

Technical Summary zum Hintergrundpapier BKV/ DECHEMA/ PED/ VCI

TECHNOLOGIEENTWICKLUNG FÜR DIE NACHHALTIGE DECKUNG DES INDUSTRIELLEN KOHLENSTOFFBEDARFS IN DER CHEMIEINDUSTRIE

Für die Transformation der Kohlenstoffprodukte-herstellenden chemischen inkl. der pharmazeutischen und biotechnologischen Industrie zur Klimaneutralität fehlt für die Substitution von fossilen Rohstoffen bislang eine **übergreifende Technologie-Entwicklungsstrategie** aus ganzheitlicher Sichtweise. Die Entwicklungsstrategie sollte die Umsetzung der **Strategien der Bundesregierung**, der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS), der Carbon Management-Strategie (CMS), die Eckpunkte zur Langfriststrategie Negativemissionen (LNe) sowie der Hightech-Agenda-Deutschland unterstützen. Dem **Technologieentwicklungsbedarf** und möglichen Beschränkungen in der Skalierung und Markteinführung wurden in den Strategien zwar auf dem Papier eine hohe Bedeutung eingeräumt, doch hat dieser aus Sicht der an diesem Papier beteiligten Organisationen bislang einen viel zu geringen Widerhall im politischen Handeln und in Förderaktivitäten gefunden. Mit diesem Hintergrundpapier soll dieser Technologieentwicklungsbedarf verdeutlicht und Empfehlungen zur Beförderung gegeben werden.

Die Vermeidung *direkter* Treibhausgas (THG)-Emissionen liegt bisher im Fokus der Transformation der Chemieindustrie, da sie technisch leichter zu vermeiden sind als indirekte:

- **Indirekte THG-Emissionen der Produkte der Chemieindustrie** machen allerdings den größten Anteil der gesamten THG-Emissionen der Prozessketten aus und sind daher **zentraler Ansatzpunkt für die Technologieentwicklung**: Lösungsmöglichkeiten erschließen sich **über eine treibhausgas-neutrale Rohstoffbasis „Erneuerbarer Kohlenstoff“**.
- Für einen gangbaren Transformationspfad in Richtung Klimaneutralität bleibt die Chemieindustrie auf eine sich über die Zeit ändernde **Mischung aus fossilen, biogenen und nicht-fossilen Anteilen als Rohstoffbasis** angewiesen, wobei der Anteil der fossilen Rohstoffe Stück für Stück reduziert werden soll.
 - » Die **Nutzung von Biomasse** stellt eine wichtige energetisch effektive Grundlage für die Synthese insbesondere von Alkoholen, Säuren und Aldehyden als Basis für eine breite Stoffpalette dar, die der Chemie zur stofflichen Nutzung zur Verfügung stehen muss.
 - » **CCU** (Carbon Capture and Utilisation)-Technologien zur C-Nutzung aus Punktquellen sind künftig eine unverzichtbare Option, wobei die Energie- und Kosteneffizienz noch deutlich gesteigert werden müssen. Hier besteht noch erheblicher Entwicklungsbedarf. CCU bedarf der politischen Anerkennung sowie förderlicher Rahmenbedingungen.
- Besonders lohnenswert ist die angestrebte Verringerung des fossilen C-Anteils langfristig vor allem durch einen verstärkten **C-Einsatz aus kohlenstoffhaltigen Abfällen**, insbesondere aus dem Recycling von Kunststoffabfällen, **als Rohstoffbasis**, ergänzt durch die Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe sowie Kohlendioxid(CO₂) als Rohstoff.

- » Eine verstärkte Nutzung von biogenem und Kohlenstoff aus recycelten Kunststoffabfällen kann grundsätzlich auf **erprobte Recyclingtechnologien** zurückgreifen.
- » Erste Technologieansätze drängen auf den Markt, meist sind aber die Technologien noch nicht industriell ausgereift hinsichtlich **Technologiestand, Skalierung sowie Wirtschaftlichkeit und Kosteneffektivität**. Deren Entwicklung bedarf also weiterhin der Beförderung.
- » Im Gesamtenergie- und Rohstoffsystem der Chemieindustrie beeinflusst die **Herkunft des Kohlenstoffs** den Energie- und Wasserstoffbedarf erheblich. Bei den großen Rohstoffbedarfen ist bei absehbar hohen Kosten und limitierter Verfügbarkeit klimaneutralen Stroms und Wasserstoffs eine wirtschaftliche Transformation über die notwendige Nutzung erneuerbaren C nur unter wasserstoffsparender Optimierung des Gesamtsystems möglich. Die **Wege zur Erschließung** alternativer C)-Quellen müssen daher technologieoffen beschrieben werden.
 - » Eine wirtschaftliche Transformation zur Nutzung erneuerbaren C benötigt über die „Power-to-X (PtX)-Pfade“, in eingeschränkterem Maße auch für die Aufbereitung von Biomasse, große Mengen an Wasserstoff sowie erneuerbarer Energie und ist daher nur unter **Optimierung des Gesamtsystems**, d.h. unter Berücksichtigung knapper Wasserstoff-Ressourcen, möglich.
 - » Das bedingt den prioritären Ausbau des **technologieoffenen Recyclings von Kunststoffabfällen** sowie nachhaltiger bevorzugt Heteroatom-armer Biomasse vor CCU.
- » Damit die Chemieindustrie in Zukunft nicht-fossile Rohstoffe nutzen kann, müssen für die einzelnen Recyclingwege **Infrastrukturen** inkl. Sammelsystemen, Aufbereitungsverfahren und spezifischer Recyclingverfahren weiter ausgebaut bzw. optimiert werden.
- » Darüber hinaus sind **verlässliche regulatorische und genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen und Mechanismen** für den Markteintritt erforderlich. Sie bilden die Grundlage für Investitionen der Industrie.
 - » Parallel mit dem Technologieaufbau müssen die regulativen Rahmenbedingungen angepasst werden, damit ein funktionaler unionsweiter Markt langfristig etabliert werden kann.
 - » Die langfristige und nachhaltige Verfügbarkeit von Kunststoffabfällen und biogenen Rohstoffquellen ist **international zu denken** und umzusetzen.

Eine große Bedeutung für einen effektiven Einsatz alternativer Kohlenstoff-Rohstoffe haben die **allgemeinen forschungspolitischen und politisch regulativen Rahmenbedingungen**:

- » Forschungspolitische Handlungsempfehlungen
 - » **Recyclingtechnologien und -strukturen**: Etablierung von Netzwerken und Plattformen wie z.B. die Einrichtung einer europäischen/internationalen Austauschplattform für Kohlenstoff-Kreislauftechnologien, Förderung ergänzender Recyclingverfahren mit Weiterentwicklung der Technologiereife & Skalierbarkeit im Pilot- & Demonstrationsanlagen-Maßstab sowie der Kostensenkung über alle Entwicklungsschritte inklusive

ganzheitlicher Betrachtungen wie etwa Lebenszyklusanalyse; Unterstützung der Weiterentwicklung und des Ausbaus der Recyclingverfahren durch Finanzierungsinstrumente.

- » **Nutzung von Biomasse:** Alle nachhaltig produzierten biogenen Rohstoffe sollten optimal genutzt werden können (Kaskaden- oder Verbundnutzung), Unterstützung der Etablierung von klar definierten Nachhaltigkeitskriterien für Biomasse.
- » **Wasserstoff und Energie:** Fokussierung auf das Forschungsfeld Kohlenmonoxid (CO)-Nutzung sicherstellen, Förderung der Erzeugung von Synthesegas aus Abfallströmen, Förderung und Unterstützung der Effizienzsteigerung der Umsetzung und Nutzung stofflicher Energieträger.
- » **Carbon Management/CCUS:** Kriterium CO₂-Vermeidungspotential und Demonstrationscharakter Vorrang in technologieoffenen, gut ausgestatteten Förderprogrammen geben, die die Anforderungen der Nutzer (aus Industrie und Wissenschaft) adäquat berücksichtigen. CCU als gleichwertigen Bestandteil eines integrierten Carbon-Management-Rahmens verankern. Wirtschaftliche Anreize bereitstellen, um die hohen Energie- und Betriebskosten von CCU-Routen abzufedern, etwa über Emissionshandel und Investitionsförderung. So können insbesondere modular einsetzbare, mittelstandstaugliche Technologien schneller skaliert werden.
- » Systemische, politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen für die Nutzung von Biomasse, C-Recyclingverfahren und CCU:
 - » Möglichkeit zur praxisgerechten Einrichtung von **Reallaboren** und **Unterstützung beim Transfer** von vielversprechenden Technologien in die Kommerzialisierung durch Förderung von Projekten mit höheren Technologiereifegraden.
 - » **Kostenrahmen für „added costs“** für die Nutzung erneuerbarer, sekundärer und alternativer Rohstoffe.
 - » **Kennzeichnung von erneuerbarem Kohlenstoff:** Unterstützung des chemischen Recyclings durch verlässliche regulatorische Rahmenbedingungen.
 - » Rahmenbedingungen zur graduellen Bedarfssteigerung zur Nutzung alternativer C-Quellen: Regulatorische Anerkennung **flexibler Massenbilanzsysteme**; Einbezug der Massenbilanzierung in LCA- und Umweltfußabdruckmethoden wie z. B. PEF, gezielte Anreize für Design-for-Recycling und Rezyklateinsatz auf Produktebene.
 - » Etablierung einer adäquaten Abfallmanagement-Infrastruktur zur Abfallverbringung, eine harmonisierte **Normung** auf EU-Ebene.
 - » Anpassung der **Vorschriften zum CO₂-Transport**.

