



Energiewende und Carbon-Management

**Malgorzata Borchers, Matthias Jordan, Till Markus,
Daniela Thrän**

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ

BILANZ

ALLOKATION

SYSTEMGESTALTUNG

Was ist Carbon Management?

Herkunft, Nutzung, Kreislaufführung und Verbleib von Kohlenstoff

Politische Perspektive: häufig auf CCU/CCS verengt.

Systemperspektive: schließt CDR ein, da die Pfade Ressourcen, Infrastruktur und Steuerungsfragen teilen.

KOHLNSTOFFHERKUNFT

Fossil

Biogen

Atmosphäre

Rezykliert

SYSTEMENTSCHEIDUNGEN

Vermeiden (substituieren)

Nutzen (kaskadieren)

Abscheiden (aufbereiten)

Transportieren (bündeln)

Entnehmen (speichern)

KOHLNSTOFFVERBLEIB

Atmosphäre
Freisetzung

Produkte & Kraftstoffe
Monate bis Jahrzehnte

Ökosysteme & biogene Senken
reversibel / temporär / Jahrzehnte bis Jahrhunderte

**Geologische/ mineralische
speicherung**
dauerhaft / > 10.000 Jahre

Kontext und Motivation

Klimaneutralität und CO₂-Entnahme

HEUTE

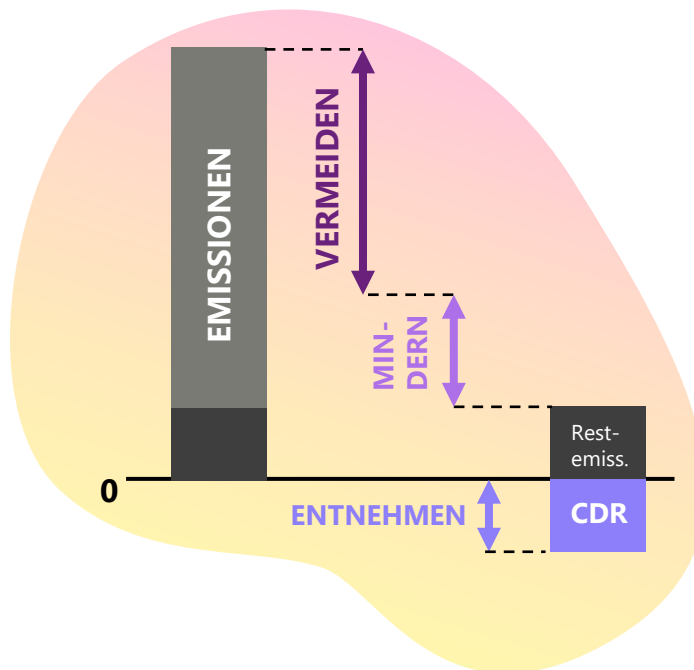


Emissionen: 649 Mt CO_{2eq}

Detschland 2025
-48% seit 1990
-0.1% ggü. 2024

LULUCF: +26,9 Mt CO_{2eq}
Wald: -19,3 Mt CO₂

Tiefe Minderung!



