeschaltete Anwender) und VI (Bewertung) ist, dass der jeweils identische Stoff bereits registriert worden ist **UND** die Informationen gemäß Art. 31 (Sicherheitsdatenblatt) oder Art. 32 (Informationspflicht gegenüber den nachgeschalteten Akteuren der Lieferkette bei Stoffen als solchen und in Gemischen, für die kein Sicherheitsdatenblatt erforderlich ist) vorliegen. Sofern die Rezyklate definierte Schadstoffgrenzwerte³² überschreiten, müsste sogar eine Zulassung erwirkt werden. Die Zulassung wäre nur zu erhalten, wenn eine Risikoanalyse **keine** relevanten Risiken für Verbraucher ergäbe. Für aus Rezyklaten hergestellte Produkte, die beispielsweise verbotene Weichmacher oder Flammschutzmittel enthalten, muss von einer Migration dieser Schadstoffe aus dem Produkt ausgegangen werden, weswegen diese Schadstoffe für „virgin plastic“ verboten wurden. Daher würde eine Risikoanalyse insbesondere für den kontaktempfindlichen Bereich für derartige Rezyklate keinen positiven Ausgang haben, eine Zulassung wäre nicht möglich.

7.2 Regulatorische Empfehlung

Wir schlagen ein Moratorium der Verwendung von Rezyklaten aus **undefinierter** Herkunft für kontaktempfindliche Produkte vor. Zudem sollten für Rezyklate ebenso wie für Produkte aus Rezyklaten die gleichen Schadstoff-Grenzwerte gelten, die auch für Neumaterialien („virgin plastic“) einzuhalten sind. Regulatorisch würde dies bedeuten, dass die genannte EU-Regelung für Lebensmittelverpackungen [40] auf weitere kontaktempfindliche Produkte ausgedehnt wird [50].

8. Priorität 7: Transparenz der Rezepturen

8.1 Ausgangslage

Um dem stofflichen Kunststoff-Recycling das Adjektiv ‚toxisch‘ zu ersparen, benötigen wir **mehr Transparenz**. Diese Forderung wird möglicherweise abgelehnt. Sie ist aber die Grundvoraussetzung für alle Regelungen, die das werkstoffliche Recycling weiterhin als Option für die Defossilisierung sehen.

8.2 Regulatorische Empfehlung

Das vorgeschlagene Moratorium (Abschnitt 7.2) für den Rezyklateinsatz in kontaktempfindlichen Bereichen könnte für solche Altkunststoffe aufgehoben werden, die über einen digitalen Produktpass verfügen, der eine Schadstofffreiheit attestiert. Der digitale Produktpass sollte dafür so ausgestaltet werden, dass für die verwendeten Kunststoffe sowohl die Polymer- als auch die Additiv-Zusammensetzung in Form einer Rahmenrezeptur enthalten ist. Die EU-Kommission ist daher aufzufordern, den digitalen Produktpass für das Kunststoff-Recycling **beschleunigt** einzuführen. Damit bürokratische Doppelarbeit für die Unternehmen entfällt, sind hierbei bereits vorhandene Deklarations- und Informationspflichten zusammenzuführen.

Diese Empfehlung sollte auch für alle Additive gelten, die zur Verbesserung des werkstofflichen Recyclings eingesetzt werden (Recycling-Additive siehe [100]).

9. Priorität 8: Kunststoffprodukte, die bestimmungsgemäß in die Umwelt gelangen, müssen dort auch vollständig abbaubar sein

9.1 Ausgangslage

Die oben geforderte Obergrenze für die Produktion von Neukunststoffen wird auch vor dem Hintergrund der Meeresverschmutzung als notwendig angesehen. Daher gehört die Meeresverschmutzung auch zu den hier zu behandelnden Prioritäten.

In der EU ist die Anforderung, in der Umwelt abbaubar sein zu müssen, für einige Kunststoffprodukte, die bestimmungsgemäß in die Umwelt gelangen – einzelne Agrarprodukte aus Kunststoffen oder Mikroplastik in Kosmetika und Reinigungsmitteln, – **schon heute Rechtslage** [101]. Alle Kunststoffprodukte, die bestimmungsgemäß in die Umwelt gelangen, sollten u.E., wo möglich, abbaubar sein. Natürlich wäre ein Verbot dieser Produkte eine weitere Option. Für die Anwendungsbereiche, in denen weder ein Verbot noch

³² Unter REACH sogenannte SVHC-Stoffe oder nach POP-Verordnung sogenannte POP-Stoffe.

eine Abbaubarkeit sinnvollerweise gefordert werden kann (Autoreifen, Kunstfasern, Recyclinganlagen beispielsweise), müssen technische Lösungen zur Vermeidung oder Reduzierung von Emissionen erfolgen (z. B. Filterung des Straßenabflusses).

Polymere wie PE, PP, PVC oder PS sind aufgrund der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung in der Natur nicht biologisch abbaubar. Kunststoff-Compounds aus diesen Polymeren und den zahlreichen Additiven werden allenfalls zu Mikro- und Nanoplastik zerlegt (fragmentiert) [102]. Dieser Prozess der Fragmentierung zu Mikro- und Nanoplastik ist nicht umkehrbar. Bis heute ist nicht bekannt, ob dies ökologisch und toxikologisch gefährlich ist bzw. wo die Belastungsgrenzen liegen. Und in allen Ländern dieser Welt werden weiterhin ‚ewige‘ Mikroplastikpartikel (primär und sekundär) in großen Mengen in die Umwelt entlassen [103]. Dabei hätten wir die Möglichkeit, Anforderungen an Kunststoffe zu formulieren, die dies beenden („Safe and Sustainable by Design“ (SSbD) [104]). Dafür müsste die erforderliche Abbaubarkeit in der offenen Umwelt definiert und vorgeschrieben werden.

Im Vergleich zu den ‚ewigen‘ Kunststoffen wie PE oder PP stellen die heutigen auf dem Markt befindlichen bioabbaubaren Kunststoffe (2. Generation) einen Fortschritt dar. Rund 0,5 % der Kunststoffe am weltweiten Markt (über 1 Millionen Mg/a [105]) gehören bereits zu diesen Kunststoffen [106]. Aber die Erfahrungen in der Kompostwirtschaft zeigen, dass die 2. Generation hier eher zum Problem als zur Lösung geworden ist. Daher muss die Entwicklungsarbeit noch weiter vorangetrieben werden. Wir sprechen daher von einer zukünftigen 3. Generation, die benötigt wird [102].

9.2 Regulatorische Empfehlung

Die Abfallwirtschaft kann für Kunststoffe, die bestimmungsgemäß in die Umwelt gelangen, keinen Lösungsbeitrag erbringen. Daher sind besonders hohe Anforderungen an die Abbaubarkeit dieser Kunststoffe bzw. Erzeugnisse gerechtfertigt. Die regulatorischen Abbaubarkeitsanforderungen an eine 3. Generation stehen heute noch nicht fest. Sie sollten sich danach richten, was aus ökologischer (mariner) Sicht erforderlich ist.

Die Defossilisierung über Biomasse bietet viele Anknüpfungspunkte, um hier zu innovativen Lösungen zu kommen. Defossilisierung bzw. Klimaschutz und die Lösung der Meeresverschmutzung werden hier bewusst zusammengeführt, auch weil die Möglichkeit gesehen wird, ein gemeinsames Handlungsfenster zu öffnen.

