



# **HVC – KUNSTSTOFFPRODUKTION**

**Orientierungsrahmen für Unternehmensdialoge**



# Inhalt

<b>PATHWAYS TO PARIS</b>	<b>3</b>
<b>VORWORT: GEMEINSAM FÜR DEN KLIMASCHUTZ</b>	<b>4</b>
<b>DIE AUSGANGSLAGE FÜR KLIMASCHUTZ IN DER KUNSTSTOFFPRODUKTION</b>	<b>6</b>
<b>DIE ECKPFEILER DES TRANSFORMATIONSPFADES</b>	<b>8</b>
<b>DIE SCHRITTE DER TRANSFORMATION IN DER KUNSTSTOFFPRODUKTION</b>	<b>11</b>
Dekarbonisierung	13
Defossilisierung	14
Kreislaufwirtschaft und Recycling	16
<b>AUSBLICK UND IMPULSE FÜR DEN DIALOG</b>	<b>18</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>20</b>

# Pathways to Paris

Das Projekt hat zum Ziel, die Transformation der deutschen Wirtschaft hin zur Klimaneutralität in Deutschland zu unterstützen und zu beschleunigen. Dafür wurden verschiedene Werkzeuge erarbeitet, die helfen, die notwendigen Veränderungsbedarfe für die Paris-kompatible<sup>1</sup> Emissionsreduktion in verschiedenen Sektoren und Subsektoren zu verstehen und strategisch umzusetzen. Auf dieser Basis können Unternehmen und Finanzmarktakteure gemeinsam Transformationsstrategien und -maßnahmen diskutieren, Investitionsbedarfe identifizieren und Finanzierungslösungen erarbeiten. Zudem wird es den Finanzmarktakteuren ermöglicht, transformationsbasierte Risiken und Chancen der einzelnen Sektoren besser zu verstehen und in ihren Risikosystemen zu berücksichtigen.

## Diese drei Instrumente sind:

- 1** Mit dem webbasierten [Transformationstool](#) können Unternehmen aus den abgedeckten zehn Sektoren in drei Schritten ihre eigenen Pläne zur Emissionsreduktion konkretisieren.
- 2** Eine [Bewertungsmatrix](#) bestehend aus sektorübergreifenden und sektorspezifischen Indikatoren, hilft Finanzinstituten, diese Konkretisierungen und ihre Fortschritte zu bewerten.
- 3** Ergänzende [sektorspezifische Orientierungsrahmen](#) erläutern die zentralen Maßnahmen, die Unternehmen auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität umsetzen müssen, und liefern den Finanzmarktakteuren eine fundierte Basis für lösungsorientierte Dialoge mit den Unternehmen.



Bei der **Betrachtung des Chemiesektors** lag im Rahmen des Projektes der Fokus auf der Produktion von Kunststoff und Ammoniak. Im vorliegenden Orientierungsrahmen wird der Subsektor der Kunststoffproduktion beleuchtet. Berücksichtigt werden insbesondere die THG-Emissionen von Anlagen zur Herstellung von Kunststoff, speziell der Dampfspaltung und partiellen Oxidation. Zusätzlich wird der Einsatz alternativer Rohstoffe, bspw. synthetisches Naphtha, betrachtet.

<sup>1</sup> Paris-kompatible Emissionsreduktionspfade sind Treibhausgasreduktionspläne für Unternehmen, die im Einklang mit den Pariser Klimazielen stehen. Sie sind also an einem Ambitionsniveau ausgerichtet, das die Begrenzung des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C, wenn möglich auf 1,5 °C relativ zum vorindustriellen Niveau ermöglicht. Wichtig ist zu beachten, dass das Pariser Klimaabkommen neben den Temperaturlimits noch weitere Ziele festlegt: Die Anpassungsfähigkeit an die globale Erwärmung soll erhöht und die globalen Finanzströme sollen so gelenkt werden, dass sie mit den Zielen des Abkommens vereinbar sind. Da der Fokus dieses Leitfadens auf der Treibhausgasreduktion liegt, wird hier Paris-Kompatibilität im Sinne von „im Einklang mit dem Temperaturlimit des Pariser Abkommens“ verwendet.

## Vorwort: Gemeinsam für den Klimaschutz



**Vanessa Bolmer**, Senior Policy Advisor, Sustainable Finance, WWF Deutschland

Beim Klimaschutz geht es längst nicht mehr um das Ob, sondern um das Wie. Viele Unternehmen, ob klein, mittel oder groß, haben bereits Transformationsmaßnahmen eingeleitet. Sie setzen sich mit ihren Prozessen und Geschäftsmodellen auseinander, testen den Einsatz nachwachsender Rohstoffe oder setzen sich für den Aufbau entscheidender Infrastruktur ein. Altbekanntes kritisch zu hinterfragen, birgt Chancen für das Klima. Um die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit der deutschen Wirtschaft zu sichern, müssen diese Prozesse beschleunigt und tatsächlich umgesetzt werden. Dafür braucht es eine mutige, zukunftsorientierte Politik, die sich ohne weitere Umschweife für den Klimaschutz und die notwendige Transformation entscheidet und einen verlässlichen Rahmen für die Wirtschaftsakteure setzt. Und es braucht natürlich entsprechendes Kapital.



**Dr. Nicole Röttmer**, Global Lead Climate Clients & Industries, PWC Deutschland

Die Liquidität ist vorhanden. Doch wie finden die nach zukunftsfähigen Investitionen suchenden Gelder des privaten Finanzsystems den Weg zu gesellschaftlich sinnvollen und zukunftsweisenden Projekten? Eine zentrale Voraussetzung ist, dass entsprechende Investitionen ein wettbewerbsfähiges Risiko-Rendite-Profil haben müssen – auch und gerade im Vergleich zu nicht nachhaltigen, z. B. fossil-basierten Alternativen. Drei Lösungsfelder zeichnen sich ab, die Kapitalgeber:innen auf der Anlage- wie Kreditseite unterstützen, ihre beschleunigende Wirkung auf die Transformation zu entfalten:

Erstens, neben einem regulatorischen Rahmen, der strukturelle Barrieren beseitigt und transformationspositive Investitionen fördert, müssen zweitens, Kenntnisse über die Herausforderungen in den einzelnen Industrien und systematisches, zielorientiertes Engagement in den Fokus rücken. Drittens müssen die klassischen finanzwirtschaftlichen Kennzahlen ergänzt werden um zukunftsgerichtete sektorübergreifende und sektorspezifische Indikatoren, wenn z. B. das Risiko von Stranded Assets, Wertminderung der Vermögensgegenstände oder Kreditausfälle durch Transformationsprozesse erfasst und minimiert werden soll.

Doch noch steckt eine Bewertungspraxis unter Einbeziehung von Dekarbonisierungsszenarien und passgenauen Transformationsbedarfen in den Kinderschuhen. Der Fortschritt unternehmerischer Transformation ist erst über intelligente Indikatoren bewertbar, die nicht nur den Status quo, sondern zusätzlich Elemente wie Klimaziele sowie bewertete Transformations- und Investitionspläne beinhalten.

Ebenfalls einfließen müssen die individuelle strukturelle Aufstellung von Unternehmen sowie die konkrete Einschätzung technischer Maßnahmen des jeweiligen Sektors. Zukünftig wird es über den reinen THG-Fußabdruck des eigenen Portfolios weit hinausgehen müssen, um einen relevanten Beitrag zu einer realen Reduktion der Treibhausgase in der Wirtschaft zu leisten. Dies wird von regulatorischen Entwicklungen national wie international begünstigt. Von Unternehmen wird u. a. eine umfassende Offenlegung von Nachhaltigkeitsdaten verlangt (Europäische Kommission, 2021). Gleichzeitig werden Finanzakteure verpflichtet, Auskünfte über die Transitionsrisiken und Nachhaltigkeitsauswirkungen ihrer Investments zu geben (ARUG II, 2019; Richtlinie 2014/65/EU; Verordnung (EU) 2019/2088; Verordnung (EU) 2020/852; GFANZ, 2022).