2045



THG-neutral

~60 MtCO_{2eq}

~10% schwer vermeindbare
Restemissionen

Foto: ©Cyrus Crossan | Unsplash Mengis, et al. 2022

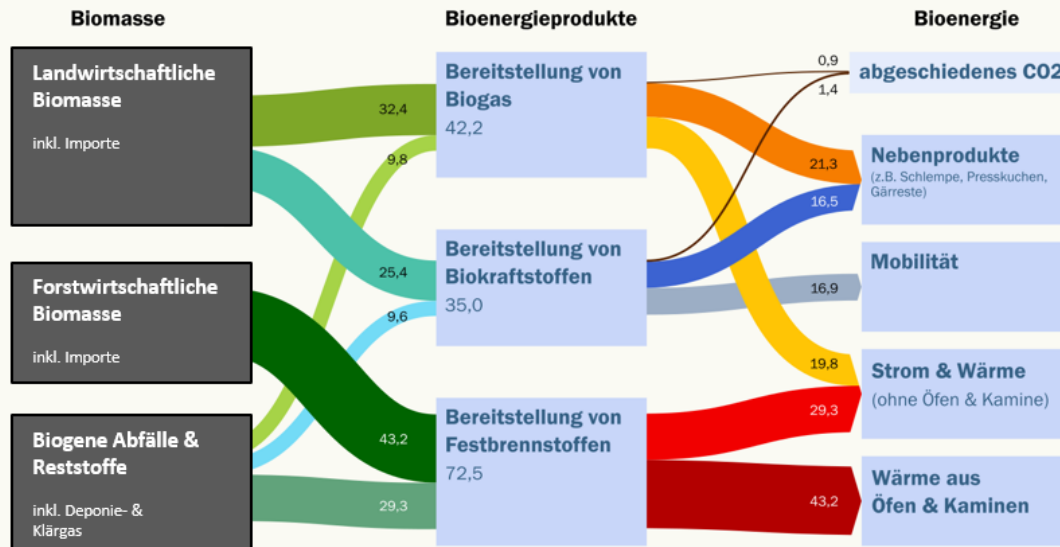
Deutschlands Bioenergiesystem



Thrän et al. (2025)
Environ. Res. Commun.
7, 091010; doi:
10.1088/2515-
7620/ae02ee



Deutsche Bioenergiesystem aus der Perspektive biogener Kohlenstoffströme



- Das ist kein Entnahmepotenzial.
- Keine ungenutzte Reserve.
- Nicht alles sollte in BECCS fließen.

150 Mt CO₂/Jahr
zirkulieren im System

47.8 Mt CO₂/Jahr
Biogene Abfälle & Reststoffe

28-39 Mt CO₂/Jahr
Ausgewählte BECCS-Pfade auf
Basis von Abfällen und Reststoffen

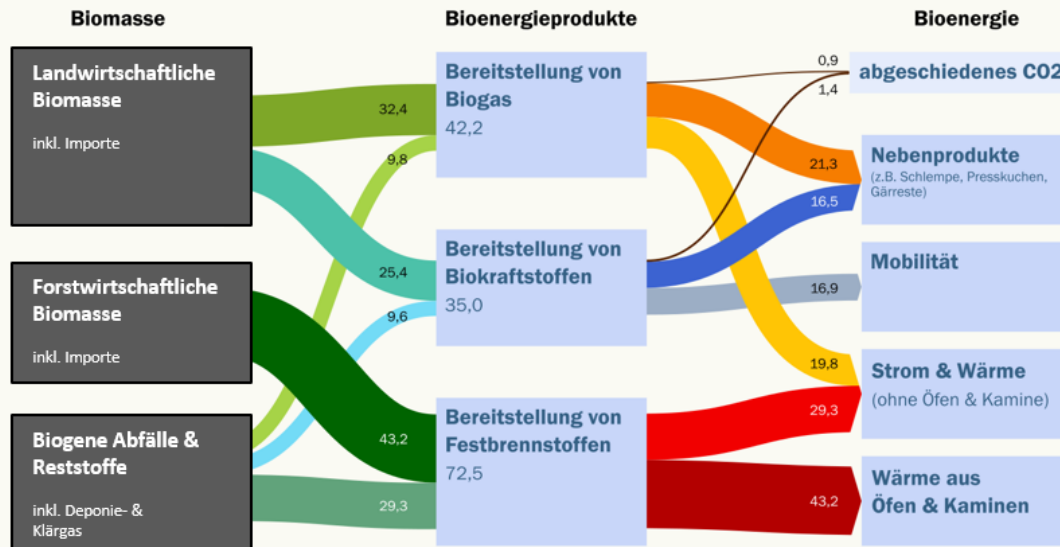
Deutschlands Bioenergiesystem



Thrän et al. (2025)
Environ. Res. Commun.
7, 091010; doi:
10.1088/2515-
7620/ae02ee



Deutsche Bioenergiesystem aus der Perspektive biogener Kohlenstoffströme



- Das ist kein Entnahmepotenzial.
- Keine ungenutzte Reserve.
- Nicht alles sollte in BECCS fließen.