10. Priorität 9: Die Systeme der erweiterten Produktverantwortung individualisieren

10.1 Ausgangslage

Die heutigen Extended-Producer-Responsibility- (EPR) Systeme sind in der Regel so konzipiert, dass im Versagensfall niemand individuell, sondern die Gemeinschaft die Verantwortung trägt. Dieser Konzeptionsfehler muss im Rahmen der Etablierung der Kohlenstoffkreisläufe überwunden werden. Im Entwurf der NKWS [21] wird angekündigt, die EPR-Systeme in Deutschland zu verbessern.

Die von uns empfohlene Individualisierung sollte auch aus einem weiteren Aspekt erfolgen: Wenn es zur Festlegung einer einheitlichen Defossilisierungsquote für die gesamte Chemieindustrie kommen sollte, wird es u.E. einen hohen Nachfrage-Boom an Kohlenstoffträgern (Kunststoffe, Biomasse) geben. Dieser Nachfragebedarf wird auch aus den vorhandenen Systemen gedeckt werden müssen. Weil in dieser neuen Welt auch hohe Preise gezahlt werden und es viel Geld zu verdienen gibt, wird die individuelle Verantwortung für gute Arbeit wichtig sein.

Nicht der Staat (EU oder Mitgliedsstaat) sollte verantwortlich für die Defossilisierung sein, auch nicht eine gesamte Branche im Rahmen eines neuen EPR-Systems, sondern die einzelnen Unternehmen. Uns ist bewusst, dass dies für einzelne Unternehmen schwer umsetzbar sein wird. Aber wir greifen an dieser Stelle zur Rechtfertigung auf einen anderen Regelungsbereich zurück: den Emissionshandel. Wenn die Treibhausgaseinsparungen nicht individualisiert wären, würde das System nicht funktionieren.

10.2 Regulatorische Empfehlung

In einem klugen Regulierungsmix („well-designed policy mixes“) ist es erforderlich, dass Verantwortlichkeiten in EPR-Systeme individualisiert sind. Hierzu sind allerdings Ausgleichsmechanismen zwischen den Unternehmen vorzusehen, vergleichbar dem Emissionshandel.

11. Priorität 10: Bürokratieabbau

11.1 Ausgangslage: Der European Green Deal

Seit Verkündung des European Green Deal im Dezember 2019 hat die EU-Kommission verschiedenste Regulierungsvorschläge auf den Weg gebracht und zum Teil auch schon in geltendes Recht überführt. Ein Ziel lautet „Mobilizing Industry for a Clean and Circular Economy“. Dem dient auch ‚Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa‘ [107]. Dieser umfasst mehrere Regulierungspakete und Initiativen, darunter einen Vorschlag für eine Verordnung über Ökodesign für nachhaltige Produkte (siehe Abschnitt 11.2).

Hinzu kommen Regulierungen insbesondere aus den Bereichen Klima (siehe etwa Table 3 in [46]), für Finanzen (z. B. die Taxonomie-Verordnung, die Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD, die Corporate Sustainability Due Diligence Directive – CSDDD) oder dem Net-Zero Industry Act [78], die die Komplexität und Bürokratie weiter anwachsen lassen werden.

11.2 Die Ökodesign-Verordnung – ein Beispiel

Die Ökodesign-Verordnung [108], in Kraft seit 18.7.2024, ist ein Herzstück des neuen Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft in der EU. Die Verordnung ist zwar mit ihren 80 Artikeln und acht Anhängen umfangreich, regelt aber dennoch keine einzige Ökodesign-Anforderung an ein konkretes Produkt im Detail. Sie regelt nur, wie die Kommission über sogenannte delegierte Rechtsakte dies **zukünftig zu tun** hat. Die Kommission soll also in den kommenden Jahren alle relevanten Produkte oder Erzeugnisse ein jeweiliges Öko-

design verordnen. Dafür nennt die Verordnung 20 Anforderungen, die die Kommission für die Rechtsakte zugrunde legen muss. Wir geben hier zwei davon wieder:

- ◆ Es werden beispielsweise Anforderungen für die Abfallvermeidung normiert: „Merkmale, Verfügbarkeit, Lieferzeit und Erschwinglichkeit von Ersatzteilen, Modularität, Kompatibilität mit allgemein verfügbaren Werkzeugen und Ersatzteilen, Verfügbarkeit von Reparatur- und Wartungsanleitungen, Anzahl der verwendeten Materialien und Bauteile, Verwendung von Standardbauteilen, Verwendung von Kennzeichnungsnormen für Bauteile und Materialien zu ihrer Identifizierung, Anzahl und Komplexität der Prozesse und Erfordernis spezieller Werkzeuge, einfache zerstörungsfreie Zerlegung und Wiedermontage, Bedingungen für den Zugang zu Produktdaten, Bedingungen für den Zugang zu oder die Nutzung der benötigten Hardware und Software“.
- ◆ Oder es werden Anforderungen an die Recyclingfähigkeit eines Produktes festgelegt: „Verwendung leicht recycelbarer Materialien, sicherer, einfacher und zerstörungsfreier Zugang zu recycelbaren Bauteilen und Materialien oder Bauteilen und Materialien, die gefährliche Stoffe enthalten, sowie Materialzusammensetzung und -homogenität, Möglichkeit einer hochreinen Sortierung, Anzahl der verwendeten Materialien und Bauteile, Verwendung von Standardbauteilen, Verwendung von Kennzeichnungsnormen für Bauteile und Materialien zu ihrer Identifizierung, Anzahl und Komplexität der erforderlichen Prozesse und Werkzeuge, einfache zerstörungsfreie Zerlegung ... (weiter wie bei Abfallvermeidung).“

Und die Liste der prioritär zu bewertenden Produkte im Artikel 18 der Verordnung ist lang und umfassend: Im ersten Arbeitsplan, der bis zum 19. April 2025 zu erlassen war, räumt die Kommission den folgenden Produktgruppen Vorrang ein:

- a) Eisen und Stahl,
- b) Aluminium,
- c) Textilien, insbesondere Bekleidung und Schuhwerk,
- d) Möbel, einschließlich Matratzen,
- e) Reifen,
- f) Waschmittel,
- g) Anstrichmittel,
- h) Schmierstoffe,
- i) Chemikalien,
- j) energieverbrauchsrelevante Produkte, für die erstmals Ökodesign-Anforderungen festgelegt werden sollen oder für die bestehende, aufgrund der Richtlinie 2009/125/EG angenommene Durchführungsmaßnahmen im Rahmen der vorliegenden Verordnung zu überprüfen sind, und
- k) Produkte der Informations- und Kommunikationstechnologie und sonstige Elektronikgeräte.

Um nicht falsch verstanden zu werden: Die Ökodesign-Idee ist konzeptionell richtig, auch weil sehr weit vorne in der Problemkette ansetzt (siehe Kapitel 2). Aber kann sie so funktionieren, wie es jetzt normiert ist?

Ein Fehler für diese Normierung liegt sicher in der Überhöhung des werkstofflichen Recyclings als ‚Silver

Bullet‘ (eine einfache oder die einzige Lösung für ein kompliziertes Problem³³). Weil klar erkennbar ist, was gegenwärtig suboptimal läuft (Downcycling), wird auf zukünftige Instrumente gesetzt, die über Produktdesign diese Missstände verbessern sollen. Am Ende landet man dann folgerichtig beim ordnungsrechtlichen ‚Design for Recycling‘.

Es gibt regelmäßig nicht nur ökonomische Gründe, warum ein Produkt so aufgebaut ist, wie es heute ist. Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) beispielsweise sind materialtechnisch hervorragend, sind aber genau genommen stofflich nicht zu recyceln. Wird die Ökodesign-Verordnung GFK zukünftig verbieten? Nur schwer vorstellbar. Oder nur in sehr gut begründeten Anwendungen zulassen? Wie soll das gehen?