Im Rahmen von [Pathways to Paris](#) entwickelten WWF Deutschland und PwC Deutschland im Sparring mit 90 Vertreter:innen der Industrie und Finanzwirtschaft drei Instrumente, die beide Akteursgruppen dabei unterstützen sollen, den Wandel zur treibhausgasarmen Wirtschaft im Rahmen ihrer Anlage- und Finanzierungsentscheidungen aktiv zu begleiten. Sie sollen als Grundlage für Dialoge dienen, so dass einschätzbar wird, ob Unternehmen auf den strukturellen Wandel zur Klimaneutralität der Wirtschaft vorbereitet sind. Gefördert wurde das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

Der Überfall Russlands auf die Ukraine und die gesamtwirtschaftlichen Effekte, wie Inflationsverschiebungen, Preisentwicklungen, Rohstoffzugänge, sowie die bereits sicht- und spürbaren Klimawandelauswirkungen, wie Hitzewellen und Dürren, konnten als kurzfristige Sondereffekte nicht explizit berücksichtigt werden. Nach unserer Einschätzung wirken diese Faktoren verstärkend. Effizienterer Energieverbrauch, Reduktion CO<sub>2</sub>-intensiver Energieträger, reduzierte Gasnutzung, Elektrifizierung, Dekarbonisierung von Industrieprozessen – all diese Maßnahmen stünden auch ohne russischen Angriffskrieg auf der Tagesordnung. Gerade die Gasknappheit und die aktuellen Sparmaßnahmen zeigen, welche Reduktionspotenziale bislang ungenutzt geblieben sind.



Wir hoffen, dass der vorliegende Orientierungsrahmen<sup>2</sup> Ihnen hilft, die Anforderungen an die Transformation im sektorspezifischen Kontext nachzuvollziehen und so in einen systematischen und zielorientierten Dialog mit Unternehmen treten zu können. Wir freuen uns auf Ihr Feedback und Ihre Erfahrungsberichte!

---

2 Sofern nicht anders angegeben, beruhen sämtliche Angaben, Annahmen, Entwicklungen oder Ableitungen in diesem Dokument auf dem von Agora Energiewende beauftragten [Dekarbonisierungsszenario KN 2045](#) (Prognos, 2021). Da es sich hierbei um eines der ambitioniertesten Szenarien für Deutschland handelt, mit einer umfassenden Sektorabdeckung und Dokumentation, wurde es für die Arbeit von Pathways to Paris als Referenz für Paris-kompatible Entwicklungen in Deutschland ausgewählt. Alle Annahmen, die dem Projekt „Pathways to Paris“ zugrunde liegen, können online abgerufen werden. [https://pathwaystoparis.com/wp-content/uploads/2022/05/PtP\\_Annahmen\\_Entwicklung\\_Brennstoffkosten.pdf](https://pathwaystoparis.com/wp-content/uploads/2022/05/PtP_Annahmen_Entwicklung_Brennstoffkosten.pdf)

# Die Ausgangslage für Klimaschutz in der Kunststoffproduktion

Die Kunststoffherstellung ist überwiegend dem Zweig der Petrochemie zuzuordnen. Sie basiert derzeit vor allem auf fossilen Rohstoffen wie Erdöl und Erdgas. Beide Rohstoffe werden fast vollständig importiert, sodass angesichts der aktuell verschärften Abhängigkeit alternative Rohstoffe an Attraktivität gewinnen sollten. Die Ausgangsstoffe zur Herstellung von Kunststoff, Rohbenzin bzw. je nach Endprodukt Naphtha, Ethan oder Propan, sind Nebenprodukte der Erdölraffinerien. Dort werden weitere Grundchemikalien oder auch High Value Chemicals (HVC) hergestellt, die wiederum als Ausgangsstoffe für verschiedene Industrieprodukte dienen. Da die gleichen Produktionsverfahren zur Anwendung kommen (siehe Exkurs zu Produktionsschritten) und sich die Quellen der Treibhausgasemissionen ähneln, werden sie in der Diskussion über Transformationsanforderungen häufig als Gruppe betrachtet.<sup>3</sup>



Im Jahr 2020 machten Industrieemissionen 24 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland aus (Umweltbundesamt, 2022). Davon entfielen 22 % auf die energiebedingten Emissionen des gesamten Chemiesektors<sup>4</sup>, dies entspricht in etwa 5 % der deutschen Gesamtemissionen (absolut 38,9 MtCO<sub>2</sub>) (Verband der Chemischen Industrie, 2022). Die Emissionen im Chemiesektor verblieben in den letzten 20 Jahren, mit Ausnahme der Weltwirtschaftskrise im Jahr 2008, auf einem konstanten Niveau. Zurückzuführen ist dies auf einen jahrelang niedrigen Ölpreis, der die Entwicklung und Verbreitung von chemischen Grundstoffen und insbesondere von alternativen Kunststoffen verhinderte.

Die **EU-Taxonomie** für ökologisch nachhaltige Wirtschaftsaktivitäten definiert für die HVC-Herstellung eine maximale Emissionsintensität von 0,693 tCO<sub>2</sub>e/t. Die Werte sollen sukzessive im Laufe der 2020er Jahre verschärft werden. In Deutschland liegt der Durchschnittswert in der HVC-Herstellung aktuell zwischen 0,75–0,8 tCO<sub>2</sub>e/t.

Beim Einsatz von synthetischen Rohstoffen, sogenannten Feedstocks, die nicht auf fossilen Brennstoffen basieren, gelten besondere Regelungen: Es muss sichergestellt werden, dass die gesamte Herstellungskette nachvollziehbar ist und die Lebenszyklusemissionen im Vergleich zum fossil hergestellten Produkt niedriger sind (Europäische Kommission, 2021b). Ein Grund dafür ist, dass die Verwendung

<sup>3</sup> Dieser Leitfaden diskutiert die Anforderung der Transformation in der Kunststoffherstellung. Dennoch wird immer wieder auf den Kontext des gesamten Chemiesektors oder der Grundstoffchemie bzw. der HVC-Herstellung verwiesen, da zum Teil nur auf dieser Ebene aussagekräftige Informationen zu Verfügung stehen. Fast alle aufgeführten Maßnahmen sind auf andere HVCs übertragbar.  
<sup>4</sup> Unter Einbeziehung von Ammoniak sowie Methanol und Chlor sowie deren nachgelagerte Weiterverarbeitung.

von Biomasse in industriellen Prozessen nicht in Konkurrenz zur Erzeugung von Lebensmitteln stehen darf und langfristige Kohlenstoffsinken, z. B. in der Forstwirtschaft, erhalten bleiben sollen.

## Grünstrom, biogene Rohstoffe und Kreislaufwirtschaft

**Schlüsselmaßnahmen** werden die Elektrifizierung und Verwendung von Grünstrom oder die Umstellung des Steamcrackers auf biogene Rohstoffe (z. B. synthetisches Naphtha) sein. Potenziale finden sich zudem in der Forschung alternativer Rohstoffe. Im Kunststoffsektor ist zudem der Aufbau einer konsequenten Kreislaufwirtschaft, die große Mengen des eingesetzten Kohlenstoffs im Kreislauf führt, essenziell. Die hohen kontinuierlichen und räumlich konzentrierten Wärmebedarfe der chemischen Industrie bieten die Möglichkeit, Biomasse in großem Stil einzusetzen und das entstehende CO<sub>2</sub> entsprechend abzutrennen.

Das prognostizierte **Investitionsvolumen** für Klimaschutzmaßnahmen beläuft sich bis 2050 in der deutschen Industrie auf rund 619 Mrd. Euro. Mit einer Summe von 135 Mrd. Euro fällt ein erheblicher Teil dem Chemiesektor zu (Prognos, 2021). Allein BASF plant, bis 2030 bis zu 4 Mrd. Euro in treibhausgasreduzierende Maßnahmen zu investieren (BASF, 2022). Der Ausbau der Infrastruktur, die Umstellung bzw. der Neubau teils großer Anlagen ist verbunden mit langen Investitionszyklen und Laufzeiten.