28–39
Mt CO₂/a

Brutto-Potenzial am
Anlagenrand (*Plant-gate*)

≈3
Mt CO₂/a

Fermentations-CO₂

Biogas & Biokraftstoffe
>90% abscheidbar

20-28
Mt CO₂/a

Festbrennstoffkraftwerke

Großanlagen
80% Abscheidung angenommen

5-8
Mt CO₂/a

Biokohle

Pyrolyse
30-50% C gebunden

Was verändert die kostenoptimale Systemlösung?



Meisel et al. (2026)
DBFZ-Report 56; doi:
10.48480/17m2-
3058



Szenarien



Referenz Szenario

- Fortsetzung eines „konservativen“ Wandels hin zur Klimaneutralität.
- Wald ist keine Senke.
- Sensitivität: LULUCF Ziele erreicht.

BioökonomiePush + TechPush + Bioö.-TechPush

- Ambitionierte Mobilisierung von Biomasse.
- Ambitionierte Ziele für die stoffliche Nutzung.
- Ambitionierte technologische Entwicklungen umgesetzt.

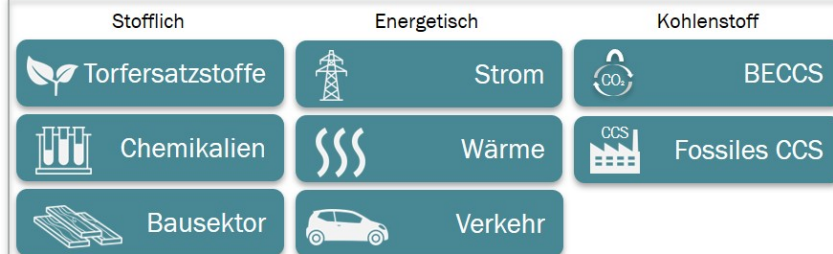
Biomasseknappheitsszenario

- Rückgang der Nutzung von Primärbiomasse.
- Phase-out Nutzung und Import von Energiepflanzen.

Input



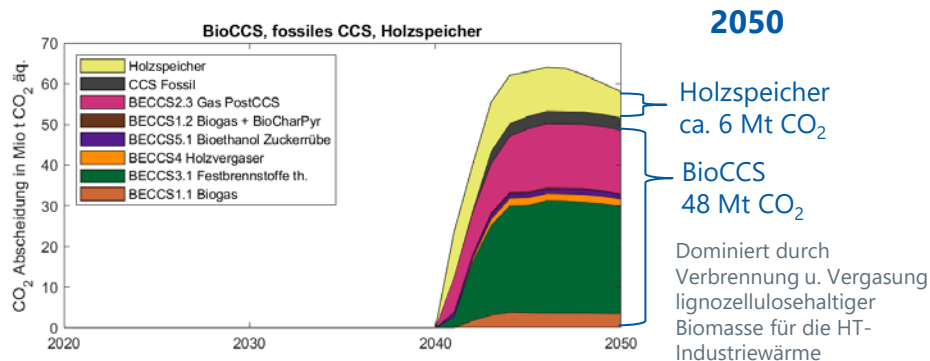
Nutzung



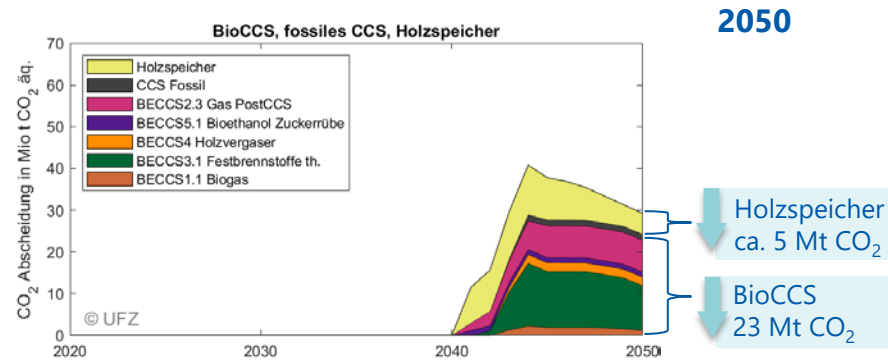
Natürliche Senken beeinflussen den Bedarf an BioCCS

Referenz Szenario

- Fortsetzung eines „konservativen“ Wandels hin zur Klimaneutralität.
- Wald ist keine Senke.
- Sensitivität: LULUCF Ziele erreicht.



