



Dossier

Gezielte Nutzung von Biomasse für eine klimaneutrale und wettbewerbsstarke Industrie

Impressum

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin

Tel: +49 30 66 777-0

Fax: +49 30 66 777-699

E-Mail: info@dena.de

Internet: www.dena.de

Autorinnen und Autoren der dena:

Martin Albicker

Leon Flöer

Christin Schmidt

Tibor Siering

Redaktion:

Oliver Jorzik, dena

Konzeption & Gestaltung:

The Ad Store GmbH

Bildnachweis:

Foto: shutterstock/EvijaF

Stand:

07/2025

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2025)
„Gezielte Nutzung von Biomasse für eine klima-
neutrale und wettbewerbsstarke Industrie“

Inhalt

Impressum	2
Zusammenfassung	4
1 Einleitung	5
1.1 Einsatz von Biomasse in der Industrie	6
1.1.1 Stofflicher Einsatz	7
1.1.2 Energetischer Einsatz	9
1.1.3 CO ₂ -Abscheidung und CO ₂ -Entnahme	9
1.2 Effizienz des Einsatzes von Biomasse in der Industrie	10
1.3 Forschungsszenarien – zukünftige Entwicklung des energetischen Einsatzes von Biomasse	11
2 Nationale und europäische Anreizsysteme zum Einsatz von Biomasse in der Industrie	13
2.1 Europäische Regulatorik	13
2.2 Förderprogramme in Deutschland: EEW, BIK und KSV	14
2.3 Anreize für Negativemissionen und Kreislaufführung	14
3 Handlungsfelder	16
Literaturverzeichnis	18

Zusammenfassung

Der Einsatz von Biomasse in der Industrie weist im Zielbild der Transformation die höchste systemische Effizienz auf.

Bislang wird energetisch genutzte Biomasse vor allem für Gebäudeheizungen, zur Verstromung und als Kraftstoff im Straßenverkehr eingesetzt. Aufgrund begrenzter nachhaltiger Produktionspotenziale sollte sie dort eingesetzt werden, wo sie den höchsten systemischen Nutzen entfaltet und wo eine Umsetzung des Prinzips der Kaskadennutzung möglich ist. Im Zielbild eines klimaneutralen Energie- und Wirtschaftssystems sind dies insbesondere schwer elektrifizierbare Anwendungen wie die stoffliche Nutzung in der Industrie. In Strom- und Wärmeanwendungen kann Biomasse zudem als speicherbarer Energieträger helfen, Spitzenlasten systemdienlich zu decken. Bei manchen dieser Anwendungen besteht jedoch noch Forschungsbedarf.

Biomasse wird in Zukunft ein essenzieller Baustein zur Deckung des industriellen Kohlenstoffbedarfs sein.

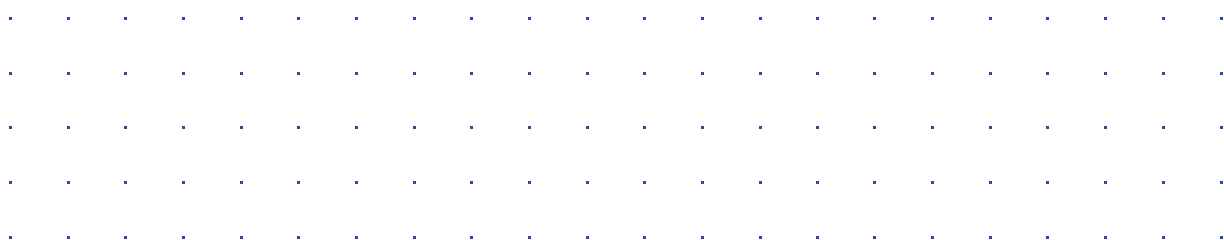
Viele Schlüsselbranchen werden auch langfristig Kohlenstoff benötigen, dazu gehören die Chemieindustrie, die Stahlindustrie sowie die Aluminiumherstellung. Daher reichen grüner Strom und Wasserstoff nicht für die vollständige Defossilisierung aus. Biomasse kann hier einen wichtigen Beitrag leisten. Ihr Potenzial ist jedoch mengenmäßig begrenzt, sodass die Energie- und Ressourceneffizienz sowie der Einsatz anderer erneuerbarer Energien weiterhin eine zentrale Rolle spielen werden.

Der Einsatz von Biomasse in bestimmten Industrien kann Kohlenstoff langfristig speichern oder in der Nutzung halten.

Bei geeigneten Anlagen lässt sich die Prozesswärmegewinnung mit der Abscheidung von biogenem CO₂ kombinieren. Besondere Synergien eröffnen sich in Industrien mit prozessbedingten Emissionen wie der Zement- oder Kalkherstellung, wo CO₂-Abscheideanlagen ohnehin erforderlich sind. Das abgeschiedene CO₂ kann dauerhaft gespeichert (Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS) oder über die Herstellung kohlenstoffbasierter Produkte im Kreislauf geführt werden.

Gezielte politische Maßnahmen sind nötig, um Biomasse sektorübergreifend effizienter einzusetzen.

Derzeit stehen einer effizienteren Nutzung von Biomasse sowohl sektorale Einzelinstrumente als auch bestehende Kostenvorteile fossiler Rohstoffe im Wege. Um diese strukturellen Hemmnisse zu überwinden, sollte eine Roadmap entwickelt werden, die Anreizsysteme zu einem gesamtheitlichen Rahmen zusammenführt. Ziel ist es, die begrenzt verfügbare Biomasse bevorzugt in besonders effiziente Anwendungen zu lenken – dort, wo sie fossile Energieträger und Rohstoffe ersetzen und zugleich die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie stärken kann.



1 Einleitung

Die Nutzung von Biomasse ist seit Jahren Gegenstand intensiver Debatten – sei es aus Sicht der Klima- und Umweltpolitik, der Flächennutzung oder der Energieversorgung. Angesichts konkurrierender Nutzungsoptionen für begrenzt verfügbare Biomasse stellt sich die Frage nach ihrer optimalen Verwendung. Mit dem Entwurf der Nationalen Biomassestrategie (NABIS) hat die letzte Bundesregierung einen systemischen Ansatz zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse angestrebt, jedoch wurde dieser Prozess nicht zu Ende geführt. Gleichzeitig gibt es noch ungenutzte Potenziale, Biomasse effizienter und zielgerichteter in der Industrie zu nutzen. Hier will dieses Dossier ansetzen: Es untersucht entlang der Kaskadennutzung zentrale stoffliche und energetische Einsatzmöglichkeiten von Biomasse in der Industrie, bewertet ihre Effizienz sowie den bestehenden regulatorischen Rahmen und leitet daraus konkrete Handlungsoptionen für eine zukunftsfähige Nutzung ab.

Im Jahr 2022 wurden in Deutschland etwa 10,4 Prozent des Endenergieverbrauchs durch die energetische Nutzung von Biomasse gedeckt, was einer Gesamtmenge von 253 TWh entspricht (siehe Abbildung 1). Dadurch konnten im Vergleich zu fossilen Energieträgern rund 74 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente eingespart werden [1].

Die Potenziale an Primär-Biomasse zum energetischen und stofflichen Einsatz sind weitgehend ausgeschöpft, da ihre Verfügbarkeit sowohl national als auch international durch Flächenkonkurrenzen, ökologische Zielkonflikte und Anforderungen an die Nachhaltigkeit begrenzt ist. Generell gilt der Einsatz von biogenen Rest- und Abfallstoffen als die nachhaltigste Form der Nutzung [2, 3]. Aktuell wird davon ausgegangen, dass in diesem Bereich noch zusätzliche Potenziale erschlossen werden können, wobei die tatsächlich mobilisierbaren Mengen noch unsicher sind [1, 3].¹

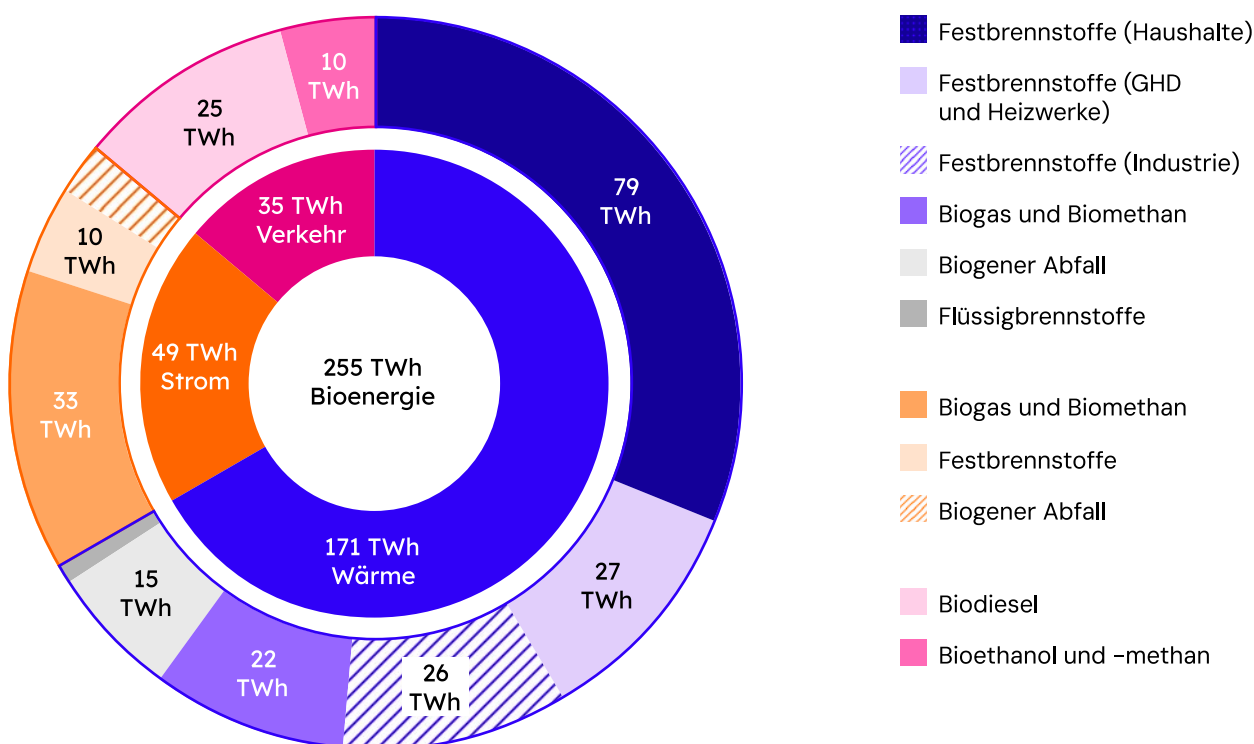


Abbildung 1: Übersicht Bioenergie in Deutschland 2023 [1]