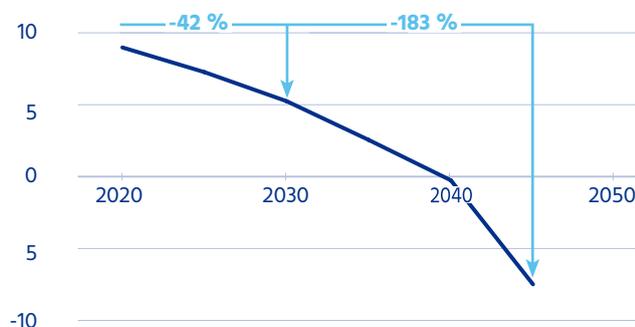
Begleitet werden muss dieser Prozess durch die Sensibilisierung der Gesellschaft und Akzeptanz am Markt für den Aufbau einer sinnvollen Kreislaufwirtschaft sowie für den bereits stark diskutierten Ausbau der erneuerbaren Energien.



# Die Eckpfeiler des Transformationspfades

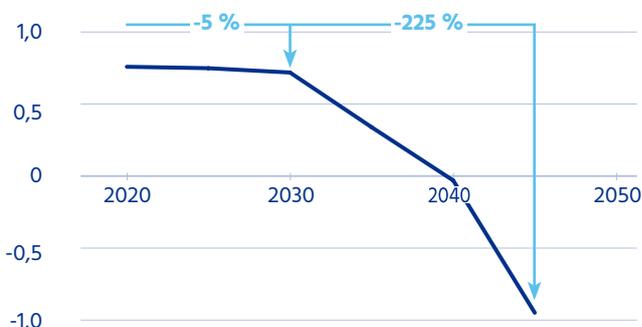
Das Dekarbonisierungsszenario<sup>5</sup> „Klimaneutralität in Deutschland 2045“, erstellt für Agora Energiewende (im Folgenden KN 2045), modelliert für den Sektor HVC bis 2045 eine Reduktion der THG-Emissionen um **-183 % (Abbildung 1)**. Bereits im Jahr 2040 soll Treibhausgasneutralität in der HVC-Herstellung erreicht werden. Trotz aller Bemühungen wird es 2045 Residualemissionen geben, vor allem im Landwirtschaftssektor und prozessbedingt in der Industrie. Um Klimaneutralität im deutschen Binnenland zu erreichen, müssen diese Restemissionen durch negative Emissionen<sup>6</sup> ausgeglichen werden. Als Kohlenstoffsenke kommen nicht viele Sektoren infrage, Kunststoff gehört jedoch dazu. Durch die stoffliche Bindung von CO<sub>2</sub> in grünen Polymeren und deutlich besseren Recyclingverfahren und -praktiken kann Kohlenstoff länger im Kreislauf verbleiben.

▼ THG-Emissionen (MtCO<sub>2</sub>e)



**Abbildung 1:** Reduzierung der absoluten Emissionen in der HVC-Herstellung in Deutschland nach KN 2045

▼ Spez. Emissionen (tCO<sub>2</sub>e/tHVCs)



**Abbildung 2:** Reduzierung der THG-Intensität in der HVC-Herstellung in Deutschland nach KN 2045

Der Pfad der Emissionsintensität (**Abbildung 2**) zeigt an, dass in den Prozessanpassungen bis 2030 mit einer Reduktion von nur **-5 %** relativ wenig zu erwarten ist. Die stärkere Reduktion der absoluten Emissionen ist durch einen Rückgang der Herstellungsmenge zu erklären, u. a. getrieben durch den verstärkten Aufbau der Kreislaufwirtschaft und längere Lebenszyklen der Endprodukte. Die späten Potenziale finden sich zudem in der Forschung alternativer Rohstoffe. Die Reduktion der Emissionsintensität ab 2030 erfolgt insbesondere durch die Entwicklungen des Energiesektors: Erdöl als Brennstoff läuft bis 2030 aus. Zudem wird erwartet, dass zentrale Technologien wie BECCS, DAC und verbesserte Recyclingverfahren Marktreife erlangen werden.

5 Die Ergebnisse der Klimaszenarien und die ihnen zugrundeliegenden Annahmen bilden eine wichtige Grundlage für die Ableitung von Maßnahmenplänen mit Blick auf die Kalibrierung zwischen Kosten, Nutzen und Wirksamkeit in Bezug auf die Emissionsreduzierung. Wichtige Stellschrauben in der Umsetzungsplanung von Dekarbonisierungsstrategien hängen von einer Reihe makroökonomischer und energiespezifischer Annahmen ab. Auch Preisentwicklungen spielen zur Abwägung und Beurteilung von Dekarbonisierungsmaßnahmen eine wichtige Rolle.

6 Negativemissionen ist ein vom Weltklimarat geprägter Begriff, der Aktivitäten beschreibt, die Treibhausgasemissionen aus der Atmosphäre binden. Dies sind zum Beispiel Aufforstung, Humusaufbau und die technische Fixierung und Speicherung von Kohlenstoff. Da fraglich ist, ob umfangreiche globale Negativemissionen erreicht werden können (Anderson & Peters, 2016), sind Szenarien, die sie in einem geringeren Ausmaß veranschlagen, als belastbarer anzusehen (Fuss et al. 2014).

## KN 2045 kommt für den Sektor HVC zu fünf wesentlichen Schlüssen:

- 1** Die Herstellungsmenge von HVC in Deutschland sinkt bis 2030 insgesamt um –38 % und bleibt dann ungefähr auf dem Niveau stabil. Durch das Phase-out von fossilem Erdöl als Rohstoff werden viele Raffinerien schließen. Damit reduziert sich die Anzahl der Betriebsstätten zur Mineralölverarbeitung und die Verfügbarkeit von z. B. regionalem konventionellem Naphtha als Rohstoff. Entsprechend sinkt insbesondere der Anteil der „Primärproduktion“, also der Herstellung von HVC auf Basis virginaler Rohstoffe<sup>7</sup>.
- 2** Zeitgleich verlagern sich die Produktionsstätten in Nachbarländer mit Küstenstandorten und großen Seehäfen. Der Anteil von importiertem synthetischem Naphtha und Methanol wird steigen und bis 2045 konventionelles Naphtha komplett ersetzen. Synthetische Feedstocks<sup>8</sup> werden damit die Hauptquelle für die Produktion von Kunststoffen sein. Die vermehrte Herstellung von synthetischen Rohstoffen soll durch den Einsatz von „Direct Air Capture“-Technologie (DAC) und grünem Wasserstoff ermöglicht werden.

### Verschiebungen auf dem Weltmarkt der Grundstoffchemikalien

Diese Verlagerung findet bereits statt, da der Sektor durch die Globalisierung unter starkem Kosten- bzw. Preisdruck steht. Schon heute werden Ersatz- oder Erweiterungsinvestitionen im Ausland getätigt, die Zugang zu Hafenstandorten mit direktem Anschluss an den Weltmarkt garantieren.

KN 2045 sieht vor, dass deutsche Hersteller Weltmarktanteile insbesondere an die Standorte Rotterdam und Antwerpen verlieren werden. Die beiden Hafenstädte werden ihre Infrastruktur leichter für den Bezug von importierten synthetischen Rohstoffen umrüsten können. Die bereits bestehenden landesübergreifenden Verbundproduktionen mit Rohstoffbezug aus Nordwesteuropa, an denen deutsche Unternehmen maßgeblich beteiligt sind, werden weiterhin bestehen. Der hohe Spezialisierungsgrad auf insbesondere hochwertige Produkte in den deutschen Automobil- und Baubranchen sollte den Erhalt der deutschen Binnenstandorte sichern können.

- 3** Der Anteil am Recycling und der Produktion mit sogenannten Sekundärrohstoffen, insbesondere bei Kunststoffen, soll sukzessive steigen, bis er 2045 ca. zwei Drittel aller Produkte ausmacht. Verbesserungen in den Recyclingverfahren sowie die recyclingfähige Beschaffenheit der Primärprodukte ist für den Anstieg notwendig.