Hintergrundpapier BKV/ DECHEMA/ PED/ VCI

TECHNOLOGIEENTWICKLUNG FÜR DIE NACH- HALTIGE DECKUNG DES INDUSTRIELLEN KOH- LENSTOFFBEDARFS IN DER CHEMIEINDUSTRIE

Inhalt

1. Problemstellung, Zielsetzung und Wegbeschreibung.....	5
Notwendigkeit einer übergreifenden Technologie-Entwicklungsstrategie für erneuerbaren Kohlenstoff.....	5
Grundlagen einer strategische Technologieentwicklung	6
2. Analyse und Optionen zur Deckung des C-Bedarfs der deutschen Chemieindustrie und Skizze alternativer C-Routen.....	10
Rohstoffbasis für die Kunststoff-Marktversorgung.....	10
Rohstoffbasis für biogene Rohstoffe	12
Rohstoffbasis für CCU-Technologien.....	13
3. Voraussetzung zur Deckung des C-Bedarfs in der klimaneutralen, defossilisierten Zukunft	14
Technologieoffene Ausschöpfung des ganzen Spektrums und der Potenziale von Recyclingverfahren für alternativen Kohlenstoff	14
Hochskalierung von Technologien	15
Möglichkeiten der Nutzung blauen und grauen Wasserstoffs, um Infrastrukturen und Anlagenumrüstungen einzurichten	16
Langfristige und nachhaltige Verfügbarkeit von Kunststoffabfällen und biogenen Rohstoffquellen	17
Fehlende Anreizinstrumente zum Einsatz biogenen Kohlenstoffs.....	18
Gegenwärtige Nischenstellung der CCU-Verfahren und CCS	19
Handlungsempfehlungen	21
Forschungspolitische Handlungsempfehlungen.....	21
Allgemeine regulatorische Rahmenbedingungen	24

1. Problemstellung, Zielsetzung und Wegbeschreibung

Notwendigkeit einer übergreifenden Technologie-Entwicklungsstrategie für erneuerbaren Kohlenstoff

Im Kontext des Klimawandels stehen die Chemieindustrie und die nachgelagerte Wirtschaft mit der Erweiterung bzw. weitgehenden Umstellung der Rohstoffbasis auf nicht-fossile Quellen vor einer ihrer größten Herausforderungen. Für die Transformation der Kohlenstoffprodukte-herstellenden Chemieindustrie, inklusive der pharmazeutischen und biotechnologischen Industrie, in Richtung Klimaneutralität ist für die Substitution von fossilen Rohstoffen eine **übergreifende Technologie-Entwicklungsstrategie** erforderlich. Die Umsetzung der Strategie soll durch abgestimmte Aktivitäten von Politik, Verwaltung, Industrie, Wissenschaft und Gesellschaft unterstützt werden. Denn um die Industrie unabhängig von fossilen Energie- und Rohstoffquellen zu machen, muss neben dem Ausbau erneuerbaren Energien und Wasserstoff nunmehr auch fossiler Kohlenstoff aus Erdgas und Erdöl durch nicht-fossile Rohstoffquellen ersetzt werden. Um die Chemieindustrie in ihrer Funktion an der Basis des Industrie- und Wirtschaftssystems im Sinne der technologischen Souveränität und wirtschaftlicher Resilienz am Standort Deutschland zu sichern, ist **die Versorgung dieser Industrie mit kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffen essenziell**. Als kurzfristig verfügbare mögliche Quellen nicht-fossilen Kohlenstoffs (C) dient **erneuerbarer Kohlenstoff** (Abb. 1).

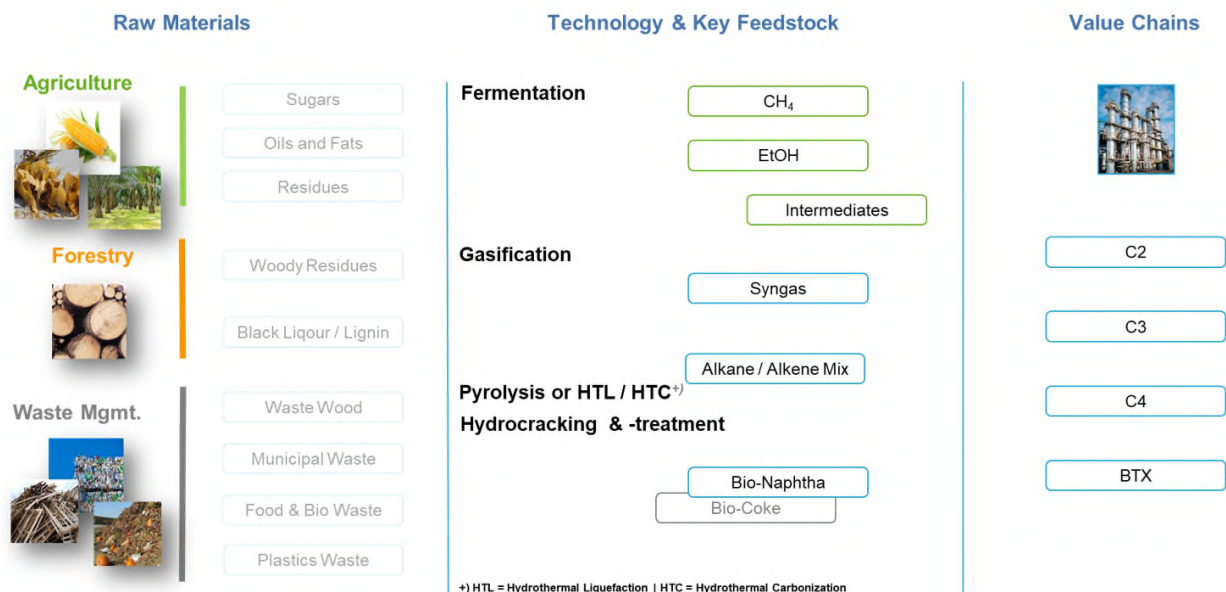


Abb. 1: Übersicht der Rohstoffe, ausgewählter Technologien und Wertschöpfungsketten im Bereich erneuerbarer Kohlenstoff (hier ohne CO₂ aus Luft und Abgasanlagen); Quelle BASF

Eine **Technologie-Entwicklungsstrategie für die Nutzung alternativer C-Quellen** sollte die Umsetzung der **Strategien der Bundesregierung** unterstützen. Dies betrifft die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS), die Carbon Management-Strategie (CMS) sowie die Eckpunkte zur Langfriststrategie Negativemissionen (LNe), welche die Bereitstellung sekundärer, erneuerbarer und alternativer Rohstoffe einbeziehen, sowie die Hightech-Agenda-Deutschland, in der dieses Thema ebenfalls verortet sein sollte. Dabei müssen die **Wege zur Erschließung alternativer C-Quellen** beschrieben werden, denn obwohl hierfür Technologien

grundsätzlich zur Verfügung stehen, müssen diese hinsichtlich der **wirtschaftlichen Einsatzfähigkeit**, d.h. ihrer Kosten und Einbindung in die industrielle Infrastruktur und die Anforderungen der Wertschöpfungsketten, eingepasst werden. Eine große Bedeutung haben nicht zuletzt die **politischen regulativen Rahmenbedingungen**, die so ausgestaltet werden sollten, dass sie die Transformation unterstützen, beispielsweise für die Herstellung nicht-fossiler C-Rohstoffe aus technologieoffenem Recycling von Kunststoffabfällen. Diese Rahmenbedingungen werden in den politischen Strategien der Bundesregierung und auf EU-Ebene in vielen einzelnen Strategien und legislativen Akten adressiert, aber leider noch nicht übergreifend betrachtet (Tabelle 1 Strategien und Gesetze zur C-Nutzung).

Erneuerbarer Kohlenstoff umfasst alle Kohlenstoff(C)quellen, die genutzt werden können, ohne dass zusätzliches atmosphärisches Kohlendioxid (CO₂) entsteht. Dies umfasst die Nutzung von Kohlenstoff auch aus Kunststoffabfällen, die Nutzung von biogenem C aus Biomasse, die Nutzung von CO₂ aus der Luft oder aus industriellen Abgasen. Der Begriff bezeichnet C-Quellen, die durch natürliche Prozesse wie Photosynthese oder durch regelmäßig anfallende Abfallströme kontinuierlich regeneriert werden. Im Gegensatz zu fossilem C aus Erdöl oder Kohle, das über Jahrtausende bzw. -millionen entsteht, umfasst erneuerbarer C unter anderem land- und forstwirtschaftliche Reststoffe, gezielt angebaute Energiepflanzen, Algen, Lebensmittel- und Kunststoffabfälle, Klärschlämme, CO₂ sowie industrielle Abgase. Diese Ressourcen bilden die Grundlage für eine nachhaltige (Bio-)Energie- und (Bio-)Produktentwicklung und tragen wesentlich zur Reduzierung der Abhängigkeit von endlichen C-Quellen bei. (Quelle: U.S. Department of Energy – Bioenergy Technologies Office)

Dem Technologieentwicklungsbedarf und mögliche Beschränkungen in der Skalierung und Markteinführung wurden in den Strategien der Bundesregierung auf dem Papier eine hohe Bedeutung eingeräumt, haben allerdings bislang aus Sicht der dieses Papier tragenden Organisationen einen viel zu geringen Widerhall im politischen Handeln und Förderaktivitäten gefunden. Dieser Technologieentwicklungsbedarf soll mit diesem Hintergrundpapier verdeutlicht, möglichen Beschränkungen entgegenwirkt werden.

Grundlagen einer strategische Technologieentwicklung

Für eine strategische Technologieentwicklung wird eine **ganzheitliche Sichtweise** benötigt, um unterschiedliche Technologieoptionen berücksichtigen zu können. Dafür sind notwendig:

- Massen- und Energiebilanzen,
- die Verknüpfung von Stoffstrom- und Abfallcharakteristika und -aufkommen mit
 - den industriellen Rohstoffbedarfen sowie
 - einer systemische Energie- und Nachhaltigkeitsoptimierung unter dem Gesichtspunkt der energetischen Effizienz, der Kohlenstoffeffizienz und der wirtschaftlichen Effizienz.

Die für die Nutzung der Technologieoptionen zur Verarbeitung von Biomasse, von unterschiedlichen Kunststoffabfällen und von CO₂-Emissionen zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen sind systemischer, politischer und wirtschaftlicher Natur.

Strategie / Gesetz	Legislative Ebene / Federführung	Adressierte C-Quelle*	Adressierte C-Nutzung*	Aktueller Stand
Carbon Management Strategie (CMS)	National / BMW E	Punkt- u. diffuse Quellen (Industrie, Abfallverbrennung, Luft)	Permanente Speicherung (CCS), stoffliche Nutzung (CCU)	Initiiert in 20. Legislaturperiode (LP), nicht abgeschlossen, Fortsetzung unklar
CO₂-Speicherungs- u. TransportG (KSpTG)	National / BMW E	Punkt- u. diffuse Quellen	Permanente Speicherung (CCS), Leitungstransport	abgeschlossen
Industrial Carbon Management Strategie (iCMS)	Europäisch / DG Energy	Gasförmig aus Punkt- u. diffusen Quellen	Permanente Speicherung (CCS), stoffliche Nutzung (CCU)	
Biomassestrategie (NABIS)	National / BMW E	Primäre Biomasse, biogene Rest- und Abfallstoffe	Stofflich u. energetisch	Initiiert in 20. LP, nicht abgeschlossen, mögl. Inklusion in Nat. Bioökonomie-Strategie
Bioökonomiestrategie	National / BMW E	Biomasse, Reststoffe	Stoffliche u. Kaskadennutzung	In Finalisierung, Integration in andere Strategien möglich
	EU / DG ENV	Biomasse, biogene Rest- und Abfallstoffe	Stoffliche & Kaskadennutzung, Kreislaufführung, Bioenergie	
Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS)	National / BMUKN	Produkte und Chemiewerkstoffe, u.a. Kunststoffe und Abfälle	v.a. stofflich (C-Kreislaufführung so lange wie möglich)	12/2024: Veröffentlichung; 10/2025: Eckpunkte mit Maßnahmen zur Umsetzung.
Circular Economy Act	EU / DG ENV	Kunststoffe, Abfälle, biogene Rohstoffe	v.a. stofflich (C-Kreislaufführung so lange wie möglich)	Call for Evidence bis Nov 25; Veröffentlichung Q4 2026
PPWR	EU / DG ENV	Verpackungen, Verpackungsabfälle (alle Materialien, darunter Kunststoff, Papier, Verbunde)	v. a. stofflich (Design, Reuse, Recycling, Rezyklateinsatz, Kreislaufführung)	Pflichten gelten ab 12.08.2026, weitere delegierte Rechtsakte notwendig für konkrete Rechtssicherheit
VerpackDG (Entwurf)	National / BMUKN	Verpackungen, -sabfälle (Kunststoff, Papier, Verbundmaterialien)	v. a. stofflich (Design, Reuse, Recycling, Rezyklateinsatz)	Laufende Anpassungen des VerpackG zur nationalen Umsetzung der PPWR
ELVR (Entwurf)	EU / DG ENV	Fahrzeuge, Altfahrzeuge (alle Chemiewerkstoffe inkl. KuSto.)	v. a. stofflich (s.o.) von Bauteilen	Trilogverhandlungen am 25.02.2026 abgeschlossen
SUPD	EU / DG ENV	Einwegkunststoffe	Vermeidung, beschränkte stoffliche Nutzung, Substitution	Pflichten gelten seit 03.07.2021; laufende Umsetzungen der RL durch MES