2019 bestand ein rundes Drittel der getrennt gesammelten Verpackungen aus Verbunden³⁴ [109]; von einem stetig steigenden Anteil kann ausgegangen werden. Diese Verpackungen bestehen aus zwei bis 24 verschiedenen Schichten, wobei über 90% aus weniger als fünf Schichten bestehen [109]. Die Schichten sind zumeist unterschiedlichste Kunststoffe, aber auch Verbunde mit Papier/Pappe oder Metallen wie Aluminium sind gebräuchlich. Verbunde werden nur über die jeweils äußere Schicht in der Sortierung erkannt. Daher landen Verbunde in den unterschiedlichen Fraktionen, wie Folien, Reste oder Mischkunststoffe. Genau genommen sind die Verbunde, auch wenn sie nur aus Polymeren bestehen, nicht mechanisch recycelbar, in der Regel noch nicht einmal im Extruder gut mischbar [109]. Selbst wenn es gelingen sollte, die Verbunde zukünftig getrennt als einheitliche Fraktion abzutrennen, wird ein stoffliches Recycling nicht möglich sein, weil die chemische Zusammensetzung immer komplexer wird. Und dies hat gute Gründe, die im Bereich der stetigen Verbesserung der Performance von Verpackungen liegt. Hier liegt auch der wesentliche Grund für die Mehrschichtigkeit: die einzelnen Schichten tragen unterschiedlich, aber definiert zur Gesamt-Performance der jeweiligen Verpackung bei. Und die Performance variiert in Abhängigkeit des jeweiligen Produkts, welches zu verpacken ist (Lebensmittel, Pharmaka). Ohne diese Hochleistungs-Verpackungen würde es die heutige Realität in unseren Supermärkten nicht geben. Und der Anteil der verdorbenen Lebensmitteln würde erheblich steigen.

Die wahre Komplexität der Ökodesign-Verordnung wird sich daher erst demnächst im Rahmen vieler delegierter Rechtsakte der Kommission entfalten. Die ersten Rechtsakte bzw. Produktgruppen soll es Ende 2026 geben. Dann wird sich zeigen, wie tief der Eingriff der Kommission in die Produktgestaltung wirklich geht und ob es dem stofflichen Recycling nützt. In Bezug auf Chemikalien (einschließlich Polymere und Kunststoffe) plant die Kommission laut ihrem am 16. April 2025 vorgelegten Arbeitsplan 2025–2030 wegen der Komplexität der Materie bis Ende 2025 allerdings lediglich eine Studie in Auftrag zu geben, um die potenziell in den Geltungsbereich fallenden Chemikalien sowie potenzielle Schwerpunktbereiche für die Ver-

³³ Silberkugel, in Anlehnung an den Werwolf-Mythos
³⁴ 350 teilnehmende Haushalte, 21.380 post-consumer-LVP-Artikel

besserung von Produktaspekten für einen oder mehrere zukünftige(n) delegierte(n) Rechtsakt(e) genauer zu definieren. Diese könnten dann in den aktuellen oder nachfolgenden Arbeitsplan aufgenommen werden [110].

Möglicherweise wird die Kommission auch den Weg wählen, in ihren delegierten Rechtsakten keine konkreten Produkte zu bewerten, sondern die detaillierten Anforderungen der Verordnung weiter zu detaillieren und auf die genannten Produktgruppe hin zu spezifizieren. Die Wirksamkeit dieser Rechtssetzung würde dann zur Frage des Vollzugs und der Produktkonformität. Dies würde dann eine neue Aufgabe für die Vollzugsorgane der Mitgliedsstaaten sein.

Eine besondere Herausforderung der Ökodesign-Verordnung liegt in der oben erwähnten Anforderung, „leicht recycelbarer Materialien“ zu verwenden. Hiermit müsste die Kommission die Kunststoffvielfalt zur **Förderung des mechanischen Recyclings** begrenzen. Es entstünde dann eine umfassende, ganz neue Bürokratie.

11.3 Ökonomische Instrumente

Ökonomische Steuerung wird gern als Ausweg aus der ordnungsrechtlichen Bürokratisierung vorgeschlagen. Aber ökonomische Steuerung muss auch bürokratische Randbedingungen definieren und muss überwacht werden, ansonsten kann es zu Fehlentwicklungen kommen, wie etwa die jüngsten Betrugsvorwürfe gegen Upstream-Emissions-Reduktions-Projekte des deutschen Umweltbundesamtes in China gezeigt haben [111].

11.4 Regulatorische Empfehlung

Die neue EU-Kommission (2024–2029) hat begonnen, sich mit der Bürokratisierung zu befassen, und plant nun mit dem sogenannten OMNIBUS [112], die Regeln für Nachhaltigkeit und EU-Investitionen zu entschlacken [113]. Eine Einbeziehung der in Abschnitt 11.2 exemplarisch betrachtete Ökodesign-Verordnung wäre wünschenswert.

Wir wollten in der **Mischung** unserer Vorschläge aufzeigen, was in einem Teilbereich (Kohlenstoffkreislauf) **erforderlich** ist. Neue Regelungen würden die Komplexität allerdings noch weiter erhöhen. Daher haben wir parallel umfassende **Entschlackungsvorschläge** vorgelegt. Insbesondere unsere Kritik an der Ökodesign-Verordnung und unsere Vorschläge zur Streichung existierender Recyclingquoten werden sicher viel Widerspruch hervorrufen. Dabei ist zu beachten, dass Bürokratieabbau auch deshalb so schwierig ist, weil es immer Gründe und Interessen gibt, den Status quo beizubehalten.

Daher dienen die Kapitel 11 und 12 auch dazu, die Akzeptanz für – zugegeben – radikale Vorschläge zu steigern. Ohne den Mut zu radikalen Vorschlägen wird weder Bürokratieabbau stattfinden noch Raum für ökologische Fortschritte geschaffen.

12. Fazit

Ist die Regulierung in der EU in eine Komplexitätsfalle geraten? Unsere Antwort ist ein klares Ja. Somit ist

eine Diskussion zu führen, mit welchen Instrumenten und Handlungen („Better Regulation“ oder „Well-designed Policy Mixes“ [3]) man die relevanten Ziele (wie Standortsicherung für die und Defossilisierung der Industrie) wirkungssicher und schlanker erreicht. Daher ist es wichtig, anstatt eine heute schon überfrachtete ordnungsrechtliche Bürokratie immer weiter zu steigern, eine instrumentelle Diskussion zu führen, wie als prioritär angesehene Ziele **schlanker** erreicht werden können.

12.1 Verbindliche Defossilisierungsquote

Unser Vorschlag ist es, auf eine einzige zentrale Regelung zu setzen und bis 2050 **über eine hochlaufende Quotenregelung** eine vollständige Umstellung der Rohstoffbasis der Kunststoff-Industrie (chemische Industrie) zu erreichen (Defossilisierung)³⁵. Somit könnten sehr viele vorhandene oder angedachte ordnungsrechtliche Regelungen aufgegeben werden. Sobald die chemische Industrie die Klarheit hätte, ihre Rohstoffe aus beispielsweise Biomasse oder über Recycling ihrer Produkten, also den heutigen Abfällen, zu decken, wird ‚Design for Recycling‘ ganz automatisch das zentrale Geschäftsmodell der Branche in ihren Wertschöpfungsketten. Und regulatorisch wäre dies schlank zu erreichen: Für den Beginn müsste man nur das bisher unverbindliche Ziel einer 20%igen Defossilisierung der Rohstoffbasis der chemischen Industrie verbindlich machen.