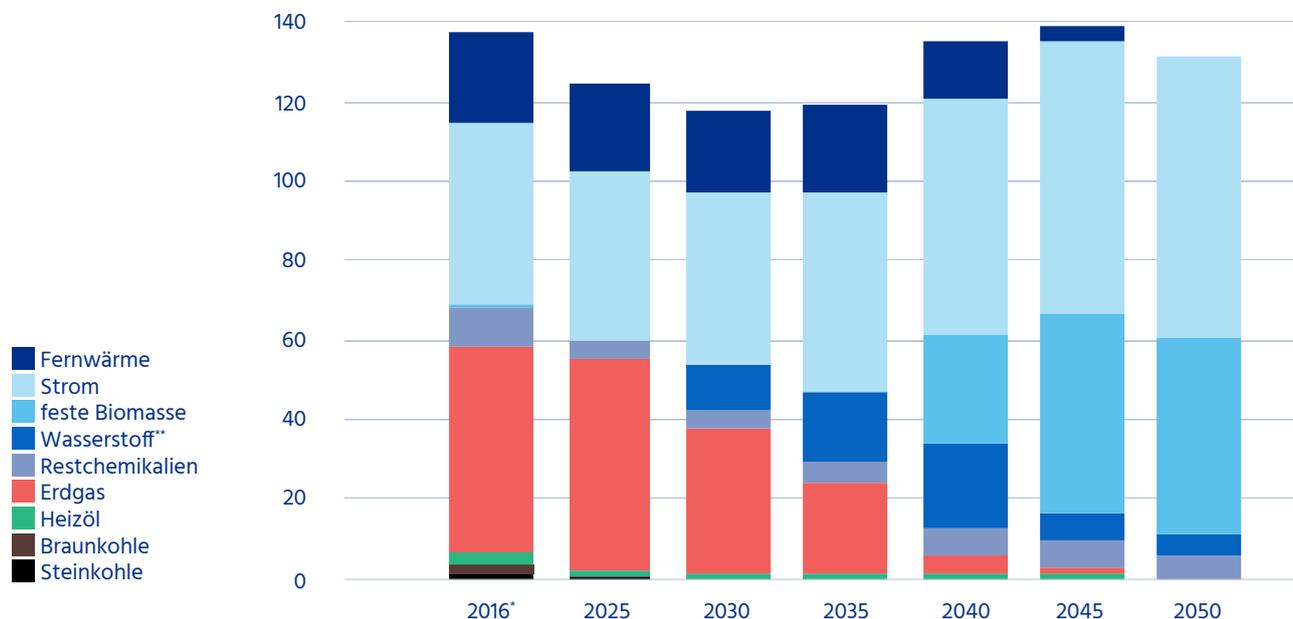
<sup>7</sup> „Virginale Rohstoffe“ sind Rohstoffe, die ohne Vorverwendung für die Herstellung des Produkts beschafft werden..

<sup>8</sup> Synthetisches Naphtha: Herstellung von strombasiertem Naphtha, welches unter Einsatz von erneuerbarem Strom und Kohlendioxid aus der Luft gewonnen wird oder alternativ über biogene Brennstoffe, wie organische Abfälle oder Pflanzenöl. Dies erfolgt z. B. mittels der Fischer-Tropsch-Synthese, ein großtechnisches Verfahren zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen mithilfe von (grünem) Wasserstoff. Alternativ kann auch synthetische Methanol als Feedstock dienen (siehe dazu „Defossilisierung“).

4

Es erfolgt ein zügiger Wechsel des Brennstoffeinsatzes zur Energiebereitstellung: von fossilen Brennstoffen zu Biomasse, grünem Wasserstoff und der grünstrombetriebenen Elektrifizierung in Teilprozessen, insbesondere dem Steamcracker (**Abbildung 3**).

Endenergieverbrauch (TWh) ▼



\* 2016: statistische Werte, restliche Jahre: Modellergebnisse

\*\* ohne stoffliche Verwendung von Wasserstoff

**Abbildung 3:** Endenergieverbrauch in der Grundstoffchemie bis 2050 nach KN 2045

5

Die unvermeidbaren Prozessemissionen sollen langfristig durch den Einsatz von Bioenergie mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung (BECCS) sowie der direkten CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Luft (DAC) aufgefangen werden können. Ab 2045 soll nur noch synthetisch hergestelltes Naphtha zum Einsatz kommen. Durch die Herstellung mit biogenen Brennstoffen oder DAC ist Kohlenstoff im Rohstoff Naphtha weiterhin enthalten. Im weiteren Produktionsprozess zum kunststoffbasierten Endprodukt kann der gebundene Kohlenstoff je nach Verwendungszweck des Produkts über einen kürzeren (z. B. Verpackungen) oder idealerweise einen längeren Zeitraum (z. B. Gebäude) gespeichert werden. Zentral für den Erfolg der dauerhaften Speicherung des Kohlenstoffs nach dem Lebensende des Produkts (inkl. der Recyclingrunden) ist das sich anschließende Verfahren. KN 2045 sieht dafür die sogenannte thermische Verwertung in Öfen anderer Industrieprozesse oder in der Energiewirtschaft vor, die über CCS-Technologie mit anschließender standortnaher geologischer Speicherung der Restemissionen verfügen.

# Die Schritte der Transformation in der Kunststoffproduktion

## Dekarbonisierung, Defossilisierung und Recycling

Eine erfolgreiche Transformation der HVC-Sektoren stellt Anforderungen insbesondere an drei Handlungsfelder<sup>9</sup>: Dekarbonisierung, Defossilisierung und Recycling. Die Ansätze für Reduktionsmaßnahmen in diesem Orientierungsrahmen fokussieren sich auf die ersten zwei Prozessschritte der Kunststoffproduktion, da dort die wesentlichen Treiber der Treibhausgasemissionen zu verorten sind. Die Aufteilung zwischen energiebezogenen und Prozessemissionen liegt in der Grundstoffchemie in etwa bei 80/20 (Agora Energiewende und Wuppertal Institut, 2019).

- » Die Herstellungsprozesse benötigen sehr viel Energie (Wärme und Strom), die zu ca. einem Drittel aus Eigenerzeugung durch lokale Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen gedeckt werden. Sie nutzen überwiegend fossile Brennstoffe und verursachen entsprechend hohe energiebezogene Emissionen (Navigant, 2020).
- » Der hohe Verbrauch des fossilen Brennstoffs Erdöl bzw. nach der Destillation von Naphtha als Produktionsrohstoff (engl. „Feedstock“) ist ebenso für die Freisetzung vieler energiebezogener Emissionen verantwortlich.
- » Während der Umwandlung von Erdöl zu Naphtha und der Aufspaltung von Naphtha werden Prozessemissionen freigesetzt.



<sup>9</sup> Die im Projekt Pathways to Paris identifizierten Maßnahmen wurden in sektorspezifischen Arbeitsgruppen mit Akteuren aus der Industrie, Finanzwirtschaft und Wissenschaft diskutiert. Mithilfe sogenannter Vermeidungskostenkurven (MACCs) können im Transformationstool für jede Technologie die Maßnahmen mit den geringsten Kosten und dem größten Potenzial zur Vermeidung von THG-Emissionen betrachtet werden. Neben KN 2045 basieren die Ergebnisse u. a. auf: Umweltbundesamt (2019), Europäische Kommission (2008), Fleiter, Schломann und Eichhammer (2013).



## Exkurs: Die Produktionsschritte der Kunststoffherstellung



In der Raffinerie wird Erdöl durch den Vorgang der Destillation auf 400 °C erhitzt und in verschiedene Bestandteile, vor allem Gas, Rohbenzin, Diesel, Heizöle sowie Gasöl getrennt. Diese Bestandteile bestehen aus Kohlenwasserstoffen, die sich in ihrer molekularen Größe und Gestalt voneinander unterscheiden. So wird der wichtigste Bestandteil für die Kunststoffherstellung, das Rohbenzin, auch Naphtha genannt, gewonnen.



Anschließend erfolgt die Dampfspaltung, auch unter den englischen Begriffen Cracking oder Steamcracking bekannt. Dieser thermische Spaltprozess ist der Anfang vieler Wertschöpfungsketten der Chemieindustrie, nicht nur der Kunststoffherstellung. In der Dampfspaltung werden langkettige Kohlenwasserstoffe, wie Naphtha, Ethan, Propan und Butan, in kurzkettige oder ungesättigte Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Dies geschieht unter Zugabe von Dampf mit einer Temperatur von 800–850 °C. Die Umwandlungsreaktion erfolgt in einem Rohrreaktor (auch Pipeline genannt), dessen Beschaffenheit auf den zu spaltenden Einsatzstoff abgestimmt ist. Das Rohr wird in einem Ofen durch Flammen beheizt, an dessen Ende die umgewandelten Stoffe austreten. Im Fall der Kunststoffherstellung wird Naphtha in die Olefine Ethylen, Propylen, Butylen und andere Kohlenwasserstoffverbindungen auseinandergebrochen und umgebaut. Es entstehen sogenannte Monomere.



