

CLIMATE CHANGE

79/2025

**Diskussionspapier**

# Umgang mit CCU im EU-ETS 1 - Doppelzählung und Anreize

**von:**

Sascha Lehmann, Dr. Vicki Duscha

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt



CLIMATE CHANGE 79/2025

KLIFOPLAN des Bundesministeriums für Wirtschaft und  
Klimaschutz

Forschungskennzahl 3721 42 506 0

FB001908

Diskussionspapier

## **Umgang mit CCU im EU-ETS 1 - Doppelzählung und Anreize**

von

Sascha Lehmann, Dr. Vicki Duscha  
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung,  
Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

### **Durchführung der Studie:**

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI  
Breslauer Str. 48  
76139 Karlsruhe

### **Abschlussdatum:**

November 2025

### **Redaktion:**

Fachgebiet V 3.3 „Ökonomische Grundsatzfragen des Emissionshandels, Auktionierung, Auswertung“  
Dr. Karl Zimmermann, Frank Gagelmann

### **DOI:**

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8133>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Dezember 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen\*Autoren.

**Kurzbeschreibung: Umgang mit CCU im EU-ETS 1 - Doppelzählung und Anreize**

Das Diskussionspapier befasst sich mit der zentralen Frage, wie kurzfristig in Produkten gebundener Kohlenstoff aus Carbon Capture and Utilisation (CCU) künftig im europäischen Emissionshandelssystem 1 (EU-ETS 1) berücksichtigt werden kann. Vor dem Hintergrund der möglichen Einbeziehung von Müllverbrennungsanlagen (MVA) in den EU-ETS 1 zielt die Analyse darauf ab, regulatorische Optionen aufzuzeigen, die eine Doppel- bzw. Mehrfachbepreisung von im Kreislauf geführtem Kohlenstoff vermeiden und gleichzeitig wirksame Anreize für eine stoffliche Kreislaufführung schaffen, ohne die Klimaschutzintegrität des Systems zu gefährden. Als exemplarischer Anwendungsfall dient in diesem Papier die Kunststoffindustrie als potenziell zentraler Sektor einer zukünftigen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft.

**Der Bericht analysiert und bewertet zwei grundlegende Regulierungsansätze:**

**Downstream-Ansatz:** Hier verbleibt die Abgabepflicht für Emissionen bei den Anlagen, die sie freisetzen, also den MVA. Betreiber können ihre Abgabeverpflichtungen jedoch durch Verwendungsnachweise senken, die belegen, dass das abgeschiedene CO<sub>2</sub> in neuen chemischen Produkten – etwa synthetischem Naphtha oder Methanol für die Herstellung neuer Kunststoffe – wiederverwendet wurde. Dieser Ansatz, der sich am bestehenden CCU-Rahmen gemäß Artikel 49a der EU-Monitoringverordnung orientiert, ist gut mit der bestehenden ETS-Systemlogik kompatibel, administrativ umsetzbar und birgt ein geringes Carbon-Leakage-Risiko in Bezug auf die Monomerhersteller. Er stärkt primär die Angebotsseite (CO<sub>2</sub>-Abscheidung) und setzt indirekte Anreize auf der Nachfrageseite für CO<sub>2</sub>-basierte Produkte.

**Upstream-Ansatz:** Bei dieser Option wird die Abgabepflicht auf die Produktionsstufe verlagert, konkret zu den Monomerherstellern, die fossilen Kohlenstoff über den Einsatz von Naphtha oder Methanol erstmals in Produkte einbinden. Der Einsatz von rezykliertem Kohlenstoff bliebe dagegen für Monomerhersteller abgabefrei, wodurch ein direkter Anreiz zur Nutzung alternativer Rohstoffe entstünde. MVA würden im Gegenzug für bereits bepreisten Kohlenstoff von der Abgabepflicht pauschal entlastet und könnten analog zum Downstream-Ansatz per Nachweissystem für rezyklierten Kohlenstoff befreit werden. Dieser Ansatz schafft zwar stärkere Nachfrageanreize, ist aber mit erheblichen Herausforderungen verbunden, darunter ein höherer administrativer Aufwand und ein hohes Carbon-Leakage-Risiko für die europäische Chemieindustrie.

Der Downstream-Ansatz stellt sich damit als die kurzfristig praktikablere und systemkonformere Lösung dar, die eine Integration von kurzfristigen CCU-Kreisläufen ermöglicht, ohne den ETS-Rahmen grundlegend reformieren zu müssen. Insgesamt erscheint der Ansatz aufgrund seiner rechtlichen Kompatibilität und geringeren administrativen Komplexität als praktikablerer Ansatz, wenngleich er potenziell Anreize für Abfallexporte oder illegale Entsorgung schaffen kann.

**Abstract: Dealing with CCU in the EU-ETS 1 – Double Counting and Incentives**

This discussion paper addresses the central question of how carbon from Carbon Capture and Utilization (CCU), temporarily stored in products, can be treated within the European Emissions Trading System 1 (EU-ETS 1) in the future. Against the backdrop of the possible inclusion of municipal waste incineration (MWI) plants into the EU-ETS 1, this analysis aims to identify regulatory options that prevent the double or multiple pricing of recycled carbon. At the same time, it seeks to create effective incentives for a circular economy for materials without compromising the system's climate integrity. The plastics industry serves as an exemplary case study, being a potentially key sector in a future circular carbon economy.

**The report analyzes and evaluates two fundamental regulatory approaches:**

**A downstream approach**, where the obligation to surrender allowances for emissions remains with the installations that release them, namely the MWIs. Operators can, however, reduce their obligations by using 'use certificates', which prove that the captured CO<sub>2</sub> has been reused in new chemical products - such as synthetic naphtha or methanol for the production of new plastics. This approach, which aligns with the existing CCU framework under Article 49a of the Monitoring and Reporting Regulation, is compatible with the current EU-ETS 1 logic, administratively feasible, and poses a low carbon leakage risk for monomer producers. It primarily strengthens the supply side (CO<sub>2</sub> capture) and creates indirect incentives on the demand side for CO<sub>2</sub>-based products.

**An upstream approach**, where the surrender obligation is shifted to the production stage, specifically to the monomer producers who first incorporate fossil carbon into products by processing naphtha or methanol. The use of recycled carbon, however, would remain exempt from this obligation for monomer producers, creating a direct incentive to use alternative raw materials. In turn, MWIs would receive a blanket exemption for previously priced carbon and could also be exempted via a certification system for recycled carbon, similar to the downstream approach. While this approach creates stronger demand-side incentives, it is associated with significant challenges, including higher administrative complexity and a high risk of carbon leakage for the European chemical industry.

The downstream approach is assessed as the more practicable and system-compliant solution for the short term, enabling the integration of short-term CCU cycles without fundamentally reforming the EU-ETS 1 framework. Overall, due to its legal compatibility and lower administrative complexity, this approach appears to be the more feasible option, although it could potentially create incentives for waste exports or illegal disposal.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis .....	8
Abkürzungsverzeichnis .....	9
1 Einführung .....	10
2 Kohlenstoff-Kreisläufe und die Kunststoffindustrie .....	12
Kunststoffindustrie.....	13
2.1.1 Die Kunststoffherstellung .....	13
2.1.2 Material- und Stoffkreisläufe in der Kunststoffindustrie.....	14
2.1.3 Unsicherheiten und Risiken in Bezug auf den Kohlenstoff-Kreislauf in der Kunststoffindustrie .....	16
2.1.4 Quantifizierung der Stoffströme des Kunststoffkreislaufs .....	17
3 Aktueller Rechtsrahmen für CCS und Kohlenstoffkreisläufe unter dem EU-ETS 1 .....	19
4 Optionen zur Regulierung von kurzfristigem CCU im EU-ETS 1 .....	21
4.1 Option A - Downstream-Ansatz: Abgabeverpflichtung bei potenziell abscheidenden Anlagen .....	22
4.2 Option B - Upstream-Ansatz: Abgabeverpflichtung beim Kohlenstoff einbindenden Kunststoffhersteller .....	23
4.3 Diskussion und Bewertung der Optionen A und B.....	25
4.3.1 Monomerhersteller als Ansatzpunkt .....	25
4.3.2 Monetäre Anreize für eine Kohlenstoffkreislaufwirtschaft.....	26
4.3.3 Umfang der erfassten Emissionen .....	29
4.3.4 Carbon Leakage-Risiko .....	30
4.3.5 MRV- und administrativer Aufwand .....	30
4.4 Ausgestaltungsoptionen .....	31
5 Zusammenfassung und Fazit .....	33
6 Quellenverzeichnis .....	35

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zentrale Schritte der Kunststoffherstellung .....	13
Abbildung 2:	Kreislaufführung beim werkstofflichen Recycling .....	14
Abbildung 3:	Kreislaufaufführung beim chemischen Recycling .....	15
Abbildung 4:	Möglichkeiten zur Kreislaufführung bei der energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen. ....	15
Abbildung 5:	Produktionsprozess für Kunststoff mit Mengenangaben für Deutschland in 2019 .....	18
Abbildung 6:	Schematische Darstellung der Abläufe unter dem Zertifizierungsansatz von Option A .....	23
Abbildung 7:	Schematische Darstellung der Abläufe unter Option B .....	25

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über Vor- und Nachteile der beiden Optionen .....	34
------------	---	----



## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
<b>CBAM</b>	CO <sub>2</sub> -Grenzausgleichsmechanismus
<b>CCS</b>	Carbon Capture and Storage
<b>CCU</b>	Carbon Capture and Utilization
<b>CRCF</b>	Zertifizierung von Kohlenstoffentnahmen
<b>DAC</b>	Direct Air Capture
<b>DEHSt</b>	Deutsche Emissionshandelsstelle
<b>EEA</b>	European Environment Agency
<b>EHRL</b>	Emissionshandelsrichtlinie
<b>EU-ETS 1</b>	Europäisches Emissionshandelssystem 1
<b>EUA</b>	European Union Allowances
<b>MRV</b>	Measurement, Reporting and Verification
<b>MTO</b>	Methanol-to-Olefins-Prozess
<b>MVA</b>	Müllverbrennungsanlagen
<b>MVO</b>	Monitoringverordnung
<b>RCF</b>	Recycled carbon fuels
<b>RED</b>	Erneuerbaren-Direktive
<b>RFNBO</b>	Renewable fuels of non-biological origin
<b>SLCF</b>	Synthetic low-carbon fuels
<b>THG</b>	Treibhausgasemissionen
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt

# 1 Einführung

Die Dringlichkeit der Bekämpfung des Klimawandels hat die Aufmerksamkeit auf die verschiedenen Optionen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) gerichtet. Dabei steht nicht nur die Umrüstung bestehender Prozesse im Fokus, sondern auch zunehmend die Effizienzsteigerung sowie Optionen der Kreislaufführung, um vorhandene Ressourcen zu schonen. Im Falle einer Kreislaufwirtschaft sind viele Stoffkreisläufe denkbar, unter anderem auch das Konzept der Kohlenstoffkreislaufführung. Es zielt darauf ab, den einmal aus dem Boden entnommenen Kohlenstoff durch Recycling und Wiederverwertung im Kreis zu führen und damit möglichst lange nicht freizusetzen.

Das Konzept könnte künftig insbesondere im Bereich schwer und nach heutigem Stand nicht-vermeidbarer Emissionen ein zentrales Element bei der Emissionsreduktion der europäischen Wirtschaft bilden. In einigen Bereichen, beispielsweise der Chemieindustrie, wird Kohlenstoff als Rohstoff benötigt, der derzeit aus fossilen Quellen (Rohöl und Erdgas) stammt. Gelingt es künftig Kohlenstoff verstärkt im Kreis zu führen, so kann die Nutzung fossiler Quellen in gleichem Maß eingeschränkt werden. Eine Kreislaufführung wird insbesondere für abgeschiedenen Kohlenstoff aus dem Europäischen Emissionshandel 1 (EU-ETS 1) unterliegenden Anlagen zur Abfallverbrennung (derzeit nur Berichtspflicht im EU-ETS 1) oder aus der Zement- und Kalkindustrie diskutiert, die große CO<sub>2</sub>-Punktquellen darstellen und neben der CO<sub>2</sub>-Abscheidung keine derzeit bekannten, großflächig einsetzbaren alternativen CO<sub>2</sub>-Vermeidungsmöglichkeiten besitzen.

**Während das Konzept von industriellen Kohlenstoffkreisläufen zwar eine umweltfreundliche und ressourcenschonende Lösung verspricht, birgt es komplexe Herausforderungen bei der Regulierung. Diese bestehen bei der Kreislaufführung mit energetischer Verwertung insbesondere in der vollständigen Erfassung fossiler Kohlenstoffemissionen und der einmaligen (also nicht doppelten oder mehrfachen) Bepreisung dieser Emissionen gepaart mit effektiven Anreizen für den Aufbau und die Umsetzung von Kohlenstoffkreisläufen für Unternehmen.**

Der regulatorische Rahmen für eine Kohlenstoffkreislaufwirtschaft in Europa muss auf bestehenden Regularien aufbauen und neue Regularien sinnvoll in das bestehende Rahmenwerk integrieren. Das Thema steht auch auf der europäischen Agenda. Im Art. 30 (5c) der ETS-Richtlinie ist bis zum 31. Juli 2026 ein Bericht und ggf. ein Gesetzgebungsvorschlag vorgesehen, um die Behandlung von CCU über die bisher geregelten Anwendungen hinaus zu überprüfen.