Die EU hat für den Einsatz von grünem bzw. erneuerbarem Wasserstoff (und chemische Verbindungen dieses Wasserstoffs, sogenannte RFNBO) eine hochlaufende Quote festgelegt. Diese Quote ist für 2030 ambitioniert und verbindlich. Sie führt aber, weil für die anderen Optionen der Defossilisierung (Recycling, Biomasse) keine vergleichbaren bindenden Regelungen eingeführt sind, zu einer Priorisierung und Fokussierung auf den ‚Wasserstoff-Weg‘. Diese Einengung erfolgt u.E. ohne Not. Grüner Wasserstoff ist zudem knapp und wird insbesondere für die Stahlindustrie benötigt. Die chemische Industrie steht also in Konkurrenz zu anderen Industrien, hat aber über die Abfallwirtschaft Alternativen, sodass eine breitere Regelung diese Konkurrenz abmildern könnte.

Da grüner Wasserstoff insbesondere in Ländern mit hohem Potenzial an erneuerbarer Energie gewonnen wird, birgt die Fokussierung auf diesen Weg die Gefahr der Standortverlagerung – industriepolitisch eine unkluge Fokussierung. Besser wäre es, für die Rohstoffversorgung die Abfallwirtschaft in Europa mit gleicher Priorität einzubeziehen [114, 115].

Eine von uns vorgeschlagene Defossilisierungsquote würde es ermöglichen, ambitioniertere Ziele zu formulieren und den Unternehmen erlauben, auch günstigere Optionen für die Kohlenstoffversorgung (also Biomasse und Recycling) zu wählen. Damit erhielte die Abfallwirtschaft als zukünftige Rohstofflieferantin

35 Die EU-Kommission erkennt die Notwendigkeit, Lösungen für die Defossilisierung zu finden, legt bisher aber keinen Gesetzentwurf vor: „The production of chemicals and materials still relies heavily on fossil-based feedstocks, and therefore solutions for substitution need to be implemented alongside the management of demand for these alternatives.“ [48]

eine neue, aber zentrale Rolle für die Standortsicherung der Industrie.

12.2 Unterstützende Instrumente

Die von uns vorgeschlagene verbindliche Einführung einer Defossilisierungsquote von 20% bis 2030 wird aber nicht ausreichen. Ordnungsrecht allein hat schon in der Vergangenheit im Klimaschutz regelmäßig nicht genügt [3].

Heute wird schwerpunktmäßig auf staatliche Technologieförderung gesetzt (CAPEX-Förderung), was die ‚Bankability‘ von Investitionen kaum verbessert. Und diese Förderungen stehen im Staatshaushalt in Konkurrenz mit anderen Ausgabenbereichen und sind finanziell ein sehr begrenztes Instrument, selbst nach der Öffnung der Schuldenbremse in Deutschland. Eine andere Möglichkeit wäre es, die Defossilisierung als Aufbau eines **dauerhaften Kohlenstoffkreislaufes** regulatorisch zu entwickeln und dadurch die Möglichkeit zu schaffen, die Defossilisierung in den Emissionshandel zu integrieren und die jeweils erreichten fossilen Substitutionen mit handelbaren Gutschriften zu vergüten.

Durch die Anerkennung aller drei Optionen für die Defossilisierung (Biomasse, Recycling, CCU) als **gleichwertig** sowie einer **Gleichwertigkeit** von mechanischer bzw. werkstofflicher und chemischer Verwertung von Kunststoffen und Biomasse bestünde für die Wirtschaft die Möglichkeit, die jeweils ökonomisch günstigsten Optionen auszuwählen.

Einen Schub bekäme die Defossilisierung, wenn die heutige Müllverbrennung (in WtE-Anlagen), falls sie zukünftig CO₂ aus dem Abgas abscheidet und chemisch nutzt, als chemisches Recycling anerkannt würde. Hierdurch würde die in Europa etablierte WtE-Struktur ein wichtiger Standortfaktor für die chemische Industrie für eine sichere Kohlenstoffversorgung. Es würde zudem für die Klimaneutralität ein System negativer THG-Emissionen etabliert. Allerdings wäre es parallel erforderlich, die Deponierung von Siedlungsabfällen in Europa **auf null zu setzen** und ähnlich mit den Abfall-Exporten in Entwicklungs- und Schwellenländer zu verfahren.

Weiter wird es **ergänzend notwendig sein, für defossilisierte Erzeugnisse Märkte zu etablieren**. So werden in der aktuellen Kommunikation der EU-Kommission zum „Clean Industrial Deal“ [77] die Dekarbonisierung und die hierfür erforderlichen Leitmärkte als Schwerpunkt für die kommende Legislatur in Brüssel fixiert. Zudem will die Kommission bis Ende 2025 ein „Chemicals Industry Package“ vorlegen. Im März 2025 haben zudem acht Mitgliedsstaaten die Kommission aufgefordert, Maßnahmen zu ergreifen, um die bestehenden Produktionsstätten auf europäischem Boden zu erhalten, sie auszubauen, zu modernisieren und zu dekarbonisieren, **einschließlich der Nutzung alternativer Kohlenstoffquellen (biobasierte Stoffe, Recycling, CO₂-Nutzung)**. So soll die Kommission ein europäisches Paket für die chemische Industrie („Critical Chemicals Act“) vorschlagen, ähnlich wie das Paket zu kritischen Rohstoffen („Critical Raw Materials Act“) und zu kritischen Arzneimitteln („Critical Medicines Act“), um spezifische Instrumente zur Unter-

stützung der chemischen Industrie in Europa einzusetzen [116, 117].

12.3 Ausblick

Industriepolitisch ist Europa gegenwärtig in einer schwierigen Situation. Gerade für Mitgliedsstaaten wie Deutschland ist der Standorterhalt ihrer Industrie gefährdet.

Für die chemische Industrie ist neben der Energieversorgung die Versorgung mit erneuerbarem Kohlenstoff und dessen Kreislaufführung ein entscheidendes Asset. Daher sollte Deutschland bzw. Europa seine im internationalen Vergleich führende Abfallwirtschaftsinfrastruktur weiterentwickeln und so als Standortvorteil etablieren.

Literatur

- [1] **Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien:** <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- [2] **Gosten, A. (2024):** Ist das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) das Problem oder Teil der Lösung auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft? Handbuch der Kreislaufwirtschaft, ESV, Berlin, S. 1177-1202
- [3] **Stechemesser, A., Koch, N., Mark, E., Dilger, E., Klösel, P., Menicacci, L., Nachtigall, D., Pretis, F., Ritter, N., Schwarz, M., Vossen, H., Wenzel, A. (2024):** Climate policies that achieved major emission reductions: Global evidence from two decades. *Science* 385, 2024, 884-892. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adl6547>
- [4] **Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) (Hrsg.) (2023):** C4C – Chemistry for Climate. Wie die Transformation der Chemie gelingen kann. Abschlussbericht 2023 <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/broschueren-und-faltblaetter/final-c4c-broschure-langfassung.pdf>
- [5] **Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) (Hrsg.) (2024):** C4C – Chemistry for Climate. Wie die Transformation der Chemie gelingen kann. Ein Update. <https://www.vci.de/services/publikationen/wie-die-transformation-der-chemie-gelingen-kann-ein-update.jsp>
- [6] **Harrandt, J., Carus, M., vom Berg, C. (2024):** Evaluation of Recent Reports on the Future of a Net-Zero Chemical Industry in 2050. Ed.: Renewable Carbon Initiative (RCI). <https://doi.org/10.52548/SXWV6083>
- [7] **Scholz, A., Kloo, Y., Theisen, S., Saurat, M., Schneider, C., Meisel, K., Röder, L., Dögnitz, N., Stapf, D., Reeves, A. (2025):** Unsicherheiten überwinden, grüne Märkte erschließen. Kompass zur Defossilisierung
- [8] **Verordnung über die Vermeidung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung – VerpackV) vom 12. Juni 1991:** https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl191s1234.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl191s1234.pdf%27%5D__1726569631514
- [9] **Europäischer Rechnungshof (2024):** EU-Einnahmen auf der Grundlage nicht recycelter Verpackungsabfälle aus Kunststoff. Ein herausfordernder Start, der durch nicht ausreichend vergleichbare oder zuverlässige Daten noch erschwert wird. Sonderbericht 16, 2024 <https://www.eca.europa.eu/en/publications/SR-2024-16>
- [10] **Gaia (2023):** INC-3 Booklet <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/2023/11/INC3-booklet.pdf>
- [11] **Sachverständigenrat für Umweltfragen SRU (2024):** Suffizienz als „Strategie des Genug“: Eine Einladung zur Diskussion. Diskussionspapier, März 2024, https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2024_03_Suffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=21
- [12] **Tilsted, J. P., Bauer, F., Deere Birkbeck, C., Skovgaard, J., Rootzén, J. (2023):** Ending fossil-based growth: Confronting the political economy of petrochemical plastics. *One Earth*, Volume 6, Issue 6, 607-619 <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.05.018>
- [13] **United Nations Environment Programme (2024):** Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes. International Resource Panel, Nairobi. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>
- [14] **Europäische Kommission (2018):** Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft. COM(2018) 28 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52018DC0028>