Danach erfolgt die eigentliche Kunststoffherstellung über die Polymerisation, die Polykondensation oder die Polyaddition. Je nach eingesetzten Verfahren verbinden sich die Monomere über Kettenreaktionen als Addition (Kette gleicher Monomere) oder Kondensation (Kette unterschiedlicher Monomere). Das Endprodukt dieses Herstellungsschrittes sind Polymere in Form von Granulat, Flüssigkeit oder Pulver.



Die Weiterverarbeitung zu Kunststoffen, wie sie weitläufig für Produkte im Alltag und Industrieprozessen eingesetzt werden, erfordert die Zugabe von Additiven. Ähnlich wie bei der Metallbearbeitung werden die verschiedenen Kunststoffe im letzten Schritt durch Gießen, Extrudieren, Einspritzen oder Thermformen in die gewünschte Form gebracht.

## Dekarbonisierung



Im Unternehmensdialog wäre zu betrachten, ob ein möglichst hoher Anteil der Produktion strombasiert betrieben wird und der Anteil, der dafür verwendeten erneuerbaren Energieträger möglichst hoch ist.

In diesem Handlungsfeld geht es um die Reduzierung der THG-Emissionen, die durch die verwendete Energie im Produktionsprozess insbesondere während der Dampfspaltung im **Steamcracker** entstehen. Diese Anlagen werden heute überwiegend mit Erdgas betrieben. Die Umstellung auf Strom, also die **Elektrifizierung der Dampfspaltung**, bietet, verglichen mit heutigen durchschnittlichen Steamcrackern, ein Reduzierungspotenzial von 28 %. Voraussetzung für eine CO<sub>2</sub>-freie Beheizung ist jedoch der Einsatz erneuerbarer Stromquellen.

Ab 2025 könnte in der Dampfspaltung **CCS-Technologie**<sup>10</sup> zum Einsatz kommen. Das Verfahren zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen, z. B. mittels einer Aminwäsche<sup>11</sup>, und der dauerhaften Einlagerung in unterirdischen Lagerstätten kann an die Öfen im Steamcracker angeschlossen werden, die ist jedoch mit einigem technischen Aufwand verbunden. Mit CCS/U könnten nicht vermeidbare Emissionen, die durch die Verbrennung von im Spaltungsprozess entstandenen Nebenprodukte entstehen, gebunden werden. Das Einsparungspotenzial liegt bei 24 % im Vergleich zum gewöhnlichen Steamcracker.

**Zusätzlich kann eine Kombination von Energieeffizienzmaßnahmen weitere Emissionen bei der Dampfspaltung einsparen. Dazu zählen:**

- » wärmeintegrierte Rektifizierkolonne
- » Kälterückgewinnung aus dem Kältemittelkreislauf
- » neue Spaltöfen mit optimierter Strahlungszone
- » neuer Transferleitung-Wärmeübertrager
- » Gasturbinenintegration zur Verbrennungsluftvorwärmung
- » Coking-Reduzierung durch keramisch beschichtete Pyrolyserohre
- » katalytische Spaltöfen
- » übergeordnete Regelung des Prozessdampfeinsatzes

Reduzierungspotenzial von 50 % erreicht

Viele Unternehmen setzen bereits einige dieser Maßnahmen um, sodass das verbleibende Reduzierungspotenzial betriebsabhängig ist. Auf Gesamtebene wurden mit den Maßnahmen bisher Reduzierungen von fast 50 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 erreicht. Expert:innen erwarten, dass in Deutschland Energieeffizienzpotenziale verbleiben, die insgesamt weitere 10 % einsparen könnten.

Die Payback-Perioden der meisten Maßnahmen liegen unterhalb von fünf Jahren, sie benötigen nur niederschwellige Investitionen. Davon abweichend erfordern neue Spaltöfen mit einer Payback-Periode von ca. acht Jahren und die Coking-Reduzierung durch keramisch beschichtete Pyrolyserohre mit über 20 Jahren die höchsten Aufwendungen. Bei der Kapitalvergabeentscheidung sollte beachtet werden, ob es sich um eine Betriebsstätte handelt, die dauerhaft und über die Schließung in Deutschland angesiedelter Raffinerien hinaus Bestand haben wird.

<sup>10</sup> Derzeit ist CCS in Deutschland gesetzlich nicht erlaubt. Sollte CCS genehmigt werden, müssten die energieintensiven Abscheidungs- und Verdichtungsanlagen mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Das eingefangene CO<sub>2</sub> darf bei seiner Speicherung nicht entweichen. Die für den CO<sub>2</sub>-Transport notwendige Infrastruktur müsste geschaffen werden. Dabei ist bisher unklar, welche Industrieregionen wann angeschlossen werden oder wer die Kosten für Transport und Speicherung trägt.

<sup>11</sup> Aminwäsche: Ein chemisches Absorptionsverfahren für die Abscheidung von CO<sub>2</sub>, bei dem als Absorptionsmittel Alkanolamine, kurz Amine verwendet wird. Chemische Absorption ist ein Prozess zur Aufnahme eines Atoms, Moleküls oder Ähnlichem.

## Defossilisierung



**Unternehmen sind angehalten, Instandhaltungsinvestitionen in die Diversifizierung des eingesetzten Feedstocks zu leisten, um den Anteil synthetischer Rohstoffe am Gesamtrohstoffeinsatz sukzessive erhöhen zu können.**

Die Defossilisierung wird in der öffentlichen Diskussion derzeit vernachlässigt. Noch ist der Anteil des Feedstocks in chemischen Grundstoffen aus fossilen Brennstoffen, wie Erdöl und Erdgas, sehr hoch. Durch die Umstellung auf synthetisch hergestellte Feedstocks oder die Beimischung von erneuerbaren Rohstoffen kann der Anteil fossiler Brennstoffe reduziert werden, sodass prozess- und teilweise energiebedingte Emissionen eingespart werden.

Im Unternehmensdialog empfiehlt es sich darauf zu achten, ob Unternehmen Instandhaltungsinvestitionen in die Diversifizierung des eingesetzten Feedstocks planen oder bereits etablierten, um den Anteil synthetischer Rohstoffe am Gesamtrohstoffeinsatz sukzessive erhöhen zu können. Dazu können gehören: die Verwendung von synthetischem Methanol oder Naphtha und von Biokunststoffen.

### **Verwendung von synthetischem Methanol**

Olefine entstehen als Produkt der Dampfspaltung von erdölbasiertem Naphtha und bilden die Grundlage zur Kunststoffherstellung. Grundsätzlich ist es möglich, Olefine auf Basis des erdgasbasierten Rohstoffs Methanol herzustellen. Das dafür angewendete „**Methanol-to-Olefins (MTO)**“-Verfahren wandelt Methanol in ein Gemisch aus den Olefinen Ethen und Propen, die ebenfalls Produkte der Dampfspaltung sind und in der Kunststoff- und HVC-Herstellung verwendet werden.

Emissionsarmes Methanol kann synthetisch über die Gasifizierung von Abfällen erzeugt werden. Für dieses Verfahren wird (grüner) Wasserstoff benötigt. Laut KN 2045 kann das MTO-Verfahren unter Verwendung von synthetischem Methanol einen Teil des Bedarfs von erdölbasiertem Naphtha und dessen emissionsintensiver Aufspaltung im Steamcracker ersetzen. Bis 2045 soll es gar die Hälfte des Feedstocks der gesamten HVC-Produktion stellen. MTO gilt als äußerst energieintensiv. Das Emissionsreduktionspotenzial im Vergleich zur Aufspaltung von konventionellem Naphtha im Steamcracker beträgt 24 %.

Die Technologie wird ab 2025 auf dem Markt erwartet, wobei Investitionsbedarfe aktuell noch nicht abschätzbar sind.