Tab. 1: Strategien und Gesetze zur C-Nutzung (*hier unterscheiden sich die adressierten C-Quellen und die adressierte C-Nutzung)

Die Notwendigkeit, Technologien für die Nutzung alternativer C-Quellen weiterzuentwickeln, wird besonders deutlich durch eine **Analyse der der Branche zugerechneten Treibhausgas-Emissionen**.^{1, 2} Danach emittierte die Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2024 knapp 650 Mio. t CO_{2(eq)} (ohne Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)). Davon entfallen gut 543 Mio. t auf die Kategorie „Energie“ und etwa 48 Mio. t. auf die „Industrie“. Emissionen, die aus dem der chemischen Industrie zuzuordnenden Energieverbrauch stammen, liegen in einer Größenordnung von ca. 33 Mio. t CO_{2(eq)}.³

- Energiebereitstellung (Scope 1-Emissionen) (**eigene Erzeugung**): eigen produzierte Energie (eigene Kraftwerke) wie z.B. Strom oder Dampf auf unterschiedlichen Druckstufen **für die Produktion**
- Produktion (Scope 2-Emissionen) (**Fremdbezug**): von Dritten erzeugte gekaufte Energien **für die Produktion**
- Indirekte potenzielle Emissionen (Scope 3-Emissionen), beispielsweise durch Abfallverbrennung, **des zu entsorgenden Produkts**.⁴

Die direkten produktionsbedingten Treibhausgasemissionen aus der Kerntätigkeit der chemischen Industrie machen demnach nur einen geringeren, die indirekten **Scope 3-Emissionen den größten Anteil** der potenziellen Treibhausgasemissionen der gesamten produktspezifischen Prozesskette aus und sind daher ein zentraler Ansatz für die Technologieentwicklung.⁵ **Lösungsmöglichkeiten** erschließen sich über eine treibhausgasneutrale Rohstoffbasis über die Nutzung

- biobasierter Roh- und Reststoffe,
- kohlenstoffhaltiger Abfälle, insbesondere Abfälle kohlenstoffhaltiger Chemiewerkstoffe wie Kunststoffe, Textilien, Fasern, Klebstoffe usw. einschließlich Gummi usw., wobei auch Klebstoffpolymere in den Fokus rücken, die nicht recycelbar, aber entscheidend für die Wiedergewinnung anderer Materialien sind („debond-on-demand“);
- die Nutzung von CO₂ als Rohstoff sowie
- die fortgesetzte Verbesserung der Energie- und Rohstoffeffizienz aller Produktionsprozesse.

Die **Erschließung alternativer C-Quellen** muss vor dem Hintergrund des Energiebedarfs und der notwendigen Investitionskosten priorisiert werden, wobei berücksichtigt werden muss, dass die Wahl des „optimalen“ Pfades abhängig ist vom Zielmolekül und der Syntheseroute und damit vom Energiebedarf sowie von der sicheren Verfügbarkeit des alternativen

¹ Basis Karen Perrey/Covestro, Vortrag, Fachgespräch VCI/DECHEMA Transitionstechnologien, 30. Juni 2021

² Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen https://www.umweltbundesamt.de/system/files/document/2026_EM_Entwicklung_in_D_Trendtabelle_THG.xlsx

³ [Chemiewirtschaft in Zahlen - 2024](#), nur energiebedingte CO₂-Emissionen-

⁴ Es sei ausdrücklich angemerkt, dass die „Scope-Betrachtung“ hier aus der Sicht der Chemieindustrie und ihrer spezifischen Position in der Kette der Kohlenstoffnutzung betrachtet wird.

⁵ Auf Grundlage der Verfügbarkeit erheblicher Mengen erneuerbaren Stroms sowie treibhausgasarm erzeugten Wasserstoffs (s.u.)

Feedstocks am Standort.⁶ Der Energie- und Wasserstoffverbrauch hängt in hohem Maße von der **Ausgestaltung des Gesamtprozesses** ab. Je weiter der Rohstoff in der Zusammensetzung von fossilen Kohlenwasserstoffen entfernt ist, desto mehr Energie und Wasserstoff wird bei dessen Erschließung benötigt. Bei der Nutzung von CO₂ in CCU ist diese Wasserstofflücke am größten, bei Reifengummi im thermochemischen Recycling am kleinsten.

- 1. **Kunststoff-Recycling** mit mechanischen und chemischen Verfahren: wie gezeigt werden kann, ergeben Kombination beider Verfahren die günstigsten und ressourceneffizientesten Prozessvarianten⁷
- 2. Erschließung von **Biomasse** über fermentative (z.B. aerobe Fermentation oder Biogasifizierung), thermochemische (z.B. Gasifizierung oder Pyrolyse) oder physikalisch-chemische Verfahren (z.B. biobasierte Polymere)
- 3. **Carbondioxide Capture and Utilisation (CCU)** über CO₂-Abscheidung aus Punkt- und diffusen Quellen und anschließender Prozessierung zur Produktion von Chemierohstoffen. Hier lässt sich eine **Hierarchie der** unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten prioritär zu nutzenden **CO₂-Quellen** andeuten:
 - 1. Nutzung von unvermeidbaren (rohstoffbedingten) CO₂-Emissionen z.B. aus Zement, Kalkanlagen sowie Nutzung von biogenem CO₂ aus Biogasanlagen, Klärschlammverbrennung etc.
 - 2. bevorzugt Nutzung konzentrierter oder reiner CO₂-Ströme ggü. verdünnten
 - 3. DAC aufgrund des hohen Energie- und Ressourcenbedarfs als Technologie zum Schließen von Bedarfslücken.

Für die alternativen C-Quellen müssen **technologieoffene Verfahren** für Recycling, Abscheidung bzw. Synthese entwickelt bzw. weiterentwickelt werden. Der Pfad dorthin muss nicht nur mit den Investitionszyklen der Industrie und der wirtschaftlichen Verfügbarkeit der Rohstoffe sowie den Anforderungen der Wertschöpfungsketten, der Infrastrukturen und den Genehmigungsprozessen in Passung gebracht werden, sondern auch mit der zentralen Annahme, dass „grüner“ **Wasserstoff und erneuerbarer Strom in ausreichenden Mengen** zu wirtschaftlich tragfähigen Kosten verfügbar ist, wovon jedoch aktuell nicht ausgegangen werden kann.⁸

Zurzeit legt die Politik einen starken Fokus auf die Elektrifizierung und Erzeugung von grünem Wasserstoff. Im Gesamtenergie- und Rohstoffsystem der Chemieindustrie beeinflusst jedoch die **Herkunft des Kohlenstoffs** den Energie- und den damit austauschbaren Wasserstoffbedarf über die je nach nicht-fossiler Quelle unterschiedlich große Wasserstofflücke erheblich.

⁶ s.a. „Transforming the chemical industry: a BASF perspective on net-zero and circularity“, Bernhard von Vacano, Wolfgang Hübinger, Willis Muganda, Grigorios Kolios, Talke Schaffranek, Alois Kindler, Kai Ehrhard and Markus Weber, RSC Sustainability, Feb. 2026; <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2026/su/d5su00825e>

⁷ Forschungspolitische Empfehlungen zum chemischen Kunststoffrecycling – neue Verfahren und Konzepte, BKV/DECHEMA/PED/VCI, Juli 2021; Zeller et al., Chemical Recycling of Mixed Plastic Wastes by Pyrolysis – Pilot Scale Investigations, Chem. Ing. Tech., 2021, 93, No. 11, 1763-1770, <https://online-library.wiley.com/doi/10.1002/cite.202100102>;

⁸ Es muss in Rechnung gestellt werden, dass der H₂-Bedarf nach technologischem Pfad und nach Verfahren naturgemäß stark variiert.

Bei den großen Rohstoffbedarfen der chemischen Industrie ist angesichts der absehbar hohen Kosten und der limitierten Verfügbarkeit klimaneutralen Stroms und Wasserstoffs eine wirtschaftliche Transformation über die notwendige Nutzung erneuerbaren C nur **unter wasserstoffsparender Optimierung des Gesamtsystems** möglich. Das bedingt die prioritäre Nutzung von verfügbaren kohlenstoffhaltigen Kunststoff-Abfällen sowie nachhaltiger bevorzugt Heteroatom-armer Biomasse vor CCU.

2. Analyse und Optionen zur Deckung des C-Bedarfs der deutschen Chemieindustrie und Skizze alternativer C-Routen

Eine wichtige Grundüberlegung stellen die **Abschätzungen zur Verfügbarkeit von alternativen C-Rohstoffquellen** und die Zusammenhänge zu den für ihre Nutzung erforderlichen Bedarfen in der Energieversorgung dar. Bisherige Annahmen zur künftigen Deckung des C-Bedarfs basieren auf Szenarien und Abschätzungen der Einflüsse ausgewählter Technologiepfade und Rohstoffketten. Die Chemieindustrie benötigt Kohlenstoff als Grundbaustein für ihre organischen Basischemikalien; allein in diesen zentralen Grundstoffen sind derzeit rund 10 Mio. t C pro Jahr stofflich gebunden.⁹ Im Zuge des prognostizierten Rückgangs der Produktion der deutschen Grundstoffchemie wird der stofflich gebundene Kohlenstoffbedarf allein für die Basischemikalien im Jahr 2045 auf rund 9 Mio. t C pro Jahr geschätzt⁹; der tatsächliche Wert hängt dabei auch vom Tempo der Weiterentwicklung langlebiger und reparaturfähiger Chemiewerkstoffe, darunter Kunststoffe ab.

Derzeit basieren **95 % aller chemischen Produkte auf petrochemischen fossilen Grundstoffen**. C-basierte Produkte der Chemieindustrie sind etwa:

- Olefine sind Basis für die großvolumigen Produkte
- Alkohole, Säuren und Aldehyde sind die Basis für die Produkte und Formulierungen, die durch die Endkonsumenten in die Kläranlagen eingespeist werden; hier ist die Nutzung von Biomasse zu priorisieren, da auf diesen Synthesewegen die Syntheseverleistungen der Natur besser genutzt werden kann und die Prozesse somit schneller durch (geringere) Incentives in eine Wirtschaftlichkeit gebracht werden können.