Vor diesem Hintergrund werden im vorliegenden Bericht zwei Optionen zur Integration von Kohlenstoffkreisläufen in den EU-ETS 1 untersucht. Dabei wird unterstellt, dass neben den bereits erfassten ETS-pflichtigen Anlagen im Industrie- und im Energiesektor zukünftig auch die Müllverbrennungsanlagen (MVA) dem EU-ETS 1 unterliegen werden.<sup>1</sup> Als Fallbeispiel dient die Kunststoffindustrie, die zu den Schlüsselbranchen einer künftigen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft zählen wird, da sie als wesentlicher Nachfrager nach Kohlenstoff auftreten kann. Der Fokus des Berichts liegt darauf, Herangehensweisen aufzuzeigen, wie bestehende Benachteiligungen einer Kohlenstoffkreislaufführung durch Mehrfachbepreisung gegenüber neuem fossilem Kohlenstoff aufgehoben werden können. Damit entstehen zwar grundsätzlich Anreize zur Kreislaufführung, ob diese jedoch ausreichen, um eine solche auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten attraktiv zu machen, wird im Rahmen des Berichts nicht vertieft behandelt.

---

<sup>1</sup> Müllverbrennungsanlagen sind derzeit noch nicht abgabepflichtig im EU-ETS 1. Die EU-Kommission legt im Zuge des nächsten Reviews der Emissionshandelsrichtlinie (2003/87/EG) einen Bericht mit einer Bewertung des Einbezugs von MVAs vor.

Im folgenden Abschnitt erfolgt zunächst eine Darstellung möglicher Kohlenstoffkreisläufe und ein Überblick über die Kunststoffherstellung. Abschnitt 3 enthält eine kurze Beschreibung der bestehenden Regulierung. Im vierten Abschnitt werden die zwei Optionen für den Umgang mit CCU vorgestellt, bei dem der Kohlenstoff nur vorübergehend eingebunden wird – jeweils unter den genannten Rahmenbedingungen im Kontext des EU-ETS 1. Abschnitt 5 umfasst eine Zusammenfassung, Schlussfolgerungen sowie eine allgemeinere Einordnung der vorgestellten Lösungsansätze.

## 2 Kohlenstoff-Kreisläufe und die Kunststoffindustrie

Nachfolgend sind die derzeit aus heutiger Sicht als besonders relevant erscheinenden zukünftigen Kohlenstoff-Kreisläufe kurz dargestellt, bevor im Detail auf die Kunststoffindustrie eingegangen wird.

**Renewable fuels of non-biological origin (RFNBO):** RFNBO sind synthetische Brenn- und Kraftstoffe, die im EU-ETS 1 einen Emissionsfaktor von Null erhalten, sofern sie gemäß den Kriterien des delegierten Rechtsaktes unter der RED II-Revision (del. Verordnung (EU) 2023/1185) eine Treibhausgasmindering von mindestens 70 % im Vergleich zum substituierten Kraftstoff, mit einem fossilen Vergleichswert von 94 g-CO<sub>2</sub>-äq./MJ, erzielen (Europäische Kommission, 2023). Um als RFNBO im Sinne der Verordnung (EU) 2023/1185 zertifiziert zu werden, muss der Kohlenstoff aus nachhaltigen Quellen, aus der Atmosphäre oder übergangsweise – bis 2040 - aus einer Anlage aus dem Anwendungsbereich des EU-ETS 1 kommen, womit diese Emissionen bereits einer effektiven CO<sub>2</sub>-Bepreisung unterliegen.

**Produzenten von RFNBO sind daher potenzielle Nachfrager von Kohlenstoffdioxid.** Anders als Kunststoffe werden RFNBO jedoch direkt in Verbrennungsprozessen eingesetzt und können als Energieträger auf Basis zertifizierter Nachweise gezielt von etwaigen doppelten Abgabeverpflichtungen befreit werden.

**Chemieindustrie:** In der organischen Chemie stellt Kohlenstoff einen zentralen Baustein in den Basischemikalien als Ausgangsstoffe für Kunststoffe, Farben, Lacke, Schmierstoffe oder Bitumen dar. Zukünftig kann atmosphärischer, biogener oder rezyklierter Kohlenstoff die Rolle des fossilen Kohlenstoffs, der direkt aus Öl oder Gas gewonnen wird, ersetzen. Die unter Artikel 12 (3b) der Emissionshandelsrichtlinie (EHRL) genannten Kriterien zur permanenten Bindung werden von der Mehrzahl der chemischen Produkte bei üblichem Gebrauch in der Regel nicht erfüllt. Insbesondere bei Kunststoffen steht am Ende des Lebenszyklus häufig entweder ein Recyclingverfahren oder die Verbrennung in einer ggf. künftig ETS-pflichtigen Anlage, deren Emissionen in Deutschland reguliert sind<sup>2</sup>.

Im Folgenden dient die Kunststoffproduktion als Fallbeispiel für die Schließung von Kohlenstoffkreisläufen.

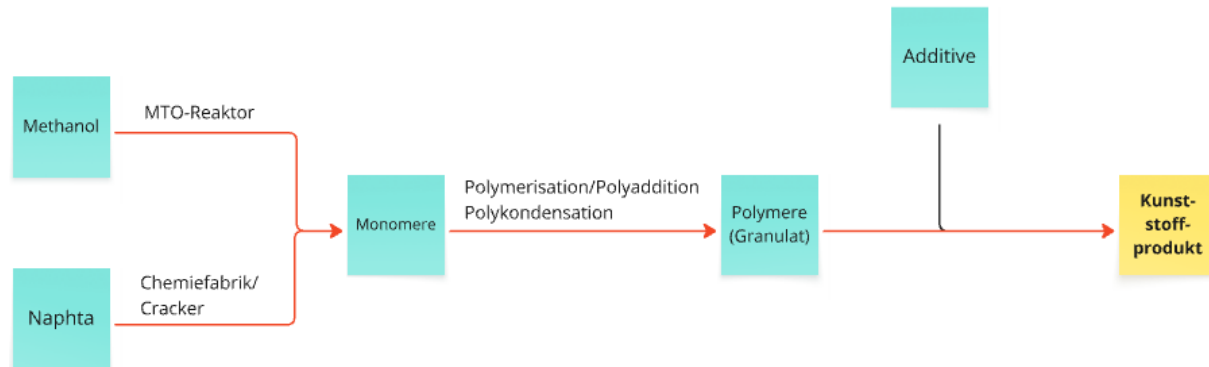
---

<sup>2</sup> Abfallverbrennung ist aktuell im nEHS reguliert und seit 2024 im EU-ETS 1 zur Überwachung verpflichtet. Eine EU-weite Entscheidung, ob und wie Anlagen zur Verbrennung von Siedlungsabfällen ab 2028 im EU-ETS 1 zertifikationspflichtig werden, ist bis Ende Juli 2026 zu erwarten.

## Kunststoffindustrie

### 2.1.1 Die Kunststoffherstellung

**Abbildung 1: Zentrale Schritte der Kunststoffherstellung**



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

Der Produktionsprozess von Kunststoffen gliedert sich in vier Hauptschritte (siehe Abbildung 1). Übliche Ausgangsstoffe stellen Naphtha oder Methanol dar, die entweder fossilen Ursprungs oder aus nachhaltigen biogenen Quellen stammen können. Zunehmend rückt auch die Nutzung von synthetischem Naphtha oder Methanol in den Fokus der Produktentwicklung. Diese Alternativen werden durch die Kombination von CO<sub>2</sub> mit grünem Wasserstoff hergestellt. Das hierfür genutzte CO<sub>2</sub> kann entweder industriell abgeschieden, direkt aus der Luft gefiltert (Direct Air Capture - DAC) oder aus biogenen Quellen gewonnen und in die chemische Struktur eingebunden werden, sodass Methanol oder langkettige Kohlenwasserstoffe entstehen.

Im nächsten Schritt werden diese Rohstoffe in ihre chemischen Grundbestandteile zerlegt. Naphtha wird im Steamcracking in kurzkettenige Kohlenwasserstoffe („Monomere“) wie Ethylen und Propylen gespalten. Methanol hingegen kann im Methanol-to-Olefins-Prozess (MTO) direkt in Olefine umgewandelt werden.

Der dritte Schritt umfasst die Polymerisation, bei der die Monomere zu langen Polymerketten verbunden werden. Diese Ketten bilden die Grundlage für Kunststoffe und bestimmen deren spezifische Eigenschaften. Unterschiedliche Polymerisationsverfahren ermöglichen die Herstellung verschiedener Kunststoffe für die vielfältigen Anwendungen.

Im vierten und letzten Schritt werden die gewonnenen Polymere mit Additiven wie Weichmachern, UV-Stabilisatoren oder Farbstoffen angereichert und zu fertigen Kunststoffprodukten verarbeitet. Die Additive verbessern die Eigenschaften der Kunststoffe, während der Einsatz von biobasierten oder recycelbaren Additiven zusätzlich die Nachhaltigkeit des gesamten Prozesses stärkt.

Für die Etablierung von Kohlenstoffkreisläufen ist die Herstellung von synthetischem Naphtha und Methanol ein zentraler Schritt, da hierbei Kohlenstoff eingebunden wird. Um den Kohlenstoffkreislauf zu schließen, d. h. das eingebundene Kohlenstoffatom im Kreislauf zu halten, muss es bei der Freisetzung – hier: die Verbrennung von Kunststoffabfällen – abgeschieden werden. Dies kann sowohl als reine Abfallverbrennung als auch als Abfallmitverbrennung (z. B. in Zementwerken) erfolgen.<sup>3</sup>

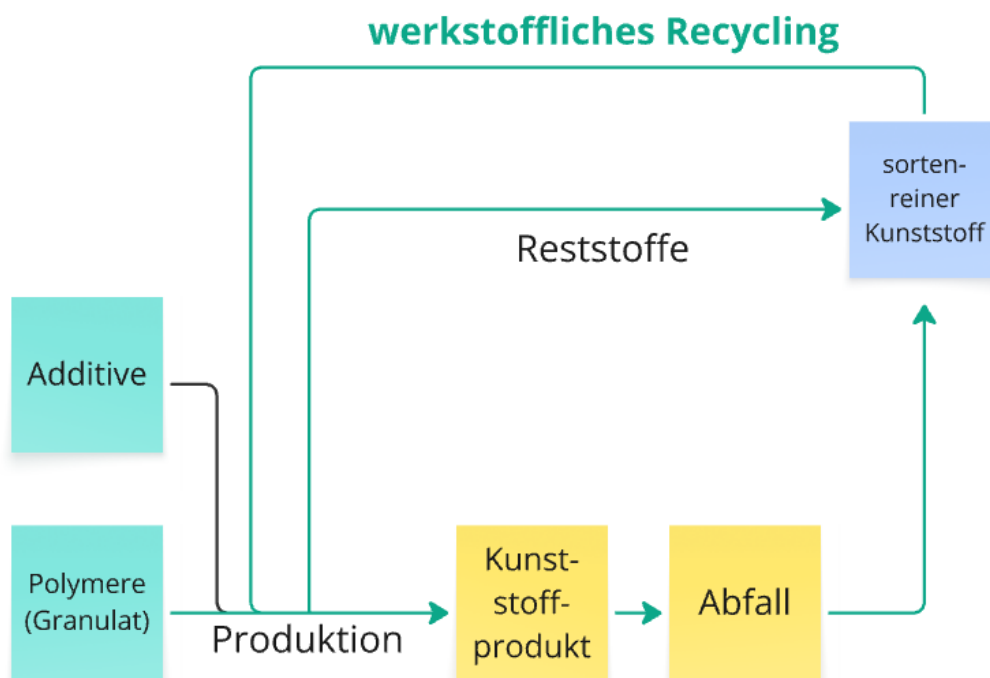
<sup>3</sup> Vgl. dazu z. B. Zeschmar-Lahl, B., Schöneberger, H. und Waltisberg, J. (2020)

Die beschriebenen Produktionsschritte erfolgen meist nicht integriert, sondern verteilen sich häufig auf unterschiedliche Produktionsstätten. Zudem werden Zwischenprodukte wie Monomere und Polymere eigenständig gehandelt und auch grenzüberschreitend transportiert. Für den Aufbau einer Kohlenstoffkreislaufwirtschaft müssen dieser Liefer- und Handelsketten berücksichtigt werden.

### 2.1.2 Material- und Stoffkreisläufe in der Kunststoffindustrie<sup>4</sup>

In der Kunststoffindustrie, deren Gesamtproduktionsvolumen (ohne Additive, Lacke, Farben, Textilien oder Verwendung in Kosmetik und medizinischen oder chemischen Prozessen) im Jahr 2022 in Europa etwa 58,7 Millionen Tonnen (PlasticsEurope, 2023) umfasste, sind verschiedene Kreisläufe möglich, von denen einige bereits heute existieren. Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4 verdeutlichen die im Folgenden skizzierten möglichen Kreisläufe.

**Abbildung 2: Kreislaufführung beim werkstofflichen Recycling**



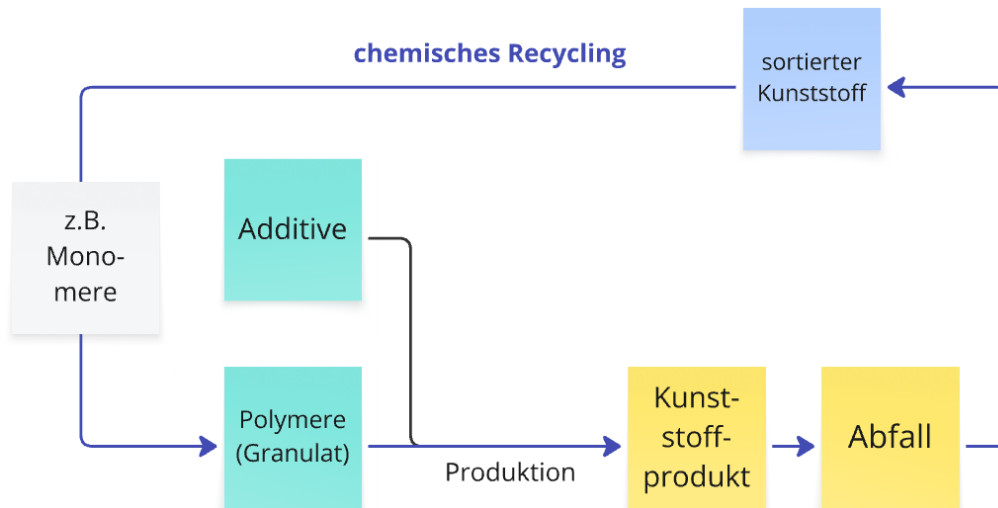
Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

- **Werkstoffliches Recycling** (Abbildung 2) spielt eine zentrale Rolle bei der Wiederverwertung von Kunststoffen. Dabei werden sortenreine Ausgangsstoffe wie Produktionsabfälle oder PET aus Getränkeflaschen, aber auch nachsortierte Fraktionen aus Haushaltskunststoffabfällen mit zunächst unbekannter Zusammensetzung verarbeitet. Die gebrauchten Kunststoffe werden aufbereitet, eingeschmolzen und als Sekundärrohstoffe, sogenanntes „Regranulat“, für neue Kunststoffprodukte verwendet. Dieses Verfahren ermöglicht es, Kunststoffe (und den darin eingebundenen Kohlenstoff) in einem geschlossenen Kreislauf zu halten und den Energieaufwand und Rohstoffbedarf im Vergleich zur Neuproduktion zu reduzieren. Allerdings geht das Recycling oft mit Qualitätsverlusten des Materials einher, insbesondere bei Verschmutzung und weniger sortenreinen Materialien. In solchen Fällen spricht man von **Downcycling**, was eine spezielle Form des werkstofflichen Recyclings darstellt, bei der Kunststoffe zu Produkten verarbeitet werden,

<sup>4</sup> Alle Daten in diesem Abschnitt basierend auf PlasticsEurope (2023).

die weniger wertvoll sind als das Ausgangsmaterial. Zwar führt dies zu einer Minderung der Materialqualität und begrenzt die Nutzungsmöglichkeiten, dennoch bleibt eine Weiterverwendung der Kunststoffe möglich, wodurch der Kohlenstoff nicht freigesetzt wird. Am Ende dieses Prozesses, wenn das Material nicht weiter recycelt werden kann, erfolgt die Entsorgung, beispielsweise in der Abfallverbrennung. Im Jahr 2022 wurden in der EU etwa 10,8 Millionen Tonnen Kunststoffe durch mechanisches Recycling gewonnen.

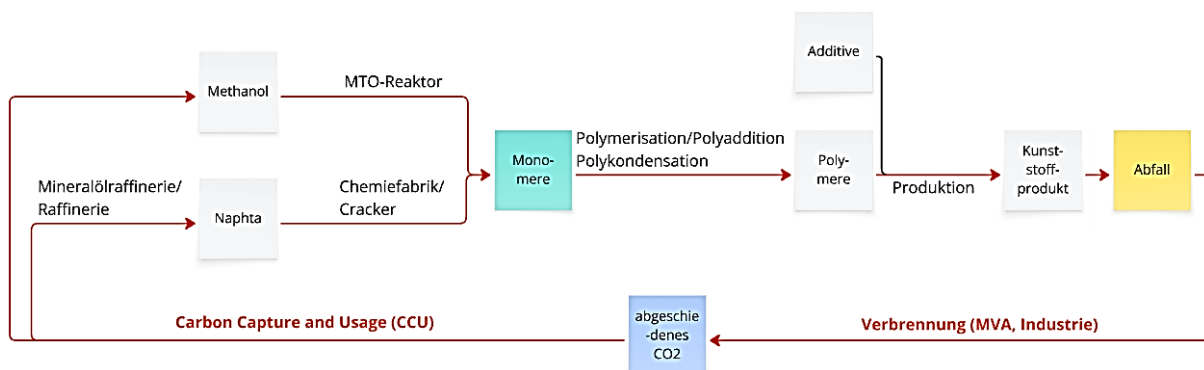
**Abbildung 3: Kreislaufaufführung beim chemischen Recycling**



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

- Wenn die Sortenreinheit für werkstoffliches Recycling nicht ausreicht, kann eventuell künftig **chemisches Recycling** (Abbildung 3) zum Einsatz kommen. Dabei werden Polymere aus Kunststoffabfällen selektiv in einfachere Moleküle, etwa Monomere oder Synthesegase, zerlegt, etwa durch Verfahren wie Vergasung, Pyrolyse oder Solvolyse. Obwohl diese Methoden aktuell teuer und noch nicht Stand der Technik sind (nur etwa 0,1 Millionen Tonnen relativ reiner Kunststoffabfallfraktionen wurden in der EU im Jahr 2023 chemisch recycelt), werden sie insbesondere für die Wiederaufbereitung von Kunststoffabfällen im Lebensmittelkontaktbereich vorangetrieben (PlasticsEurope, 2023). Trotz des hohen Energieaufwands bietet chemisches Recycling gegenüber der energetischen Verwertung stoffliche Vorteile und – je nach Ausgangsmaterial und Verfahren – eine höhere Materialqualität als werkstoffliches Recycling.

**Abbildung 4: Möglichkeiten zur Kreislaufaufführung bei der energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen.**



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

- **Die energetische Verwertung** von Kunststoffabfällen kann auf verschiedene Weisen erfolgen, insbesondere in Müllverbrennungsanlagen, jedoch auch als Ersatzbrennstoff in Ersatzbrennstoff-Kraftwerken oder in Zementwerken (z. B. für das Brennen von Zementklinker). Diese Verwertungsmethoden tragen zwar zur Energiegewinnung bei, führen jedoch auch zu THG-Emissionen und verhindern die Rückführung der Materialien und damit des Kohlenstoffs in den Kreislauf. Wird das bei der Verbrennung von Kunststoffabfällen freiwerdende CO<sub>2</sub> abgeschieden, weitergeleitet, in synthetischen Ausgangsstoffen (z. B. eNaphtha und eMethanol) gebunden und dann wieder in die Kunststoffproduktion gegeben (siehe Abbildung 4), kann der **Kohlenstoffkreislauf** zumindest teilweise geschlossen werden.

Die dargestellten Formen der Kreisläufe in der Kunststoffherstellung sind keine perfekt geschlossenen Kreisläufe, da es bei allen Methoden zu Verlusten (Material- bzw. Kohlenstoffverlusten) entlang der Prozessschritte kommt. Nicht erfasstes und/oder nicht recycelbares Material sowie nicht aufgefangene oder entwichene Kohlenstoffemissionen verringern die Kreislaufeffizienz und führen zu einer erhöhten Umweltbelastung.

Die Treibhausgasemissionen hängen von der Effizienz der Recyclingprozesse, der Art der Energiegewinnung, den jeweiligen Kunststoffabfallsorten und der Kreislaufgüte ab. Eine umfassende Bewertung ist nicht Ziel dieses Papiers und sollte auf einer umfassenden und aktuellen Datenbasis erfolgen, wie sie beispielsweise in Veröffentlichungen und Datenbanken der European Environment Agency (EEA, 2024; EEA, 2025) zu finden sind.

### 2.1.3 Unsicherheiten und Risiken in Bezug auf den Kohlenstoff-Kreislauf in der Kunststoffindustrie

Die Schließung des Kreislaufs als zentrale Zielstellung ist mit diversen Unsicherheiten und Problemen verbunden:

- Aktuell besteht Unsicherheit **darüber, wo künftig synthetische kohlenstoffhaltige Vorprodukte produziert werden**. So wird häufig davon ausgegangen, dass zumindest die Wasserstoffproduktion überwiegend nicht in Deutschland bzw. aufgrund der Verfügbarkeiten von erneuerbaren Energien sogar außerhalb der EU stattfinden wird (vgl. u.a. Wietschel et al., 2024). Inwieweit eine Schließung des Kohlenstoffkreislaufs dann wirtschaftlich möglich ist, bleibt unklar. Es bleiben drei Optionen zur Schließung des Kreislaufs (i) die Abfallverbrennung wird dorthin verlagert, wo die Synthese stattfindet, (ii) das in Europa abgeschiedene CO<sub>2</sub> wird dorthin transportiert, wo die Synthese stattfindet oder (iii) der Wasserstoff wird importiert und in Europa zu einem kohlenstoffhaltigen Vorprodukt umgewandelt.
- **Der Kreislauf kann in der Regel nicht ohne Verluste geschlossen werden.** Beispielsweise besteht aktuell noch Unsicherheit darüber, wie viel Prozent des sich in Abgasströmen befindlichen CO<sub>2</sub> tatsächlich unter Wirtschaftlichkeits- und Energieeffizienzgesichtspunkten abgeschieden werden kann. Dazu kommen Verluste beispielsweise durch Kunststoff in der Umwelt und durch Kunststoffprodukte, die typischerweise nicht im Abfall entsorgt werden können wie Mikro-Kunststoffpartikel (z. B. in Kosmetikartikeln, durch Waschvorgänge, Reifenabrieb). Die Verluste müssten durch den zusätzlichen Einsatz von Rohöl (nicht THG-neutral), Biomasse oder Direct Air Capture (DAC) ausgeglichen werden.
- Darüber hinaus werden **Kunststoffprodukte, Abfälle und künftig eventuell auch Kohlenstoff grenzüberschreitend** gehandelt. Dadurch kann ebenfalls Kohlenstoff in den



Kreislauf gelangen oder ihn ggf. verlassen, was bei einer Regulierung beachtet werden muss. Dabei entstehen insbesondere durch die Aufnahme der MVA unter den EU-ETS 1 Anreize, Abfälle auf Deponien umzulenken oder in nicht regulierte Länder zu exportieren.

- Ein wichtiger Faktor bei der Betrachtung von Kohlenstoffkreisläufen ist die **zeitliche Bindungsdauer des Kohlenstoffs in Produkten**. So wird der in Kunststoffen gebundene Kohlenstoff in einigen Produkten, wie beispielsweise in einigen elektronischen Geräten, in Automobilen oder in Baustoffen häufig mehrere Jahre bis zu mehreren Jahrzehnten und damit deutlich länger gebunden als in Verpackungsmaterialien oder RFNBO. Stark unterschiedlich lange Bindedauern können besondere Herausforderungen an die Datenerfassung stellen, wenn der tatsächliche Ausstoß von CO<sub>2</sub> und dessen Herkunft erfasst werden sollen. Diese Herausforderung kann umgangen werden, wenn statt auf eine genaue Erfassung des Ausstoßes auf eine Erfassung der erneuten Bindung von Kohlenstoff abgezielt wird.

#### 2.1.4 Quantifizierung der Stoffströme des Kunststoffkreislaufs

In der Europäischen Union und Deutschland sind verschiedene Daten zur Kunststoffwirtschaft verfügbar, die jedoch im Bereich der Entsorgung nur ein unvollständiges Bild der Situation liefern. Abbildung 5 fokussiert sich auf den Produktionsprozess und zeigt diesen, inklusive Importe und Exporte, entlang der Prozesskette. Die Mengenangaben basierend auf einer Studie der Beteiligungs- und Kunststoffverwertungsgesellschaft mbH, Frankfurt (BKV) (Schlotter, 2021).

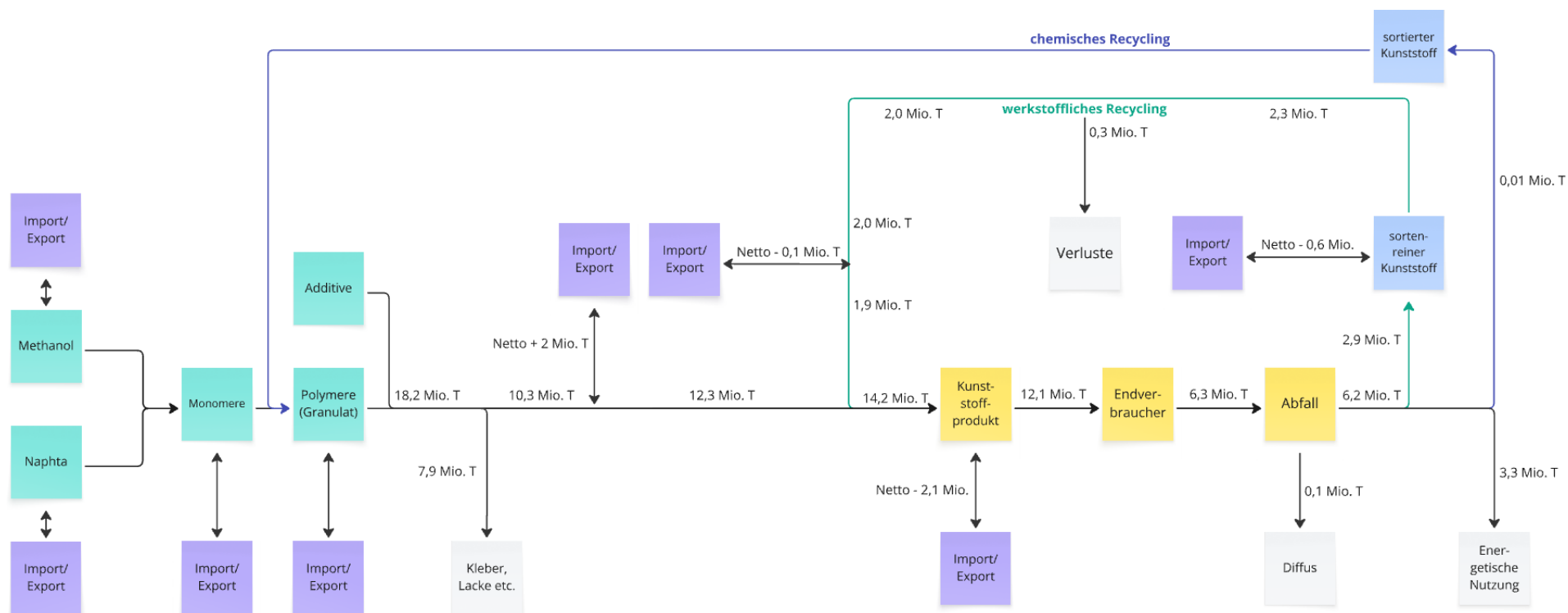
Informationen über aktuelle und künftige Potenziale in Bezug auf Nachfrage und Angebot von Kohlenstoff in Deutschland liefert eine Studie des DECHEMA aus dem Jahr 2022 (Wendler, 2022), die den Kohlenstoffbedarf der gesamten chemischen Industrie in Deutschland auf 18,1 Mio. Tonnen reinen Kohlenstoff im Jahr 2020 schätzt und für das Jahr 2045 auf etwa 17,2 Mio. Tonnen prognostiziert. Dabei entfallen im Jahr 2045 "nur" noch etwa 13,5 Mio. Tonnen auf fossilen Kohlenstoff und 3,5 Mio. Tonnen auf biogene Quellen.

Um das potenzielle Kohlenstoffangebot abzuschätzen, greift die Studie auf den Auswertungsbericht der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt zur Emissionssituation im EU-ETS 1 („VET-Bericht 2020“ - DEHSt, 2021) zurück. Basierend auf Abscheideanlagen an Punktquellen wird für Deutschland ein potenzielles Angebot von 357 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> abgeschätzt, das sich bis 2045 aufgrund der Dekarbonisierung vieler industrieller Prozesse, laut DECHEMA, auf etwa 33 Mio. Tonnen reduziert. Dabei stellen die Zementindustrie mit 10,4 Mio. Tonnen und die Kalkindustrie und Müllverbrennung mit jeweils 4,7 Mio. Tonnen die größten verbliebenen Emittenten und gleichzeitig wahrscheinlichsten Anbieter für Kohlenstoff dar<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Im Übergang zu einer THG-neutralen Wirtschaft könnte die chemische Industrie eigene Kohlenstoffmengen aus Abscheidung zur Verfügung stellen, um die Kohlenstoffbedarfe zu decken. Diese Mengen reduzieren sich jedoch mit dem Umstieg auf Wasserstoff, Strom und die Nutzung von synthetischem Naphtha, welches in den Szenarien zu stofflichen Zwecken eingesetzt wird.

**Abbildung 5: Produktionsprozess für Kunststoff mit Mengenangaben für Deutschland in 2019**



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI, basierend auf Zahlen des BKV

### 3 Aktueller Rechtsrahmen für CCS und Kohlenstoffkreisläufe unter dem EU-ETS 1

Durch die Downstream-Logik des EU-ETS 1 besteht derzeit keine Verpflichtung zur Abgabe von Zertifikaten für fossilen Kohlenstoff, der in Produkten wie Kunststoffen gebunden ist. Eine Abgabepflicht entsteht erst dann, wenn der fossile Kohlenstoff durch einen Verbrennungsprozess freigesetzt wird. Im Fall von Kunststoffabfällen geschieht dies in der Regel in MVA oder in Industrieanlagen, die eine Erlaubnis zur Abfallmitverbrennung haben, wie beispielsweise Zementwerke.

Die EHRL und die darin geregelte Emissionsberichterstattung bietet derzeit zwei grundsätzliche Möglichkeiten Emissionsminderungen durch CCS oder CCU zu berücksichtigen:

- ▶ Artikel 12 (3a) (CCS): Emissionen, die „...abgeschieden und zur ständigen Speicherung in eine genehmigte CCS-Anlage verbracht werden...“
- ▶ Artikel 12 (3b) (CCU): Emissionen, die „...abgeschieden und derart dauerhaft in einem Produkt chemisch gebunden angesehen werden, dass sie bei normalem Gebrauch und/oder während der Entsorgungsphase des Produkts, einschließlich normaler Tätigkeiten nach dem Ende der Lebensdauer des Erzeugnisses, nicht in die Atmosphäre gelangen...“. Die delegierte Verordnung (EU) 2024/2620 führt die Voraussetzungen detailliert aus und listet im Anhang die von der Europäischen Kommission (KOM) geprüften Anwendungsfälle.

Die Verantwortung für flüchtige Emissionen, also CO<sub>2</sub>-Leckagen, diffuse oder prozessbedingte Verluste, ist in den Artikeln 49 und 49a der Monitoringverordnung (MVO) (Europäische Kommission, 2024) je nach Fall unterschiedlich geregelt:

- ▶ Artikel 49 (CCS): Sobald das abgeschiedene CO<sub>2</sub> an eine genehmigte Transportinfrastruktur oder Speicherstätte übergeben wurde, liegt die Verantwortung für mögliche Emissionen nicht mehr beim Betreiber der ursprünglichen Anlage. Ab diesem Punkt sind die Betreiber der Transport- bzw. Speicherinfrastruktur verantwortlich (Art. 49 Abs. 6).
- ▶ Artikel 49a (CCU): Im Gegensatz dazu bleibt bei der dauerhaften Einbindung von CO<sub>2</sub> die Verantwortung für alle Emissionen vollständig beim Betreiber der abscheidenden Anlage. Lediglich der CO<sub>2</sub>-Anteil, der nachweislich dauerhaft im Endprodukt gebunden ist, darf von den zu berichtenden Emissionen abgezogen werden. Alle übrigen Emissionen, einschließlich diffuser oder prozessbedingter Verluste, sind somit vollständig erfasst. Der Nachweis gegenüber den Behörden erfolgt im Rahmen der Emissionsberichterstattung.

Anders als im Falle von den oben dargestellten CCS- und CCU-Fällen entsteht bei der Einbindung von Kohlenstoff in RFNBO keine Ausnahme von der Abgabepflicht. Hier kann dagegen der bereits einmal bepreiste Kohlenstoff aus EU-ETS 1-Anlagen bei einer weiteren Nutzung mit einem Emissionswert von Null belegt werden. Der Nachweis hierfür erfolgt über entsprechende Zertifizierungen der Anlagen, die gemäß der Erneuerbaren-Direktive (RED) Nachweise für die von ihnen hergestellten Produkte ausstellen.

Eine umfassende Berücksichtigung der Kohlenstoffkreislaufführung im EU-ETS 1 existiert derzeit somit nicht. So führt unter dem aktuellen Regelwerk die Abscheidung von Kohlenstoff, der anschließend in Produkte wie Kunststoff eingebunden wird, bei jeder erneuten Freisetzung dieses Kohlenstoffs durch Verbrennung in EU-ETS 1-regulierten Anlagen zu einer erneuten Abgabepflicht (ausgenommen RFNBO, RCF und SLCF mit entsprechendem Nachweis). Dies kann folglich zu Doppel- und Mehrfachzählungen führen. Ein Anreiz zur Kreislaufführung besteht

nicht. Im durch Artikel 12 (3b) adressierten Fall ist dagegen keine Kreislaufführung gegeben, da es zu einer dauerhaften Einbindung in einem chemischen Produkt kommen muss, um eine Befreiung von der Abgabepflicht zu erlangen.

## 4 Optionen zur Regulierung von kurzfristigem CCU im EU-ETS 1

Im Folgenden werden zwei Optionen zur Regulierung einer Kohlenstoffkreislaufführung im Rahmen des EU-ETS 1 vorgestellt und analysiert, die weniger langfristig ist als die bereits unter CCU geregelten Nutzungen. Die Betrachtungen unterliegen zwei grundsätzlichen Zielvorgaben:

- ▶ Auflösung der Doppel- oder Mehrfacherfassung von im Kreis geführtem Kohlenstoff unter dem EU-ETS 1 und Minimierung der regulatorischen Lücken.
- ▶ Schaffung von Anreizen für eine Kreislaufführung von Kohlenstoff.

Um die potenziellen Ansatzpunkte für die Regulierung festzulegen sind folgende Aspekte berücksichtigt:

- ▶ **Im Kreis geführter Kohlenstoff lässt sich physikalisch/chemisch nicht von „frischem“ Kohlenstoff unterscheiden.** Lediglich der biogene Kohlenstoffanteil kann analytisch bestimmt werden<sup>6</sup>.
- ▶ **Der sogenannte gebundene Kohlenstoff ist der Kohlenstoffgehalt von Kunststoffprodukten.** Wird dieser Kohlenstoff durch Verbrennung freigesetzt, so trägt er zu direkten Emissionen bei. Er wird unter den Scope-3-Emissionen der Kunststoffherstellung und im EU-ETS 1 berichtet.
- ▶ **Diffuse Emissionen umfassen im Rahmen dieses Papiers die Emissionen, die durch Abnutzung und Nutzung von Gebrauchsgütern wie Reifen, Kunstfasertextilien oder Tensiden etc. entstehen sowie flüchtige Emissionen der Monomer- und Polymerherstellung<sup>7</sup>.** Diese diffusen Emissionen landen häufig in der Kanalisation oder Natur anstatt in der Abfallverbrennung. Diffuse Emissionen, die beim Kohlenstofftransport entstehen, sind an dieser Stelle nicht von Bedeutung, da diese bereits reguliert sind.

Startpunkt für die weiteren Betrachtungen ist die Annahme, dass neben den bereits erfassten ETS-pflichtigen Anlagen in Industrie- und im Energiesektor zukünftig auch die MVA dem EU-ETS 1 unterliegen werden. Die präzise Ermittlung des fossilen Kohlenstoffanteils in Abfällen, der im Kreis geführt wird bzw. bereits einer Bepreisung unterlag, stellt eine erhebliche Herausforderung dar. Der Aufwand, diese Zusammensetzung in der Praxis präzise zu bestimmen, wäre unverhältnismäßig hoch und kann als wirtschaftlich nicht realisierbar angesehen werden.

Eine einfache Option könnte darin bestehen, die für die Berichterstattung ggf. zu verwendenden Emissionsfaktoren regelmäßig an den Anteil tatsächlich im Kreislauf geführten Kohlenstoffs anzupassen, etwa durch pauschale Absenkungen.<sup>8</sup> Allerdings entstehen dadurch keine gezielten Anreize für den Einsatz rezyklierten Kohlenstoffs in der Kunststoffproduktion. Daher wird diese Option nicht weiter betrachtet.

**Eine grundsätzliche Befreiung für abgeschiedene Kohlenstoffmengen (unabhängig davon, ob die abgeschiedenen Mengen anschließend stofflich oder energetisch genutzt werden) wird im Rahmen dieses Berichts nicht berücksichtigt.** Dieser Ansatz wird aus mehreren

<sup>6</sup> Mittels des Verfahrens ISO 13833 (ISO, 2013).

<sup>7</sup> Unvermeidbare Leckagen an Armaturen, Flanschen, Pumpen und anderen Ausrüstungsteilen mit lösbaren Verbindungen, vgl. Köpke und Cuhls (2022).

<sup>8</sup> Der Einbezug von MVAs in den EU-ETS wird für die vorliegende Analyse lediglich unterstellt. Festlegungen zur Berichterstattung sowie über den Einbezug selbst stehen noch aus.

Gründen als eher ungeeignet bewertet: Erstens steht ein solches Vorgehen bestehenden Regulierungen entgegen, insbesondere der Befreiung von der Abgabeverpflichtung für die energetische Nutzung von recyceltem Kohlenstoff.<sup>9</sup> Die Anreize zur Nutzung wiederverwendeten Kohlenstoffs in Kraftstoffen wären damit erheblich geschwächt. Die energetische Nutzung von Kohlenstoff müsste von einer Befreiung ausgeschlossen bleiben oder durch Überführung in ein System wie den Europäischen Emissionshandel 2 (EU-ETS 2) bepreist werden, das die Inverkehrbringung fossiler Brennstoffe regelt, welche nicht vom EU-ETS 1 erfasst sind. Zweitens dürfte die tatsächlich abgeschiedene Kohlenstoffmenge aufgrund von Verlusten entlang der einzelnen Prozessschritte in der Regel höher sein als die in Produkten eingebundene rezyklierte Kohlenstoffmenge. Dies würde zusätzliche Herausforderungen für die regulatorische Umsetzung darstellen oder zu unerwünschten Lücken in der Erfassung führen. Dies betrifft, wie in Abschnitt 3 beschrieben, ausdrücklich nicht die Emissionen aus der CCS-Transportinfrastruktur für CO<sub>2</sub>, da diese bereits unter dem EU-ETS 1 erfasst sind. Würde man diesen Ansatz implementieren wollen, müssten Maßnahmen getroffen werden, um alles nach der Abscheidung emittierte CO<sub>2</sub> zu bepreisen.

Nachfolgend werden zwei andere Möglichkeiten aufgezeigt, die dieses Risiko vermeiden, um dennoch eine Berücksichtigung von rezykliertem Kohlenstoff in der Kunststoffherstellung zu ermöglichen, die stattdessen bei der Wiedereinbindung von Kohlenstoff ansetzen.

#### **4.1 Option A - Downstream-Ansatz: Abgabeverpflichtung bei potenziell abscheidenden Anlagen**

**Ansatzpunkt und Umfang der Abgabepflicht:** Im Rahmen von Option A unterliegen alle CO<sub>2</sub>-Emissionen, die in ETS-pflichtigen Anlagen entstehen ausgenommen der unter 12(3a) geregelten Emissionen, einer Abgabepflicht. Diese Regelung greift unabhängig davon, ob das CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre emittiert oder abgeschieden und anschließend im Kreislauf geführt wird.

**Emissionsberichterstattung und Abgabe:** An der Berichtspflicht ändert sich unter Option A zunächst nichts. MVA bzw. Industrieanlagen, die Kunststoffabfälle (mit)verbrennen, müssen die damit verbundenen Emissionen in vollem Umfang berichten. Anlagenbetreiber, welche Kunststoffabfälle verbrennen, haben jedoch die Möglichkeit, Verwendungsnachweise einzusetzen, um ihre Abgabepflicht um tatsächlich wiedereingebundene Kohlenstoffmengen zu reduzieren. Die Ausgestaltung erfolgt in Anlehnung an die bestehende CCU-Regulierung für dauerhaft gebundenes CO<sub>2</sub> (Artikel 49a der MVO).

**Administratives System:** Die Ausstellung von Verwendungsnachweisen setzt bei den Monomerherstellern (z. B. Ethylen, Propylen, Isobutylen) an. Diese können für das Einbinden von abgeschiedenem Kohlenstoff in ihre Produkte eine entsprechende Menge an Nachweisen generieren. Dafür müssten sich die betreffenden Unternehmen auf Grundlage einer noch zu schaffenden Rechtsgrundlage zertifizieren lassen. Nach erfolgter Zertifizierung könnten sie die Nachweise selbst ausstellen und an ihre CO<sub>2</sub>-Lieferanten weitergeben.<sup>10</sup>

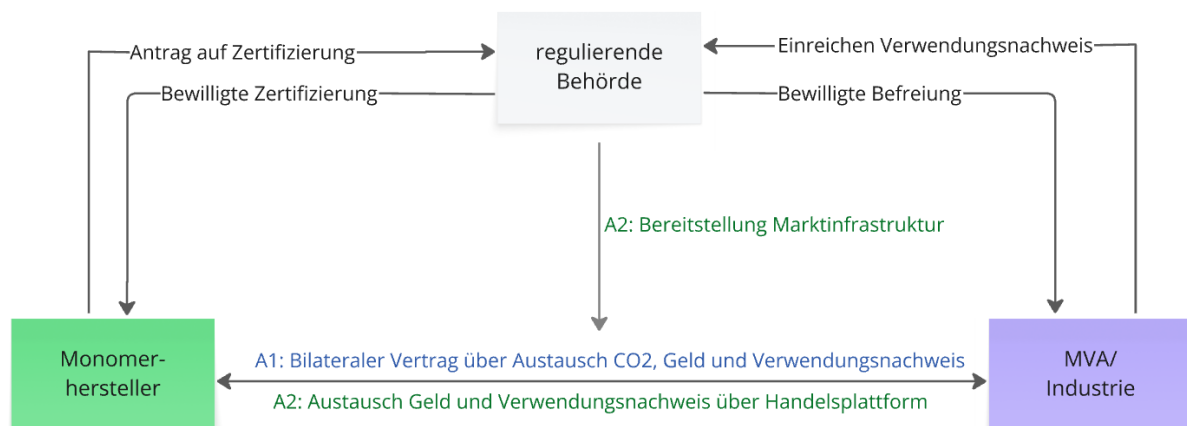
---

<sup>9</sup> Im Falle von RFNBO wäre der abgeschiedene Kohlenstoff bei dessen Einbindung noch nicht bepreist worden. Die Voraussetzung zur Befreiung von der Abgabepflicht für RFNBO wäre damit nicht mehr erfüllt. Die Verantwortung für die Emissionsabgabe müsste auf die Nutzer der RFNBO übergehen, die den Kohlenstoff letztendlich in die Atmosphäre abgeben (Downstream Accounting). Eine solche Änderung würde insbesondere die Verwendungsquoten von RFNBO im Verkehr und in der Industrie beeinträchtigen. Damit wären Grundlagen der RED sowie deren nationaler Umsetzungen berührt.

<sup>10</sup> Voraussetzung hierfür ist, dass die Monomerhersteller selbst e-Naphtha oder e-Methanol herstellen oder über deren Herkunft informiert sind. Es wird davon ausgegangen, dass die Monomerhersteller Kenntnis darüber haben, ob sie synthetische oder fossile Rohstoffe verwenden und in welchen Mengen diese weiterverarbeitet werden. Gegebenenfalls müssen sie hierfür entsprechende Nachweise von den Herstellern des e-Naphtha oder e-Methanol einholen.

**Beispiel:** Eine Shampoo-Flasche auf Basis fossiler Rohstoffe wird in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt. Die Anlage bleibt voll abgabepflichtig, wenn für das abgeschiedene CO<sub>2</sub> weder CCS noch eine dauerhafte Bindung unter dem vorhandenen CCU-Regelwerk vorgesehen ist. Die Abgabepflicht von EUA kann jedoch durch Nachweise reduziert werden, die die Einbindung von abgeschiedenem Kohlenstoff in einem neuen Chemieprodukt (z. B. eNaphtha oder eMethanol zur Herstellung von Kunststoffprodukten) belegen. Nicht zur Befreiung zulässig ist dagegen, wenn abgeschiedenes CO<sub>2</sub> zur Produktion von synthetischen Energieträgern verwendet wird. Option A umfasst zwei Untervarianten: den direkten, bilateralen Handel (A1) sowie den Handel über eine Handelsplattform (A2).

**Abbildung 6: Schematische Darstellung der Abläufe unter dem Zertifizierungsansatz von Option A**



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI.

A1: nur für Option A1 relevant, A2: nur für Option A2 relevant, sonst für beide Optionen relevant.

## 4.2 Option B - Upstream-Ansatz: Abgabeverpflichtung beim Kohlenstoff einbindenden Kunststoffhersteller

**Ansatzpunkt und Umfang der Abgabepflicht:** Alternativ zu Option A kann bereits bei der Herstellung von Kunststoffprodukten (Monomerhersteller), deren fossiler Kohlenstoffgehalt erfasst und abgabepflichtig werden (ca. 2,7-2,8 t CO<sub>2</sub> pro Tonne Primärkunststoff). Das Einbinden von rezykliertem (sofern bereits einmal bepreist) Kohlenstoff sowie Kohlenstoff aus nachhaltigen biogenen Quellen unterliegt im Gegensatz zu fossilem Kohlenstoff dann keiner Abgabepflicht. Ein solcher **Upstream-Ansatz** ist bisher im Rahmen des EU-ETS 1 nicht vorgesehen, weist jedoch deutliche Parallelen zum Prinzip des EU-ETS 2 auf.

**Emissionsberichterstattung und Abgabe:** Bei den Monomerherstellern müssen zusätzlich zu den bereits heute berichtspflichtigen Emissionen auch die Menge des im hergestellten Kunststoff enthaltenen, erstmals genutzten fossilen Kohlenstoffs berichtet werden und entsprechend Emissionszertifikate abgegeben werden. Dabei muss unterschieden werden zwischen erstmals genutztem, fossilem Kohlenstoff und nicht-fossilem oder rezykliertem Kohlenstoff.<sup>11</sup> Eine Abgabeverpflichtung ergibt sich nur für den erstmals genutzten, fossilen Kohlenstoff.

In den MVA und Kunststoffabfall-verbrennenden Industrieanlagen dagegen ändert sich an der Berichtspflicht zunächst nichts, alle CO<sub>2</sub>-Emissionen werden berichtet (unterteilt nach fossil und

<sup>11</sup> Es wird davon ausgegangen, dass die Monomerhersteller Kenntnis darüber haben, ob sie synthetische oder fossile Rohstoffe verwenden und in welchen Mengen diese weiterverarbeitet werden.



biogen). Die Abgabepflicht der MVA bzw. Industrieanlagen wird dann auf zwei Wegen angepasst werden, um Doppelzählungen zu vermeiden:

- Die Abgabepflicht für fossilen Kohlenstoff, der bereits upstream bei der Herstellung von Monomeren bepreist wurde, entfällt pauschal (siehe hierzu auch Box 1).<sup>12</sup>
- Analog zu Option A können zudem die MVA bzw. Kunststoffabfall-verbrennenden Industrieanlagen Verwendungsnachweise einsetzen, um darüber hinaus ihre Abgabepflicht um abgeschiedene und wiedereingebundene CO<sub>2</sub>-Mengen zu reduzieren.

**Administratives System:** Das unter Option B vorgestellte System beinhaltet zwei Teilsysteme, um eine Doppelbepreisung zu vermeiden.

**Teilsystem 1 (B1) – Pauschale Reduktion für bereits upstream bepreistes CO<sub>2</sub>:** Auf Basis der verbrannten Kunststoffmengen wird durch eine pauschale prozentuale Reduktion die Abgabepflicht reduziert. Dafür wird von der regulierenden Behörde auf Basis der Angaben aller Monomerhersteller zur Gesamtmenge an eingebundenem Kohlenstoff sowie dem Anteil des fossilen Kohlenstoffs in der Emissionsberichterstattung ein entsprechender Faktor bestimmt (siehe auch Box 1).

**Teilsystem 2 (B2) – Verwendungsnachweise zur individuellen Reduktion von Abgabepflichten:** Analog zu Option A wird auch unter Option B eine Befreiung über Verwendungsnachweise ermöglicht. Dazu kann der Monomerhersteller Verwendungsnachweise für das Wiedereinbinden von rezykliertem Kohlenstoff anfordern. Diese darf er an den Verkäufer (= Betreiber einer Anlage mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung) des von ihm verwendeten rezyklierten CO<sub>2</sub> weiterreichen. Dieser kann die Verwendungsnachweise mit der Emissionsberichterstattung einreichen, um seine Abgabepflicht weiter zu reduzieren.

**Beispiel:** Für eine Shampooflasche, die aus fossilen Rohstoffen hergestellt wurde, müssen bei der Produktion der Monomere Emissionszertifikate für den in den Monomeren gebundenen Kohlenstoff abgegeben werden. Wenn diese Flasche in einer ETS-Anlage verbrannt wird, ist die Anlage (unabhängig davon, ob das CO<sub>2</sub> abgeschieden wird oder nicht und unabhängig davon, ob das Produkt mit rezykliertem oder fossilem CO<sub>2</sub> hergestellt wurde) von der Abgabeverpflichtung für das entstehende CO<sub>2</sub> (pauschal) befreit. Eine Abgabeverpflichtung gäbe es nur für das Verbrennen von Shampooflaschen, die aus dem unregulierten Ausland importiert wurden, sofern nicht bereits beim Import eine Bepreisung des Kohlenstoffgehalts der Shampooflasche erfolgt ist.

#### Box 1: Berechnung der zu befreienden Menge bepreisten fossilen Kohlenstoffs bei einem Upstream-Ansatz

Die Befreiung des bereits bepreisten fossilen Kohlenstoffs kann entweder ex-ante oder ex-post durch staatliche Stellen erfolgen:

- Im Fall der ex-ante Befreiung berechnen die zuständigen Behörden auf Basis der im Vorjahr bei der Monomerherstellung eingebundenen und bepreisten fossilen Kohlenstoffmengen einen Referenzwert, der dann je nach verbrannter Abfallmenge pauschal auf die Emissionen der kunststoffabfallverbrennenden Anlage angerechnet wird. Eine ex-post-Korrektur bei Abweichungen auf das korrekte Bemessungsjahr wäre möglich.

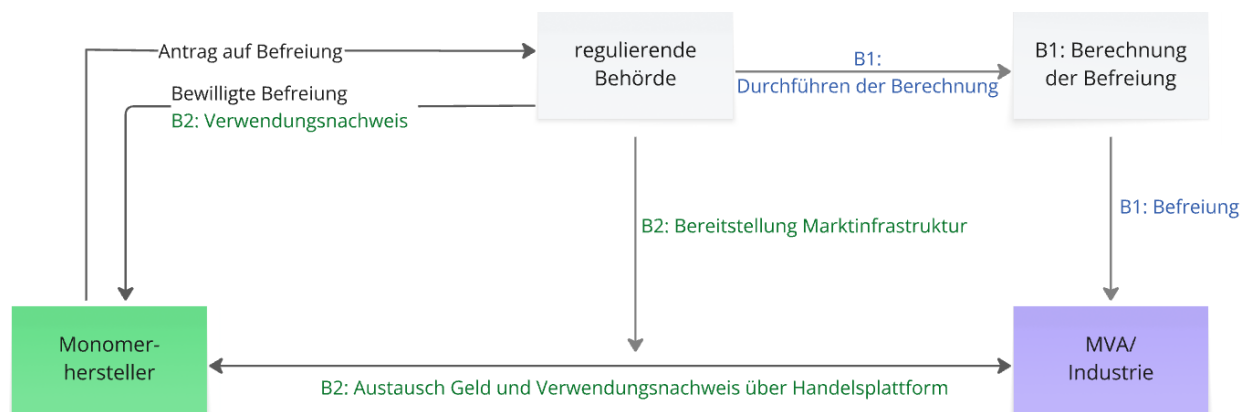
<sup>12</sup> Voraussetzung für eine konsistente Umsetzung ist, dass der im Umlauf befindliche Kunststoff bereits bepreist wurde und der Kohlenstoffgehalt von Importen erfasst wird. Der Umgang mit bereits im Umlauf befindlichem Kunststoff und der Umgang mit Importen werden in den folgenden Abschnitten mitdiskutiert.



- Bei einer ex-post Befreiung erfolgt zunächst keine Reduktion der Abgabepflicht. Die kunststoffabfallverbrennenden Anlagen unterliegen vollumfänglich der Abgabepflicht, bis staatliche Stellen – auf Grundlage nachträglicher Berechnungen – die tatsächlich bepreisten Mengen ermitteln und rückwirkend eine Befreiung erteilen. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass in diesem Fall die Betreiber der kunststoffabfallverbrennenden Anlage über ausreichende finanzielle Mittel verfügen müssen, um die Zwischenfinanzierung der Abgabenlast sicherzustellen.

Beide Verfahren bedeuten einen erhöhten Verwaltungsaufwand für die zuständigen staatlichen Stellen. Außerdem müssen die Monomerhersteller Informationen bzw. Nachweise zur Herkunft des rohstofflich genutzten Kohlenstoffs liefern. Hinzu kommt, dass in beiden Ansätzen nicht zwingend genau jene fossilbasierten Kunststoffe von der Bepreisung in MVA ausgenommen werden, die zuvor bereits bepreist wurden. Insbesondere in den Anfangsjahren des Systems werden – bedingt durch unterschiedliche Nutzungsdauern der Kunststoffprodukte – systematisch mehr Befreiungen gewährt, als tatsächlich bepreiste Kunststoffe verbrannt werden.

**Abbildung 7: Schematische Darstellung der Abläufe unter Option B**



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer ISI

B1: nur für Option B1 relevant, B2: nur für Option B2 relevant, sonst für beide Optionen relevant.

## 4.3 Diskussion und Bewertung der Optionen A und B

### 4.3.1 Monomerhersteller als Ansatzpunkt

Die folgenden Vorteile haben zur Wahl der Monomerhersteller als Ansatzpunkt der Regulierung geführt:

1. Bestehende Regulierung: Monomerhersteller unterliegen bereits heute der EU-ETS 1-Regulierung.
2. Vorhandene Monitoringsysteme: Beim Verkauf von Rohstoffen wie Naphtha oder Methanol an das weiterverarbeitende Gewerbe wird grundsätzlich die Energiesteuer erhoben, unterscheidet jedoch klar zwischen energetischer und stofflicher Nutzung. Sie fällt nur bei einer energetischen Verwertung an, während bei stofflicher Nutzung Entlastungs- oder Befreiungsmöglichkeiten bestehen. Es bleibt zu prüfen, ob im Rahmen dieses Systems auch die nicht-energetisch genutzten Mengen vollständig erfasst werden und somit auf eine bestehende Datenerfassungsstruktur für die beiden Rohstoffe zurückgegriffen werden könnte.
3. Rohstoffherkunft: Die Monomerhersteller verfügen über Informationen zur Herkunft ihrer Rohstoffe (Naphtha oder Methanol) und können sie somit in Bezug auf fossilen, rezyklierten, atmosphärischen, oder biogenen Kohlenstoff differenzieren.

Im Rahmen eines im April 2025 am Umweltbundesamt durchgeführten Fachgesprächs wurde eine weitere Option vorgeschlagen. Diese soll hier allerdings nur kurz vorgestellt werden. Von Teilnehmenden des Fachgesprächs wurden die Inverkehrbringer von Naphtha und Methanol als Alternative zu den Monomerherstellern vorgeschlagen. Ein solches Ansetzen weiter vorne in der Wertschöpfungskette bringt grundsätzlich den Vorteil, dass die Menge der Akteure vermutlich kleiner ist als im Falle der Monomerhersteller. Zudem könnte dadurch nicht nur in Kunststoffen gebundener Kohlenstoff erfasst werden, sondern auch Kohlenstoff, der in anderen chemischen Produkten gebunden wird. Allerdings müsste überprüft werden, inwieweit dadurch Probleme entstehen, dass in einer so frühen Phase der Wertschöpfungskette ggf. noch nicht eindeutig ist, ob die Wiedereinbindung für eine stoffliche Nutzung erfolgt oder für eine energetische Nutzung in Form von RFNBO. Im zweiten Fall dürfte aufgrund der Regelungen zu RFNBO gerade keine Ausnahme von der CO<sub>2</sub>-Bepreisung erfolgen. Ob Nutzen oder Kosten dieser alternativen Option letztendlich größer wären, müsste eine detaillierte Untersuchung klären.

#### **4.3.2 Monetäre Anreize für eine Kohlenstoffkreislaufwirtschaft**

Unter beiden Optionen entstehen monetäre Anreize zu einer Kohlenstoffkreislaufwirtschaft durch eine Befreiung von der Abgabeverpflichtung unter dem EU-ETS 1. Diese monetären Vorteile teilen sich unter beiden Optionen die Monomerhersteller und die Betreiber der ETS-pflichtigen Anlagen, die den Abfall verbrennen. Die genaue Aufteilung der monetären Vorteile ergibt sich aus den bilateralen Verhandlungen der beteiligten Akteure. Jedoch ergibt sich bei Option B gegenüber dem Status Quo eine deutliche Veränderung im Umgang mit Kunststoffprodukten (und den daraus resultierenden Kunststoffabfällen) im EU-ETS 1, deren Auswirkungen zu berücksichtigen sind. Nachfolgend sind die Auswirkungen für die beteiligten Akteure dargestellt.

Bei Aufnahme der MVA in den EU-ETS 1 ergeben sich folgende Abgabepflichten:

- ▶ Monomerhersteller sind ausschließlich für ihre direkten Emissionen abgabepflichtig, d.h. nicht für den im Kunststoff gebundenen Kohlenstoff.
- ▶ Abgabepflicht für im Kunststoff gebundenen Kohlenstoff entsteht bei den ETS-pflichtigen Anlagen, die den Kunststoffabfall verbrennen.

#### **Unter Option A entstehen die folgenden Anreize:**

- ▶ Monomerhersteller bleiben weiterhin für ihre direkten Emissionen abgabepflichtig. Zusätzlich können sie für den Einsatz von synthetischen und biogenen Rohstoffen Verwendungsnachweise generieren. Die können sie wiederum in Abnahmeverträgen einpreisen. Bei entsprechenden Preisen entsteht also auf Seiten der Monomerhersteller ein Anreiz, synthetische Rohstoffe nachzufragen.
- ▶ Betreiber von ETS-pflichtigen Anlagen bleiben grundsätzlich abgabepflichtig für den im verbrannten Kunststoffabfall enthaltenen Kohlenstoff. Sie können diese Abgabepflicht jedoch durch Verwendungsnachweise reduzieren, vergleichbar zur bestehenden Regelung zu dauerhaftem CCU (Artikel 49a der MVO). Es entsteht also eine Nachfrage nach Verwendungsnachweisen, deren Umfang sich aus den jeweiligen Marktbedingungen und Verhandlungen ergibt. Diese hängt insbesondere vom Preisniveau für EUAs, den Kosten der CO<sub>2</sub>-Abscheidung sowie der Kostendifferenz zwischen fossilen und synthetischen Rohstoffen ab.
- ▶ Das Erzeugen und der Einsatz von Verwendungsnachweisen wird dann für beide Seiten attraktiv, wenn der bilateral ausgehandelte Preis für die Verwendungsnachweise positiv ist,

aber unter dem EUA-Preis liegt und -idealerweise – auch die Zusatzkosten für den Einsatz synthetischer Rohstoffe übersteigt. Letzteres erscheint aus derzeitiger Sicht allerdings eher unwahrscheinlich.<sup>13</sup>

- Es entsteht ein Markt für synthetische Rohstoffe, der wiederum eine Nachfrage nach abgeschiedenem Kohlenstoff auslöst. So entsteht ein zusätzlicher Anreiz für die Abscheidung von Kohlendioxid aus dem Abgasstrom in ETS-pflichtigen Anlagen, das als Rohstoff weiterverkauft werden kann. Auch wenn sich keine positiven Preise für CO<sub>2</sub> als Rohstoff einstellen sollten, könnte ein Anreiz für eine Abscheidung und Nutzung entstehen, wenn die Kosten für die Nutzung geringer ausfallen als die Kosten für eine geologische oder produktbasierte dauerhafte Speicherung sowie unterhalb der EUA-Preise.

Die genaue Verteilung der EUA-Kosteneinsparungen erfolgt in der bilateralen Verhandlung zwischen den Akteuren.

Die **Abgabepflichten und Anreizwirkungen unter Option B** dagegen sehen wie folgt aus:

- Monomerhersteller werden für die direkten Emissionen der ETS-pflichtigen Anlagen und zusätzlich für den erstmals im Kunststoff gebundenen fossilen Kohlenstoff abgabepflichtig. Gegenüber dem Status Quo entsteht somit zunächst eine deutlich erhöhte Abgabepflicht. Durch den Einsatz von synthetischen Rohstoffen (mit rezykliertem, atmosphärischem oder nachhaltigem biogenen Kohlenstoff), kann die Abgabepflicht direkt reduziert werden, da nur der fossile Kohlenstoff abgabepflichtig ist. Gleichzeitig können die Monomerhersteller Nachweise über die Verwendung von synthetischen Rohstoffen (bei der Herstellung der Vorprodukte) ausstellen.
- Die Abgabepflicht bei den Betreibern von ETS-pflichtigen Anlagen für das Verbrennen von Kunststoffabfällen reduziert sich dagegen deutlich, gegenüber dem Status quo, aber auch gegenüber Option A. Sie bleiben nur abgabepflichtig für den im verbrannten Kunststoff enthaltenen Kohlenstoff, der noch nicht upstream erfasst wurde. Dies sind insbesondere Altkunststoffe (Kunststoffe, die vor Einführung einer entsprechenden Regulierung hergestellt wurden und deren Kohlenstoffanteil daher noch nicht im Rahmen der Bepreisung bei den Monomerherstellern erfasst wurde) und importierte Kunststoffe, sofern sie nicht bereits anderweitig einer Erfassung unterlegen haben. Reduziert wird die Abgabepflicht einerseits pauschal durch staatliche Stellen (für bereits bepreistes fossilen Kohlenstoff). Andererseits können die Anlagenbetreiber zur individuellen Reduktion Verwendungsnachweise einsetzen, die sie von den Abnehmern (z. B. Hersteller von eNaphta oder eMethanol) Ihres abgeschiedenen CO<sub>2</sub> erhalten können. Im Ergebnis könnte der Anreiz, CO<sub>2</sub> abzuscheiden erstmal geringer sein als bei Option A, weil nur geringere Mengen an Abfall abgabepflichtig sind. Inwieweit der geringere Anreiz durch die Nutzung der Verwendungsnachweisen oder durch einen höheren Preis für das abgeschiedene CO<sub>2</sub>, bedingt durch eine zunächst höhere Nachfrage und ein geringeres Angebot im Vergleich zu Option A, kompensiert werden kann, bleibt vorerst unklar.
- Analog zu Option A wird auch hier die Erzeugung und Nutzung von Verwendungsnachweisen dann für beide Seiten attraktiv, wenn der ausgehandelte Preis für die Verwendungsnachweise unter den EUA-Preisen liegt, aber die Zusatzkosten für den Einsatz synthetischer Rohstoffe übersteigt. Anders als bei Option A, entsteht jedoch direkt beim Monomerhersteller ein Anreiz für den Einsatz von synthetischen Rohstoffen, da diese

---

<sup>13</sup> Dies war die vorherrschende Meinung in der Industrievertreter im Rahmen eines 2025 zu dem Thema durchgeführten Fachgesprächs am Umweltbundesamt in Berlin.

im Gegensatz zu fossilem Kohlenstoff nicht bepreist werden. Durch das Nachweissystem wird dieser noch verstärkt. Durch den Verkauf der Verwendungsnachweise können die Monomerhersteller zudem einen Teil der Zusatzkosten durch die synthetischen Rohstoffe auf die ETS-pflichtigen Anlagen überwälzen.

- Analog zu Option A entsteht ein Markt für synthetische Rohstoffe, der wiederum eine Nachfrage nach abgeschiedenem Kohlenstoff auslöst. So könnte ein zusätzlicher Anreiz für die Abscheidung von Kohlendioxid aus dem Abgasstrom in ETS-pflichtigen Anlagen, das als Rohstoff weiterverkauft werden kann, entstehen. Auch wenn sich keine positiven Preise für CO<sub>2</sub> als Rohstoff einstellen sollten, könnte dennoch ein Anreiz für eine Abscheidung und Nutzung entstehen, wenn die Kosten für die Nutzung geringer ausfallen als die Kosten für eine geologische oder produkt-basierte dauerhafte Speicherung sowie unterhalb der EUA-Preise.

Aus ökonomischer Perspektive bietet Option B einen deutlich stärkeren Anreiz zur Nutzung synthetischer Rohstoffe als Option A, d.h. Option B stärkt die Nachfrageseite. Durch das Ansetzen der Abgabepflicht für gebundenen Kohlenstoff beim Monomerhersteller entsteht durch das abgebildete System ein direkter Anreiz auf frischen fossilen Kohlenstoff zu verzichten. Im Falle von Option B kann zusätzlich über die Nachweise ein Teil der Kosten an die kunststoffabfallverbrennenden Anlagen weitergereicht werden. Im Unterschied dazu reizt in Option A nur die Weitergabe des Zertifikats die Kreislaufführung auf Seiten der Monomerhersteller an. Auf Seiten kunststoffabfallverbrennenden Anlagen ist in den Fällen (Option A und B) der gleiche Anreiz gegeben Nachweise vom Monomerhersteller zu erwerben, um die Abgabepflicht zu mindern.

Die Anreize für den Einsatz der CC-Technologie kunststoffabfallverbrennenden ETS-Anlagen sind unter Option A dagegen deutlich größer als unter Option B, da unter Option A Abfälle mit höheren Emissionsfaktoren in die Berechnung der Abgabeverpflichtung eingehen. Option A stärkt also tendenziell die Angebotsseite auf dem Markt für synthetischen Kohlenstoff, d.h. die Abscheider. Die Nachfrager nach abgeschiedenem CO<sub>2</sub> werden dagegen unter Option B gestärkt, da die Zahlungsbereitschaft des Monomerherstellers höher ist.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Option A vor allem Anreize für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung setzt, während unter Option B vorrangig die Nachfrage nach Kohlenstoff stimuliert wird. Durch die Möglichkeit Verwendungsnachweise zwischen Anbieter und Nachfrager nach CO<sub>2</sub> auszutauschen, können diese Anreize jedoch an die jeweils andere Seite weitergegeben werden.

Inwieweit durch die Optionen CCU oder CCS verstärkt angereizt wird, hängt insbesondere vom Kostenverhältnis zwischen Speicherung und den zusätzlichen Herstellungskosten für synthetische Rohstoffe zusammen und ist unabhängig vom CO<sub>2</sub>-Preis oder den Kosten für die Abscheidung, da diese in beiden Verfahren anfallen.

Damit ein Markt entsteht, der die beschriebenen Kostenstrukturen widerspiegeln kann, müssen insbesondere die Eigentumsrechte des sich im Transportsystem (insb. in Pipelines) befindenden Kohlenstoffdioxids geklärt sein. Eine Marktstruktur vergleichbar zu den heutigen Marktstrukturen im Bereich des Erdgastransports könnte dabei die nötigen Voraussetzungen eines Marktes schaffen. Dabei könnten direkte Abnahmeverträge zwischen den Anbietern und Nutzern von CO<sub>2</sub>, aber auch Intermediäre eine entscheidende Rolle spielen.

### **4.3.3 Umfang der erfassten Emissionen**

Die beschriebenen Optionen des Regulierungsrahmens weisen voraussichtlich deutliche Unterschiede im Umfang der erfassten Emissionen auf. Diese quantitativ zu ermitteln, liegt außerhalb des Untersuchungsrahmens dieser Studie. Sie werden jedoch im Folgenden zumindest qualitativ diskutiert.

#### **Erfassung diffuser Emissionen**

Ein relevanter Unterschied besteht in Bezug auf die Erfassung diffuser Emissionen im Kunststoffproduktionsprozess. Dabei ermöglicht Option B eine umfassende Erfassung der diffusen Emissionen entlang der Produktionsroute durch Umsetzung des Upstream-Ansatzes. Unter Option A hingegen erfolgt keine Erfassung diffuser Emissionen. Sie könnte allenfalls durch eine pauschale Bepreisung von diffusen Emissionen bei den Monomerherstellern (durch einen entsprechend angepassten Emissionsfaktor) erfolgen. Allerdings scheinen pauschale Aufschläge wenig geeignet gezielte Anreize zur Vermeidung/Reduktion diffuser Emissionen zu bieten.

#### **Anreize zur illegalen Müllentsorgung/Deponierung**

Grundsätzlich entsteht durch die Einbeziehung der Müllverbrennung in den EU-ETS 1 ein Anreiz zur illegalen Müllentsorgung oder Deponierung, da für die Verbrennung zusätzliche Kosten anfallen. In beiden Optionen ändert sich dies, wenn der zu erwartende Verkaufspreis für abgeschiedenes CO<sub>2</sub> höher ist als die für die Abscheidung, Aufbereitung und den Transport anfallenden Kosten. Durch die Weitergabe der Verwendungsnachweise an die ETS-pflichtige Anlage entfallen die EUA-Kosten für die abgeschiedenen CO<sub>2</sub>-Mengen, wodurch der Anreiz zur illegalen Entsorgung abgemildert wird. Unter Option B ist die Abgabepflicht der ETS-pflichtigen Anlagen zusätzlich reduziert – aufgrund der Befreiung um die Menge des bereits bepreisten, bei der Monomerherstellung eingebundenen fossilen Kohlenstoffs (siehe Box 1). Dadurch fallen die Anreize für eine illegale Entsorgung noch geringer aus als unter Option A.

#### **Importe/Exporte von Produkten und Abfällen entlang der Prozesskette**

Entlang der Prozesskette ist der Kohlenstoffkreislauf in fast jedem Stadium aufgrund möglicher Importe und Exporte durchlässig. So können Monomere, Polymere, Kunststoffprodukte, Abfälle und Reststoffe aber auch gasförmiges CO<sub>2</sub> grenzübergreifend gehandelt werden.

Schwierigkeiten hinsichtlich einer Doppelerfassung in Bezug auf Im- und Exporte können auftreten, wenn der (fossile) Kohlenstoff im Herkunftsland bereits bepreist wurde oder es sich um abgeschiedenen (d.h. rezyklierten), atmosphärischen oder befreiungsberechtigten biogenen Kohlenstoff handelt. Bei letzterem könnte bei Einhaltung der Anforderungen das Einführen eines grundlegenden Nachweissystems für im Ausland eingebundenen Kohlenstoff helfen. Die mit der Einführung eines solchen Systems in den am EU-ETS 1 teilnehmenden Ländern verbundenen Herausforderungen werden in Kapitel 4.4 diskutiert. Weitere Herausforderungen, welche durch die Ausweitung auf Drittstaaten erwartbar entstehen, werden hier weiter betrachtet.<sup>14</sup> Besteht ein solches Nachweissystem dagegen nicht, ist eine Anerkennung von Einbindungen aus dem Ausland nur schwer vorstellbar. Bei einem hohen Importanteil von Grundstoffen, Kunststoffprodukten oder Kunststoffabfällen gäbe es dann entsprechend keine Möglichkeit für die MVA im EU-ETS 1 gerechtfertigte Reduzierungen der Abgabeverpflichtung für den Teil des Kunststoffabfalls geltend zu machen, welcher entlang der Wertschöpfungskette bzw. des Produktlebenszyklus importiert wurde.

---

<sup>14</sup> Beispielsweise müsste die Zertifizierung für nachweisausstellende Unternehmen auf die infrage kommenden Drittstaaten ausgeweitet werden (inkl. Qualitätssicherungsmaßnahmen) und das Register entsprechend auch für die im Ausland ausgestellten Nachweise ausgeweitet werden. Auch müssten Doppelzählungen der Einbindungen durch parallel in Drittstaaten vorhandene Systeme verhindert werden.



Unter Option B müsste über eine adäquate Bepreisung importierter Produkte und Abfälle nachgedacht werden, inkl. einer Berücksichtigung einer möglichen Bepreisung in den Herkunftsstaaten. Es bietet sich an, dass schlicht die Abgabepflicht bei der MVA greift, welche ja auch bei Option B angelegt ist.<sup>15</sup> Außerdem würden Exporte unter Option B bepreist den EU-Markt verlassen. Es sind dann entsprechende Anpassungen bei der **Erstellung nationaler THG-Inventare** unter dem Abkommen von Paris vorzunehmen, damit das **Territorialprinzip gewahrt bleibt**.<sup>16</sup> Unter Option A müsste bei Importen die Bepreisung in Drittstaaten berücksichtigt werden und Ausfuhren von Produkten oder Abfällen würden zur Nichtbepreisung führen, wenn im Zielland keine Regulierung in der Art besteht.

Abbildung 5 veranschaulicht, an welchen Stellen im Produktionsprozess es zu Importen und Exporten kommt.

#### 4.3.4 Carbon Leakage-Risiko

Unter Option B entsteht durch die Abgabeverpflichtungen der Monomerhersteller ein Carbon Leakage-Risiko für diese. Sie könnten aufgrund der Bepreisung in nicht regulierte Drittstaaten abwandern. Damit würden sie die Bepreisung in der EU umgehen und diese Kosten wiederum auf die Kunststoffabfallverbrennenden ETS-Anlagen übertragen, die für den gebundenen Kohlenstoff in importierten Produkten bei der Verbrennung verantwortlich wären. Dieses Risiko entsteht unter Option A nicht. Unter Option A besteht jedoch, wie oben beschrieben, ein verstärkter Anreiz Abfälle illegal zu entsorgen. Dieses Risiko würde auch unter Option B stark zunehmen, sollten infolgedessen mehr Kunststoffe importiert werden, weil dann die in Kunststoffabfallverbrennenden ETS-Anlagen zu bepreisenden Mengen Kohlenstoff sich wiederum denen aus Option A annähern würden. Unter Option B sind daher die Betreiber von Anlagen der Grundstoffchemie einem deutlich stärkeren Wettbewerbsrisiko ausgesetzt als unter Option A.

#### 4.3.5 MRV- und administrativer Aufwand

Unter beiden Optionen müssen unter der Annahme, dass MVA ab 2028 unter den EU-ETS 1 abgabepflichtig werden, keine zusätzlichen Anlagen unter diesen aufgenommen werden, da auch die in beiden Optionen noch betroffenen Monomerhersteller bereits reguliert sind. Etwaige CO<sub>2</sub>-Transportverluste zwischen Abscheideanlage und Einbindung gehen, in Anlehnung an Artikel 49a der MVO, zulasten der kunststoffabfallverbrennenden Anlagen.

In beiden Optionen werden jedoch die Monomerhersteller verpflichtet, gewisse Informationen in Bezug auf die eingesetzten Arten und Mengen an fossilen und synthetischen Rohstoffen mit der regulierenden Behörde zu teilen. Dies ist notwendig, um zu ermitteln, in welchem Umfang Kunststoffabfallverbrennende ETS-Anlagen von der Abgabepflicht befreit werden können.

In beiden Optionen kommt es durch das Erzeugen und Nutzen von Nachweisen zu zusätzlichem administrativem Aufwand bei allen beteiligten Akteuren – Monomerhersteller, ETS-pflichtigen Anlagen und die verantwortliche Behörde. Durch die Anlehnung an Artikel 12(3b) sollte zumindest auf behördlicher Seite der Zusatzaufwand überschaubar sein. Die Auswirkungen und Implikationen der Erzeugung von Nachweisen auf das Cap des EU-ETS 1 werden hier, auf der Komplexität der Thematik, nicht behandelt.

---

<sup>15</sup> Der eingebundene Kohlenstoff in importierten Produkten und Abfällen könnte alternativ über ein Grenzausgleichssystem ähnlich dem EU CBAM bepreist werden mit entsprechender pauschaler Reduktion bei der Abgabepflicht bei MVAs (analog zur pauschalen Berücksichtigung des bei Grundstoffen eingebundenen und bepreisten Kohlenstoffs). Allerdings würde dies in sich einen erheblichen Mehraufwand für private und staatliche Stellen bedeuten.

<sup>16</sup> Hier werden derzeit strikt die fossilen Emissionen aus der Verbrennung erfasst und nicht die Mengen eingebundenen fossilen Kohlenstoffs, der grenzübergreifend gehandelt wird.

In Bezug auf Importe von Abfällen, Kunststoffprodukten und abgeschiedenes CO<sub>2</sub> entsteht unter beiden Optionen ein erhöhter MRV-Bedarf im Vergleich zur bestehenden Regulierung, insbesondere dann, wenn befreiungswürdige Produkte (Produkte deren Kohlenstoffgehalt bereits bepreist wurde oder deren Kohlenstoffgehalt atmosphärischen oder biogenen<sup>17</sup> Ursprungs ist) berücksichtigt werden sollen. Dagegen würde die Regel, dass Importe grundsätzlich keine Befreiung erhalten zu eher geringem Zusatzaufwand führen.

Für den Export von Abfällen, Kunststoffprodukten und CO<sub>2</sub> ist kein höherer Aufwand im Vergleich zur bestehenden bzw. geplanten Regulierung zu erwarten. Die Vermeidung der Doppel- oder Nichterfassung liegt in der Verantwortung des Ziellandes.

#### 4.4 Ausgestaltungsoptionen

Die dargestellten Optionen A und B sind beispielhaft zu verstehen. Insbesondere ergeben sich zahlreiche Ausgestaltungsoptionen, die bei einer weiteren Betrachtung im Detail betrachtet werden müssten. Beispielhaft sollen hier zwei Punkte aufgegriffen werden.

Sowohl in Option A als auch in Option B werden Verwendungsnachweise genutzt, die eng angelehnt sind an die Ausgestaltung von Artikel 12(3b) der EHRL. So gehen wir von einer Nutzbarkeit der Verwendungsnachweise nur im Rahmen von bilateralen Handelsbeziehungen aus. Durch das Herstellen einer massenbilanziellen Verbindung zwischen dem *Nutzer* des Nachweises und *der Anlage, die den Nachweis generiert*, werden die Grundsätze der Monitoring-Verordnung eingehalten.<sup>18</sup> Allerdings ist die Nutzbarkeit dadurch auch deutlich eingeschränkt auf Anlagen, die selbst CO<sub>2</sub> abscheiden und an eine einbindende Anlage verkaufen.

Die Einführung eines Systems mit handelbaren Verwendungsnachweisen dagegen würde es erlauben, solche Nachweise einem deutlich größeren Nutzerkreis zugänglich zu machen. Um dennoch zusätzliche Anreize für eine Abscheidung zu erzeugen, könnte der Nutzerkreis dahingehend eingeschränkt werden, dass z. B. das Betreiben einer eigenen Abscheideanlage Bedingung ist. Ein solches System bedarf allerdings eines deutlich aufwändigeren rechtlichen Rahmens, um Betrugsrisiken so weit wie möglich einzugrenzen und die Qualität der Nachweise zu sichern. Grundlage wäre ein von der Kommission anerkanntes Zertifizierungssystem für Unternehmen zur Nachweisausstellung von Kohlenstoffeinbindungen, das ähnlich aufgebaut ist wie die freiwilligen Systeme<sup>19</sup> unter der Erneuerbaren-Richtlinie (RED) oder das System zur Zertifizierung von Kohlenstoffentnahmen (CRCF). Die Einführung eines solchen Systems ist mit einem hohen zeitlichen, politischen, rechtlichen und administrativen Aufwand verbunden. Ob der Nutzen derzeit oder zukünftig einen solchen Aufwand rechtfertigen kann, müsste geprüft werden.

Unter Option B werden zwei verschiedene Ansätze kombiniert, um Doppelzählungen von Kohlenstoff zu vermeiden. Denkbar wäre alternativ auch, dass nicht nur die pauschale Befreiung für bereits bepreisten frischen fossilen Kohlenstoff über die zuständigen Behörden ermittelt wird, sondern auch die Befreiung für rezyklierten und biogenen<sup>20</sup> Kohlenstoff. Dazu müssten die Emissionsberichte der Monomerhersteller neben den fossilen gebundenen Mengen und den insgesamt gebundenen Kohlenstoffmengen auch die Mengen an rezykliertem sowie aus

---

<sup>17</sup> Bei Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien.

<sup>18</sup> Der Betreiber, der den Nachweis generiert, ist derjenige, welcher in unserem Kontext die Einbindung des synthetischen Kohlenstoffs vornimmt. Nutzer des Nachweises ist derjenige Betreiber einer ETS-Anlage, der diesen Nachweis zur Absenkung der eigenen Abgabepflicht einsetzt.

<sup>19</sup> [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes\\_en?etranolive=1&prefLang=de&etran=de](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en?etranolive=1&prefLang=de&etran=de)

<sup>20</sup> Wiederum bei Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien.

nachhaltigen biogenen Quellen stammenden Kohlenstoff ausweisen. Diese Mengen könnten ebenfalls pauschal auf die Betreiber von MVA und Kunststoffabfall-mitverbrennenden Anlagen angerechnet werden, die eine Abscheideanlage betreiben.

Durch das pauschalisierte Umlegen geht in diesem Fall aber zumindest ein Teil des Anreizes verloren, große Mengen CO<sub>2</sub> abzuscheiden. Auch hier gilt jedoch: um eine abschließende Antwort zu Kosten und Nutzen der Optionen geben zu können bedarf es weiterer Analysen.



## 5 Zusammenfassung und Fazit

Im vorliegenden Bericht wurden zwei Weiterentwicklungsoptionen für das EU-ETS 1 mit dem Ziel der Stärkung einer Kohlenstoffkreislaufwirtschaft beispielhaft anhand der Kunststoffindustrie analysiert. Dabei wurde mit Option A eine Downstream-Lösung betrachtet, bei der die kunststoffabfallverbrennenden ETS-Anlagen für die Emissionen des im Abfall gebundenen fossilen Kohlenstoffs abgabepflichtig sind, was dem Downstream-Prinzip des EU-ETS 1 entspricht. Bei der alternativen Option B wurde ein Upstreamansatz betrachtet, unter dem die Monomerhersteller für den Kohlenstoffgehalt ihrer Produkte einer Abgabepflicht für Zertifikate des EU-ETS 1 unterliegen. Ein solcher Upstream-Ansatz ähnelt dem Ansatz des EU-ETS 2 und wird im EU-ETS 1 nicht angewendet. Unter Option B würden zwar größere Mengen Kohlenstoff einer Bepreisung unterliegen, da insbesondere diffuse Emissionen und Exporte erfasst und bepreist würden. Diese Regelung wäre aber mit dem aktuellen Regulierungsrahmen aus zwei Gründen nicht kompatibel: Einerseits würden im Falle diffuser Emissionen Treibhausgasemissionen bilanziert, die häufig nicht in die Atmosphäre gelangen (z. B. Ablagerung von Feinstpartikeln in der Natur) und andererseits würde es nicht dem Territorialprinzip entsprechen, wenn Treibhausgasemissionen in der EU bzw. in deren Mitgliedsstaaten erfasst und bilanziert würden, obwohl diese in einem anderen Land entstehen, z. B. bei Exporten von Abfällen oder Kunststoffprodukten und der Entsorgungsweg der Abfälle und die dabei entstehenden Emissionen nicht bekannt sind. Option A ließe sich daher vermutlich einfacher innerhalb des bestehenden Regulierungsrahmens realisieren und könnte sich wie beschrieben an Artikel 49a der MVO orientieren.

In Kapitel 4 wird ein Ansatz für den Umgang mit CCU umrissen, welcher die generelle Ausnahme von abgeschiedenem Kohlenstoff von der Berichtspflicht der abscheidenden Anlagen beinhaltet. Im Rahmen des durchgeführten Fachgesprächs zu diesem Bericht kamen in der Diskussion ähnliche Anregungen von den anwesenden Fachleuten, da dieser Ansatz ohne ein Nachweissystem auskommen würde. Ein solcher Ansatz müsste jedoch hinsichtlich seiner Anfälligkeit auf Leckagen, also der Nichterfassung von emittierten CO<sub>2</sub>, insbesondere bei der energetischen Nutzung, geprüft werden. Eine kurze Erläuterung der mit diesem Ansatz verbundenen Risiken erfolgte in Kapitel 4.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Vor- und Nachteile der beiden Optionen. Unter der Maßgabe, dass eine Regelung der Kohlenstoffkreislaufwirtschaft möglichst nahtlos in die bestehenden Rahmenbedingungen des EU-ETS 1 integriert werden soll, erscheint Option A als die bevorzugte Wahl – trotz ihrer Schwächen in den Bereichen illegale Abfallentsorgung und Anreiz für Abfallexporte. Beide Nachteile könnten innerhalb des bestehenden Regulierungsrahmens zumindest teilweise durch Gegenmaßnahmen abgemildert werden, wie etwa durch zusätzliche Gebühren auf Abfallexporte oder die Verschärfung von Strafen bei illegaler Entsorgung.

**Tabelle 1: Übersicht über Vor- und Nachteile der beiden Optionen**

	Option A	Option B
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entspricht dem Downstream-Prinzip des EU-ETS 1</li> <li>• Es wird nur CO<sub>2</sub> erfasst, das tatsächlich emittiert wird</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaum Gefahren in Bezug auf illegale Entsorgung oder verstärkte Abfallexporte</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefahr für illegale Abfallentsorgung</li> <li>• Gefahr verstärkter Abfallexporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ansatz entspricht nicht dem Prinzip des EU-ETS 1; Gefahr von Doppelzählungen</li> <li>• Regulierung von Kohlenstoff, bevor er in die Atmosphäre entweicht</li> <li>• Nicht kompatibel mit dem Territorialprinzip bei der Emissionsberichterstattung</li> <li>• Höhere Kosten für EU-Hersteller, da der in Produkten gebundene Kohlenstoff bepreist wird (Carbon Leakage Risiko)</li> </ul>

Im Rahmen des Papiers wurde die darüberhinausgehende Frage nicht betrachtet, inwieweit der Aufbau eines administrativ in jedem Fall nicht trivialen Systems zum erweiterten Management von CCU, bei dem der Kohlenstoff nur vorübergehend eingebunden wird, unter dem EU-ETS 1 derzeit wirtschaftlich überhaupt sinnvoll erscheint. Dabei spielen zwei Aspekte eine Rolle: (i) Die aktuellen, aber auch die zukünftig erwarteten Kosten von CCU bzw. CCS unterscheiden sich erheblich<sup>21</sup>, was deutlich zügiger die Nutzung von CCS als von CCU-Optionen nahelegt. Ob insbesondere kurz- und mittelfristig die Anreize aus den dargestellten Optionen dies deutlich zugunsten von CCU verändern könnten, ist fraglich. (ii) Die hohen Kosten für Energie in Deutschland und Europa lassen es auch langfristig fragwürdig erscheinen ob, selbst beim Aufbau einer Kreislaufwirtschaft für Kohlenstoff, diese innerhalb von Europa geschlossen wird. Kostenvorteile für Energie sprechen für eine Einbindung von Kohlenstoff in Rohstoffe in Regionen mit hohem Potenzial an Erneuerbare Energien.

<sup>21</sup> Vgl. z. B. Mönnig et al. (2024).

## 6 Quellenverzeichnis

Bundesrepublik Deutschland (2022): Verordnung über die Emissionsberichterstattung nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetz für die Jahre 2023 bis 2030 (EBeV 2030) vom 21. Dezember 2022. Bundesgesetzblatt I S. 2868. Inkraft getreten am 31. Dezember 2022. Abrufbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/ebev\\_2030/BJNR286800022.html](https://www.gesetze-im-internet.de/ebev_2030/BJNR286800022.html).

Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1185 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council. Abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1185&qid=1704969410796>.

Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt (2021): VET-Bericht 2020 – Treibhausgasemissionen stationärer Anlagen und Luftverkehr in Deutschland (Vorläufige Daten). Berlin: Umweltbundesamt. Abrufbar unter: [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=3).

DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2024/2493 DER KOMMISSION zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2018/2066 in Bezug auf die Aktualisierung der Überwachung von und der Berichterstattung über Treibhausgasemissionen gemäß der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. Abrufbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202402493](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402493).

Europäische Kommission (2023): Delegierte Verordnung (EU) 2023/1185 der Kommission vom 10. Februar 2023 zur Ergänzung der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates — Festlegung eines Mindestschwellenwerts für die Treibhausgaseinsparungen durch wiederverwertete kohlenstoffhaltige Kraftstoffe und einer Methode zur Ermittlung der Einsparungen durch flüssige oder gasförmige erneuerbare Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs für den Verkehr sowie durch wiederverwertete kohlenstoffhaltige Kraftstoffe. Amtsblatt der Europäischen Union L 157, 20.6.2023, S. 20–33. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1185>.

Europäische Kommission (2024): Durchführungsverordnung (EU) 2024/2493 der Kommission vom 23. September 2024 zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2018/2066 in Bezug auf die Aktualisierung der Überwachung von und der Berichterstattung über Treibhausgasemissionen gemäß der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (Text von Bedeutung für den EWR). Amtsblatt der Europäischen Union L 2493. Verfügbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202402493](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402493).

Europäische Umweltagentur (EEA) (2024): The role of plastics in Europe's circular economy. Briefing Nr. 05/2024, veröffentlicht am 18. Juni 2024. Abrufbar unter: <https://www.eea.europa.eu/publications/the-role-of-plastics-in-europe#:~:text=The%20circularity%20of%20plastics%20material,the%20use%20of%20recycled%20plastics>.

Europäische Umweltagentur (EEA) (2025): Circularity Metrics Lab – Plastics. EEA Circularity Metrics Lab. Modifiziert am 22. Mai 2025. Verfügbar bei: European Environment Agency – Circularity Metrics Lab: Plastics. Abrufbar unter: <https://www.eea.europa.eu/en/circularity/sectoral-modules/plastics>.

ISO (2013): ISO 13833:2013 – Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung des Verhältnisses von Kohlendioxid aus Biomasse (biogen) und aus fossilen Quellen – Probenahme und Bestimmung des radioaktiven Kohlenstoffs (14C). Internationale Norm, Erstfassung April 2013, 36 S. Abrufbar unter: <https://www.iso.org/standard/54332.html>.

Köppke, K.-E.; Cuhls, C. (2002): Untersuchungen und Abschätzung von diffusen Emissionen aus Anlagen der Chemieindustrie. Kurzfassung im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Umweltbundesamtes. PDF-Dokument, 12 Seiten. Abrufbar unter: [https://www.koepcke.com/assets/vdi\\_diffemissionen.pdf](https://www.koepcke.com/assets/vdi_diffemissionen.pdf).

Mönnig, A., Ronsiek, L., Schneemann, C., Schur, A. C. und Zenk, J. (2024): CCS/CCU-Technologie – Stand, Potentiale und mögliche Kosten der Speicherung (CCS) und Nutzung (CCU) von Kohlendioxid in Deutschland. BIBB Discussion Paper.

Plastics Europe (2023): Plastics – the fast Facts 2023, Plastics Europe, Brüssel. Vorläufige globale und europäische Kunststoffproduktionsdaten; zentrale Wirtschaftsdaten der europäischen Kunststoffindustrie, Handelsbilanz, bedeutende Handelspartner sowie erste Schätzungen zur Umwandlung von Kunststoffen. Verfügbar im Knowledge Hub auf der Website von Plastics Europe.: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>.

Schlotter, U. (2021): Fact-finding Studie „Chemistry4Climate“ – Beitrag von Kunststoffabfällen zur C-Versorgung der Chemie. Webmeeting, Workshop der AG 2. Präsentation, BKV GmbH. Webmeeting am 30.11.2021. Abrufbar unter: <https://www.vci.de/dib-1/anlage-4-fact-finding-ergebnisvorstellung-bkv-ag-2.pdf>.

Wendler, K. (2022): Fact-finding Studie AG 2 Kreislaufwirtschaft und Rohstoffversorgung der Zukunft Sitzung der Chemistry4 Climate AG 2 am 24.03.2022. Abrufbar unter: <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/anlage-3-fact-finding-ergebnisvorstellung-dechema-ag2.pdf>.

Wietschel, M.; Weißenburger, B.; Wachsmuth, J.; Müller, V. P. (2024): Was wissen wir über Importe von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten und was lässt sich daraus für eine deutsche Importstrategie ableiten? HYPAT Impulspapier Nr. 1/2024. Karlsruhe: Fraunhofer ISI (Hrsg.), <https://public-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/04d0d3c7-9dbd-4f15-8c4d-b82015260fb6/content>.

Zeschmer-Lahl, B.; Schöneberger, H., Waltisberg, J. (2020): Abfallmitverbrennung in Zementwerken. Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes. TEXTE 202/2020.