- [15] **OECD (2022):** Global Plastics Outlook. Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. https://www.oecd-ilibrary.org/environment/global-plastics-outlook_de747aef-en
- [16] **Bundesregierung:** Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Weiterentwicklung 2021. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1873516/9d73d857a3f7f0f8df5ac1b4c349fa07/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf>
- [17] **Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU):** Umweltgutachten 2016. Kapitel 3: Kreislaufwirtschaft – Von der Rhetorik zur Praxis. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kap_03_Kreislaufwirtschaft.pdf
- [18] **United Nations (2022):** Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022, 5/14. End plastic pollution: towards an international legally binding instrument. UNEP/EA.5/Res.14, <https://wedocs.unep.org/xmlui/bitstream/handle/20.500.11822/39764/END%20PLASTIC%20POLLUTION%20-%20TOWARDS%20AN%20INTERNATIONAL%20LEGALLY%20BINDING%20INSTRUMENT%20-%20English.pdf>.
- [19] **Greenpeace International (2023):** UN INC3 ends in frustration as governments allow low ambition countries to derail Global Plastics Treaty, 19 November 2023 <https://www.greenpeace.org/international/press-release/63663/un-inc3-ends-in-frustration-as-governments-allow-low-ambition-countries-to-derail-global-plastics-treaty/>
- [20] **UNEP (2025):** Intergovernmental Negotiating Committee on Plastic Pollution. First part of the Fifth Session (INC-5.1). <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution/session-5>
- [21] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV):** Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie, Entwurf, 17.06.2024 https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/nkws_entwurf_bf.pdf
- [22] **Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S.E., et al. (2023):** Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Sci. Adv.* 9, 37 <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- [23] **Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung:** Planetare Grenzen – Ein sicherer Handlungsraum für die Menschheit. <https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/infothek/planetare-grenzen/planetare-grenzen> (1.11.2024)
- [24] **United Nations Environment Programme (2024):** Intergovernmental Negotiating Committee on Plastic Pollution <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution>
- [25] **IPCC:** Climate Change 2014 Synthesis Report. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- [26] **Prognos & CE Delft (2022):** CO₂ reduction potential in European waste management. Study, commissioned by FEAD, CEWEP, Dutch Waste Management Association & RDF Industry Group. [https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2022/01/CO₂-Study_Final_202201.pdf](https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2022/01/CO2-Study_Final_202201.pdf)
- [27] **European Environment Agency (EEA):** Diversion of waste from landfill in Europe. Published 22 Jan 2024 <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/diversion-of-waste-from-landfill> (2.7.2024)
- [28] **European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (2019):** Masterplan for a competitive transformation of EU energy-intensive industries enabling a climate-neutral, circular economy by 2050. Report from the High-Level Group on Energy-Intensive Industries. Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/854920>
- [29] **Richtlinie (EU) 2018/850 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 1999/31/EG über Abfalldeponien:** ABl. L 150, 14.6.2018, p. 100–108 <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/850/oj>
- [30] **Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien:** <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj>
- [31] **OECD (2015):** Municipal waste disposal and recovery shares, 2013 or latest. 26 Oct 2015. <https://doi.org/10.1787/9789264235199-graph42-en>
- [32] **Verordnung (EU) 2024/1157 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. April 2024 über die Verbringung von Abfällen, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1257/2013 und (EU) 2020/1056 und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1013/2006:** <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1157/oj>
- [33] **Verordnung (EU) 2024/1252 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. April 2024 zur Schaffung eines Rahmens zur Gewährleistung einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen und zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 und (EU) 2019/1020:** <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj>
- [34] **Lahl, U., Lechtenberg, D., Zeschmar-Lahl, B. (2024):** Kunststoffe in der Abfallwirtschaft – closing the loop? Österr. Wasser- und Abfallw. (2024) 76, 7–8. <https://doi.org/10.1007/s00506-024-01059-y>
- [35] **Kreislaufwirtschaftsquote oder Substitutionsquote als Maß für alle Aspekte, die über das Recycling hinaus der Kreislaufführung von Rohstoffen dienen:** Vgl. auch Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU) (Hrsg.) (2019): Substitutionsquote. Ein realistischer Erfolgsmaßstab für die Kreislaufwirtschaft. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/190722_uba_kommp_substitutionsquote_bf.pdf
- [36] **EUROSTAT:** Recycling von Verpackungsabfällen nach Art der Verpackung, hier: Kunststoffverpackungen. Online Datencode: cei_wm020, letzte Aktualisierung 07/05/2024 23:00 https://doi.org/10.2908/CEI_WMO20
- [37] **EUROSTAT:** Recyclingquote der getrennt gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE). Online Datencode: cei_wm060, letzte Aktualisierung: 17/04/2024 23:00 https://doi.org/10.2908/CEI_WMO60
- [38] **EUROSTAT:** Reuse and recycling rate of WEEE separately collected (CEI_WMO60). ESMS Indicator Profile (ESMS-IP) https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei_wm060_esmsip2.htm
- [39] **Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt:** <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>
- [40] **VERORDNUNG (EU) 2025/40 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. Dezember 2024 über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG. ABl. L, 2025/40, 22.1.2025:** <http://data.europa.eu/eli/reg/2025/40/oj>
- [41] **„Contact-sensitive packaging refers to plastic packaging of products covered by Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on additives for use in animal nutrition (OJ L 268, 18.10.2003, p. 29), Regulation (EC) No 1935/2004 of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 on materials and articles intended to come into contact with food (OJ L 338 13.11.2004, p. 4), Regulation (EC) No 767/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on the placing on the market and use of feed, amending European Parliament and Council Regulation (EC) No 1831/2003 and repealing Council Directive 79/373/EEC, Commission Directive 80/511/EEC, Council Directives 82/471/EEC, 83/228/EEC, 93/74/EEC, 93/113/EC and 96/25/EC and Commission Decision 2004/217/EC (OJ L 229, 1.9.2009, p. 1), Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products (OJ L 342, 22.12.2009, p. 59), Regulation (EU) 2017/745, Regulation (EU) 2017/746, Regulation (EU) 2019/4 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the manufacture, placing on the market and use of medicated feed, amending Regulation (EC) No 183/2005 of the European Parliament and of the Council and repealing Council Directive 90/167/EEC (OJ L 4, 7.1.2019, p. 1), Regulation (EU) 2019/6, Directive 2001/83/EC and Directive 2008/68/EC.“**
- [42] **Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Anforderungen an die kreislauforientierte Konstruktion von Fahrzeugen und über die Entsorgung von Altfahrzeugen, zur Änderung der Verordnungen (EU) 2018/858 und (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinien 2000/53/EG und 2005/64/EG:** <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2023%3A451%3AFIN&qid=1689318552193>
- [43] **Hense, P., Schebek, L., Vollprecht, D., Baur, F., Heuss-Aßbichler, S., Huber-Humer, M., Mockler, M., Rechberger, H., Rettenberger, G., Scharff, C., Wittmaier, M. (2024):** Festlegung von Quoten in der Kreislaufwirtschaft. Müll und Abfall 7, 372–377 <https://doi.org/10.3730/7j.1863-9763.2024.0703>
- [44] **RENEWABLE CARBON INITIATIVE (2024):** RCI Position Paper on Chemical and Physical Recycling, May 2024 <https://renewable-carbon.eu/publications/product/rci-position-paper-on-chemical-and-physical-recycling/>
- [45] **Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 („Europäisches Klimagesetz“):** <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119>
- [46] **European Scientific Advisory Board on Climate Change (ESABCC) (2024):** Towards EU climate neutrality. Progress, policy gaps and opportunities. Assessment Report 2024, https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/towards-eu-climate-neutrality-progress-policy-gaps-and-opportunities/esabcc_report_towards-eu-climate-neutrality.pdf/@download/file
- [47] **Plastics Europe (2023):** The Plastics Transition. Our industry’s roadmap for plastics in Europe to be circular and have net-zero emissions by 2050. https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/10/PlasticsEurope_Report_24.10.pdf
- [48] **European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (2023):** Transition pathway for the chemical industry, Publications Office of the European Union, Catalogue number ET-08-23-017-EN-N. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/873037>
- [49] **Meys, R., Kätelhön, A., Bachmann, M., Winter, B., Zibunas, C., Suh, S., Bardow, A. (2021):** Achieving net-zero greenhouse gas emission plastics by a circular carbon economy. *Science* 374,71–76 <https://doi.org/10.1126/science.abg9853>