¹ Das DBFZ (2023) hat ein mobilisierbares technisches Potenzial an biogenen Reststoffen in Deutschland von 29 Mt ermittelt, vor allem Stroh, Restholz und Rindermist/-gülle.

Die wichtigsten heutigen Anwendungen für energetisch genutzte Biomasse sind die Beheizung von Gebäuden, die Verstromung sowie Kraftstoffe im Straßenverkehr. In der Industrie wird energetisch genutzte Biomasse gegenwärtig hauptsächlich zur Erzeugung von Wärme eingesetzt. Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit, Biomasse in der Chemie- oder Stahlindustrie stofflich zu nutzen, um fossilen Kohlenstoff zu ersetzen. Die Einsatzgebiete sind somit vielfältig.

1.1 Einsatz von Biomasse in der Industrie

Der Einsatz von Biomasse in der Industrie kann an verschiedenen Stellen erfolgen. Dies lässt sich am besten entlang der Nutzungskaskade visualisieren

(siehe Abbildung 2). Grundsätzlich lässt sich der Einsatz in drei Ebenen unterteilen. Der Fokus dieser Betrachtung liegt auf der stofflichen und energetischen Nutzung:

- › **Strukturell** (Primär- oder Reststoffe), indem Pflanzenstoffe oder -fasern wegen ihrer Eigenschaften als Ausgangsstoff für die Produktion eingesetzt werden
- › **Stofflich**, indem Biomasse chemisch umgewandelt wird, um den Kohlenstoffbedarf von Industrieprozessen zu decken
- › **Energetisch**, indem Biomasse oxidiert wird, um Strom- oder Wärmebedarfe als Substitution für fossile Brennstoffe zu decken [4]

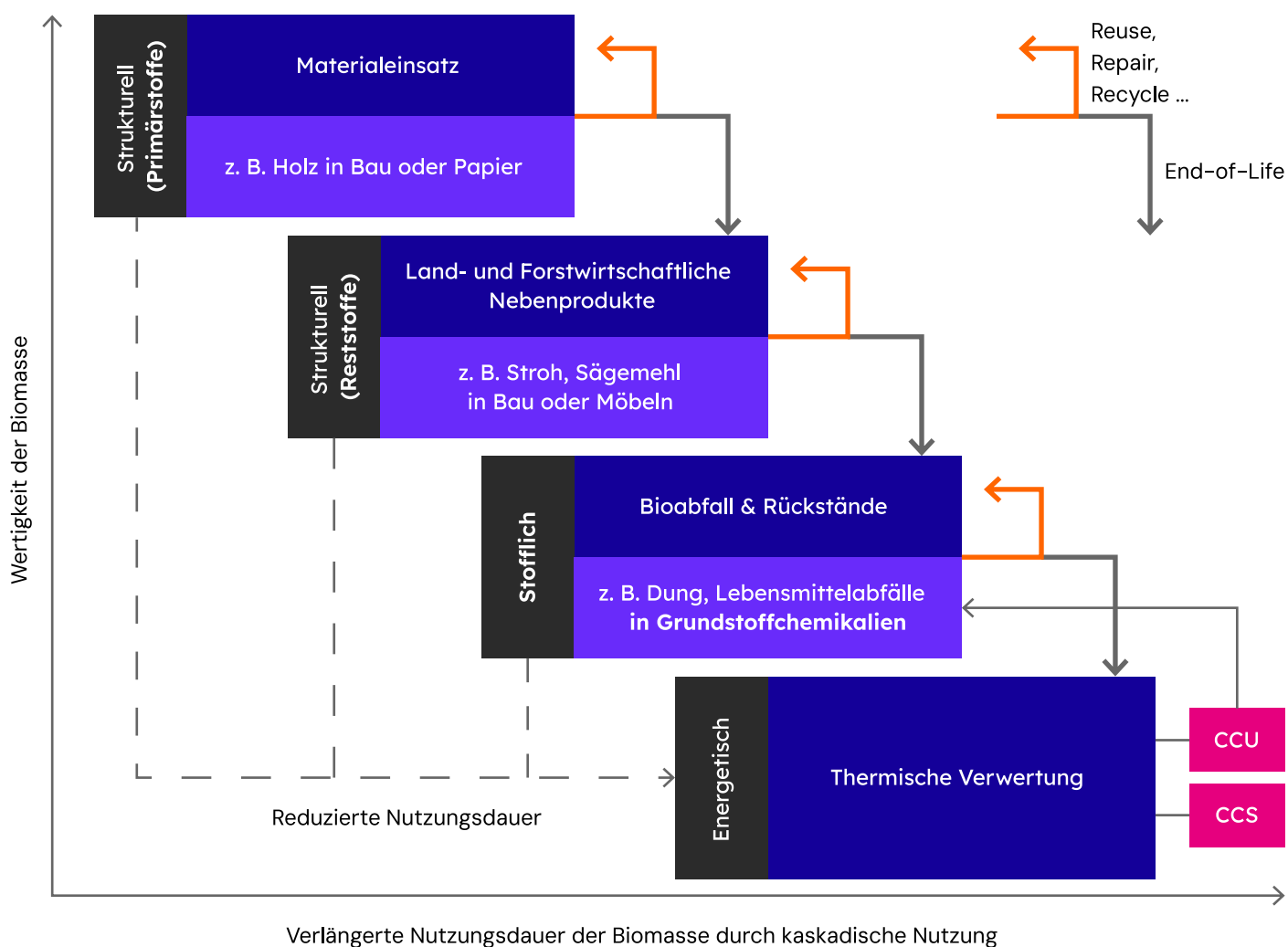


Abbildung 2: Nutzungskaskade für den Einsatz von Biomasse. Die Grafik ist angelehnt an Agora Industrie & Carbon Minds (2023) [5].

1.1.1 Stofflicher Einsatz

In einigen Industrien ist der Einsatz von Kohlenstoff als Teil des Herstellungsprozesses notwendig, beispielsweise für die Produktion von Kunststoffen. Dieser stoffliche Kohlenstoff kann durch die Nutzung von Biomasse weitestgehend treibhausgasneutral bereitgestellt werden.

Chemieindustrie

In der Chemieindustrie sind etwa 55 Millionen Tonnen Scope-3-Emissionen² auf kohlenstoffbasierte Produkte zurückzuführen, die hauptsächlich auf Petrochemikalien basieren. Um diese Emissionen zu vermeiden, ist Biomasse neben den begrenzt verfügbaren Rezyklaten der energieeffizienteste und kostengünstigste grüne Rohstoff.³

Innerhalb der chemischen Industrie wird Biomasse bereits heute in Spezialanwendungen eingesetzt und deckt so rund 8 Prozent des gesamten Rohstoffbedarfs [6, 7]. Biomasse kann auf vielfältige Weise in der Chemie genutzt werden, wovon hier die wichtigsten Technologien genannt werden sollen [8]:

- › **Vergasung von Biomasse (TRL⁴ 6 bis 8):** Vergasung von fester Biomasse zur Herstellung von Synthesegas ($H_2 + CO$) und anschließenden Umwandlung zu Methanol oder per Fischer-Tropsch-Synthese zu Kohlenwasserstoffen
-
- › **Pyrolyse (TRL 8 bis 9):** Pyrolyse von fester Biomasse zu Bio-Naphtha, danach Einsatz im Steamcracker zur Herstellung von Olefinen und Aromaten