Rohstoffbasis für die Kunststoff-Marktversorgung

Die **Rohstoffbasis für die Kunststoff-Marktversorgung** zeigt im Überblick Abb.2. Wie die Daten zeigen, könnte der zukünftige Bedarf der Chemieindustrie an nicht-fossilem C auch bei starker Nutzung sekundärer Rohstoffe u.a. durch **Biomasse** und **mechanisches sowie chemisches Recycling** von Kunststoffabfällen nur zum Teil gedeckt werden.¹⁰ Daher muss die stoffliche Nutzung von Endverbraucherabfällen, die Chemiewerkstoffe wie Kunststoff enthalten, effektiv ausgebaut werden. Der **verstärkte C-Einsatz aus Kunststoffabfällen** als Rohstoffbasis wird durch die Weiternutzung des C aus diesen prinzipiell sammelbaren Materialien erreicht.¹⁰

⁹ [Studie Chemistry for Climate – Wie die Transformation der Chemie gelingen kann. Ein Update](#), DECHEMA/ VCI/ VDI, Okt. 2024

¹⁰ Bachmann, M., Zibunas, C., Hartmann, J. *et al.* Towards circular plastics within planetary boundaries, *Nat Sustain* 6, 599–610 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41893-022-01054-9>

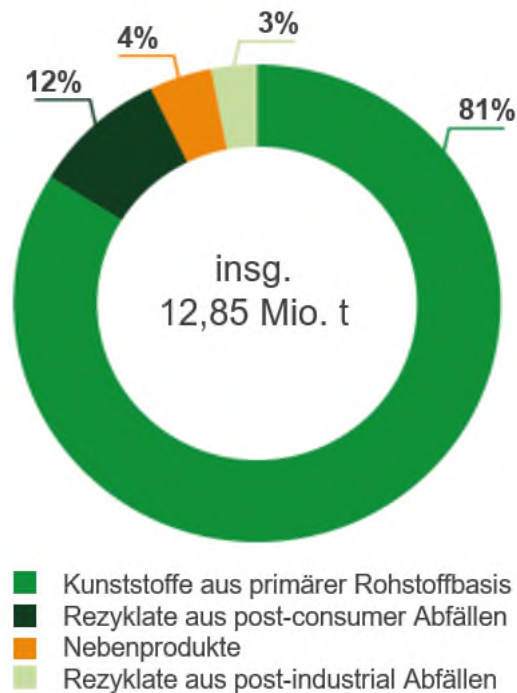


Abb. 2: Rohstoffbasis für die Kunststoff-Marktversorgung; Quelle: Conversio, Daten Stoffstrombild 2023

Die nicht-fossile Rohstoffbasis für die Kunststoff-Neuproduktion sind **Rezyklate** aus post-consumer Abfällen sowie aus post-industrial Abfällen und Nebenprodukte der industriellen Produktion und Verarbeitung. Auch biobasierte Rohstoffe kommen für die Kunststoffproduktion zum Einsatz, wenngleich bisher in sehr geringen Anteilen. Für die Kreislaufführung des Kohlenstoffs ist ein Verständnis über die Strukturen des Abfallmanagements von Endverbraucherprodukten, beginnend bei den Systemen der Abfallerfassung, essentiell. Abb. 3 zeigt die Komplexität der kunststoffrelevanten Endverbraucherabfälle, deren Erfassungsstrukturen sich in Abfälle privater Haushalte und Abfälle gewerblicher Endverbraucher untergliedern.

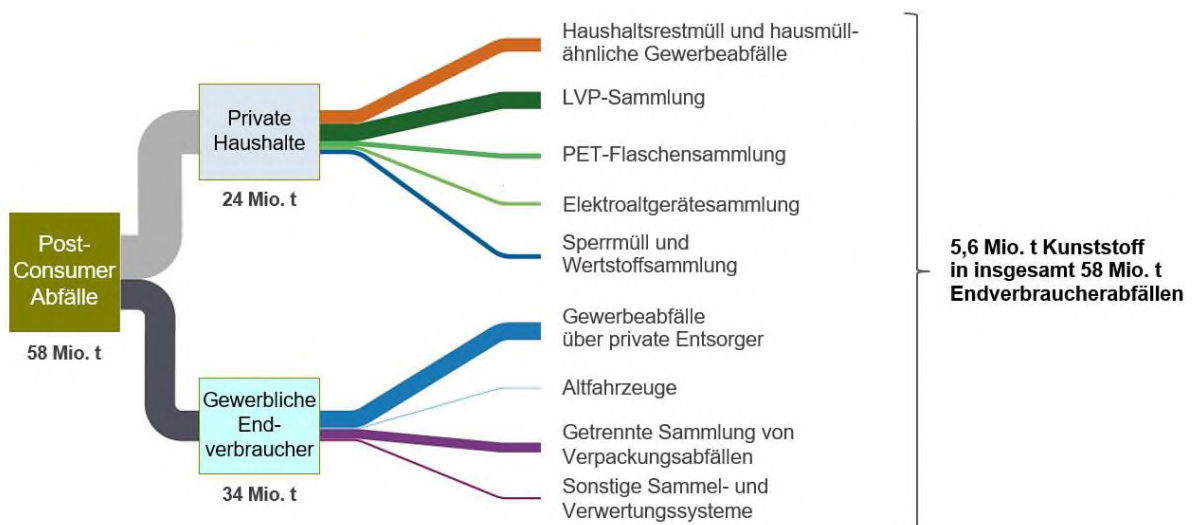


Abb. 3: Kunststoffabfälle und Verwertung nach kunststoffrelevanten Abfallströmen in 2023; Quelle: Conversio Stoffstrombild 2023

Insgesamt werden mit den unterschiedlichen Erfassungssystemen rund 58 Mio. t Endverbraucherabfälle in Deutschland erfasst. Darin sind rund 5,6 Mio. t Kunststoffe enthalten, wobei die Kunststofffrachten und -konzentrationen sowie -qualitäten je nach Abfallstrom sehr stark schwanken. Infolgedessen ist auch die Ausprägung des Recyclings sehr unterschiedlich. Dieses ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn Kunststoffe aus den Abfallfraktionen möglichst sortenrein erfasst werden können und sie entsprechende Qualitäten aufweisen. Insofern ist für das Kunststoffrecycling, aus welchem letztlich die Rezyklate hergestellt werden, eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Abfallströme verschiedener Erfassungssysteme von haushaltsnahen und gewerblichen Endverbraucherabfällen zu berücksichtigen.¹¹ Die C-Verluste in den Wertschöpfungsketten sowie auch in den Entsorgungsketten sind zu berücksichtigen: Etwa 60 % C aus dem Kunststoffabfall durchläuft Recycling-Verfahren, für welche die C-Ausbeute wiederum 30-60 % beträgt.

Ein wichtiges Mengenpotenzial verfügbarer Abfälle für die C-Gewinnung gegenüber dem Status quo von heute, der sich im Wesentlichen aus Verpackungsabfällen bedient, wird auch in der Zukunft im **Verpackungsbereich** liegen. Der Ausbau von entsprechender Sammlung, Sortierung, Aufbereitung und anschließendem Recycling – sei es mechanisch, chemisch, physikalisch etc. wird die Menge hergestellter Rezyklate steigern, die dann wiederum für den Einsatz in neuen Produkten verwendet werden können. Allerdings konkurrieren die Bedarfe insbesondere von qualitätsgesicherten Rezyklaten aus den jeweiligen Sektoren wie Verpackung, Automobil, Elektro, Bau, Haushalt etc.¹² Für die Chemieindustrie stellt sich die entscheidende Frage, welches Material sie in Zukunft nutzen können wird?¹³ Für die einzelnen Recyclingwege müssen demnach Infrastrukturen weiter ausgebaut bzw. optimiert werden inkl. Sammelsystemen, Aufbereitungsverfahren und spezifischer Recyclingverfahren. Ziel ist die **Schließung des „C-Kreislaufs“**.

Rohstoffbasis für biogene Rohstoffe

Eine weitere wichtige C-Quelle sind **biogene Rohstoffe**, diese sind allerdings auch nur begrenzt verfügbar und konkurrieren mit anderen Märkten u.a. Lebens- und Futtermittel sowie dem Energiesektor mit hoher Nachfrage für den Transport. Diese Faktoren führen zu vergleichsweise **hohen Preisen** insbesondere für technisch sinnvoll einsetzbare Rohstoffe wie Fette und Ethanol, was ihre kostentechnische Verfügbarkeit erheblich einschränkt (Tab. 2). Hohe Rohstoff- und Energiepreise stellen einen erheblichen Wettbewerbsnachteil für die heimische Industrie dar. Da in großen Grundchemieanlagen über 80 % der laufenden Kosten auf Rohstoffe und Energie entfallen, sind diese ein entscheidender Faktor für Investitionsentscheidungen auch in FuE-Anlagen. Neben dem hohen Grundpreis biogener Rohstoffe müssen auch logistische und handelspolitische Aspekte betrachtet werden.

¹¹ C. Lindner, Kunststoffhaltige Abfallströme in Deutschland 2023, Conversio Market & Strategy GmbH, Mainaschaff, 2025, im Auftrag von BKV GmbH, siehe: www.bkv-gmbh.de/1175-studie-kunststoffrelevante-abfallstroeme-in-deutschland-2023-2.html ; C. Lindner, Potential des Kunststoffrecyclings aus gewerblichen Endverbraucherabfällen, Conversio Market & Strategy 2025, im Auftrag von BKV GmbH, siehe: www.bkv-gmbh.de/1180-studie-potenzial-des-kunststoffrecyclings-aus-gewerblichen-endverbraucherabfaellen.html

¹² Quelle: BKV-Studie Rezyklatverfügbarkeit

¹³ Derzeit fokussieren die entsprechenden Stoffströme stark auf die Verwendung in Biodiesel und die Nutzung als Ersatzbrennstoff in Kraftwerken/MVA.

Rohstoff	Preis	Einheit	Brennwert MWh/t	Umrechnung	Einheit	Kosten \$/MWh
Rohöl WTI, USA	64,77	\$/bbl	11,4	7,618	bbl/t	43,28
Erdgas HH, USA	3,12	\$/mmbtu		0,293071	MWh/mmbtu	10,65
Erdgas TTF, NL	36,52	€/MWh		1,14	\$/€	41,63
Ethanol USA	90,72	\$/bbl	8,25	7,991	bbl/t	87,78
Ethanol Rotterdam	760	€/t	8,25	1,14	\$/€	105,00
Palmöl Malaysia	3911	MYR/t	11,0	4,23	MYR/\$	84,05
Zucker Brasilien	0,17	\$/lb	4,37	0,45359	kg/lb	85,76

Tab. 2: Kostengünstigste Rohstoffe fossil und erneuerbar¹⁴

Verschiedenste Szenarien in aktuellen Prognosen¹⁰ zeigen jedoch, dass die Mengen der flächenbegrenzten nachhaltigen Biomasse sowie der mittelfristig erschließbaren Rezyklatmengen nicht ausreichen, um die gesamte Transformation der Chemieindustrie zu ermöglichen.

