

Layman-Summary zum Hintergrundpapier DECHEMA/ PED/ VCI

TECHNOLOGIEENTWICKLUNG FÜR DIE NACHHALTIGE DECKUNG DES INDUSTRIELLEN KOHLENSTOFFBEDARFS IN DER CHEMIEINDUSTRIE

1. Problemstellung, Zielsetzung und Wegbeschreibung

Notwendigkeit einer übergreifenden Technologie-Entwicklungsstrategie für erneuerbaren Kohlenstoff

Die Chemieindustrie muss klimaneutral werden und dafür ihre **Kohlenstoffbasis schrittweise** von fossilen **auf erneuerbare Quellen** umstellen – dies sind Biomasse, kohlenstoffhaltige Abfälle wie v. a. Kunststoffe und Kohlendioxid (CO₂). Dafür fehlt bislang eine **gemeinsame, übergreifende Entwicklungsstrategie**, die Politik, Verwaltung, Industrie, Wissenschaft und Gesellschaft als Kompass nutzen. Dabei ist ein **technologieoffener Ansatz** wichtig, der Wege, Kosten, Skalierung und Anschluss an bestehende Wertschöpfung berücksichtigt und mit nationalen und europäischen Strategien z. B. die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS), der Carbon-Management-Strategie (CMS) oder dem Circular Economy Act verzahnt ist. Besondere Priorität hat die Reduktion indirekter THG-Emissionen, da sie den größten Anteil entlang der Produktketten ausmachen.

Grundlagen einer strategischen Technologieentwicklung

Eine tragfähige Strategie braucht eine **ganzheitliche Sicht**: belastbare Massen- und Energiebilanzen, Abgleich von Abfall- und Stoffströmen mit dem industriellen Rohstoffbedarf sowie eine Systemoptimierung nach Energie-, Kohlenstoff(C)-Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Die Rahmenbedingungen sind technisch, d.h. die Technologiereife und -skalierung, politisch und regulatorisch wie z. B. Regelungen zum Abfallende, zur Massenbilanz und wirtschaftlich mit Fragen zu Investitionen und Betriebskosten. Entscheidungen hängen stark von der Herkunft des Kohlenstoffs ab, denn je „ferner“ der Rohstoff von klassischen Kohlenwasserstoffen ist, desto höher sind die Energie- und Wasserstoffbedarfe für dessen technische Aufbereitung. Daraus folgt eine **Priorisierung**: Kunststoffabfälle und geeignete Biomasse sollten – wo möglich – vor Technologien zur C-Nutzung aus Punktquellen (Carbon Capture and Utilisation-Technologies/CCU) genutzt werden. Um den C-Bedarf zu decken, werden aber *alle* Quellen benötigt.

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

Die Chemie bindet heute große Kohlenstoffmengen in Grundchemikalien wie z. B. Olefine, Aromaten und Kunststoffen; künftig braucht es **nicht-fossile Quellen** in relevanten Dimensionen. Dabei zeichnen sich drei Hauptpfade ab: **(1) Kunststoff-Recycling** (durch mechanische, physikalische, chemische Technologien), **(2) Biomasse-Nutzung** (biotechnologisch, thermochemisch, physikalisch-chemisch) und **(3) CCU**, jeweils mit unterschiedlichen Energie-/Wasserstoff (H₂)-Bedarfen, Reifegraden und Kosten.

Rohstoffbasis für die Kunststoff-Marktversorgung

Rezyklate aus Post-Consumer- und Post-Industrial-Abfällen können einen Teil des zukünftig benötigten Kohlenstoffs liefern. Dafür müssen Sammel-, Sortier- und Aufbereitungsprozesse deutlich ausgebaut und mit mechanischen sowie chemischen Recyclingverfahren intelligent kombiniert werden. Darüber hinaus müssen die aus dem Recycling hergestellten Rezyklate die für den Markt erforderlichen Material- und Produktqualitäten in den jeweiligen Anwendungsfeldern erfüllen. Engpässe entstehen durch begrenzte Nutzbarkeit der Mischabfälle und die Konkurrenz um Rezyklate z.B. aus Verpackungen, Bau, Automobil etc. Ziel ist ein geschlossener C-Kreislauf für große Abfallmengen inklusive der Nutzung realer Abfallmischfraktionen.

Rohstoffbasis für biogene Rohstoffe

Biomasse wie z. B. Reststoffe, Fette, Zucker, Lignocellulose kann klimafreundlichen Kohlenstoff liefern, ist aber nur begrenzt verfügbar und oft teuer. Zudem konkurriert sie mit der energetischen, heute politisch stärker angereizten Nutzung für z.B. Kraftstoffe und Wärme. Für die stoffliche Nutzung braucht es klare Anreize z. B. Quoten und die Anerkennung von Massenbilanzen, weil sie Kohlenstoff länger bindet und damit Kreisläufe stärkt; Fragen der Logistik und die Beachtung von Nachhaltigkeitskriterien sind dabei mitzudenken.

Rohstoffbasis für CCU-Technologien

Die **CO₂-Nutzung** bleibt wichtig, da Biomasse und Abfälle nicht ausreichen werden, um den industriellen C-Bedarf zu sichern. CCU im industriellen Großmaßstab ist jedoch energie- und wasserstoffintensiv und benötigt entsprechende CO₂-, H₂- und Strom-Infrastrukturen. Vorrangig nutzbar sind konzentrierte CO₂-Quellen wie z. B. Zement, Kalk und biogene CO₂-Ströme; Direct Air Capture (DAC) schließt Lücken, ist aber stromintensiv. Elektrochemische oder biotechnologische CCU-Technologien für kleinere CO₂-Mengen, die in Teilen auch ohne H₂ auskommen, können bei passenden Regeln einen früheren Markteintritt ermöglichen.

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

Technologieoffene Ausschöpfung der Recyclingverfahren

Für **große nicht-fossile C-Mengen** braucht es die **gesamte Recycling-Palette**: mechanische, physikalische und chemische – wie z.B. Depolymerisation, Pyrolyse, Gasifizierung – Technologien sowie die Wiederverwendung z.B. über Rücknahmen und Reuse von Paletten, Agrarverpackungen etc. Viele Verfahren sind technisch erprobt, aber noch nicht durchgängig industriell skaliert oder kosteneffizient – insbesondere für Mischabfälle. Design-for-Recycling wie z. B. debond-on-demand muss für eine optimierte Kreislaufführung vorangetrieben werden.

Hochskalierung von Technologien

Entscheidend sind **Pilot- und Demo-Anlagen** auf dem Technical Readiness Level (TRL) 5-8 – bis zum industriellen Maßstab (TRL 9) – und die **Integration** in bestehende **Wertschöpfung** z. B. über Pyrolyse-Öle als Naphtha-Ersatz in der Chemieproduktion. Für reale Mischabfälle fehlen robuste, großskalige Lösungen; Technologien zur Gasifizierung müssen an

Abfallqualitäten angepasst werden. Parallel ist die Fertigungstiefe dieser grundlegenden chemischen Technologien zu erhöhen, um Souveränität zu sichern. Rechtssichere, planbare Rahmenbedingungen senken Investitionsrisiken.

Nutzung von blauem und grauem Wasserstoff als Brücke

Kurz- bis mittelfristig ist **grüner Wasserstoff knapp und teuer**. Für den Anfahrbetrieb neuer C-Routen wie z. B. Synthesegas aus Abfällen oder Biomasse kann blauer und grauer H₂ helfen, die Infrastrukturen und Anlagen umzurüsten und weiterzuentwickeln – mit klarer Perspektive auf grünen H₂, sobald dieser verfügbar und dessen Nutzung wettbewerbsfähig ist. Allein die Unternehmen müssen bewerten, wo H₂ oder Direktelektrifizierung effizienter ist. Standort-Kooperationen sind wichtig, da Energie-, Rohstoff- und Produktionssysteme eng gekoppelt sind.

Langfristige und nachhaltige Verfügbarkeit

Märkte für Naphtha, Gas, Methanol, Ethanol sind global – das wird künftig auch für **Bio- und „rezyklierte Kohlenstoffe“** gelten. Kunststoff-Abfälle fallen lokal an, werden aber überregional verwertet; entsprechend braucht es Logistik und standortübergreifende Lösungen. Internationale Partnerschaften sichern den Zugang zu Biomasse-Rohstoffen.

Fehlende Anreizinstrumente für biogenen Kohlenstoff

Heute wird die Nutzung von Biomasse politisch stärker in Richtung energetischer Nutzung gelenkt (RED III, THG-Quote, ReFuelEU Aviation, E10/B7). Für die **stoffliche Nutzung** fehlen trotz vergleichsweise langer CO₂-Bindung vergleichbare Instrumente. In Diskussion sind die Forderungen u. a. zu stofflichen Einsatzquoten, kumulative Anrechnung z. B. in Verpackungen und Anerkennung von Massenbilanzsystemen, damit Investitionen in Großanlagen entstehen.

Gegenwärtige Nischenstellung von CCU und Rolle von CCS

Kohlendioxid-Speicherung (CCS) kann kurzfristig große CO₂-Mengen speichern und schafft Zeit, bis die für Grundchemikalien energie-/H₂-intensiven CCU-Technologien mengenrelevant und wirtschaftlich sind. Priorität haben Energieeffizienz (z. B. Fokus auf Kohlemonoxid(CO) als Plattform) und Marktanreize (Anerkennung, Kennzeichnung, Market-Pull). CCU/CCS braucht planbare Regeln, schnelle Genehmigungen und Infrastruktur wie CO₂-Transport, -Speicher und -Netze.

Handlungsempfehlungen

Forschungspolitische Empfehlungen

- **Recycling: Netzwerke/Plattformen** aufbauen; **technologieoffen** wie z.B. die Kombination mechanisch & chemisch **fördern**; **skalierbare Anlagen** für **Mischabfälle** im **Pilot-/Demo-Maßstab** inkl. Life Cycle Assessment (LCA) vorantreiben; **Aufbereitungstechnik** verbessern; **Kaskaden** optimieren; **Normung** gestalten.
- **Biomasse: Nachhaltigkeitskriterien** einheitlich definieren; **stoffliche Leitmärkte/Quoten** prüfen; Züchtung & Verarbeitung fördern; Sammlung organischer Reststoffe verbessern; Zertifizierung vereinfachen.

- › **Energie/H₂**: H₂-Lücken für **alternative C-Routen** adressieren; **CO-basierte Plattformchemie** (elektrochemisch) und **Recyclingtechnologien** von Kunststoffabfällen skalieren; Methanol-/Ammoniak-Routen effizienter machen.
- › **CCU/CCS: Technologieoffene Programme** mit Fokus auf Abscheidung, Aufbereitung, Integration; lange Laufzeiten, ausreichende **Fördersätze und große Projektgrößen** ermöglichen; bürokratiearme Abwicklung und **schnelle Genehmigungen** sicherstellen.

Allgemeine regulatorische Rahmenbedingungen

- › **Reallabore** ermöglichen und **Transfer (Skalierung)** in die Kommerzialisierung (TRL 6–9) fördern.
- › **Logistik & Standortintegration** kosteneffizient gestalten (Schaffung von Schnittstellen und gemeinsamer Infrastruktur).
- › **Kennzeichnung von erneuerbarem Kohlenstoff** und flexible Massenbilanzsysteme rechtssicher verankern; Abfallende harmonisieren; CO₂-Transportregeln anpassen; EU-weit ein CO₂-Netz koordinieren.

Fazit

Die **defossilisierte Kohlenstoffversorgung** der Chemie braucht **alle drei Quellen – Kunststoff-Abfälle, Biomasse und CO₂ – technologieoffen, systemisch optimiert und wirtschaftlich tragfähig**. Kurzfristig sind Kunststoffrecycling und Biomasse die energie- und H₂-sparenden Hebel; CCS senkt Emissionen schnell; CCU wird mit wachsender Effizienz und verlässlichen Markt- und Regulierungsanreizen zunehmend wichtig. Entscheidend sind Skalierung, Infrastruktur, Planungssicherheit sowie Märkte und Politik, die einen Market-Pull schaffen.

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. Aliaksandra Shuliakevich / PED

Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft
T +49 151 53716760 | E a.shuliakevich@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 Hiessl / DECHEMA

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

Katja Wendler / DECHEMA

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