- [50] **Lahl, U., Zeschmar-Lahl, B. (2024):** Material Recycling of Plastics – A Challenge for Sustainability. *Sustainability* 2024, 16, 6630 <https://doi.org/10.3390/su16156630>
- [51] **Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat:** Nachhaltige Kohlenstoffkreisläufe. Brüssel, den 15.12.2021, COM(2021) 800 final <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0800>
- [52] **DGAW Positionspapier (2021):** Biogene Reststoffe – ein wesentlicher Stoffstrom für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie. https://www.dgaw.de/fileadmin/Presse_und_Stellungnahmen/2021_03_05_-DGAW_Positionspapier_Biogene_Reststoffe_final.pdf
- [53] **Wagner, R. (2025):** Potenziale der Abfall- und Reststoffbiomasse zur THG-Vermeidung und Kohlenstoffspeicherung in Deutschland. *Müll und Abfall* 3, 140–147. <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2025.03.06>
- [54] **Lahl, U., Zeschmar-Lahl, B. (2012):** Weg vom Öl durch „feedstock change“ in der Chemieindustrie. Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien e. V. Berlin. LIFIS ONLINE [23.07.12], ISSN 1864-6972, https://leibniz-institut.de/archiv/lahl_23_07_12.pdf
- [55] **UPM BIOCHEMICALS (2024):** Bioraffinerie Leuna <https://www.upmbiochemicals.com/de/uber-upm-biochemicals/bioraffinerie-leuna/>
- [56] **UPM BIOFUELS (2024):** UPM Lappeenranta Biorefinery <https://www.upmbiofuels.com/about-upm-biofuels/upm-lappeenranta-biorefinery/>
- [57] **Carus, M., Porc, O., vom Berg, C., Kempen, M., Schier, F. and Tandetzki, J. (2025):** Is there enough biomass to defossilise the chemicals and derived materials sector by 2050? nova-Institut GmbH (Ed.), Hürth, Germany, 2025-02 <https://renewable-carbon.eu/publications/product/is-there-enough-biomass-to-defossilise-the-chemicals-and-derived-materials-sector-by-2050-a-joint-bic-and-rci-scientific-background-report/>
- [58] **Rühle, A. (2024):** Der große Sauger. *Süddeutsche Zeitung*, 13. September 2024, S. 7, und <https://www.sueddeutsche.de/politik/island-climate-change-geoengineering-klimaschutz-lux.BGfQE4bNcGjwp3b5pD EhMM?reduced=true>
- [59] **ITAD – Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. (2020):** Das Brennstoff-Emissionshandelsgesetz (BEHG). 19.05.2020 <https://www.itad.de/wissen/faktenblaetter/hintergrundinformationen-nach-behg>
- [60] **Nestler, R. (2023):** Großanlagen bis 2030? Wie sich das CO₂ aus den Abgasen holen lässt. *Tagesspiegel*, 25.02.2023, 09:23h <https://www.tagesspiegel.de/co2-raus-aus-den-abgasen-grossanlagen-bis-2030-9380294.html>
- [61] **Anon. (2024):** Uniper betreibt Großkraftwerk mit Pflanzenöl. *Energie & Management GmbH*, 30.01.2024 <https://www.energie-und-management.de/nachrichten/energieerzeugung/detail/uniper-betreibt-grosskraftwerk-mit-pflanzenoel-208636>
- [62] **Plattform Erneuerbare Energien Baden-Württemberg:** Kraftwerksstrategie des Bundes: Biogas könnte wichtiges Element sein – wird bislang aber ignoriert. Stuttgart, 4. März 2024 https://erneuerbare-bw.de/fileadmin/user_upload/pee/Startseite/Pressemitteilungen/PDF/2024/20240304_Kraftwerksstrategie_des_Bundes_Biogas_koennte_wichtiges_Element_sein.pdf
- [63] **Delegierte Verordnung (EU) 2023/1184 der Kommission vom 10. Februar 2023 zur Ergänzung der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates durch die Festlegung einer Unionsmethode mit detaillierten Vorschriften für die Erzeugung flüssiger oder gasförmiger erneuerbarer Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs für den Verkehr. Amtsblatt der Europäischen Union L 157/11, 20.6.2023:** <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1184>
- [64] **Delegierte Verordnung (EU) 2023/1185 der Kommission vom 10. Februar 2023 zur Ergänzung der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates durch Festlegung eines Mindestschwellenwertes für die Treibhausgaseinsparungen durch wiederverwertete kohlenstoffhaltige Kraftstoffe und einer Methode zur Ermittlung der Treibhausgaseinsparungen durch flüssige oder gasförmige erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs für den Verkehr sowie durch wiederverwertete kohlenstoffhaltige Kraftstoffe. Amtsblatt der Europäischen Union L 157/20, 20.6.2023:** <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1185>
- [65] **VDMA (2024):** Factsheet: EU RFNBO regulation and the use of industrial CO₂. https://www.vdma.org/documents/34570/4106139/VDMA_P2X4 A+Factsheet+EU+RFNBO+reg_2024_04_03.pdf
- [66] **Delegierte Verordnung (EU) 2024/2620 der Kommission vom 30. Juli 2024 zur Ergänzung der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Voraussetzungen dafür, dass Treibhausgase als dauerhaft in einem Produkt chemisch gebunden angesehen werden. OJ L, 2024/2620, 4.10.2024:** http://data.europa.eu/eli/reg_del/2024/2620/0j
- [67] **Verordnung (EU) 2024/3012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2024 zur Schaffung eines Unionsrahmens für die Zertifizierung von dauerhaften CO₂-Entnahmen, Kohlenstoffspeicherung der Landbewirtschaftung und der CO₂-Speicherung in**
- Produkten. ABl. L, 2024/3012, 6.12.2024:** <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/3012/0j>
- [68] **Richtlinie (EU) 2023/2413 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Oktober 2023 zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001, der Verordnung (EU) 2018/1999 und der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates:** https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413
- [69] **Kotowicz, J., Niesporek, K., Baszczeńska, O. (2025):** Advancements and Challenges in Direct Air Capture Technologies: Energy Intensity, Novel Methods, Economics, and Location Strategies. *Energies* 2025, 18, 496. <https://doi.org/10.3390/en18030496>
- [70] **Cefic (2023):** Conversion: turning it into raw materials. <https://cefic.org/a-solution-provider-for-sustainability/chemical-recycling-making-plastics-circular/chemical-recycling-via-conversion-to-feedstock/>
- [71] **Umweltbundesamt (2024):** Tabelle: Substitutionswirkung von PtX-Techniken. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/wasserstoff-schlüssel-im-kuenftigen-energiesystem#Rolle>
- [72] **Finke, B. (2024):** Deutsche Fabriken ohne Wasserstoff. *Süddeutsche Zeitung*, 3.9.2024, S. 14
- [73] **Göbelbecker, J. (2022):** Preisentwicklung des boomenden Energieträgers. Was kostet Wasserstoff jetzt und in Zukunft? Aktualisiert am 19. Apr. 2022 <https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/wasserstoff/was-kostet-wasserstoff-jetzt-und-in-zukunft-338.html>
- [74] **Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen:** Auf dem Weg zu einem ehrgeizigen industriellen CO₂-Management in der EU. Straßburg, den 6.2.2024, COM(2024) 62 final <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2024:62:FIN>
- [75] **Cefic (2023):** Restoring sustainable carbon cycles: the chemical industry as a solution provider <https://cefic.org/library-item/restoring-sustainable-carbon-cycles-update-march-2023-cefic-position/>
- [76] **Cefic (2023):** Cefic response to Commission consultation on Industrial Carbon Management. August 2023 https://cefic.org/app/uploads/2023/09/Cefics_submission_to_the_Industrial_Carbon_Management_consultation.pdf
- [77] **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions:** The Clean Industrial Deal: A joint roadmap for competitiveness and decarbonization. Brussels, 26.2.2025, COM(2025) 85 final. https://commission.europa.eu/document/download/9db1c5c8-9e82-467b-ab6a-905feeb4b6b0_en?filename=Communication%20-%20Clean%20Industrial%20Deal_en.pdf
- [78] **Regulation (EU) 2024/1735 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology manufacturing ecosystem and amending Regulation (EU) 2018/1724:** https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401735
- [79] **Eunomia Research & Consulting Ltd, Quaker United Nations Office (QUNO) (2024):** Plastic Money: Turning Off the Subsidies Tap. Phase 1 Report, prepared August 2024. <https://quno.org/sites/default/files/timeline/files/2024/Plastic%20Production%20Subsidies%20Modelling%20-%20Phase%201%20report%20v1.0.pdf>
- [80] **Sharp, R. (2024):** The Plastics Industry's Latest Deception: „Mass Balance“. Mass balance „recycled“ plastic credit schemes are misleading. NRDC (Natural Resources Defense Council) Expert Blog, September 9, 2024. <https://www.nrdc.org/bio/renee-sharp/plastics-industrys-latest-deception-mass-balance>
- [81] **Quicker, P., Seitz, M. (2025):** Bilanzierung und Bewertung des thermochemischen Recyclings von Kunststoffabfällen. *Müll und Abfall* 2, 80–85. <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2025.02.06>
- [82] **Quicker, P., Seitz, M. (2024):** Abschätzung der Potenziale und Bewertung der Techniken des thermochemischen Kunststoffrecyclings. UBA-Texte 154/2024 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/154_2024_texte_thermochemisches_kunststoffrecycling.pdf
- [83] **Cefic (2020):** Chemical Recycling: Greenhouse gas emission reduction potential of an emerging waste management route. https://cefic.org/app/uploads/2020/12/CEFIC_Quantis_report_final.pdf
- [84] **AVR (2025):** CO₂-capture plant <https://www.avr.nl/en/optimal-process/co2-capture-plant/>
- [85] **Fortum (2024):** World's first biodegradable plastic produced from CO₂ emissions in Finland. Press release, 15 October 2024, 8:00 EEST <https://www.fortum.com/media/2024/10/worlds-first-biodegradable-plastic-produced-co2-emissions-finland>
- [86] **Asinger, F. (1986):** Die Methanolsynthese. In: *Methanol – Chemie- und Energierohstoff*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-70763-6_3
- [87] **CEWEP:** Waste-to-Energy Plants in Europe in 2021 https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2024/05/EU-Map-2021_def.pdf
- [88] **Forum PET in der IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. (2019):** Aufkommen und Verwertung von PET-Getränkflaschen