Rohstoffbasis für CCU-Technologien

Somit bleibt weiterhin ein Bedarf an CCU-Technologien. Bei der Umsetzung dieser wie aller anderen alternativen Rohstoff-Routen sind aus Sicht der beteiligten Organisationen der in der Regel sehr hohe Wasserstoffbedarf und die hohen Effizienzverluste zu beachten.¹⁵ Notwendig für die **größtechnische Realisierung von CCU** sind

- eine Anbindung der Technologien an eine wirtschaftlich tragfähige strombasierte Wasserstofftechnik bzw. erneuerbare Energiequellen sowie
- der Aufbau der erforderlichen Infrastrukturen (CO₂, H₂, Strom).
- Aus Sicht der Chemieindustrie ist dieser Weg technisch nur über den zeitlich begrenzten Einsatz fossilen C kombiniert mit CCS als Brückentechnologie machbar.¹⁶

Gleichzeitig zeigt eine neue CCU-Studie,¹⁷ dass bereits heute mehrere modulare, mittelstandstaugliche Technologien *ohne* Wasserstoff und komplexe Infrastruktur einsatzfähig sind. Dazu zählen Mikroalgen-Kultivierung, Schlacken-Carbonatisierung oder superkritische CO₂-Extraktion, die vergleichsweise geringe Mengen CO₂ nutzen. Sie ermöglichen heute schon die Nutzung lokaler CO₂-Ströme, die Herstellung nachhaltiger Produkte und den frühen Einstieg in CO₂-basierte Wertschöpfung – insbesondere für Unternehmen, die als „First Mover“ neue Märkte erschließen wollen, entsprechende regulative Rahmenbedingungen vorausgesetzt.

¹⁴ AG1 BMW Leitmärkte Bioökonomie (Stand 5. Sept. 2025)

¹⁵ s. z.B. Kostenrechnung für CCU zu Oktan in [Nachrichten aus der Chemie, Mai 2025](#), S. 36-38, [DOI](#), [PDF](#)

¹⁶ Die Zeitspanne für die Investitionen müssen die Investitionszyklen der chemischen Anlagen abbilden.

¹⁷ Einen Überblick über CCU-Technologien und deren technischen Reife gibt die Studie [RZ ThinkTank Publikation-CCU Studie A4 web.pdf](#) insbesondere mit Technologien, die keinen Wasserstoff benötigen, wobei der Strombedarf und für großtechnische Anwendungen der realisierbare Gesamtdurchsatz zu berücksichtigen ist.

3. Voraussetzung zur Deckung des C-Bedarfs in der klimaneutralen, defossilisierten Zukunft

Technologieoffene Ausschöpfung des ganzen Spektrums und der Potenziale von Recyclingverfahren für alternativen Kohlenstoff

Für eine mögliche verstärkte Nutzung von defossilisierten und zirkulärem Kohlenstoff, d.h. biogenes und durch Recycling von Kunststoffabfällen gewonnenes C, kann **grundsätzlich auf etablierte Technologien** zurückgegriffen werden. So gelingt die Erschließung von C aus Kunststoff-Abfällen durch die Nutzung von **mechanischen, physikalischen und chemischen Recyclingprozessen**.¹⁸ Im chemischen Recycling kommen solche Verfahren zum Einsatz, bei welchen zunächst eine (thermo)chemische Umwandlung des Abfallmaterials in chemische Zwischenprodukte oder Grundbausteine erfolgt. Im Fall von Kunststoff-Abfällen wird chemisches Recycling im Allgemeinen mittels Spaltung zu kleineren Bausteinen (Solvolyse / Depolymerisation)¹⁹ oder beispielsweise auch einschließlich anderer organikreicher Abfälle mittels Hydrierung, Pyrolyse oder Gasifizierung erreicht. Eine aktuelle Studie hat ergeben, dass von diesen Verfahren der Pyrolyse die größte Bedeutung zuzuschreiben ist.²⁰ Nur durch die Ergänzung des mechanischen Recyclings mit weiteren physikalischen und chemischen Recyclingverfahren wird eine Kreislaufwirtschaft in den zur Deckung des C-Bedarfs notwendigen Dimensionen realisiert werden können. Allerdings sind viele **Technologien** industriell nicht ausgereift hinsichtlich Skalierung sowie Wirtschaftlichkeit und Kosteneffektivität.

- Die zur Verfügung stehenden Verfahren müssen ihre **Industrietauglichkeit und -reife in der Skalierung** noch unter Beweis stellen.
- Ergänzend muss die **Effizienz der Verfahren in der ganzen Kette** zur Herstellung chemischer Grundstoffe wie Olefine, Aromaten und Polymere durch Weiterentwicklung oder Verfahrensneuentwicklung erhöht werden.

Selbst bestehende Recyclinganlagen in Deutschland stehen unter extremen Wettbewerbsdruck durch günstige Importe aus v.a. China, das mit günstigeren kommerziellen Bilanzregeln sowie deutlich günstigeren Energiekosten und Rohstoffkosten produzieren kann. Somit ist ein **strategischer Aufbau von Technologie-Pfaden für die C-Versorgung** und ein effizientes System der Energieversorgung in Deutschland und Europa mehr als überfällig. Der Investitionsbedarf für alle zu erschließenden nicht-fossilen C-Quellen ist sehr hoch und trifft auf wirtschaftlich sehr herausfordernde Rahmenbedingungen. Diese hohen Investitionen können nur realisiert werden, wenn u.a. **Rechtssicherheit** besteht. Abb. 5 zeigt den höheren Bedarf an externer Energie und den höheren Investitionsbedarf für drop-in Produkte & -Prozesse.

¹⁸ s.a. Forschungspolitische Empfehlungen zum chemischen Kunststoffrecycling – neue Verfahren und Konzepte, BKV/ DECHEMA/ PED/ VCI, Juli 2021

¹⁹ J. Brandrup, M. Bittner, W. Michaeli, G. Menges, Die Wiederverwertung von Kunststoffen, Carl Hanser Verlag, München, 1995; Coates, G.W., Getzler, Y.D.Y.L. Chemical recycling to monomer for an ideal, circular polymer economy. *Nature Rev Mater* **5**, 501–516 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41578-020-0190-4>

²⁰ C. Lindner, Chemisches Recycling in Deutschland – Ist-Situation 2024 und Ausblick bis 2030/35, Conversio Market & Strategy GmbH, Mainaschaff, 2025, im Auftrag von BKV GmbH, siehe: www.bkv-gmbh.de/studie-chemisches-recycling-in-deutschland.html

Um bereits heute mögliche technologische Lösungsansätze in Deutschland, in Europa und an internationalen Standorten realisieren zu können, müssen die **Technologien für alle alternativen Rohstoffquellen weiterentwickelt und realisiert** werden können. Eine Technologieentwicklung in Deutschland bringt augenscheinliche Vorteile für Innovation, Wohlstand sowie für eine anteilige Souveränität durch lokale Erschließung. Über die Einbringung von Technologie in Partnerschaften schafft sie aber auch attraktive Zugänge zu Rohstoffen jenseits der Landesgrenzen. Damit werden direkt wichtige strategische Fragen für die zukünftige Versorgung des Industriestandorts Deutschland gegenüber seinen europäischen Nachbarn und anderen Weltregionen wie den USA und China berührt.

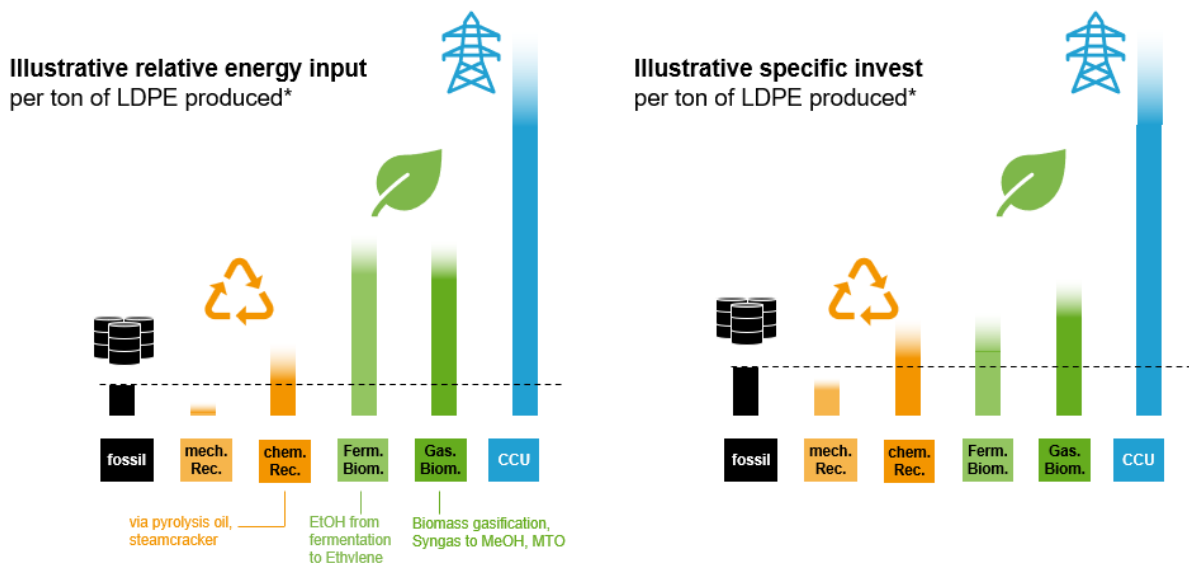


Abb. 5: Fallstudie zu Rohstoffoptionen zur Produktion von Polyethylen (LDPE): Relativer Energie- und Investitionsinput fossiler vs. erneuerbarer C; Quelle BASF⁷

Hochskalierung von Technologien

Die Entwicklung **von Recyclingverfahren** für unterschiedliche, alternative Rohstoffquellen muss **technologieoffen** im Wettbewerb um die bestangepasste Technologie vorangetrieben werden, die sich ökonomisch und ökologisch effektiv in die Wertschöpfungsketten und Infrastrukturen einbettet, um mit neuen geeigneten technologischen Optionen und mit ökonomischen Vorteilen für alle notwendigen Beteiligten Kohlenstoff im Kreislauf führen zu können und damit u.a. zur Minderung von Abhängigkeiten beizutragen.¹⁰ Politische und wirtschaftliche Konzepte und Rahmenbedingungen müssen ein zirkuläres Wirtschaften unter ökonomisch, sozial und ökologisch sinnvollen Bedingungen ermöglichen.

Bisherige industrielle Initiativen fokussieren auf unterschiedliche Verfahren wie Solvolyse, Pyrolyse usw. Die Integration in bestehende Wertschöpfungsketten, beispielsweise bei der Pyrolyse zur stofflichen Nutzung aufbereiteter Öle anstelle von Naphtha gelingt für ausgesuchte Abfallströme und in kleinerer Skala, befindet sich **für die großtechnische Nutzung** jedoch noch in der Entwicklung.²¹ Ähnliches gilt auch für die Gasifizierung, die als großskalige Technologie für fossile Rohstoffe etabliert ist, aber auf Abfallströme und eine klimaneutrale

²¹ siehe z.B.: Thermal Processes for Feedstock Recycling of Plastic Waste, KIT 2019; Bewertungsgrundlagen der Pyrolyse von gemischten Kunststoffabfällen, KIT 2021

Produktionsumgebung angepasst werden muss.