BioCCS und Holzspeicher gleichen verbleibende THG-Emissionen aus.

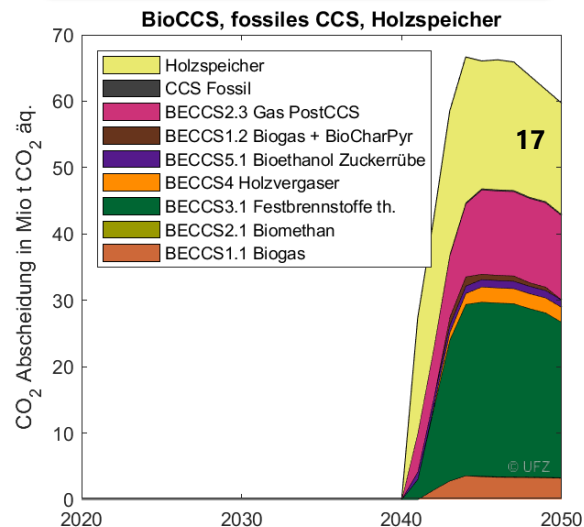


Werden die Wald- bzw. LULUCF-Ziele erreicht, sinkt der modellierte BioCCS-Bedarf von 48 Mt auf 23 Mt CO₂.

Szenarioannahmen verändern die Biomasseallokation

Bioökonomie-Push

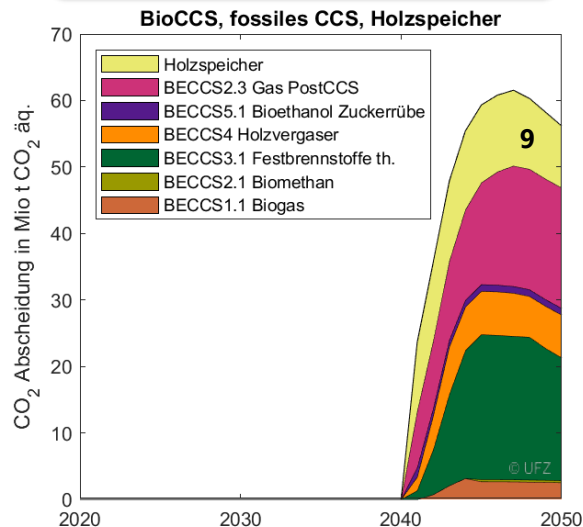
- Ambitionierte Mobilisierung von Biomasse.
- Ambitionierte Ziele für die stoffliche Nutzung.



➔ Mehr stoffliche Holznutzung → größerer Holzspeicher • BioCCS bleibt zentral

Technologie-Push

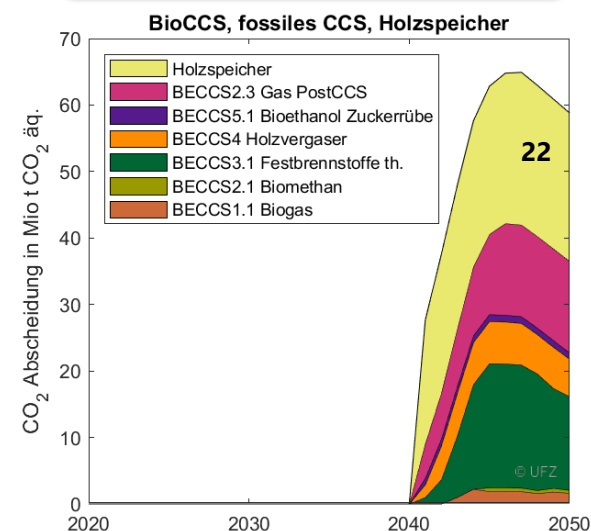
- Ambitionierte technologische Entwicklungen umgesetzt.