- in Deutschland. <https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/2020/10/2020-10-19-Kurzfassung-Verwertung-PET-Getraenkeflaschen-2019.pdf>
- [89] Gravel, S., Lavoué, J., Bakhiyi, B., Diamond, M.L., Jantunen, L.M., Lavoie, J., Roberge, B., Verner, M.-A., Zayed, J., Labrèche, F. (2019): Halogenated flame retardants and organophosphate esters in the air of electronic waste recycling facilities: Evidence of high concentrations and multiple exposures. *Environment International* 128, 2019, 244-253, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.027>
- [90] Ge, X., Ma, S., Zhang, X., Yang, Y., Li, G., Yu, Y. (2020): Halogenated and organophosphorous flame retardants in surface soils from an e-waste dismantling park and its surrounding area: Distributions, sources, and human health risks. *Environment International* 139, 2020, 105741 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105741>
- [91] Brown E., MacDonald A., Allen S., Allen D. (2023): The potential for a plastic recycling facility to release microplastic pollution and possible filtration remediation effectiveness. *J. Hazard. Mater. Adv.* 10, 2023, 100309 <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100309>
- [92] Guo, Y., Xia, X., Ruan, J., Wang, Y., Zhang, J., LeBlanc, G.A., An, L. (2022): Ignored microplastic sources from plastic bottle recycling. *Sci. Total Environ.* 838, 2022, 156038 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156038>
- [93] Suzuki, G., Uchida, N., Tuyen, L.H., Tanaka, K., Matsukami, H., Kunisue, T., Takahashi, S., Viet, P.H., Kuramochi, H., Osako, M. (2022): Mechanical recycling of plastic waste as a point source of microplastic pollution. *Environ. Pollut.* 303, 2022, 119114 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119114>
- [94] Çolakoğlu, E.B., Uyanık, I. (2024): Plastic waste management in recycling facilities: Intentionally generated MPs as an emerging contaminant. *Waste Management* 181, 2024, 79-88 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.04.005>
- [95] Gesamtverband der Versicherer (GDV) (2024): Brandschutz in Recycling- und Sortieranlagen. Zuletzt aktualisiert: 12.08.2024 <https://www.gdv.de/gdv/themen/schaden-unfall/brandschutz-in-recycling-und-sortieranlagen-181282>
- [96] Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088: <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj>
- [97] European Commission: EU Taxonomy Navigator <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/taxonomy-compass/the-compass>
- [98] Lahl, U., Lechtenberg, D., Zeschmar-Lahl, B. (2024): Kunststoffrecycling und gefährliche Stoffe – Risk Cycle. Müll und Abfall 4, 195-204 <https://muellundabfall.de/ce/kunststoffrecycling-und-gefaehrliche-stoffe-risk-cycle/detail.html>
- [99] Liu, M., Brandsma, S.H., Schreder, E. (2024): From e-waste to living space: Flame retardants contaminating household items add to concern about plastic recycling. *Chemosphere* 365, 2024, 143319 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143319>
- [100] Lahl, U., Zeschmar-Lahl, B. (2025): Der neue Markt an Recycling-Additiven – Handlungsbedarf für den Gesetzgeber. Müll und Abfall, angenommen
- [101] Verordnung (EU) 2023/2055 der Kommission vom 25. September 2023 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich synthetischer Polymereinkompartikel. *Official Journal L 238/67, 27.9.2023*: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R2055>
- [102] Lahl, R., Bleischwitz, R., Lahl, U., Zeschmar-Lahl, B. (2025): Third-generation biodegradable plastics – A complementary strategy to tackle the marine litter problem. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 44, 101925 <https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.101925>
- [103] Nikpay, M., Toorchi Roodsari, S. (2024): Crafting a Scientific Framework to Mitigate Microplastic Impact on Ecosystems. *Microplastics* 2024, 3, 165-183. <https://doi.org/10.3390/microplastics3010010>
- [104] Commission Recommendation (EU) 2022/2510 of 8 December 2022 establishing a European assessment framework for 'safe and sustainable by design' chemicals and materials. *Official Journal of the European Union L 325/179*: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022H2510>
- [105] European Bioplastics (2024): Bioplastics market development update 2023 <https://www.european-bioplastics.org/market/>
- [106] European Bioplastics (2024): Project Information: Developing and implementing sustainability based solutions for bio-based plastic production and use to preserve land and sea environmental quality in Europe. <https://bioplasticseurope.eu/project>
- [107] Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft – Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Brüssel, den 11.3.2020, COM(2020) 98 final <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>
- [108] Verordnung (EU) 2024/1781 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2020/1828 und der Verordnung (EU) 2023/1542 und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401781
- [109] Communication from the Commission. *Ecodesign for Sustainable Products and Energy Labelling Working Plan 2025-2030*. Brussels, 16.4.2025, COM(2025) 187 final: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13682-New-product-priorities-for-Ecodesign-for-Sustainable-Products_en
- [110] Schmidt, J., Grau, L., Auer, M., Maletz, R., Woidasky, J. (2022): Multi-layer Packaging in a Circular Economy. *Polymers*, 14 (9), 1825. <https://doi.org/10.3390/polym14091825>
- [111] Deutscher Bundestag, Ausschuss für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Betrugsvorwürfe gegen Klimaschutzprojekte in der Ölbranche, hib 415/2024, 12.06.2024 <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-1008030>
- [112] Europäische Kommission: Weniger Verwaltungsaufwand: Kommission will Regeln für Nachhaltigkeit und EU-Investitionen vereinfachen. Pressemitteilung, 26. Februar 2025 https://germany.representation.ec.europa.eu/news/weniger-verwaltungsaufwand-kommission-will-regeln-fur-nachhaltigkeit-und-eu-investitionen-2025-02-26_de?preflang=en
- [113] Politico (2025): Brussels plans sweeping cuts to EU's green rules, leaked bill reveals. 22.2.2025 <https://www.politico.eu/article/brussels-plans-sweeping-cuts-to-eus-green-rules-leaked-bill-reveals/>
- [114] Mintrop, J., Gregorio, S. (2024): Wasserstoff: „Wir opfern eine Region in Chile für die Interessen anderer.“ 7. August 2024, 16:24 Uhr, <https://www.sueddeutsche.de/wissen/chiles-wasserstoff-lux-UMMo5rQD5gitCpL6Typc>
- [115] Bauchmüller, M., Munzinger, P. (2024): Skandal im Sperrgebiet. *Süddeutsche Zeitung* Nr. 205, 5. September 2024, S. 6
- [116] Ministère de L'Economie, des Finances et de la Souveraineté Industrielle et Numérique: France, Czech Republic, Hungary, Italy, Netherlands, Romania, Slovakia and Spain call the European Union to preserve a strong and resilient chemical industry. Communiqué de presse, 11.3.2025 <https://presse.economie.gouv.fr/france-czech-republic-hungary-italy-netherlands-romania-slovakia-and-spain-call-the-european-union-to-preserve-a-strong-and-resilient-chemical-industry/>
- [117] Ministère de L'Economie, des Finances et de la Souveraineté Industrielle et Numérique: Déclaration conjointe de l'Espagne, la Hongrie, l'Italie, les Pays-Bas, la République tchèque, la Roumanie, la Slovaquie et la France concernant l'industrie chimique européenne, 11.3.2025. <https://presse.economie.gouv.fr/download/?n=D%3C%A9claration%20conjointe%20de%20l%E2%80%99Espagne,%20la%20Hongrie,%20l%E2%80%99Italie,%20les%20Pays-Bas,%20la%20R%3C%A9publique%20tch%3C%A8que,%20la%20Roumanie,%20la%20Slovaquie%20et%20la%20France%20concernant%20l%27industrie%20chimique%20europ%C3%A9enne-pdf&id=146670>

Anschrift der Autoren

DGAW e.V.
Von-der-Heydt-Str. 2, 10785 Berlin

Das DGAW-Positionspapier: EU nach 2030 kann auf der Webseite der DGAW unter diesem Link heruntergeladen werden: https://dgaw.de/fileadmin/Presse_und_Stellungnahmen/News/DGAW-Positionspapier_-_EU_nach_2030.pdf



Das gesamte Abfallrecht – von Profis für Profis

- ▶ **Recht der Abfall- und Kreislaufwirtschaft des Bundes, der Länder und der Europäischen Union**
Kommentierungen der Abfallrahmenrichtlinie, des KrWG und weiterer abfallrechtlicher Gesetze und Verordnungen.
von Lersner/Wendenburg/Kropp/Rüdiger (Hrsg.)
- ▶ **AbfallR – Zeitschrift für das Recht der Kreislaufwirtschaft** (Lexxion Verlag)
Alle Ausgaben seit 2020
- ▶ **NEU in 2025: Franßen/Frenz (Hrsg.), Kunststoffrecht**
- ▶ **Thärichen, Grundzüge des Abfall- und Kreislaufwirtschaftsrechts**
- ▶ **Nagel, Der Abfallbeauftragte**
- ▶ **Frenz (Hrsg.), Handbuch Kreislaufwirtschaft**
Es werden fortlaufend neue Werke ergänzt.
- ▶ **ESV-Rechtsprechungssammlung**
- ▶ **ESV-Vorschriftensammlung**



Testen Sie 4 Wochen gratis
ESV-Digital.de/Abfallrecht

ESV-Einzellizenz: **1 Nutzer 62,50 €** (netto/Monat)
ESV-Bürolizenz: **3 Nutzer 125,- €** (netto/Monat)



Unser Tipp – Ihr Preisvorteil
ESV-Bürolizenz für bis zu 3 Nutzende

(030) 25 00 85-150 | ESV-Lizenzen@ESVmedien.de

ESV DIGITAL
Die Contentplattform

DER JURISTISCHE VERLAG
Content Partner **lexxion**

Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG · Genthiner Str. 30 G · 10785 Berlin
Tel. (030) 25 00 85-229 · Fax (030) 25 00 85-275 · ESV@ESVmedien.de