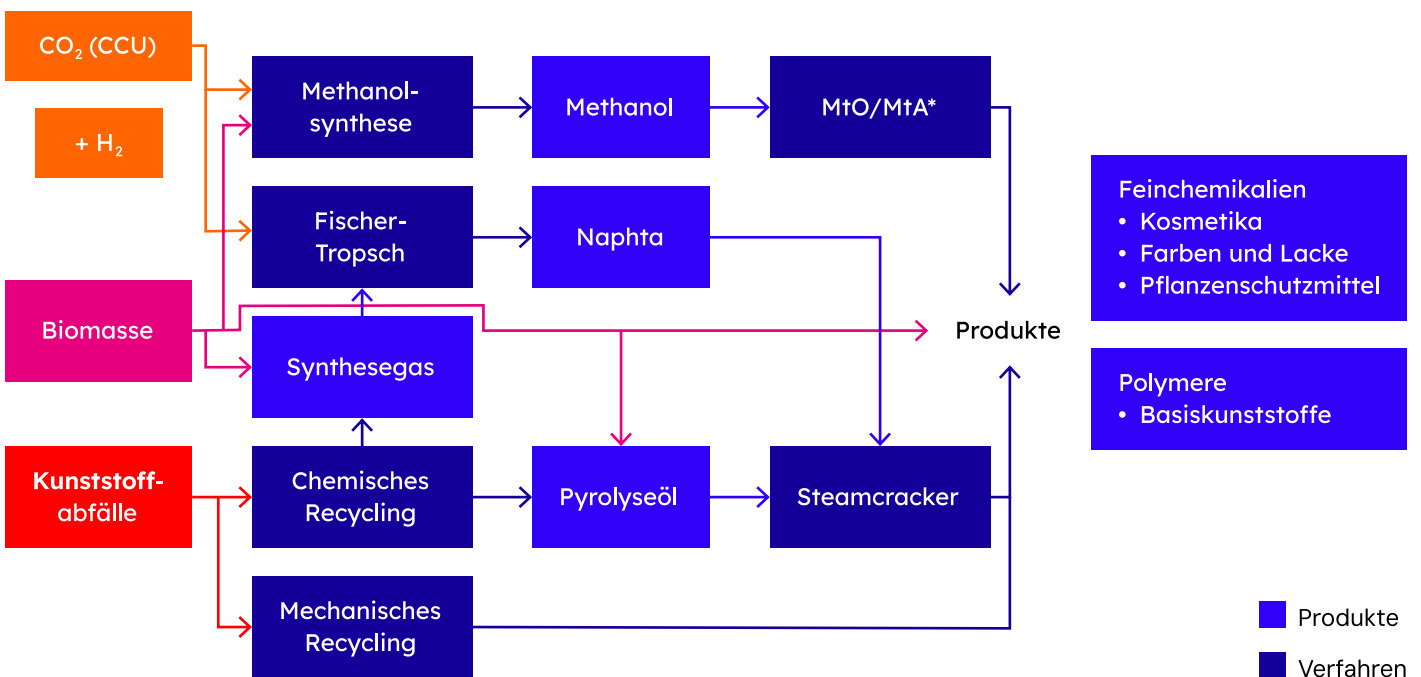


Abbildung 3: Technologische Ansätze zur nicht-fossilen Kohlenstoffbereitstellung für Basischemikalien

* Methanol-to-Olefins / Methanol-to-Aromatics

² Scope 1: direkte Emissionen, Scope 2: indirekte Emissionen durch Energiebereitstellung, Scope 3: alle anderen indirekten Emissionen in der Wertschöpfungskette, bei der Chemieindustrie insbesondere Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffs am Produktlebensende

³ Durch die Nutzung von Biomasse als Kohlenstoffquelle könnten pro Tonne Holz (ca. 4 MWh Energiegehalt) bis zu 6,3 bis 7 MWh Strom eingespart werden im Vergleich zur Herstellung aus CO_2 über CCU-Verfahren (VCI, VDI, 2023).

⁴ TRL: Technology Readiness Level (Technologischer Reifegrad)

- › **Biobasierte Routen (TRL 7 bis 9):** Darunter fällt beispielsweise die Herstellung des Biokunststoffs Polymilchsäure (PLA) über die Fermentation von Zucker. PLA ist biologisch abbaubar und recycelbar. Weitere Beispiele sind PTA (Purified Terephthalic Acid), das mit MEG (Monoethylenglykol) zur Herstellung von Bio-PET (Polyethylenterephthalat) verwendet wird, oder auch Polyole [8].

Stahl- und Gießereiindustrie

Der zentrale Weg zur Dekarbonisierung der Primärstahlproduktion ist die Nutzung von Wasserstoff im direkten reduktiven Eisenerzschmelzverfahren (H_2 -DRI). Der Einsatz von Kohlenstoff – jedoch in weit geringeren Mengen als heute – bleibt auch in Zukunft unumgänglich, da er unter anderem als Zuschlagstoff im Stahl benötigt wird [9].

In der Sekundärstahlerzeugung im Elektrolichtbogenofen ist Kohlenstoff zudem für Prozesse wie die Basisaufkohlung und Schaumslaggenbildung notwendig sowie zur Herstellung von Graphitelektroden. Es gibt derzeit keine ausgereiften Ansätze

für die Entwicklung alternativer, zum Beispiel inerter Elektroden. Daher wird bis 2045 eine CO_2 -Entstehung aus dem Abbrand der Elektroden erwartet. Diese kann durch den Einsatz von Biomasse defossilisiert werden [4].⁵ Auch bei der Herstellung von Gusseisen wird eine Kohlenstoffquelle benötigt. Hier bestehen allerdings höhere Reinheitsanforderungen an die Kohlenstoffquelle als in den zuvor genannten Beispielen. Bisher wurde noch keine vollständige Substitution der fossilen Quellen erfolgreich erprobt [4].

Aluminiumindustrie

Die Aluminiumindustrie setzt zur Reduktion ihrer direkten Emissionen, besonders in der Sekundäraluminiumproduktion, vor allem auf die Elektrifizierung des Prozesswärmebedarfs. Bei der Aluminiumelektrolyse aus Bauxit werden derzeit Graphitelektroden verwendet, die zu Prozessemissionen führen. Diese Emissionen könnten vermieden werden, indem man entweder auf inerte Anoden umstellt oder Pflanzenkohle zur Herstellung von Graphitelektroden einsetzt.

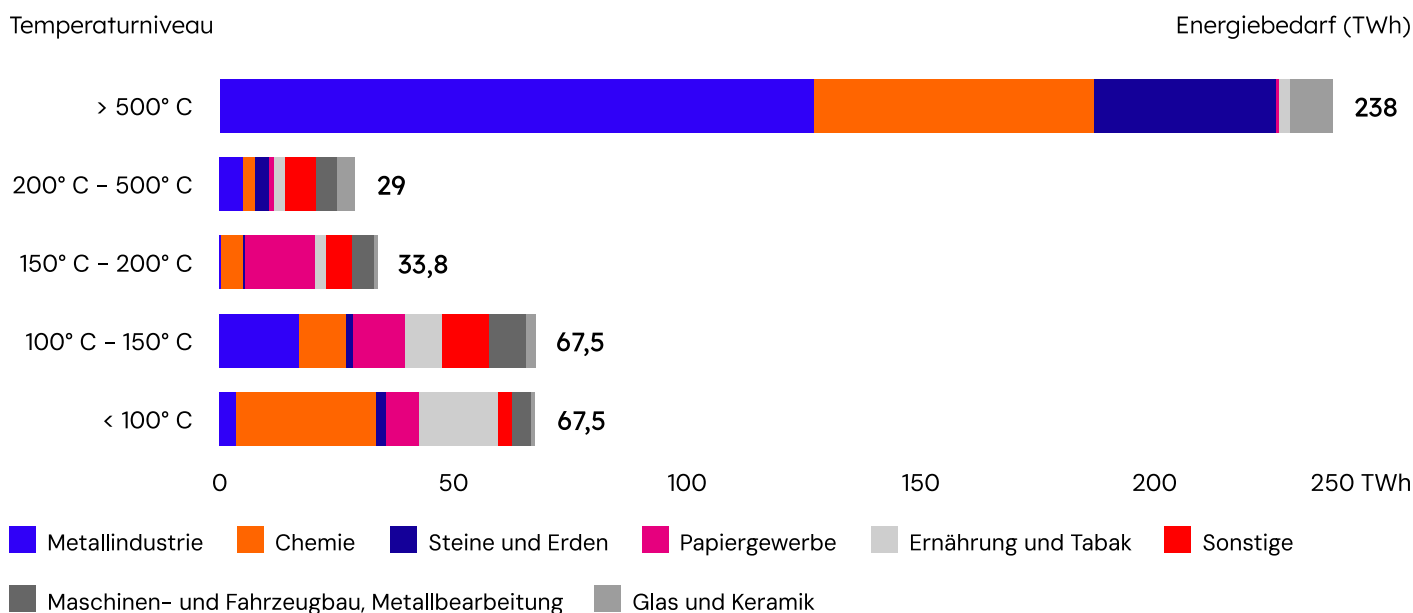


Abbildung 4: Endenergieverbrauch zur Erzeugung industrieller Prozesswärme nach Temperaturniveau und Branche (in TWh, Deutschland). Basierend auf Fleiter et al. 2024 [10], Daten und Schätzungen für das Jahr 2019

⁵ Aufgrund der hohen Temperaturen zwischen 2.000 und 3.000 °C im Elektrolichtbogenofen ist perspektivisch auch der Einsatz belasteter Biomasse wie Altholz möglich.

1.1.2 Energetischer Einsatz

Prozesswärme

Der Prozesswärmebedarf der Industrie wird heute überwiegend über Erdgas gedeckt; in bestimmten Branchen wie der Stahl- oder Kalkindustrie dominiert weiterhin der Einsatz von Kohle. Der Großteil des industriellen Prozesswärmebedarfs fällt dabei im Hochtemperaturbereich über 500 °C an (siehe Abbildung 4) [10]. Grundsätzlich können zwar auch diese Prozesse direkt oder indirekt mittels Wasserstoff elektrifiziert werden, allerdings besitzen viele Hochtemperaturverfahren noch nicht die notwendige technologische Reife, um bis zum Jahr 2030 im industriellen Maßstab eingesetzt zu werden [11]. Hinzu kommen teils erhebliche Investitions- und Betriebskosten. Biomassebasierte Brennstoffe können hier teilweise als klimafreundliche „Drop-in“-Lösung eingesetzt werden, etwa in Form von Biomethan als Ersatz für Erdgas.