### **Verwendung von synthetischem Naphtha**

Synthetisches Naphtha wird aus einem paraffinhaltigen, synthetischen Rohöl hergestellt, das aus Synthesegas durch eine Reaktion wie der Fischer-Tropsch-Synthese mit (grünem) Wasserstoff gewonnen wird. Alternativ können anstelle des paraffinhaltigen, synthetischen Rohöls auch biogene Brennstoffe, wie organische Abfälle oder Pflanzenöl, verwendet werden. Das Verfahren beinhaltet die Gewinnung von Kohlendioxid aus der Luft.

## Synthetisches Naphtha wird importiert werden müssen.

Laut KN 2045 wird synthetisches Naphtha in Deutschland aus Gründen der Kosteneffizienz im Weltmarktvergleich auch zukünftig nicht hergestellt und muss importiert werden. Dies verstärkt den bereits angestoßenen Trend der Verlagerung von Produktionsstätten hin zu Hafenstädten im Ausland. Man rechnet damit, dass synthetisches Naphtha ab 2025 in kleinen Mengen verfügbar sein wird und sich bis 2045 im Weltmarkthandel etablieren wird.

Die Maßnahme spart erdölbasiertes Naphtha ein, ist aber sehr stromintensiv.

### Verwendung von Biokunststoffen

Unter Biokunststoffen werden u. a. Kunststoffe verstanden, die biologisch abbaubar sind und/oder (teilweise) auf Basis von Biomasse, wie z. B. Mais, Zuckerrohr oder Cellulose, erzeugt werden. Noch gibt es keine einheitliche, standardisierte Definition des Begriffs.<sup>12</sup>

Aufgrund der historisch niedrigen Rohölpreise war es lange ökonomisch nicht attraktiv, Kunststoffe aus biologischen Materialien zu entwickeln. Mit den steigenden Rohölpreisen und dem Bewusstsein über die Schäden, die erdölbasierte Produkte und Prozesse in unseren Ökosystemen anrichten, werden immer mehr Biokunststoffe in der Europäischen Union zugelassen. Aktuell ist ihr Anteil noch sehr gering und kein Verfahren konnte sich skalierbar durchsetzen, um in Konkurrenz mit konventionellem Kunststoff zu bestehen.

## Der Begriff „Biokunststoff“ ist noch nicht einheitlich oder klar definiert.

Eine Option ist das Biopolymer Polylactid (PLA) das kompostierbar<sup>13</sup> und recyclingfähig ist und mit bestehenden Anlagen in Deutschland recycelt werden kann. Zudem sind verstärkt sogenannte Drop-ins (u. a. Bio-PE, Bio-PET) im Einsatz und werden ihren konventionellen Pendanten beigemischt. Diese basieren auf nachwachsenden Rohstoffen und können ebenfalls recycelt werden.

Ob bzw. inwieweit Biopolymere gesamtökologisch tatsächlich vorteilhafter sind, müsste im spezifischen Einzelfall geklärt werden. Entscheidend ist, für welche Endprodukte diese Materialien verwendet werden sollen bzw. wie das tatsächliche Nachgebrauchsszenario aussieht. Folien werden beispielsweise schlicht verbrannt.

Um verstärkt Anreize zur Entwicklung weiterer Biokunststoffe zu setzen und ihre Verbreitung am Markt zu unterstützen, wird im Jahr 2022 auch die EU-Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle (PPWD) überarbeitet und soll im Herbst 2022 gemeinsam mit dem Maßnahmenpaket II für die Steigerung der Kreislaufwirtschaft in der EU veröffentlicht werden (EUROPEN, 2022). Das Szenario KN 2045 hat Biokunststoffe und ihr Potenzial nicht analysiert.

12 In der Fachliteratur gelten Biokunststoffe als jene Polymere, die mindestens über eine biologische Abbaubarkeit verfügen und/oder aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen (biobasiert). Dabei werden folgende drei Biokunststoffgruppen unterschieden: erdölbasiert & biologisch abbaubar; biobasiert & biologisch abbaubar; biobasiert & nicht biologisch abbaubar.

Demnach müssen Biokunststoffe, die auf nachwachsenden Rohstoffen basieren, nicht zwangsläufig biologisch abbaubar sein. Auch müssen Biokunststoffe nicht notwendigerweise ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Ebenso können biologisch abbaubare Biopolymere auf Grundlage petrochemischer Rohstoffe hergestellt werden.

13 Gemäß den Normen EN 13432/14995 bedeutet dies, dass Kunststoffe unter den Bedingungen einer industriellen Kompostieranlage (58°C) nach drei Monaten zerfallen und nach sechs Monaten biologisch abgebaut werden. Die tatsächlich benötigte Gesamtzeit der Kompostierung ist nicht gedeckelt.

## Kreislaufwirtschaft und Recycling



**Im Unternehmensdialog ist darauf zu achten, ob das Thema Kreislaufwirtschaft strategisch verankert wurde. Dazu zählen dem Recycling vorgelagerte Schritte wie Vermeidung, Reduktion und Mehrweg. Kunststoffproduzenten sollten sich mit entsprechenden Aufbauplänen für die Verwendung von rezyklierten Kunststoffen in der Produktion und über ein angepasstes Produktdesign, das Wiederaufbereitung ermöglicht, auseinandersetzen.**

Eine gut funktionierende, deutlich bessere Kreislaufwirtschaft ist zentral für das Gelingen der Transformation. Produkte sollten von Beginn an auf ein effizientes und effektives Ressourcenmanagement ausgelegt werden und eingesetzte Materialien möglichst lange sowohl quantitativ als auch qualitativ in engen Stoffströmen geführt werden. Wichtig ist beispielsweise die Frage, in welchen Endprodukten die wiedergewonnenen Polymere eingesetzt werden sollen. Soll es als Brennstoff verfeuert, zu kurzlebigen Produkten wie einer PET-Flasche verarbeitet oder in langlebigeren Kunststoffrohren eingesetzt werden?

KN 2045 geht davon aus, dass in diesem Wirtschaftszweig eine geschlossene Kreislaufführung für einen Großteil der Produkte möglich ist und Investitionen jetzt getätigt werden müssen, damit Recycling ab 2030 sein volles Potenzial entfalten kann.

Das **werkstoffliche Recycling**, auch mechanisches Recycling genannt, bezeichnet Verfahren, in denen sortenreine Kunststoffe geschreddert und eingeschmolzen werden, um zu neuen Produkten verarbeitet zu werden. Dieser Prozess erfolgt ohne chemische Umwandlung und Zusatzstoffe und ist im Vergleich zum chemischen Recycling weniger energieintensiv und aufwendig. Nicht alle Kunststoffe und Kunststoffprodukte eignen sich gleichermaßen zum werkstofflichen Recycling, da es eine sortenreine Trennung der Kunststoffe erfordert, was insbesondere bei einem großen Teil von Verpackungsmaterialien aktuell nicht mehr möglich ist. Hinzu kommt die Fülle an Hilfs- und Zusatzstoffen, die sowohl den Sortier- als auch den Verwertungsprozess erschweren können. Zum Großteil werden Produkte von niedrigerer Qualität und Komplexität im Vergleich zu den Ausgangsprodukten hergestellt. Um die Quote der Kunststoffe, die mit werkstofflichen Verfahren recycelt werden zu erhöhen, ist es notwendig, dass die Rezyklierbarkeit<sup>14</sup> der Produkte bereits im Design mitbedacht wird und idealerweise höherwertige Kunststoffe, die sich sortenrein trennen lassen, eingesetzt werden.

**Chemisches Recycling**<sup>15</sup> hat das Potenzial, auch stark verunreinigte und problematische Kunststoffabfälle, z. B. Verbundmaterialien, zu recyceln. Es stellt eine Ergänzung zu mechanischen Verfahren des Kunststoffrecyclings dar. Beim chemischen Recycling müssen viel Energie und Chemikalien eingesetzt werden, um den Abfall aufzuspalten und zu einem neuen Rohstoff umzuwandeln. Solche Verfahren sind sehr energieintensiv und müssen mit Grünstrom betrieben werden, um wesentlich Emissionen einsparen zu können. Chemisches Recycling erlaubt im Gegenzug den Brennstoffeinsatz von Naphtha anteilig oder ganz zu reduzieren.<sup>16</sup> Das Verfahren befindet sich noch in der Entwicklung. Zu klären sind in diesem Zusammenhang Fragen insbesondere der Energie-, Umwelt- und Schadstoffbilanz (WWF Deutschland, 2022).