➔ Technischer Fortschritt → stärkster BioCCS-Beitrag • mittlerer Holzspeicher

Bioökonomie-Tech-Push

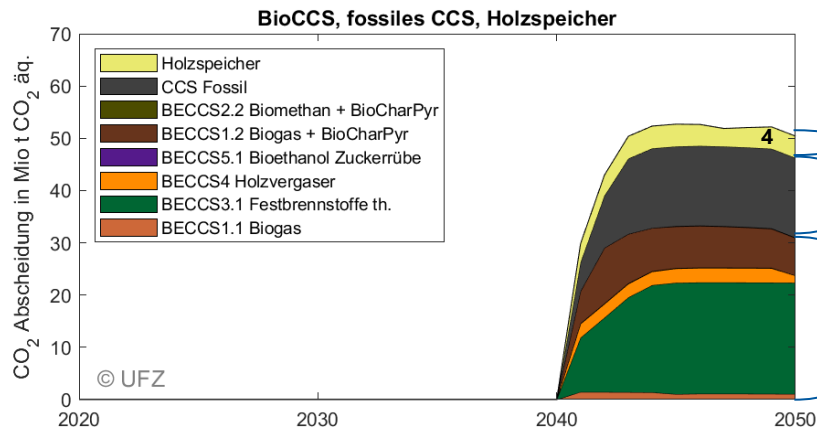
- Bioökonomie- und Technologieambitionen kombiniert.



➔ Breiterer Mix → größter Holzspeicher • geringerer BioCCS-Anteil

Biomasseknappheitsszenario:

- Weniger Primärbiomasse.
- Phase-out Nutzung und Import von Energiepflanzen.



Weniger Holzbau

Deutlich mehr fossiles CCS
für kosteneffizient verbleibende
fossile Emissionen in HT-Wärme

Weniger BioCCS

Mehr staatlicher Zukauf von
Emissionsrechten

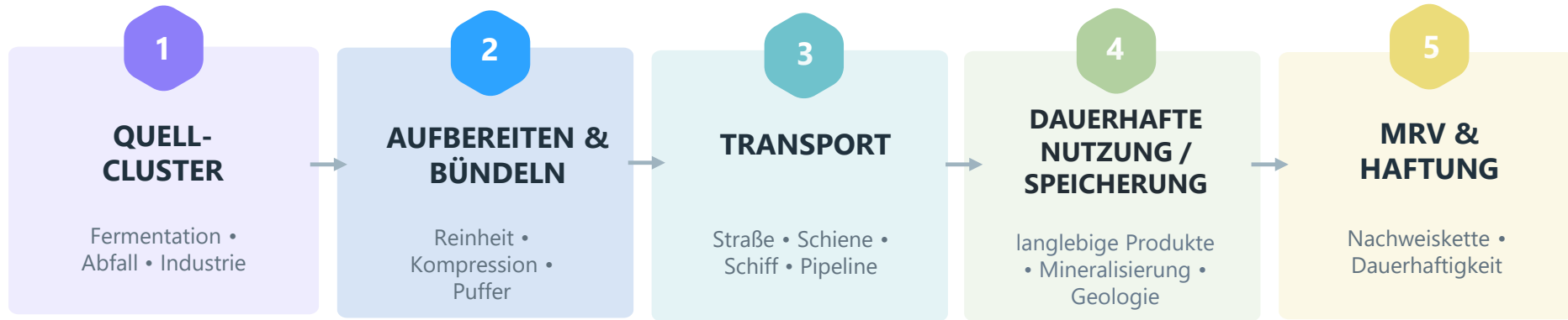
von 11 Mt CO₂
(Referenzszenario)

auf 30 Mt CO₂

Mehrkosten
von bis 23 Mrd.€/Jahr

Vom Anlagenpotenzial zur realisierten Entnahme

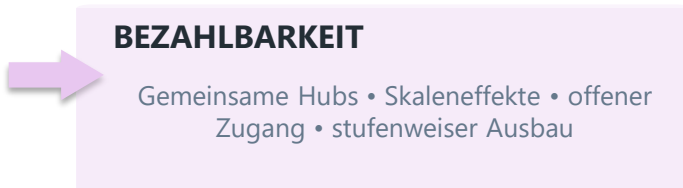
Infrastruktur ist das Scharnier



POLITISCHER MEILENSTEIN:

**KSptG in Kraft
seit ende Nov 2025**

- Die rechtliche Zulässigkeit ist nicht mehr der einzige Engpass.
- Jetzt entscheiden Netzplanung, Speicherzugang, Finanzierung und Koordination.



RESILIENZ

- Puffer • alternative Verkehrsträger und Routen
- Speicherdiversität • Schutz und Schneller Wiederanlauf

AKTUELLER KONTEXT

Kritische Netze auf Störung und Wiederanlauf auslegen

Drei Aufgaben der CDR-Regulierung

CDR-Regulierung ist Risikomanagement

ERMÖGLICHEN

- Entnahme, Transport, Speicher
- Förderung (push & pull)
- Skalierung der Infrastruktur
- Innovation & Flexibilität
- Akzeptabilität

RISIKEN BEGRENZEN

- Dauerhaftigkeit & Qualität
- Deterrence & Lock-in
- Konflikte (Umw-, Res-, Nutzung)
- Fehlentwicklungen
- Schutz betroffener Interessen

ORDNEN

- Standards, Zertifizierung, MRV
- Ziele, Maßnahmenhierarchie
- Umweltrecht (anw. & entw.)
- Ermessen & Nachsteuerung
- Transparenz, Beteiligung & Teilhabe

Recht der Europäischen Union



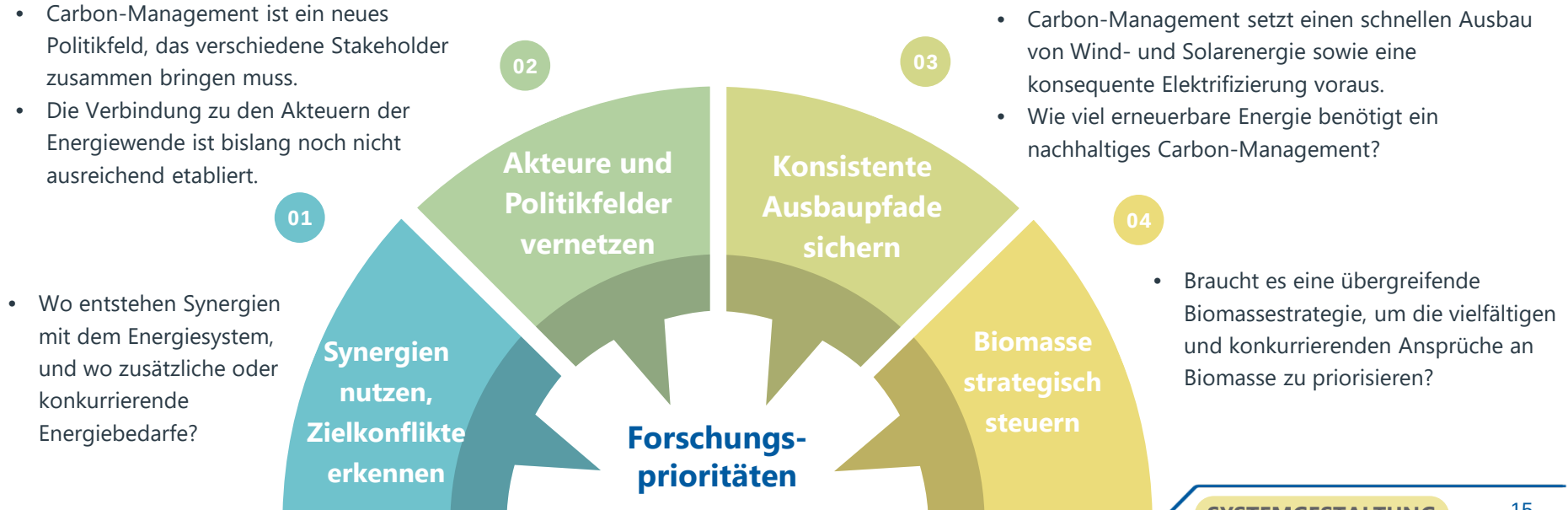
- Ziele im Europäischen Klimagesetz
- LULUCF-Verordnung
- CCS-Richtlinie i.V.m. ETS
- Net-Zero Industry Act
- Carbon Removal Certification Framework & Delegierter Rechtsakt (BioCCS, DACCS, Biochar)
- Perspektive: Industrial Carbon Management / Entnahme ETS-Integration (COM Proposal)

Bundesrecht



- Ziele im KSG (§ 3 Abs. 2 sowie § 3 lit. a. und § 3 lit. b.),
- KSpTG
- ANK fördert *carbon farming*
- **Perspektive:**
 - CarbMan (Carbon-Management Strategie)
 - Langfriststrategie für die CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre (LEA)
 - Rechtsverordnung zu § 3 lit. b. KSG.

Carbon-Management und Energiewende verzahnen





- Borchers, M., Förster, J., Thrän, D., Beck, S., Thoni, T., Korte, K., Gawel, E., Markus, T., Schaller, R., Rhoden, I., Chi, Y., Dahmen, N., Dittmeyer, R., Dolch, T., Dold, C., Herbst, M., Heß, D., Kalhori, A., Koop-Jakobsen, K., Li, Z., Oschlies, A., Reusch, T.B.H., Sachs, T., Schmidt-Hattenberger, C., Stevenson, A., Wu, J., Yeates, C., Mengis, N. (2024) *A comprehensive assessment of carbon dioxide removal options for Germany*. Earth's Future 12 (5), e2023EF003986, doi: 10.1029/2023ef003986



- Markus, T. (2026) *Hierarchisierung im Klimarecht: Zum Verhältnis von CO₂-Vermeidung, Abscheidung, Entnahme und Nutzung*. Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht



- Meisel, K., Jordan, M., Günther, S., Cyffka, K.-F., Röder, L. S., Wollnik, R., Karras, T., Schindler, H., Thrän, D. (2026) *Szenarien zum optimalen Einsatz von Biomasse in der Bioökonomie bis 2050*. Leipzig: DBFZ. VIII, 9-59 S. DBFZ-Report, 56. ISBN: 978-3-949807-41-1. DOI: 10.48480/17m2-3058.
- Mengis, N., Kalhori, A., Simon, S., Harpprecht, C., Baetcke, L., Prats- Salvado, E., et al. (2022) *Net-zero CO₂ Germany - A retrospect from the year 2050*. Earth's Future 10, doi: 10.1029/2021EF002324



- Thrän, D., Borchers, M., Jordan, M., Lenz, V., Markus, T., Matzner, N., Oehmichen, K., Otto, D., Radtke, K. S., Reshef, N., Sadr, M., Siedschlag, D., Wollnik, R., (2025) The role of BECCS in Germany: a key to sustainable and permanent CO₂ removal? Environmental Research Communications 7: 9, 091010; doi: 10.1088/2515-7620/ae02ee



- UBA (2026) Emissionsdaten 2025 & Projektionsdaten 2026, 14. März 2026, Dessau. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/system/files/document/UBA%20Emissionsdaten%202025_Projektionsdaten%202026_Hintergrundpapier_0.pdf

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Malgorzata Borchers

Leiterin der Arbeitsgruppe „Carbon Management“ (CARMA)

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ
Department Systemanalyse und Nachhaltigkeitsbewertung (SANA)
Permoserstraße 15
04318 Leipzig, Germany

Kontakt

✉ malgorzata.borchers@ufz.de

☎ +49 (0)341 6025 2821

🌐 www.ufz.de/index.php?de=47325

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6392-1216>



CARMA @ UFZ



M. BORCHERS @ UFZ