- Die Weiterentwicklung dieser und weiterer technologischer Optionen (einschließlich Depolymerisation oder Hydrierung) zur Bereitstellung flüssiger und gasförmiger Chemierohstoffe hat hohe Priorität, insbesondere im Hinblick auf komplexe kunststoffhaltigen Abfallströme. Covalent-adaptive Netzwerke, debond-on-demand-Technologien befinden sich noch auf der Ebene von Laborversuchen.
- Für die industrielle Realisierung ist es wichtig, die Fertigungstiefe dieser zentralen Technologien für die Produktion von Chemierohstoffen zu erhöhen und mögliche verbundene Wertschöpfung in der chemischen und anderen Industrien in Deutschland zu erhalten.
- Alle Maßnahmen müssen die erforderliche Zeitspanne für die Hochskalierung einer Technologie über die verschiedenen Entwicklungsstufen (Technology Readiness Level, TRL 5-8) bis hin zum industriellen Maßstab (TRL 9) berücksichtigen.

Gleichzeitig bestehen Unklarheiten zu Regeln und Bedarfen an Produkten aus sekundären Rohstoffen. Diese treiben das Investitionsrisiko derzeit so hoch, dass eine industrielle Realisierung am Standort vielfach zurückgestellt wird. Es sind also verlässliche regulatorische und genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen und Mechanismen erforderlich, um neben den technologischen Risiken, die sich durch konzertierte FuE senken lassen, auch die wirtschaftlichen Risiken tragbar zu machen.

Möglichkeiten der Nutzung blauen und grauen Wasserstoffs, um Infrastrukturen und Anlagenumrüstungen einzurichten

Für die Nutzung weiterer alternativer C-Quellen in der Chemieindustrie werden **erhebliche Mengen an grünem Wasserstoff** benötigt. Der Zusatzwasserstoff wird zur Einstellung eines Wasserstoff-zu-Kohlenstoff-Verhältnisses benötigt, das der Zusammensetzung fossiler Rohstoffe entspricht. Dies gilt besonders für die Synthesegasherstellung aus Kunststoffabfällen oder aus Biomasse durch Gasifizierung zur Nutzung bspw. für die Methanolherstellung, in geringerem Maße auch für die notwendige Aufarbeitung von Pyrolyseprodukten aus Altkunststoffen selbst.

Die Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie und klimafreundlichem Wasserstoff(H₂) zu wettbewerbsfähigen Konditionen ist allerdings unzureichend. Die Grundannahme, dass „**grüner Wasserstoff in ausreichenden Mengen** kostengünstig verfügbar ist, kann derzeit und wohl auch in Zukunft nicht getroffen werden.²² Die Herstellung vor Ort ist aufgrund der Transportproblematik zu bevorzugen. Für viele Anwendungen ist die direkte Elektrifizierung deutlich effizienter als der Einsatz von Wasserstoff.

²² Begründet wird diese zentrale Annahme über die Analyse der Effizienzpfade: Wasserstoff als Reduktionsmittel ist als leichtes Gas nur sehr schwer und kostenaufwendig transportierbar und daher wirtschaftlich sinnvoll nur direkt am Ort der Verwendung herzustellen. Der Nutzung von Wasserstoff für Anwendungen zur C-Erschließung ist also nur eine geringe Aussicht einzuräumen; vgl. J. Clausen, Das Wasserstoffdilemma: Verfügbarkeit, Bedarfe und Mythen, Borderstep Institut, Berlin, 2022: t1p.de/bhpd3; dazu ist anzumerken, dass eine Direktnutzung von Strom der Nutzung von Wasserstoff energetisch wegen der Vermeidung von Wandlungsverlusten immer vorzuziehen ist.

- Die Bewertung alternativer Wasserstoffrouten muss unter Berücksichtigung thermodynamischer Effizienz und wirtschaftlicher Skalierbarkeit erfolgen. Weil die Verfügbarkeit von klimaneutral hergestelltem oder „grünen H₂“ begrenzt ist, muss **Technologieoffenheit** für nachfolgende Nutzungsprozesse wie hier zur Erschließung erneuerbaren C bestehen.

In Bezug auf die Wertschöpfungsketten müssen die Unternehmen bewerten, an welcher Stelle welche Technologie in welcher Form sinnvoll eingesetzt werden kann. Dabei müssen sie die existierenden Prozess- und Wertschöpfungsketten im Kontext der Transformation ggf. anpassen oder neu aufstellen, um neue Technologien und Prozesse zu integrieren. Denn der große Investitionsbedarf darf die Industrie nicht überfordern. Ein stringenter Transformationspfad muss existierende Anlagen und Infrastruktur, wo möglich, intelligent nutzen, einbinden und perspektivisch neue wettbewerbsfähige nicht-fossile Ketten knüpfen.

Die **Chemiestandorte in Deutschland** weisen sehr unterschiedliche Strukturen auf. Bei einigen befinden sich sowohl der Standortbetrieb als auch der Betrieb der am Standort angesiedelten Prozesse in einer Hand, bei anderen existiert eine weitestgehende Trennung zwischen den Funktionen. Für die Weiterentwicklung und Umsetzung von gemeinsamen Technologieentwicklungsstrategien ist eine Kooperation der am Standort ansässigen Unternehmen unerlässlich, da die Akteure wechselseitig voneinander abhängig sind. Dies birgt eine nicht zu vernachlässigende Gefahr für die Technologieentwicklung, insbesondere in Zeiten, in denen die einzelnen Betriebe und Standorte unter einem starken Wettbewerbs- und Existenzdruck stehen: Unternehmensspezifisch aufgestellte THG-Vermeidungsstrategien oder Roadmaps greifen oft zu kurz ohne Dialog und Abstimmung bzw. Berücksichtigung der Kopplung mit dem Energieversorgungssystem; denn diese Kopplung muss auch die Integration von Strom als Prozessenergie berücksichtigen, um Regelungstechniken zu vereinfachen und die C-Effizienz zu erhöhen.

- Die Gestaltung **der technologischen Anforderungen an die notwendig aufzubauenden Infrastrukturen** ist in wertschöpfungsketten-übergreifenden FuE-Projekten zu erforschen.²³

Langfristige und nachhaltige Verfügbarkeit von Kunststoffabfällen und biogenen Rohstoffquellen

Die Märkte für die Energie- und Rohstoffversorgung der deutschen Chemieindustrie bezüglich Naphtha, Gas, Methanol und Ethanol sind überregional und global organisiert und werden von den Entwicklungen der Rohöl- und Gasmärkte bestimmt. Andere Chemiesektoren außerhalb der Kunststoffbranche nutzen Biomasse direkt und wandeln diese zu chemischen Produkten um. Die **direkte Nutzung der Biomasse** ist für eine nachhaltige Rohstoffnutzung positiv und muss im Hinblick auf global organisierte Rohstoffmärkte weitergedacht werden. Gleiches wird in hohem Maße auch für die zukünftige Rohstoffversorgung mit alternativen Plattform-C-Quellen gelten, die aus Gründen der Verfügbarkeit und der Option, diese wirtschaftlich zu gewinnen, ebenfalls nicht auf Deutschland beschränkt bleiben kann. Abfälle

²³ Janine Heck, Hannes Utikal, Jens Leker, Industrial symbiosis as enabler and barrier for defossilisation: The case of Höchst Industrial Park, [Environmental Technology & Innovation](https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103850) 2024, 36, 103850, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103850>

fallen lokal, national und regional an, werden aber nicht unbedingt lokal, national oder regional verwertet, womit ein entsprechender Transport zu verfügbaren Kapazitäten notwendig wird. Auch hier wird es **international und global gehandelte C-Rohstoffe** geben, voraussichtlich in gekoppelter Nutzung.²⁴

Fehlende Anreizinstrumente zum Einsatz biogenen Kohlenstoffs

Biomasse steht allerdings der Chemieindustrie **nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung**, da diese nach ihrer Rolle in der Ernährung zunächst prioritär zur Energiegewinnung, z.B. in Biomasse-Blockheizkraftwerken, sowie in Kraftstoffen durch gesetzliche Vorgaben wie der Mandatierung von E10 oder B7 oder als nachhaltiger Flugkraftstoff (SAF) genutzt wird. „Grüne Wärme“, also die energetische Verwertung von Biomasse, wird als „erneuerbar“ eingestuft. Damit wird den Bemühungen, eine Kreislaufwirtschaft zu entwickeln, die Grundlagen entzogen. Für eine Intensivierung der stofflichen Nutzung müssen demnach klare, zuverlässig mandatierte Rahmenbedingungen geschaffen werden.²⁵

- Möglichkeiten hierfür stellen die incentivierte Nutzung von Biomasse, z.B. im Verpackungsbereich, durch kumulative Anrechnung der stofflichen Biomassenutzung dar.
- Darüber hinaus ist für die Hochskalierung von Anlagen zur großtechnischen Nutzung biogener Rohstoffe die Anerkennung von Massenbilanzen notwendig.

Biomasse könnte einen wichtigen Beitrag zur Deckung des C-Bedarfs der Chemieindustrie leisten, steht der Branche jedoch nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass verfügbare Biomasse politisch und regulatorisch vorrangig für energetische Anwendungen adressiert wird. Aufgrund der Vorgaben aus RED III, der THG-Quote im Verkehrssektor, ReFuelEU Aviation sowie den nationalen Kraftstoffmandaten wie E10 und B7 wird ein erheblicher Teil des biogenen Kohlenstoffs in Kraftstoffen oder in Biomasse-Heizkraftwerken energetisch genutzt. Hinzu kommen Vorgaben im Gebäudeenergiegesetz (GEG), das über die Grüngas-Quote zusätzlich biogene Ressourcen in den Wärmesektor zieht und damit weitere Volumina bindet.

Diese regulatorische Ausrichtung führt zu einer **Asymmetrie zwischen energetischer und stofflicher Nutzung**. Während die energetische Nutzung von Biomasse sofort CO₂ freisetzt und dennoch als „erneuerbar“ gilt, ermöglicht die stoffliche Nutzung eine langfristige Kohlenstoffbindung in Produkten und einen deutlich höheren Beitrag zur Kreislaufwirtschaft. Gleichzeitig fehlen im Chemiesektor die notwendigen Anreize, um biobasierte Rohstoffe wettbewerbsfähig bereitzustellen und Investitionen in Produktionsanlagen zu ermöglichen. Aus Chemiesicht ist diese regulatorische Schiefelage klimapolitisch kontraproduktiv. Um die stoffliche Nutzung von Biomasse zu stärken und die Bereitstellung treibhausgasarmen C zu erhöhen, braucht es klare, verlässliche und dauerhaft mandatierte Rahmenbedingungen wie z.B.

- stoffliche Einsatzquoten oder analoge Anreizsysteme nach dem Vorbild der THG-Quote
- eine kumulative Anrechnung stofflicher Biomassenutzung – etwa im Verpackungsbereich

²⁴ z.B. bei Bio-Naphtha über den Sustainable Aviation Fuels-Markt, oder bei Bio-Methanol über den Sustainable Maritime Fuel-Markt entsprechend den Nutzungsoptionen im „fossilen System“

²⁵ Ziel der Initiative Leitmärkte Bioökonomie des BMWF

- die Anerkennung von Massenbilanzsystemen, um biogene Kohlenstoffströme skalierfähig in großtechnischen Anlagen einsetzen zu können und
- regulatorische Systeme, die – ähnlich wie im Verkehrssektor – einen Business Case für Investoren schaffen und damit den Hochlauf biobasierter Rohstoffe ermöglichen.

Biomasse ist grundsätzlich eine verfügbare und etablierte Quelle treibhausgasarmen Kohlenstoffs. Damit sie jedoch ihr Potenzial als Rohstoff für die chemische Industrie entfalten kann, muss die Politik die stoffliche Nutzung gezielt stärken und regulatorisch gleichwertig zur energetischen Nutzung behandeln. Erst durch solche Instrumente entsteht ein Markt- und Investitionsumfeld, das die dauerhafte Bindung biogenen Kohlenstoffs in der Industrie ermöglicht und somit einen entscheidenden Beitrag zur Transformation leisten kann.

Gegenwärtige Nischenstellung der CCU-Verfahren und CCS

Für einen gangbaren Transformationspfad bleibt die Chemieindustrie auf eine sich über die Zeit ändernde Mischung aus fossilen, biogenen und kunststoffhaltigen Anteilen als Rohstoffbasis angewiesen. In dieser Übergangsphase soll kein Technologiepfad, wie z.B. die Abscheidung und Speicherung von produktionsbedingten CO₂-Emissionen (CCS),²⁶ ausgeschlossen werden, um die Transformation zu ermöglichen.²⁷ Vom Mengengerüst betrachtet erscheinen **CCS** und der **Einsatz von CCU-Technologien als unverzichtbare Defossilisierungsoptionen** zur Fixierung von CO₂ aus Prozessemissionen in der Chemieindustrie. Die Entwicklung von CCU-Verfahren zur C-Nutzung aus Punktquellen für Chemiegrundstoffe bei vollständiger Defossilierung ist aufgrund der Limitierung anderer Quellen von hoher Bedeutung; hemmend sind die zusätzlichen Energieverbräuche.

- CCS ließe sich **am schnellsten umsetzen** und erlaubt die notwendigen Emissionsreduktionen bereits in der nächsten Dekade.
- Die Entwicklung und der vollständige Einsatz von mengenmäßigem relevantem CCU wird noch einige Dekaden dauern. Besonders CCU-Prozesse beispielsweise zur Herstellung von Octan zeigen **hohe Energieverluste und sind im großtechnischen Maßstab derzeit nicht wettbewerbsfähig**. Die Nutzung von CO₂ gilt es in der Technologieentwicklung weiter zu optimieren. Dabei müssen die weiteren Prozeßstufen aufgrund der erheblichen Verringerung der Umwandlungsverluste auf die Molekülplattform CO ausgerichtet werden.²⁸
- CCU bedarf der politischen **Anerkennung sowie förderlicher Rahmenbedingungen** für den Einsatz in der Chemieindustrie v.a. im Hinblick auf wettbewerbsfähige Kosten für die

²⁶ s.a. [Systemiq report - Planet Positive Chemicals](#): The non-ammonia chemicals system can become carbon negative from 2043 and sequester ~0.5 Gt p.a. by 2050

²⁷ Die vielfach diskutierte Methanisierung ist eine „schnelle Option“, hat naturgemäß auf Grund von hohen Wassergehalten eine geringe C-Ausbeute von ca. 8-10% bezogen auf Masseninput für typische „echte“ Abfälle und erreicht beim Energiemais als „optimalen“ Einsatzstoff eine C-Ausbeute von 32% Methan. Die Biomethan-Nutzung ist somit z.B. für die Harnstoff-Synthese und damit verbundene stoffliche Nutzung des Methan-C eine attraktive Option. Für andere Großverbraucher erscheint sie eher unzureichend für eine umfängliche chemische Transformation. Anzustreben ist die Entwicklung von Vergasungsverfahren mit einer C-Ausbeute von 60-70% oder die Nutzung von Cover Crops und Agroforestry (Advanced Agronomy) zur Bereitstellung von Ölen und Zuckern für neue Wertschöpfungsketten bzw. Agro-Reststoffen für Basis-Chemikalien über Synthesegas.

²⁸ Umgehung der „Redoxschaukel“ CO/CO₂ (Gleichgewichtsreaktion/ Wassergas-Shift-Reaktion)

notwendigen großen H₂-Mengen. Es bedarf der Anerkennung, Anrechnung und Kennzeichnung des Einsatzes von erneuerbarem C in Produkten und die Entwicklung von (Leit-) Märkten. Wichtiger als die Förderung der erneuerbaren Produktion ist die Schaffung eines nachhaltig funktionierenden Marktes, der diese Produkte anfragt und aufnimmt (Market Pull).

Die **Abtrennung und Nutzung von CO₂** ist eine Schlüsseltechnologie für die industrielle Transformation in Richtung Klimaneutralität.

- Als mögliche Abscheidetechnologien kommen Gas-Feststoff-Reaktionen, Adsorptionsverfahren, physikalische und chemische Absorptionsverfahren, Membranverfahren, kryogene Verfahren, der Einsatz der Oxyfuel-Technologie zur Erhöhung der CO₂-Konzentration im Abgas, die Nutzung von Mikroalgen zur Fixierung von CO₂ sowie die Abtrennung von CO₂ aus der Luft (Direct Air Capture/DAC) infrage.
- Mögliche CCU-basierte Produkte sind Ameisensäure, Butanol und Hexanol, organische und anorganische Carbonate, Ethylen, Formaldehyd, Harnstoff, Methanol, Polyurethan, Salicylsäure, Synthesegas sowie Dimethylcarbonat.

Handlungsempfehlungen

Forschungspolitische Handlungsempfehlungen

- **Recyclingtechnologien und -strukturen für kunststoffhaltige Abfallströme**
 - » Potenzialanalyse von Recyclingverfahren und Definition des Forschungsbedarfs zur Weiterentwicklung der Verfahrensoptionen aus industrieller Sicht.²⁹
 - » Definition der notwendigen regulatorischen Rahmenbedingungen für den Ausbau von Recyclingverfahren.
 - » Etablierung von Netzwerken und Plattformen, z. B. Einrichtung einer europäischen/internationalen Austauschplattform für C-Kreislauftechnologien.
 - » Vorantreiben (Pilotieren und Skalieren) von physikalischen und chemischen Recyclingverfahren als Ergänzung zum mechanischen Recycling insbesondere für Wertstoffströme, die dort nicht technisch, ökologisch und ökonomisch sinnvoll verarbeitet werden können.
 - » Neuer Technologiefokus auf skalierbare Anlagen zur Verarbeitung idealerweise von vermischten kohlenstoffhaltigen Abfallfraktionen, die alle Chemiewerkstoffe umfassen (Misch-Kunststoff-Fraktionen) im Pilot- & Demo-Maßstab inkl. umfassender LCA-Betrachtung und Bewertung der Abfallnetzwerke
 - » Hohe Recyclingquoten können durch Optimierung des Entsorgungsmanagement in Kombination mit effizientem Produktdesign erreicht werden. Für die eigentliche Verwertung ist es essentiell, dass mechanische, physikalische und chemische Recyclingverfahren im Kontext der Abfallerfassung und dessen Aufbereitung ergänzend bzw. synergistisch entwickelt und ausgebaut werden. Dabei müssen Technologiereife und Kosten über alle Entwicklungsschritte weiterentwickelt werden.
 - » Fortschrittliche Aufbereitungsverfahren für Abfallströme als Voraussetzung für die jeweiligen Recyclingverfahren. Je nach Verfahren bestehen für die nachfolgende Verwertung Optimierungsmöglichkeiten. Mechanische, physikalische und chemische Recyclingverfahren sollten in Abhängigkeit von den Abfallqualitäten idealerweise, aber nicht per se, in Kaskaden angewendet werden, um die Kohlenstoff-Nutzung zu maximieren, problematische Substanzen auszuschleusen und zu vernichten und Kosten sowie Energiebedarfe zu minimieren.
 - » Etablierung systemischer Ansätze zur optimalen Kreislaufführung in solchen Recycling-Kaskaden, sowie gemeinsame Verwertung von Sortierresten mit biogenen Abfällen, bspw. in Verfahren wie der Gasifizierung.
 - » Bereitstellung von kompatiblen, an die jeweilige Skalierfähigkeit der Rohstoffe angepasste Technologien zur weiteren Aufarbeitung und Produktion in der Chemieindustrie.
 - » Ergänzende Berücksichtigung der Normung zur Etablierung harmonisierter Standards.

²⁹ Zur Einführung und Priorisierung über Energie- und Kohlenstoffeffizienz s. [Nachrichten aus der Chemie, September 2025](#), S. 42-47, [PDF](#)

» **Nutzung von Biomasse**

- » Alle nachhaltig produzierten biogenen Rohstoffe sollten optimal genutzt werden (Kaskaden- oder Verbundnutzung), wobei die lokalen und regionalen Besonderheiten, die Möglichkeit zur Integration in industrielle Prozesse und die Produkt- sowie die Kundenanforderungen zu berücksichtigen sind.
- » Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von biogenen Rohstoffen (auch unter Berücksichtigung von Entwaldungs- und Nahrungsmittelversorgungsrisiken) sollten sowohl die Förderung als auch die Anforderung der Verbrennung von diesen Rohstoffen überdacht werden (s.a. EU Bioeconomy Strategy). Es ist zu diskutieren, ob für chemische Produkte, analog zu Kraftstoffen, ein Leitmarkt für Produkte auf der Basis von recyceltem und von biogenem Kohlenstoff geschaffen werden kann, um den Unternehmen eine Planbarkeit für Investitionen zu ermöglichen.
- » Unabhängige externe Zertifizierungen werden genutzt, um die Nachhaltigkeit der Rohstoffbereitstellung zu belegen.³⁰
- » Im Sinne der Transparenz und gleicher Wettbewerbsbedingungen sind klar definierte Nachhaltigkeitskriterien für Biomasse unabhängig von ihrer Endverwendung (Nahrungs- und Futtermittel, Brennstoffe, Fasern, Chemikalien) notwendig.
- » Förderung von Forschung und Anerkennung von innovativen Technologien zur Züchtung für den Anbau und die Verarbeitung von Biomasse.
- » Verbesserung der Sammlung organischer Abfälle und land- und forstwirtschaftlicher Reststoffe, z. B. in der kommunalen Abfallsammlung.
- » Anerkennung des Umweltnutzens nachwachsender Rohstoffe in Berechnungsmethoden von Umweltfußabdrücken.

» **Wasserstoff und Energie**

- » Adressieren der Wasserstofflücke für sekundäre, alternative oder biogene Rohstoffe durch Bereitstellung ausreichender, wettbewerbsfähiger Mengen an klimaneutralem Wasserstoff: Dies dient dazu, das H/C-Verhältnis wie benötigt einzustellen oder entsprechende Aufreinigungsschritte für die Integration in existierende Anlagen zu erreichen.
- » Fokussierung auf das Forschungsfeld CO-Nutzung sicherstellen: z.B. Ethylen aus CO als Molekülplattform über elektrochemische Reduktion; insbesondere Skalierung in TRL > 3; Anbindung an die Elektrochemie; Förderung der Erzeugung von Synthesegas aus Abfallströmen
- » Förderung und Unterstützung der Effizienzsteigerung der Umsetzung und der Nutzung stofflichen Energieträger (MeOH/NH₃-Routen) mit den Stichworten Methanol-to-Olefins (MtO)/ Methanol-to-Aromatics (MtA) über verschiedene TRL-Stufen und Wertschöpfungsketten.

³⁰ Bioeconomy Position: Certification systems, such as verification of compliance measures, should not be introduced horizontally. The cost for comprehensive sustainability coverage of international and EU certification schemes and labels for bio-derived systems should be subsidized.

» Carbon Management, CCU/CCS-Technologien

- » Hinsichtlich der Förderung von CCU-CCS-Projekten ist auf die technologischen Optionen zur Abscheidung, Reinigung und Speicherung von CO₂ aus industriellen Prozessen sowie daran anschließend auf die Nutzung von CO₂ über Reduktion zu Methanol oder Methan und über Synthesegas unter Anschluss an bestehende Syntheserouten in der chemischen Industrie zu fokussieren. In der Projektauswahl sollte dem Kriterium CO₂-Vermeidungspotential (auch THG-Vermeidungskosten) und dem Demonstrationscharakter des Projekts Vorrang gegeben werden. Grundsätzlich ist eine Technologieoffenheit unbedingte Voraussetzung für die Gestaltung des Förderprogramms.
- » Die Langfristigkeit der Projekte in Forschungsprogrammen ist sicherzustellen: begleitende finanzielle Rahmenbedingungen sind langfristig auszurichten, ggf. Förderungsmöglichkeiten für Abschreibungen über den Förderzeitraum hinaus vorzusehen.
- » Eine adäquate Projektgröße ist eine Grundvoraussetzung. Besonders im Binnenland sind die CCU/CCS-Projekte sehr komplex und erfordern mehrere große Projekte. Die CO₂-Infrastruktur wird nur durch die Menge wirtschaftlich, die ein einzelnes Capture-Projekt nicht erbringen kann. Die Förderung großer Projekte muss entsprechend in den Förderbudgets der Programme berücksichtigt werden.
- » Vor dem Hintergrund der zu erwartenden langen Entwicklungszeiten sind lange Projektlaufzeiten nötig. In der Forschungsprogrammgestaltung ist die Langfristigkeit der Projekte zu berücksichtigen: So sind neben einer Forschungsförderung begleitende finanzielle Rahmenbedingungen langfristig vorzusehen, wie beispielsweise Förderungsmöglichkeiten für Abschreibungen über den Förderzeitraum hinaus.
- » Der Fokus ist auf Auslegung, Prozessintegration und Demonstration von CCU/CCS-Projekten in spezifischen Anwendungsfällen sowie die Optimierung von CO₂-Abscheidungsprozessen sowie den nachfolgenden Aufarbeitungsschritten zu legen. Es wird dabei eine Förderung über alle Entwicklungsphasen benötigt. Eine Förderung sollte die Umsetzung der TRL 6-7 aber auch TRL 8-9 in einer möglichen Anschlussförderung berücksichtigen.
- » Eine Orientierung der Förderquoten an Fördersätzen der Grundlagenforschung wird empfohlen: Diese sollten angesichts der hohen Investitionen und des hohen Investitionsrisikos für Industrieunternehmen idealerweise nicht unter 50 % sinken. Dazu Einrichtung eines 40 %gen Capex-Zuschusses und einer Opex-Förderung insbesondere für Demonstrationsprojekte (TRL>7-8).
- » Bei der Förderung von CCU und der damit verbundenen Wasserstoff-Technologien muss stark auf eine bürokratiearme Umsetzung geachtet werden (Benchmark ist der US Inflation Reduction Act/IRA); hier muss der Industrie eine hohe Nutzungsvervariabilität eingeräumt werden.
- » Eine Verkürzung der langfristigen Genehmigungsverfahren ist notwendig: Ressortübergreifende Unterstützung der Projektkonsortien im Genehmigungsverfahren für eine adäquate Industriebeteiligung; bereits im Vorfeld sind den Projektbeteiligten die

erforderlichen Abstimmungsschritte und die notwendigen Genehmigungsvoraussetzungen aufzuzeigen.

- » Die Rahmenbedingungen für die Carbon Capture and Utilization, Direct Air Capture and Utilization sowie das biotechnologische Kohlenstoff-Recycling (Bsp. Förderprogramm [CCUBIO](#)) sind zu optimieren.

» **Entwicklungsziele angrenzender Technologien**

Zu berücksichtigen für die technologische Weiterentwicklung der genannten Technologien sind auch angrenzende chemische Technologien, die hier ohne Anspruch auf Vollständigkeit Erwähnung finden sollen:

- » Weiterentwicklung von Technologien zur Methanisierung (chemisch-katalytisch) von der Grundlagenforschung bis nahezu Marktreife insbesondere hinsichtlich des intermittierenden Betriebs und der Wärmekontrolle.
- » Stärkere Betonung des Forschungsfelds Power-to-Liquids und Power-to-Chemicals insbesondere auf dem Gebiet der Katalysatoren in Kombination mit dazugehörigen chemischen Prozessen (Prozesseffizienz, Prozessverständnis, Anlagen-Set-up) und Materialien/Trägermaterialien
- » Stärkung der Forschung zur Fischer-Tropsch-Synthese und zur Methanol- bzw. Ammoniaksynthese.

Allgemeine regulatorische Rahmenbedingungen

- » Notwendig ist die Möglichkeit zur praxismgerechten **Einrichtung von Reallaboren**.³¹
 - » Praxisgerechte Formulierung von Experimentierklauseln
 - » Berücksichtigung der Anforderungen hinsichtlich Förderung, Projektgestaltung, Möglichkeit zur Anpassung regulatoriver Rahmenbedingungen ex ante bzw. in der Projektphase.
- » **Unterstützung beim Transfer** (Skalierung) von vielversprechenden Technologien in die Kommerzialisierung durch Förderung von Projekten mit höheren Technologiereifegraden (z. B. Demonstrationsanlagen).
 - » Etablierung von Demonstrationsanlagen zum Aufbau der Schnittstellenkompetenzen über die verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette über die Branchengrenzen hinweg, um eine ganzheitliche Bewertung und Entscheidungsfindung zu ermöglichen, ggf. unter weitgehender Nutzung vorhandener Technologien und Know-hows.
- » Wichtig für den Aufbau zentraler Verfahren zum C-Recycling ist die kosteneffiziente **logistische Einbindung der Ver- und Entsorgung in einen Chemiestandort** und die gemeinsame Nutzung von vorhandenen oder aufzubauenden (Forschungs-)Infrastrukturen.
 - » Analyse der optimalen Integration von C-Recyclinganlagen in der Wertschöpfungskette. Hier gibt es Unterschiede in Bezug auf Rohstoffquellen, Abfallarten und auf das jeweilige C-Recyclingverfahren.

³¹ s.a. [Das Konzept von Reallaboren verbessern | VCI](#); [BMWK legt Entwurf für Reallabore-Gesetz vor | VCI](#)

- » Analyse der Abhängigkeiten und Verfügbarkeiten marktfähigen erneuerbaren Stroms sowie C aus alternativen Quellen.
- » **Regulatorik:** Es sind systemische, politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, um Biomasse, unterschiedliche C-Recyclingverfahren oder CCU nutzen zu können. Dazu zählen Rahmenbedingungen
 - » Für Energiespeicher und die CCS-Infrastruktur
 - » Kostenrahmen für „added costs“ für die Nutzung erneuerbarer, sekundärer und alternativer Rohstoffe
 - » Kennzeichnung von erneuerbarem Kohlenstoff,³² Beförderung des technologieoffenen Recyclings, ergänzend zu mechanischen Verfahren auch physikalische und chemische Technologien, durch einen unterstützenden regulatorischen Rahmen, damit die erforderlichen Kapazitäten rechtzeitig aufgebaut werden können, um kommende Vorgaben – etwa aus PPWR, ELV-Richtlinie oder SUPD – zuverlässig erfüllen zu können.
 - » Rahmenbedingungen zur graduellen Bedarfssteigerung zur Nutzung alternativer Kohlenstoffquellen: Regulatorische Anerkennung flexibler Massenbilanzsysteme, um den Markteinstieg nachhaltiger Rohstoffpfade zu erleichtern. Einbezug der Massenbilanzierung in LCA- und Umweltfußabdruckmethoden (z. B. PEF), damit biogene und recycelte Kohlenstoffquellen konsistent bewertet werden;
 - » gezielte Anreize für Design-for-Recycling und Rezyklateinsatz auf Produktebene schaffen.
 - » Etablierung einer adäquaten Abfallmanagement-Infrastruktur, Abfallverbringung, eine harmonisierte Normung auf EU-Ebene
 - » Anpassung der Vorschriften zum CO₂-Transport
 - » National wurde mit der Novelle des KSpTG ein wichtiger erster Schritt geschaffen, der erstmals einen klaren Rechtsrahmen für CO₂-Transport und Infrastruktur etabliert. Nun muss die EU mit einem harmonisierten CO₂-Transportnetz nachziehen, um die Voraussetzungen für grenzüberschreitende Infrastruktur und europaweite CCU/CCS-Projekte zu schaffen.

³² vgl. hierzu auch Nova-Institut; renewable carbon: <https://renewable-carbon.eu/>

Ihre Ansprechpartner

Dr. Martin Reuter / VCI

Nationale Forschungs- & Technologiepolitik

T +49 (69) 2556- 1584 | E reuter@vci.de

Dr. Wadim Weber / VCI

Rohstoffe, Zirkuläre Wirtschaft

T +49 (69) 2556- 1424 | E weber@vci.de

Dr. Ingo Sartorius / BKV

Geschäftsführer

T +49 (69) 2556 1924 | E ingo.sartorius@bkv-gmbh.de

Dr. Aliaksandra Shuliakovich / PED

Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft

T +49 151 53716760 | E a.shuliakovich@plasticseurope.de

Dr. Florian Ausfelder / DECHEMA

Fachbereich Energie & Klima

T +49 (69) 7564-221 | E florian.ausfelder@dechema.de

Dr. Alexis Bazzanella / DECHEMA

Fachbereich Chemie

T +49 (69) 7564-343 | E alexis.bazzanella@dechema.de

Dr. Sebastian Hiesl / DECHEMA

Fachbereich Biotechnologie

T +49 (69) 7564-301 | E sebastian.hiesl@dechema.de

Katja Wendler / DECHEMA

Fachbereich Rohstoffe

T +49 (69) 7564-425 | E katja.wendler@dechema.de

Zum VCI:

- › Registernummer des EU-Transparenzregisters: 15423437054-40
- › Der VCI ist unter der Registernummer R000476 im Lobbyregister, für die Interessenvertretung gegenüber dem Deutschen Bundestag und gegenüber der Bundesregierung, registriert.

Der VCI repräsentiert mit seinen 22 Fach- und 7 Landesverbänden die Interessen von rund 2.000 Unternehmen aus der chemisch-pharmazeutischen Industrie und chemienaher Wirtschaftszweige gegenüber Politik, Behörden, anderen Bereichen der Wirtschaft, der Wissenschaft und den Medien. Die Mitgliedsunternehmen des VCI setzten zuletzt rund 230 Milliarden Euro um und beschäftigten rund 545.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.