14 Im Sinne der Kreislaufwirtschaft bedeutet Rezyklierbarkeit, dass ein Produkt oder eine Verpackung aus Kunststoff durch das eingesetzte Recyclingverfahren so bearbeitet wird, dass das daraus entstehende Rezyklat, also der wiedergewonnene Rohstoff, vergleichbar mit neu hergestellter Ware ist. Idealerweise stellt der Recyclingprozess sicher, dass der Prozess ohne wesentliche Materialverluste, z.B. durch nicht rezyklierbare Materialanteile, umgesetzt wird. In diesem Sinne wird auch Verschnitt bei der Herstellung von Produkten auf Basis virginaler Rohstoffe dem Recyclingkreislauf zugeführt.

15 Es gibt verschiedene Verfahren für chemisches Recycling, die sich sowohl in ihrer Anwendung als auch hinsichtlich ihres Entwicklungsstadiums unterscheiden. Eine Übersicht findet sich in Circular Economy Initiative Deutschland (2021, S. 38).

16 Abhängig von der individuellen Betriebsstätte und dem hergestellten Endprodukt.

Die Pyrolyse, als eine Form des chemischen Recyclings, ist eine Technik zur Umwandlung von Kunststoffabfällen in Energie. Der thermische Abbau von Kunststoffabfällen findet bei Temperaturen von 300 bis 900 °C statt. Laut KN 2045 stellt der vermehrte Einsatz von Pyrolyse und damit auch eine Erhöhung des Feedstocks, der aus Pyrolyse-Sekundärrohstoffen stammt, einen wesentlichen Hebel im Kunststoffsektor und der Grundstoffchemie dar. Bis 2045 soll etwa ein Drittel des Feedstocks aus Pyrolyseprodukten stammen. Die Marktreife des Verfahrens wird ungefähr ab dem Jahr 2025 erwartet.



**Im Unternehmensdialog kann darauf geachtet werden, ob die bereits bestehenden und geplanten Anteile an Rezyklaten aus werkstofflichem sowie chemischem Recycling erfasst werden. Sie geben Aufschluss darüber, wie das Unternehmen mit der Frage umgeht.**

**Pyrolyse im chemischen Recycling:** Im thermochemischen Prozess der Pyrolyse werden die Kunststoffpolymere unter Ausschluss von Sauerstoff unter hohen Temperaturen zu Monomereinheiten gespalten. Diese Einheiten lassen sich in neue Kunststoffe oder chemische Grundstoffe überführen. Durch die Qualität der Rezyklate, die im Rahmen der Pyrolyse entstehen, können sie mehrere Recyclingverfahren durchlaufen und so länger als Sekundärrohstoff im Kreislauf verbleiben.

Daneben haben die Rezyklate der Pyrolyse einen besonders hohen Energiegehalt und ein breites Spektrum von Monomereinheiten. Aus diesen Gründen sind sie für verschiedene chemische Grundstoffe, Kunststoffe und Treibstoffe einsetzbar (IN4climate.NRW, 2020).



## Ausblick und Impulse für den Dialog

Die aktuell ergreifbaren Maßnahmen und Rahmenbedingungen reichen nicht aus, um das Ziel der Treibhausgasneutralität in der Kunststoffproduktion im Jahr 2045 zu erreichen. Heute verfügbare Technologien können nur einen Anteil der notwendigen Emissionseinsparungen ermöglichen. Dazu gehört die Elektrifizierung der Steamcracker sowie die Erhöhung der Recyclingraten mit bestehenden Verfahren.

Doch weder die Infrastruktur noch die Technologien für effektives Recycling im Sinne einer Kreislaufwirtschaft, die Erzeugung synthetischer Rohstoffe mithilfe von grünem Wasserstoff oder die Technologien für BECCS und DAC stehen bisher bereit. Ihre mittelfristige Marktreife und Skalierbarkeit sind notwendig, um nicht nur Treibhausgasneutralität im Sektor zu erreichen, sondern in den Bereich der Negativemissionen zu gelangen, um andere Sektoren zu kompensieren.<sup>17</sup>

Vor diesem Hintergrund sollte bei der Analyse und Bewertung transformationsbezogener Risiken und Chancen der Sektoren und Unternehmen sowie bei der Vorbereitung, Durchführung und Bewertung von Unternehmensdialogen insbesondere auf folgende Erfolgskriterien einer Paris-kompatiblen Transformation im Sektor HVC-Kunststoffproduktion geachtet werden:



### Erfolgskriterien einer Paris-kompatiblen Transformation

- » Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff und DAC-Technologie zur Herstellung von synthetischem Naphtha und Methanol
- » Nutzung von BECCS oder DA/CCS zur Bindung von CO<sub>2</sub> in Kunststoffen sowie die Zuführung von Restemissionen in einer langfristigen geologischen Speicherung
- » Verfügbarkeit von CCS-Technologie in allen Arten von Feuerungsöfen
- » Realisierung von verstärkter Kreislaufführung durch
  - Verwendung von Recyclingmaterial (wo möglich und sinnvoll) sowie Verzahnung mit Langlebigkeit, Recyclingfähigkeit
  - Produkt- und Materialdesign, das grundsätzlich Rezyklierbarkeit als Basisanforderung eines Produkts versteht
  - Erlangung der Qualität von Kunststoffen und Recyclingverfahren, die die Anzahl der Produktkreisläufe, die ein Produkt durchläuft, deutlich erhöhen
  - Verstärkte Verwendung von Biomasse<sup>18</sup> für (synthetische) Rohstoffe oder als Grundstoff für Biokunststoffe

In allen Dialogen sollte nach dem Stand der entsprechenden Maßnahmen bzw. konkreten Zeitplänen und Investitionsvorhaben gefragt werden.

<sup>17</sup> Der Einsatz von synthetischen Rohstoffen soll in Kunststoffen laut KN 2045 ca. 9 Mio. tCO<sub>2</sub>-Emissionen gebunden werden, die als negative Emissionen in die Berechnung des verbleibenden Treibhausgasbudgets für alle Wirtschaftszweige in Deutschland eingehen.

<sup>18</sup> Es ist nur Biomasse zu verwenden, die in vollem Umfang als nachhaltig klassifiziert wird. Für die Produktion der benötigten Biomasse dürfen keine Grünflächen mit hoher Biodiversität, Waldflächen oder Torfmoor zu Anbauflächen gewandelt werden. Ansonsten können negative Skaleneffekte eintreten, da Biomasse in vielen Sektoren als Möglichkeit zur Dekarbonisierung betrachtet wird, aber nicht zur Versorgung aller interessierten Sektoren ausreicht.



Der Wettbewerbsdruck, den deutsche Unternehmen im Kunststoffsektor und der HVC-Herstellung bereits heute spüren, sowie die sukzessive Schließung von Raffinerien sind in diesem Zusammenhang Risiko und Chance zugleich. Während die Unternehmen jeden Standort analysieren müssen und Verlagerungen zur Kostenoptimierung veranlassen, können notwendige Investitionen, der Neuaufbau verlagelter Standorte sowie Budgets für Instandhaltungen direkt zielgerichtet für die Transformation eingesetzt werden.

Aktuell geltende, aber veraltete Definitionen von „biologisch abbaubar“ (kompostierbar) oder Rezyklierbarkeit müssen konkretisiert und angepasst werden. Es braucht Anreize aus der Politik, die den Einsatz von werkstofflichem Recycling vorziehen und chemisches Recycling als eine Ergänzungstechnologie betrachten. Neue Geschäftsmodelle, wie das Leasing von Chemikalien (BMK Österreich, n.d.), gilt es weiter zu verfolgen und zu fördern.