Im Gegensatz dazu lassen sich Nieder- und Mitteltemperaturwärme (unter 500 °C) über Power-to-Heat (PtH) oder Wärmepumpen effizient elektrifizieren. Der Einsatz von Biomasse kann auch hier erfolgen, häufig in Kombination mit der Herstellung von Strom in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK).

Für bestimmte Prozesse ist die Prozesswärmeerzeugung auf Basis von Biomasse im großtechnischen Maßstab jedoch noch nicht ausreichend erprobt. Zu diesen Prozessen zählen Kupolöfen in der Gießereiindustrie, Schacht- und Drehrohröfen in der Kalkherstellung oder das Brennen von Zementklinker [11]. Zudem wird die verfügbare Biomasse nicht ausreichen, um einen Großteil der Hochtemperaturprozesswärme zu dekarbonisieren. Es ist daher wichtig, die Eignung verschiedener Biomassen und Biomassequalitäten für solche Einsatzfelder zu ermitteln, um zukünftige Bedarfe genauer quantifizieren zu können.

1.1.3 CO₂-Abscheidung und CO₂-Entnahme

Bei geeigneten Anlagen lassen sich die Prozesswärmegewinnung oder die stoffliche Umwandlung von Biomasse mit der CO₂-Abscheidung kombinieren. Besondere Synergien bieten sich in Industrien, in denen in Zukunft CO₂-Abscheideanlagen ohnehin zur Minderung von Prozessemissionen erforderlich sind, wie etwa in der Kalk- und Zementindustrie. Dort können die biogenen Emissionen gemeinsam mit dem fossilen CO₂ abgeschieden werden und bei einer anschließenden Speicherung (Bioenergy mit Carbon Capture and Storage, BECCS) zur Entnahme von CO₂ und somit zu Negativemissionen beitragen. Je nach Umsetzung kann der Klimateffekt durch CO₂-Speicherung deutlich über dem der reinen Substitution fossiler Brennstoffe liegen, wodurch das Potenzial der eingesetzten Biomasse maximiert werden kann (siehe Abbildung 5). Für eine vollständige Abwägung ist die Betrachtung des kompletten Lebenszyklus der eingesetzten Biomasse sowie der substituierten Energieträger erforderlich, dazu gehören Vorkettenemissionen, Energiebereitstellung für die CO₂-Abscheidung sowie Auswirkungen auf den Sektor der Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) [12].

CO₂-Einsparung in Gramm CO₂ je kWh Biomasse

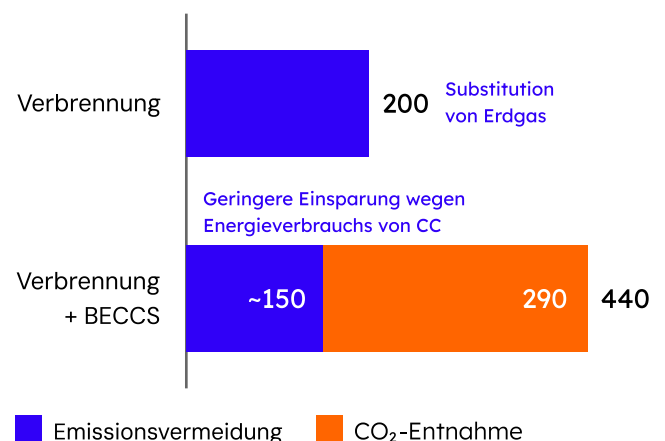


Abbildung 5: Illustrative Darstellung der CO₂-Einsparung bei energetischer Nutzung von Biomasse statt Erdgas mit und ohne CCS (g CO₂/kWh).

Quelle: eigene Berechnung⁶

⁶ Annahmen: Verbrennung von nachhaltiger Holz-Biomasse, die Erdgas im Verhältnis 1:1 substituiert (ohne Emissionen aus Vorketten oder Biomasseproduktion). Abscheiderate: 80 Prozent. Emissionsfaktor Holz: 360 g/kWh [31]

Neben der CO₂-Speicherung kann biogenes CO₂ auch für CCU-Verfahren (Carbon Capture and Utilization) zur Herstellung von Grundstoffchemikalien verwendet werden. Durch den Einsatz von Wasserstoff sind die Verfahren von einer sehr hohen Energieintensität gekennzeichnet. Damit eine tatsächliche Treibhausgasreduktion möglich ist, muss die Energie nahezu vollständig erneuerbar sein.

1.2 Effizienz des Einsatzes von Biomasse in der Industrie

Die Vielzahl an möglichen Einsatzoptionen für Biomasse erfordert bei begrenzter Verfügbarkeit eine gezielte Priorisierung im künftigen, auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem. Ein direkter Vergleich mit anderen erneuerbaren Alternativen zeigt: Den größten Mehrwert erzielt Biomasse in der Industrie, insbesondere als Rohstoff in der

Chemie (siehe Abbildung 6) sowie für Flugzeugtreibstoffe. Der Grund dafür ist, dass diese Anwendungen schwer elektrifizierbar sind und ansonsten nur durch sehr energieaufwendige CCU-Verfahren zu defossilisieren wären, was zudem eine biogene oder atmosphärische CO₂-Quelle erfordern würde. Bei großen Anlagen wie Kraftwerken oder Industrieanlagen kommt zudem die Ausrüstung mit einer CO₂-Abscheideanlage in Frage, was Negativemissionen ermöglicht. Für viele andere Einsatzfelder stehen heute oder perspektivisch effiziente Elektrifizierungstechnologien zur Verfügung, die eine Substitution fossiler Energieträger ohne Biomasse erlauben.

Der gezielte Einsatz von Biomasse kann den Primärenergiebedarf des klimaneutralen Energiesystems erheblich senken und somit das kostengünstige Erreichen der Klimaziele vereinfachen, da weniger erneuerbare Energien, Netzausbau und Wasserstoff erforderlich sind. Zudem können diese Ressourcen an anderer Stelle eine schnellere und kostengünstigere Defossilisierung ermöglichen.

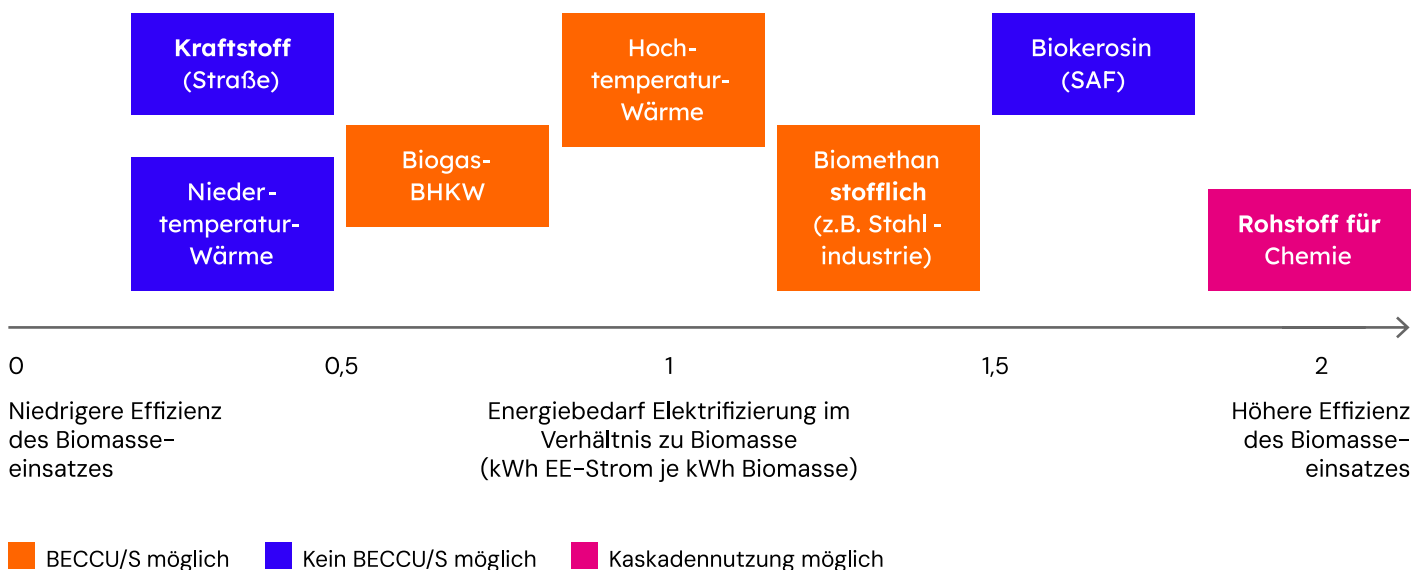


Abbildung 6: Vergleich der Effizienz des Einsatzes von Biomasse mit (direkt oder indirekt) strombasierter erneuerbarer Alternative⁷ (ausgewählte Anwendungen; in Anlehnung an [13])

Lesebeispiel: Zur Defossilisierung der gleichen Menge Chemie-Rohstoff wären bei der CCU-Route über 2 kWh Primärstrom anstatt 1 kWh Biomasse erforderlich. Bei Niedertemperaturwärme könnten ca. 0,3 kWh Strom über eine Wärmepumpe 1 kWh Biomasse ersetzen.

⁷ Die betrachtete Alternative ist jeweils: Niedertemperatur-Wärme: Wärmepumpe. Kraftstoff: Elektromotor. Biogas-BHKW: direkter EE-Strom-Einsatz. Hochtemperatur-Wärme: P2H. Biomethan: synthetisches Methan. Biokerosin: RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin). Rohstoff für Chemieindustrie: CCU (Fischer-Tropsch).

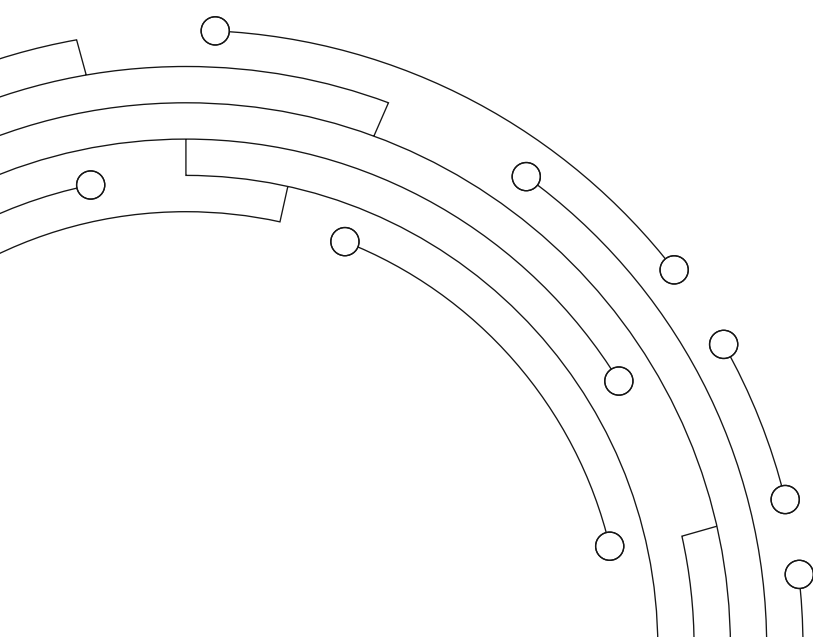
Bei einer umfassenden Bewertung des energetischen Einsatzes von Biomasse im Vergleich zu erneuerbaren Alternativen sind weitere Aspekte einzubeziehen. Hierzu zählen die Systemdienlichkeit, die Investitionskosten, regionale Potenziale, die Möglichkeit der Kaskadennutzung oder CO₂-Abscheidung sowie die Exergie. Somit wäre auch der Einsatz von Biomethan für Spitzenlasten oder der systemdienliche Betrieb von Biogas-BHKW eine effiziente Einsatzmöglichkeit, auch bei geringerer thermodynamischer Effizienz verglichen mit dem Einsatz in der chemischen Industrie.

Da Deutschland im internationalen Vergleich nur eingeschränkte Kapazitäten für kostengünstigen grünen Wasserstoff besitzt [14]⁸, sichert der gezielte Einsatz von Biomasse als Rohstoff – statt eines vollständigen Umstiegs auf wasserstoffbasierte Prozesse – nicht nur die Defossilisierung, sondern auch wichtige Wertschöpfung und technologische Kompetenzen in der heimischen Chemieindustrie. Eine Einschränkung kann darin bestehen, dass die Biomasseproduktion vergleichsweise kleinteilig ist und die Versorgung einer großen Industrieanlage mit größeren Mengen Biomasse daher aufgrund der hohen Anzahl an involvierten Erzeugern gewisse Transaktionskosten verursachen könnte.

1.3 Forschungsszenarien – zukünftige Entwicklung des energetischen Einsatzes von Biomasse

Die meisten Klimaneutralitätsstudien⁹ deuten darauf hin, dass der Einsatz von Biomasse in der Industrie zwischen 2030 und 2045 signifikant steigen wird (Abbildung 7) [15]. Dies ist vor allem auf den gesteigerten Einsatz in der Chemie- und Stahlindustrie zurückzuführen [16]. Aus den Studien lassen sich folgende grundsätzliche Aussagen zum Einsatz von Biomasse ableiten:

- › Biomasse allein ist nicht ausreichend, um den zukünftigen Energie- und Rohstoffbedarf in der Industrie zu decken. Sie kann nur eine Ergänzung zur Elektrifizierung und zum Einsatz von Wasserstoff darstellen.
-
- › Das Angebot an Biomasse ist begrenzt und zeigt eine rückläufige Tendenz. Dies betrifft insbesondere die Holzentnahme für die energetische Nutzung, die teilweise in einem Zielkonflikt zur Erreichung der LULUCF-Klimaziele steht. Potenzielle neue Quellen wie Agroforstsysteme können dies voraussichtlich nicht ausgleichen.
-



⁸ Langfristig dürfte Deutschland im internationalen Vergleich höhere Strompreise haben. Mit steigender Elektrifizierung der Produktion sowie beim Einsatz von grünem Wasserstoff könnten deutsche Unternehmen Teile ihrer Produktion in Länder mit besseren Voraussetzungen für grüne Energie verlagern (Renewables Pull). Die Politik steht dabei vor dem Dilemma, dass wettbewerbsfähige Energiepreise und somit Produktionsbedingungen für die energieintensive Industrie in Deutschland aktuell nur mit erheblichen Subventionen möglich sind [14].

⁹ Klimaneutralitätsstudien: Klimaneutrales Deutschland (Agora) [16], dena-Leitstudie: Aufbruch Klimaneutralität (dena) [27], Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045 (Ariadne) [30], RESCUE-Studien (UBA) [28], Langfristszenarien (BMWK) [25], Klimapfade 2.0 (BDI) [29]

- › Ein wirksamer Hebel zur Freisetzung von Flächen – sei es für die Biomasseproduktion oder zur Stärkung natürlicher Senken – liegt in einer Reduktion des Konsums tierischer Lebensmittel, da derzeit auf 60 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Flächen Tierfutter produziert wird.
-
- › Im Zielszenario wird Biomasse in der Industrie stofflich eingesetzt sowie für Hochtemperaturanwendungen. Dies geschieht häufig an Standorten, an denen das Potenzial besteht, über BECCS Negativemissionen zu erzielen [17].
-
- › Vergleicht man die Ergebnisse der Studien mit dem aktuellen Einsatz von Biomasse in der Industrie, ergibt sich eine erhebliche Lücke zwischen Zielbild und Realität. Das Monitoring des EEW-Förderprogramms (Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft) etwa hat gezeigt, dass nur 11 von 52 im Jahr 2023 befragten Unternehmen mit geförderten Biomasseanlagen die Biomasse für ein Temperaturniveau oberhalb von 100 °C eingesetzt haben, davon nur eines oberhalb von 200 °C. Das heißt, dass der Prozesswärmebedarf des Großteils der Unternehmen auch mithilfe einer Wärmepumpe bereitgestellt werden könnte [18].
-

Biomasseeinsatz in ausgewählten Klimaneutralitätsstudien (in TWh)

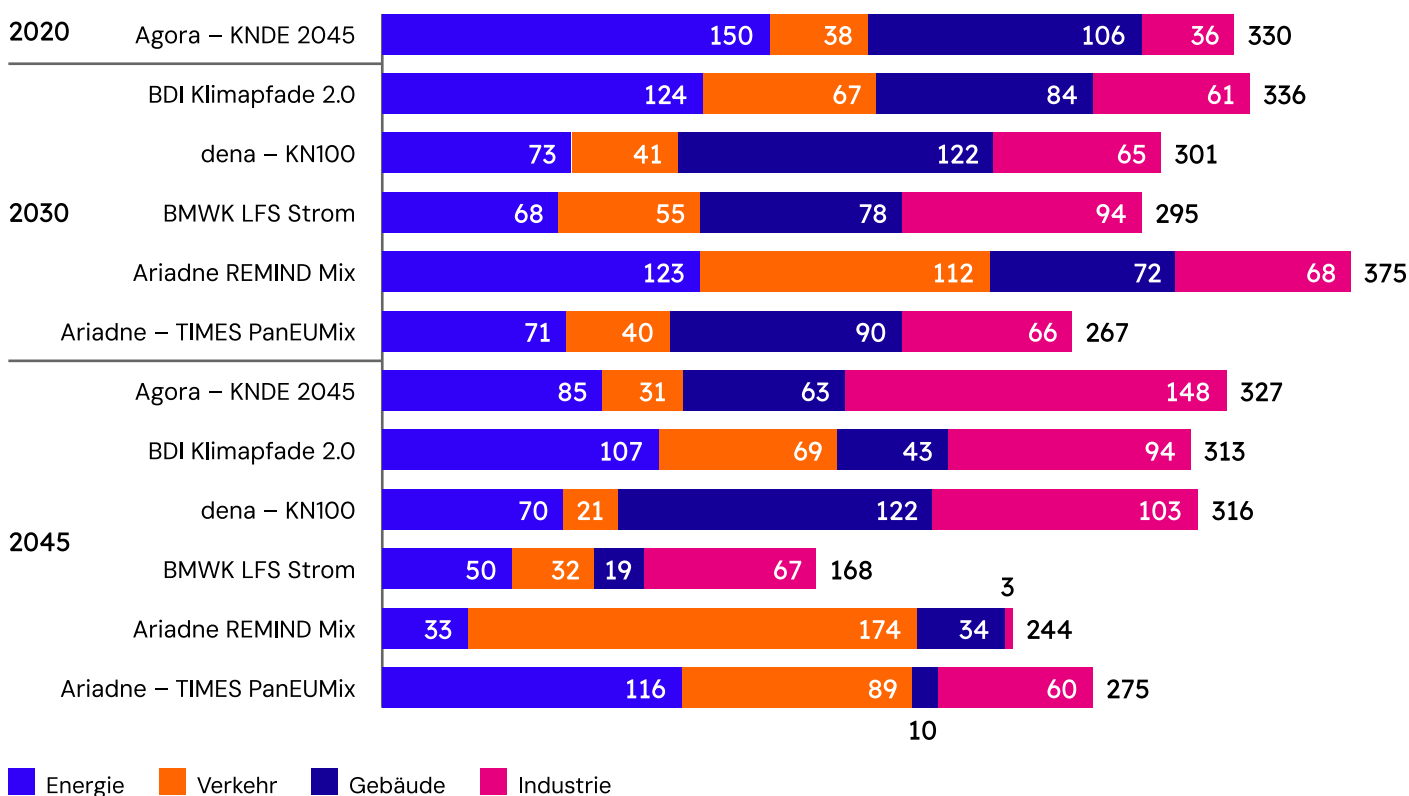


Abbildung 7: Übersicht über den Biomasseeinsatz in ausgewählten Klimaneutralitätsstudien

2 Nationale und europäische Anreizsysteme zum Einsatz von Biomasse in der Industrie

Die Lücke zwischen dem angestrebten Zielbild einer nachhaltigen Biomassenutzung und der aktuellen Praxis lässt sich maßgeblich auf die vorhandenen Anreizsysteme zurückführen. Im Folgenden werden die wesentlichen europäischen und nationalen Instrumente vorgestellt und hinsichtlich ihrer Wirkung auf den industriellen Biomasseinsatz analysiert.

2.1 Europäische Regulatorik

EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) und Grenzausgleichsmechanismus (CBAM)

Der EU-ETS ist das zentrale Klimaschutzinstrument auf EU-Ebene für die energieintensive Industrie. Anlagen in Sektoren mit hohem Carbon-Leakage-Risiko erhalten eine kostenlose Zuteilung in Höhe des entsprechenden Benchmark-Wertes [19]. Darunter fallen alle in Kapitel 1 vorgestellten Branchen [20]. Für Branchen, die vom europäischen Grenzausgleichsmechanismus (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) erfasst sind (z. B. Zement, Stahl oder Aluminium), wird die kostenlose Zuteilung ab 2026 schrittweise reduziert und bis 2034 vollständig eingestellt.¹⁰ Parallel dazu hochlaufend, müssen Importeure CBAM-Zertifikate im Umfang der CO₂-Emissionen ihrer Einfuhren erwerben [21].

Der EU-ETS bepreist nur die direkten Emissionen bei der Herstellung, nicht jedoch den produktgebundenen fossilen Kohlenstoff. Letzterer verursacht in der chemischen Industrie rund 60 Prozent der Lebenszyklusemissionen. Daher besteht durch den EU-ETS noch kein direkter Anreiz zum stofflichen Einsatz von Biomasse in der Chemieindustrie.

Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED III)

Die RED III (EU 2023/2413) sieht vor, den Anteil von erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch bis zum Jahr 2030 auf mindestens 42,5 Prozent zu steigern. Energie aus Biomasse spielt dabei eine wichtige Rolle, unterliegt jedoch Anforderungen an Treibhausgaseinsparungen, dem Prinzip der Kaskadennutzung und umfangreichen Kriterien zur Nachhaltigkeit.¹¹ So müssen Anlagen, die Biomasse zur Elektrizitäts-, Wärme- oder Kälteerzeugung einsetzen, zwischen 70 und 80 Prozent THG-Einsparungen gegenüber einem fossilen Referenzwert erzielen. Maßgeblich ist dabei die Art der eingesetzten Biomasse: Der Anlagenbetrieb mit Rest- und Abfallstoffen kann die Anforderungen erfüllen, Anbaubiomasse hingegen nicht [22]. Im Industriesektor soll vor allem die Nutzung von erneuerbarem Strom und wasserstoffbasierten Brennstoffen gesteigert werden. Die EU verfolgt zudem ambitionierte Ziele für den Einsatz sowohl fortschrittlicher Biokraftstoffe als auch von Brenn- und Kraftstoffen nichtbiologischen Ursprungs (Renewable Fuels of Non-Biological Origin, RFNBO) im Luft- und Seeverkehr. Die steigende Nachfrage in diesen Sektoren erhöht jedoch den Wettbewerbsdruck bei nachhaltiger Biomasse [23]. Ob die Anforderungen der RED III in der Praxis zu einer stärkeren Priorisierung der Biomassenutzung für bestimmte Anwendungen führen, bleibt abzuwarten.

¹⁰ Der CBAM gilt für direkte herstellungsbedingte (graue) Emissionen von bestimmten Importgütern (Grundstoffe und Grundstoffzeugnisse) wie Zement, Strom, Düngemittel, Wasserstoff, Eisen, Stahl und Aluminium sowie für indirekte Emissionen bei Strom, Zement und Düngemitteln.

¹¹ Art. 29 der RED III verlangt unter anderem, dass landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Biomasse bestimmte Nachhaltigkeitskriterien erfüllen: Erstere darf nicht von Flächen mit hohem Biodiversitäts- oder Kohlenstoffwert (z. B. Primärwälder, Feuchtgebiete) stammen und beide Arten dürfen nicht aus ehemaligen Torfgebieten gewonnen werden. Forstbiomasse muss zudem nachhaltige Bewirtschaftungspraktiken einhalten (z. B. Legalität, Biodiversitätsschutz, Bodenqualität). Es müssen nationale LULUCF-Vorgaben berücksichtigt werden. Zusätzlich sind Mindestanforderungen an die THG-Minderung einzuhalten. Auch indirekte Landnutzungsänderungen bei Biokraftstoffen sind durch Nutzungsobergrenzen zu minimieren (Art. 26).

2.2 Förderprogramme in Deutschland: EEW, BIK und KSV

Deutschland unterstützt die Transformation der Industrie über drei zentrale Programme:

- › Bundesförderung Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW): Modul 2 (Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien) fördert die Anschaffung von Biomasseanlagen zur Erzeugung von Prozesswärme, dabei sind seit der Änderung der Zulassungskriterien in 2022/2023 strenge Nachhaltigkeitskriterien einzuhalten.¹² 2023 machten Biomasseanlagen ca. 85 Prozent der Fördertatbestände aus [18].

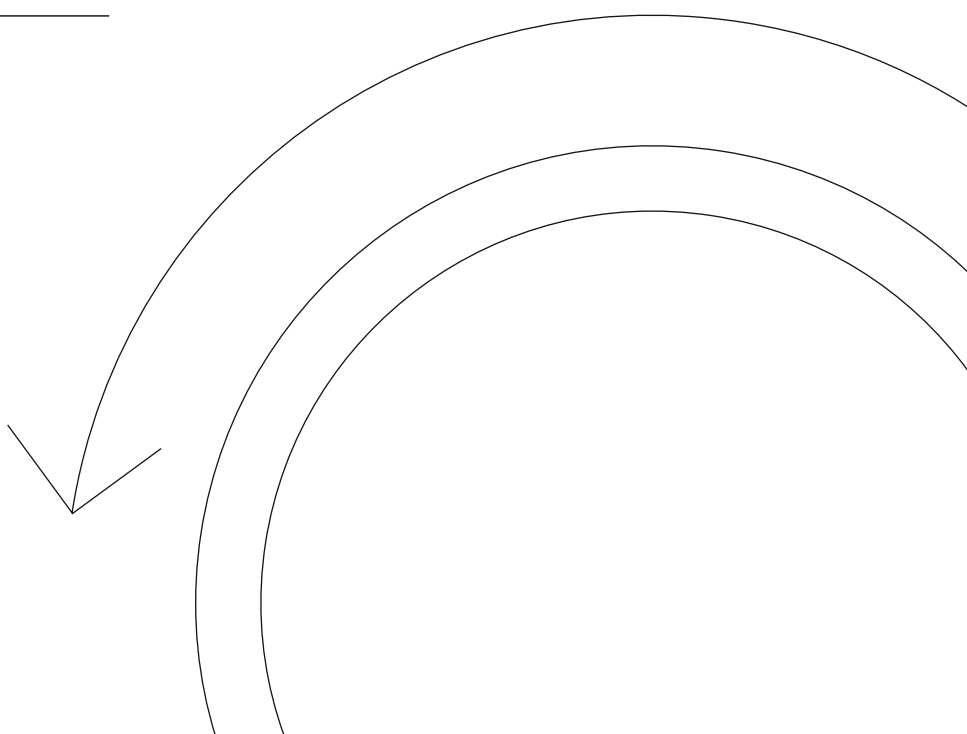
- › Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK): Energetische und stoffliche Biomassenutzung wird gefördert, sofern Nachhaltigkeitskriterien eingehalten werden und externe Bezugsquellen transparent belegt sind.

- › Klimaschutzverträge (KSV): Die stoffliche Biomassenutzung ist im Rahmen der KSV förderfähig, während die energetische Nutzung nur in Ausnahmefällen zulässig ist.

Zusätzlich fördert das Programm „Nachhaltige Erneuerbare Ressourcen“ die Forschung zu und die Entwicklung von innovativen Produkten und Verfahren, die auf erneuerbaren Ressourcen basieren. Insgesamt zeigen sich in den letzten Jahren eine stärkere Fokussierung der Anwendungen sowie strengere Nachhaltigkeitskriterien für den Einsatz von Biomasse in der Industrie im Rahmen von Förderprogrammen.

2.3 Anreize für Negativemissionen und Kreislaufführung

Durch die Speicherung von biogenem CO₂ außerhalb der Atmosphäre durch BECCS oder in langlebigen Produkten können Negativemissionen entstehen. Bislang gibt es jedoch – abgesehen von den EU-Zielen für nachhaltige Kraftstoffe – wenig Anreize für die Abscheidung und Nutzung bzw. Speicherung von CO₂ biogenen Ursprungs.



¹² Seit 2023 fördert das Modul 2 der EEW Biomassebrennstoffe für Prozesswärme im Regelfall nur, wenn ein Nachweis erbracht wurde, dass die Direktelektrifizierung technisch nicht möglich und eine Nutzung von Wasserstoff nicht möglich oder wirtschaftlich ist. Biomasse-KWK müssen hocheffizient sein.

Die mögliche Integration von Negativemissionen oder CCU in den EU-ETS ergäbe einen Anreiz durch den ETS für die Abscheidung von biogenem CO₂. Im Zuge der ETS-Revision 2026 wird die EU-Kommission diese Regelung überprüfen [24]. Die Proportionalitätsanforderung der EU-Monitoring-Verordnung für die CO₂-Abscheidung und -Speicherung erschwert zudem den Umgang mit gemischten CO₂-Strömen.¹³

Die Verordnung zum Carbon Removal and Carbon Farming (CRCF) schafft zwar die Grundlage für den freiwilligen Handel mit qualitativ hochwertigen CO₂-Entnahmezertifikaten, aber es fehlt bisher eine klare Perspektive für die Einbindung solcher Zertifikate in den EU-ETS oder in sektorale Klimaschutzstrategien.

Die Abscheidung von fossilen und biogenen Emissionen an thermischen Abfallbehandlungsanlagen gilt als No-Regret-Maßnahme. Sie ist allerdings, abgesehen von Ausnahmefällen, nicht im Rahmen der KSV förderfähig. Aufgrund der hohen Betriebskosten bietet auch eine Investitionsförderung, wie sie im Rahmen der BIK möglich ist, noch keinen ausreichenden Anreiz für die CO₂-Abscheidung.

Schlussfolgerung

Über die Jahre haben sich in den Sektoren spezifische Regularien und Anreizsysteme entwickelt, die eine strategische, industrieorientierte Allokation von Biomasse erschweren. Ansätze zu einer sektorübergreifenden Anreizregulierung waren im Entwurf der Nationalen Biomassestrategie (NABIS) vorgesehen, die jedoch bislang nicht beschlossen wurde.

Regularien wie die RED III sollen zwar die energetische Nutzung von nicht nachhaltiger Biomasse begrenzen, es gibt jedoch noch keinen einheitlichen Rahmen für die Priorisierung der effizienten industriellen Biomassenutzung. Anreize in anderen Sektoren führen zu einer weiteren Beschränkung der Verfügbarkeit von Biomasse für die Industrie. Anreize aus den Bundesförderungen EEW, BIK und den KSV sowie dem EU-ETS führen bisher nicht zu einer signifikanten (stofflichen) Verwendung von Biomasse im Industriesektor.

¹³ Artikel 49 der EU-Monitoring-Verordnung legt fest, dass bei CCS an gemischten CO₂-Strömen (fossil und biogen) der Abzug von den zu meldenden Emissionen im EU-ETS nur im Verhältnis des fossilen Anteils an der gesamten CO₂-Menge abgezogen werden darf.

3 Handlungsfelder

Das Potenzial an Biomasse in Deutschland ist begrenzt. Daher kommt es darauf an, sie gezielt dort einzusetzen, wo sie volkswirtschaftlich und energiesystemisch den größten Nutzen hat. Langfristig ist dies insbesondere in der Industrie der Fall, speziell für die stoffliche Nutzung sowie in Verbindung mit BECCS. Hier gibt es jedoch noch eine Anzahl an Hürden, die überwunden werden müssen: Die Industrie zeigt aufgrund bestehender Erdgasalternativen bislang nur eine geringe Zahlungsbereitschaft für Biomasse, da der CO₂-Preis derzeit noch kaum Lenkungswirkung entfaltet. Zudem wird die Nutzung der Biomasse größtenteils über sektorspezifische Förderungen gesteuert. Dazu zählen insbesondere das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) für den Bereich der Energieversorgung, die THG-Minderungsquote für den Verkehrssektor sowie das Gebäudeenergiegesetz (GEG) im Zusammenspiel mit der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) für den Gebäudesektor.

Um die stoffliche Nutzung von Biomasse entlang der Kaskadennutzung zu priorisieren und das begrenzte Biomassepotenzial optimal im Energiesystem einzusetzen, sind passgenaue Anreizstrukturen erforderlich. Die folgenden Ansätze sollen den Einsatz von Biomasse in der Industrie stärken und zugleich Synergien im Energiesystem ermöglichen.

Stärkung bestehender Instrumente der Industrietransformation

Für einen wirksamen Anreiz zum Einsatz von Biomasse in der Industrie ist das Leitinstrument EU-ETS effektiver zu gestalten. Das Ende der kostenlosen Zuteilung von Emissionszertifikaten im Rahmen der CBAM-Einführung setzt zwar stärkere Anreize, jedoch bleiben einige Sektoren wie die organische Grundstoffchemie zunächst ausgeschlossen. Für sie müssen Instrumente entwickelt werden, die sowohl vor Carbon Leakage schützen als auch zur Defossilisierung beitragen. Der Handlungsdruck für

Unternehmen wird sich durch das Ende der Zertifikatausgabe im EU-ETS bis 2039 verstärken. Das Instrument der Klimaschutzverträge (KSV) sollte in den nächsten Jahren weitergeführt und evaluiert werden, wobei eine Ausweitung mit Fokus auf stoffliche Biomassenutzung geprüft werden sollte.

Schaffung eines Marktrahmens für den Einsatz nicht fossiler Kohlenstoffe

Die Analyse zeigt, dass Biomasse besonders effizient als Kohlenstoffquelle in der chemischen Industrie oder Stahlindustrie eingesetzt werden kann. Dafür sollte ein Marktrahmen geschaffen werden, der auf die spezifischen Herausforderungen der Industrien ausgelegt und mit dem EU-ETS abgestimmt ist. Das Zusammenspiel mit Anreizsystemen für die energetische Nutzung sollte nicht dazu führen, dass die stoffliche Anwendung unwirtschaftlicher wird oder Produkte wie Zement einen Wettbewerbsvorteil gegenüber dem stofflichen Einsatz erhalten (z. B. im Holzbau).

Eine Bepreisung des fossilen Kohlenstoffs am Lebenszyklusende könnte den EU-ETS ergänzen, wobei ein effektiver Carbon-Leakage-Schutz gewährleistet sein sollte. Die Umsetzung könnte auch über eine Klimaumlage erfolgen.¹⁴

Schaffen ausreichender Anreize für die stoffliche Nutzung von Biomasse in der Industrie

Der bestehende Marktrahmen sollte um weitere Instrumente ergänzt werden. Diese Instrumente sollten zum Teil spezifisch für den Einsatz von Biomasse ausgestaltet sein. Dies kann, wie im Koalitionsvertrag vorgesehen, durch grüne Leitmärkte oder durch festgelegte Quoten für einzelne Produktgruppen erfolgen. Bei der Ausgestaltung ist darauf zu achten, dass sie technologieoffen ist und nicht zum Ausschluss effizienterer Lösungen oder zirkulärer Ansätze führt.

¹⁴ Definition Klimaumlage: Eine Klimaumlage würde pauschal auf Grundstoffe erhoben werden, die in Europa hergestellt oder nach Europa importiert werden. Beim Export wiederum würde sie erlassen werden, um Handelsverzerrungen zu vermeiden. Die Umlage reizt ressourceneffizientes Produzieren und Kreislaufwirtschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette an und generiert Einnahmen, die in Unterstützungsmaßnahmen für Kreislaufwirtschaft und Transformation investiert werden können [26].

Anreizsystem für die Abscheidung von biogenem CO₂ entwickeln

Aus Perspektive des Klimaschutzes sowie der Wirtschaftlichkeit führt der Einsatz von Biomasse an Anlagen, die bereits eine CO₂-Abscheidung schwer vermeidbarer Emissionen durchführen, zu wirkungsvollen Synergien. Bisher liegen jenseits von Quoten für nachhaltige erneuerbare Kraftstoffe im Verkehrssektor keine Anreize für die Abscheidung von biogenem CO₂ vor, insbesondere nicht für BECCS. Daher sollten zeitnah passende Anreize geschaffen werden, um biogenes CO₂ abzuscheiden und zu speichern (BECCS). Dabei sollten Nachhaltigkeitskriterien beachtet werden und der Einsatz sollte zunächst auf No-Regret-Sektoren (Zement, Kalk, Müllverbrennung) beschränkt sein.

Regulatorische Hürden für die Kreislaufführung von Kohlenstoff und CO₂-Entnahme

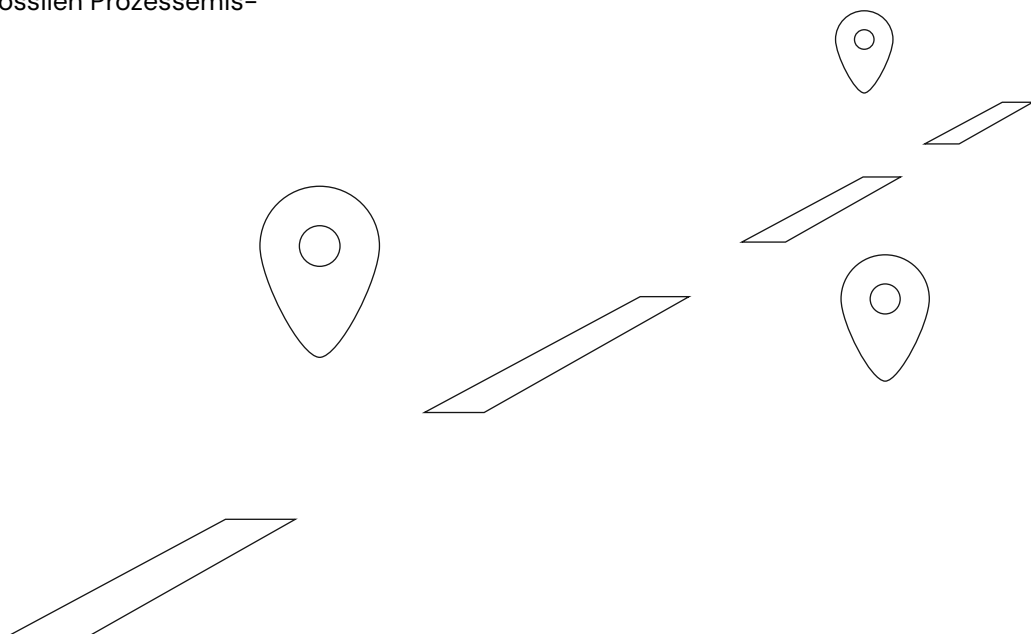
Bisher fehlen konsistente Rahmenbedingungen für die Kreislaufführung von Kohlenstoff und biogenem CO₂. Als Ergänzung zu Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft wie Recycling sind dafür auch CCU-Verfahren notwendig. Die Carbon Management-Strategie (CMS) sowie die Novelle des Kohlendioxidspeichergesetzes (KSpG bzw. KSpTG), die möglicherweise noch 2025 verabschiedet werden, sollen den Einsatz von CCU/S ermöglichen. Mit der Revision der EU-ETS-Richtlinie im Jahr 2026 soll eine Regelung zur Anrechenbarkeit von CCU getroffen werden. Zudem kann der CRCF die langfristige Bindung von CO₂ in Produkten als Entnahme zertifizieren. Eine ausgearbeitete Regulatorik für CCU/S könnte den Anreiz für den Einsatz von Biomasse an Anlagen mit CO₂-Abscheidung steigern, insbesondere in der Zement- und Kalkindustrie, die diese ohnehin zur Vermeidung der fossilen Prozessemissionen benötigen.

Förderung von Technologienentwicklung

In den kommenden Jahren stehen in einer Vielzahl an Unternehmen Investitionen in neue Produktionsanlagen an. Sollen diese perspektivisch auch den Einsatz von Biomasse ermöglichen, müssen die entsprechenden Technologien zuvor im industriellen Maßstab erprobt werden. In vielen Industrien ist der technologische Reifegrad – mit Ausnahme von „Drop-in“-Lösungen wie Biomethan – derzeit noch unzureichend. Dies betrifft sowohl den stofflichen als auch den energetischen Einsatz von Biomasse. Unabhängig von den konkreten regulatorischen Rahmenbedingungen sollte die Entwicklung dieser Technologien aktiv über eine entsprechende Forschungs- und Projektförderung unterstützt werden. Ein besonderer Bedarf besteht in den Fokusbranchen Kalk-, Zement-, Stahl- und Chemieindustrie.

Roadmap Gesamtmarktrahmen Biomasse

Um die Nutzung von Biomasse langfristig volkswirtschaftlich sinnvoll und kosteneffizient zu gestalten, sollte eine kohärente Gesamtroadmap für einen Marktrahmen Biomasse entwickelt werden, idealerweise im Rahmen einer Finalisierung der NABIS. Diese Roadmap sollte das Ziel verfolgen, die Vielfalt der bestehenden Anreizsysteme weiterzuentwickeln und aufeinander abzustimmen. Zentral ist dabei, Zielkonflikte zu vermeiden und eine Lenkungswirkung hin zu jenen Anwendungen zu ermöglichen, in denen Biomasse mittel- bis langfristig den höchsten volkswirtschaftlichen und klimapolitischen Mehrwert entfaltet – insbesondere im industriellen Bereich.



Literaturverzeichnis

- [1] dena, „Marktmonitoring Bioenergie 2023 – Datenerhebungen, Einschätzungen und Prognosen zu Entwicklungen, Chancen und Herausforderungen des Bioenergiemarktes“, 2023. [Online].
-
- [2] Leopoldina, „Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen“, 2012. [Online].
-
- [3] DBFZ, „Chemistry4Climate Fact-Finding-Studie: Biomassepotenziale“, 2023. [Online].
-
- [4] NRW.Energy4Climate, „Nachhaltiger Einsatz von Biomasse – Die Rolle von Biomasse in der Energiewende und in einer klimaneutralen Industrie“, 2023. [Online]. Available: <https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Industrie-Produktion/Der-nachhaltige-Einsatz-von-Biomasse-cr-nrwenergy4climate.pdf>
-
- [5] Agora Industrie, Carbon Minds, „Chemie im Wandel“, 2023. [Online].
-
- [6] VCI, VDI, „Chemistry 4 Climate“, 2023. [Online].
-
- [7] VCI, „Energie, Rohstoffe, Preise“, 2025.
-
- [8] A. Scholz, Y. Kloo, S. Theisen, M. Saurat, C. Schneider, K. Meisel, L. Röder, N. Dögnitz, D. Stapf und A. Reeves, „Unsicherheiten überwinden, grüne Märkte erschließen. Kompass zur Defossilisierung der Petrochemie in Deutschland. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt GreenFeed“, 2025.
-
- [9] Agora Industry, „Low-carbon technologies for the global steel transformation“, 2024.
-
- [10] T. Fleiter, M. Rehfeldt, P. Manz, S. Bussmann, M. Neuwirth, A. Herbst und M. T. Lutz, „Langfristszenarien für die Transformation –O45–Szenarien– Modul Industriesektor“, 2024.
-
- [11] T. Fleiter, M. Rehfeldt, S. Hirzel, L. Neusel, A. Aydemir, C. Schwotzer, F. Kaiser und C. Gondorf, „CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung“, 2023.
-
- [12] M. Fajardy und N. Mac Dowell, „Can BECCS deliver sustainable and resource efficient negative emissions?“, 2017.
-
- [13] Material Economics, „EU Biomass Use In A Net-Zero Economy – A Course Correction for EU Biomass“, 2021.
-
- [14] P. C. Verpoort, F. Ueckerdt, Y. Beck, D. Bietenholz, A. Dertinger, T. Fleiter, A. Grimm, G. Luderer, M. Neuwirth, A. Odenweller, T. Sach, M. Schimmel und L. Sievers, „Transformation der energieintensiven Industrie. Wettbewerbsfähigkeit durch strukturelle Anpassung und grüne Importe“, 2024.
-
- [15] Prognos; BCG; ewi; Fraunhofer ISI; PIK, „Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsstudien“, 2022. [Online].
-
- [16] Agora Think Tanks, „Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung – Vertiefung“, 2024.
-

-
- [17] Öko-Institut e.V.; ifeu; Thünen-Institut für Marktanalyse; Thünen-Institut für Waldwirtschaft; DBFZ; UFZ, 2024.
-
- [18] Fraunhofer ISI; Prognos AG; Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung – Universität Stuttgart; Öko-Institut e.V., „Evaluation der „Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz“ (Zuschuss und Kredit/Förderwettbewerb)“, 2024.
-
- [19] Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt), „Den Europäischen Emissionshandel verstehen,“ 2024. [Online]. Available: https://www.dehst.de/DE/Themen/EU-ETS-1/EU-ETS-1-Informationen/EU-ETS-1-verstehen/eu-ets-1-verstehen_node.html.
-
- [20] Europäische Kommission, „Carbon leakage“, 2024. [Online]. Available: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/carbon-leakage_en.
-
- [21] Umweltbundesamt, „Einführung eines CO₂-Grenzausgleichssystems (CBAM) in der EU“, 2023. [Online].
-
- [22] dena, „Auswirkungen der RED III auf den Biomethanmarkt – Welche Auswirkungen haben die Nachhaltigkeitsanforderungen aus Artikel 29 der RED III auf den Biomethanmarkt?“, Deutsche Energie-Agentur, Berlin, 2024.
-
- [23] Renewable Carbon Initiative, „EU and Global: Biomass Demand for Transport Fuels, Aviation and Shipping up to 2050 and Implications for Biomass Supply to the Chemical Sector“, 2025.
-
- [24] Europäische Kommission, „Certification of permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products“, 2024. [Online]. Available: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/certification-permanent-carbon-removals-carbon-farming-and-carbon-storage-products/certification-permanent-carbon-removals-carbon-farming-and-carbon-storage-products_en.
-
- [25] BMWK, „Langfristszenarien“, 2024. [Online]. Available: <https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/>.
-
- [26] K. Neuhoff, F. Ballesteros und T. Köveker, „Grundstoffindustrie braucht wirksamen Ausgleich von international unterschiedlichen CO₂-Kosten“, 2025.
-
- [27] dena, „dena Leitstudie: Aufbruch Klimaneutralität“, 2021.
-
- [28] UBA, „Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität“, 2021.
-
- [29] BDI, „Klimapfade 2.0 – Aufbruch in die Klima-Zukunft“, 2021.
-
- [30] Ariadne, „Die Energiewende kosteneffizient gestalten – Szenarien zur Klimaneutralität 2045“, 2025.
-
- [31] UBA, „Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen“, 2022. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/co2_ef_liste_2022_brennstoffe_und_industrie_final.xlsx. [Zugriff am 30.06.2025].
-

dena

The logo for DENA (Deutscher Energie-Nachwuchsverband) features the word "dena" in a lowercase, sans-serif font. Below the text is a horizontal bar with a color gradient from blue on the left to orange on the right.

www.dena.de