# Literaturverzeichnis

- Agora Energiewende und Wuppertal Institut. (2019). Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung\\_Industrie/164\\_A-EW\\_Klimaneutrale-Industrie\\_Studie\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.
- Anderson, K., und Peters, G. (2016). The trouble with negative emissions. *Science*, 354(6309), 182–183. <https://doi.org/10.1126/science.aah4567>. Abgerufen am 21. September 2022.
- ARUG II. (2019). Gesetz zur Umsetzung der zweiten Aktionärsrechterichtlinie. [https://www.bmj.de/SharedDocs/Gesetzgebungsverfahren/Dokumente/BGBL\\_ARUG\\_II.html](https://www.bmj.de/SharedDocs/Gesetzgebungsverfahren/Dokumente/BGBL_ARUG_II.html). Abgerufen am 21. September 2022.
- BASF. (2022). Im Fokus: Unser Weg zur Klimaneutralität. Konzernlagebericht. <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Plastik/WWF-Positionspaper-Chemisches-Recycling.pdf>. Abgerufen am 21. September 2022.
- Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) Österreich. (n.d.). Chemikalien Leasing: Vorteile. [https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/chemiepolitik/chemleasing/chem\\_leasing.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/chemiepolitik/chemleasing/chem_leasing.html). Abgerufen am 21. September 2022.
- Circular Economy Initiative Deutschland. (2021). Kunststoffverpackungen im geschlossenen Kreislauf – Potenziale, Bedingungen, Herausforderungen. Acatech, Circular Economy Initiative Deutschland & SYSTEMIQ (Hrsg.). [https://doi.org/10.48669/ceid\\_2021-5](https://doi.org/10.48669/ceid_2021-5). Abgerufen am 21. September 2022.
- Europäische Kommission. (2008). Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologies for Power Generation, Heating and Transport. Commission Staff Working Document. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008SC2872&from=EN>. Abgerufen am 21. September 2022.
- Europäische Kommission. (2021a). Vorschlag für eine Änderung der Richtlinie hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0189>. Abgerufen am 21. September 2022.
- Europäische Kommission. (2021b). EU Taxonomy Compass – Manufacture of organic basic chemicals. [https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity\\_en.htm?reference=3.14](https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity_en.htm?reference=3.14). Abgerufen am 21. September 2022.
- European Organization for Packaging and the Environment (EUROPEN). (2022). Further delays with the adoption of the PPWD proposal. <https://www.europen-packaging.eu/news/further-delays-with-the-adoption-of-the-ppwd-proposal/>. Abgerufen am 21. September 2022.
- Fleiter, T., Schlomann, B. und Eichhammer, W. (2013). Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen industrieller Prozesstechnologien – Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. ISI-Schriftenreihe »Innovationspotenziale«. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2013/Umweltforschungsplan\\_FKZ-370946130.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2013/Umweltforschungsplan_FKZ-370946130.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.
- Fuss, S., Candell, J. G., Peters, G. P., Tavoni, M., Andrew, R. M., Ciais, P., ... Yamag. (2014). Betting on negative emissions. *Nature Climate Change*, 4(10), 850–853. <https://doi.org/10.1038/nclimate2392>. Abgerufen am 21. September 2022.
- Glasgow Financial Alliance for Net Zero (GFANZ). (2022). Financial Institution Net-zero Transition Plans. [https://assets.bbhub.io/company/sites/63/2022/06/GFANZ\\_Recommendations-and-Guidance-on-Net-zero-Transition-Plans-for-the-Financial-Sector\\_June2022.pdf](https://assets.bbhub.io/company/sites/63/2022/06/GFANZ_Recommendations-and-Guidance-on-Net-zero-Transition-Plans-for-the-Financial-Sector_June2022.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.

IN4climate.NRW. (2020). Chemisches Kunststoffrecycling – Potenziale und Entwicklungsperspektiven. Ein Beitrag zur Defossilisierung der chemischen und kunststoffverarbeitenden Industrie in NRW. Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Circular Economy. [https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse\\_IN4climate.NRW/2020/in4climatenrw-diskussionspapier-chemisches-kunststoffrecycling-web.pdf](https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/Ergebnisse_IN4climate.NRW/2020/in4climatenrw-diskussionspapier-chemisches-kunststoffrecycling-web.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.

Navigant. (2020). Energiewende in der Industrie Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor. Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. in Zusammenarbeit mit: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft & BBG und Partner. [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2a-branchensteckbrief-chemie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2a-branchensteckbrief-chemie.pdf?__blob=publicationFile&v=4). Abgerufen am 21. September 2022.

Prognos. (2021). Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland. Im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). In Zusammenarbeit mit: Nextra Consulting & Institut für nachhaltige Kapitalanlagen. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/Green-Finance-und-Klimaneutralitaet.pdf>. Abgerufen am 21. September 2022.

Prognos, Öko-Institut und Wuppertal-Institut. (2021). Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045-vollversion/>. Abgerufen am 21. September 2022.

Richtlinie 2014/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Märkte für Finanzinstrumente sowie zur Änderung der Richtlinien 2002/92/EG und 2011/61/EU. (2014). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32014L0065>. Abgerufen am 21. September 2022.

Umweltbundesamt. (2019). Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE: Langfassung. <https://www.umweltbundesamt.de/rescue>. Abgerufen am 21. September 2022.

Umweltbundesamt. (2022). Emissionsübersichten in Sektoren. Daten der Treibhausgasemissionen des Jahres 2021 nach KSG. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>. Abgerufen am 21. September 2022.

Verband der Chemischen Industrie. (2022). Chemie-wirtschaft in Zahlen. <https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/chemiewirtschaft-in-zahlen.jsp>. Abgerufen am 21. September 2022.

Verordnung (EU) 2019/2088 des Europäischen Parlaments und des Rates über nachhaltigkeitsbezogene Offenlegungspflichten im Finanzdienstleistungssektor. (2019). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32019R2088>. Abgerufen am 21. September 2022.

Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088. (2020). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32020R0852>. Abgerufen am 21. September 2022.

WWF Deutschland. (2022). WWF-Position „Chemisches Recycling“. <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Plastik/WWF-Positionspaper-Chemisches-Recycling.pdf>. Abgerufen am 21. September 2022.

## Impressum

Herausgeber: WWF Deutschland  
Stand: Oktober 2022  
Gesamtverantwortung: Matthias Kopp, Director Sustainable Finance, WWF Deutschland;  
Dr. Nicole Röttmer, Global Lead Climate Clients & Industries, PwC Deutschland  
Autor:innen/Mitarbeit: Vanessa Bolmer, Tom Ohlendorf, Laura Griestop (alle WWF Deutschland);  
ao. Prof. Dr. Jürgen Peterseim, Mark Kielgast (beide PwC Deutschland)  
Kontakt: Vanessa Bolmer (Senior Policy Advisor, Sustainable Finance, WWF Deutschland);  
ao. Prof. Dr. Jürgen Peterseim (Senior Manager Sustainability Services,  
PwC Deutschland);  
info@pathwaystoparis.com  
Bildnachweise: Cover: iStock/Getty Images; S. 6, 7: Vestolit GmbH;  
S. 11, 17: Eicoplast Kunststoffverarbeitungs GmbH

## Disclaimer

Pathways to Paris ist ein vom Bundeswirtschaftsministerium (BMWK) gefördertes Projekt mit einer Laufzeit von zwei Jahren. Die aktive Projektphase endete im Oktober 2022.

WWF Deutschland und PwC Deutschland begleiteten und unterstützten die teilnehmenden Unternehmen bei der Entwicklung von Transformationspfaden, die für die Erreichung der Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens notwendig sind. Neben der Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses und breiter Akzeptanz für die Anforderungen einer erfolgreichen Klimawende wurden sektorspezifische, reproduzierbare Transformationspfade beleuchtet, die öffentlich zugänglich sind.

Eine exklusive Beratung mit unmittelbarer Wirkung auf z.B. Produktionstechnologien, Strategieplanung oder Wertschöpfungsketten einzelner Unternehmen fand nicht statt. Des Weiteren bestehen im Rahmen des Projektes keine finanziellen Verbindlichkeiten zwischen den teilnehmenden Unternehmen und den Projektinitiatoren, so dass etwaige Interessenkonflikte ausgeschlossen sind.

Die Inhalte des vorliegenden Orientierungsrahmens wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Der Anbieter übernimmt jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Inhalte. Die Nutzung des Orientierungsrahmens erfolgt auf eigene Gefahr des Nutzers.

Eine Kooperation von:



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages