

Herzlich Willkommen zum 1. Workshop “Direct Air Capture made in Baden-Württemberg” CO₂-Märkte und ökonomische Potenziale für DAC



Online, 25. April 2024,
10:00 – 12:00 Uhr



ZSW - 35 Jahre Forschung, Entwicklung und Technologietransfer



- gemeinnützige Stiftung, gegründet 1988
- institutionell gefördert vom Land Baden-Württemberg
- aktuell ca. 50 Mio. € Umsatz (ohne Investitionen),
gesamt ca. 90 Mio. €, über 20 Mio. € direkte Industriemittel
- Bilanzsumme 2022: 165 Mio. €,
davon 146 Mio. € Anlagevermögen
- aktuell 340 Beschäftigte und etwa 110 Studierende
- weitere Informationen unter www.zsw-bw.de

POLITIKBERATUNG



WINDENERGIE



BATTERIEN



PHOTOVOLTAIK



WASSERSTOFF



BRENNSTOFFZELLEN



Stuttgart



Widderstall/Merklingen



Stötten/Geislingen



Ulm

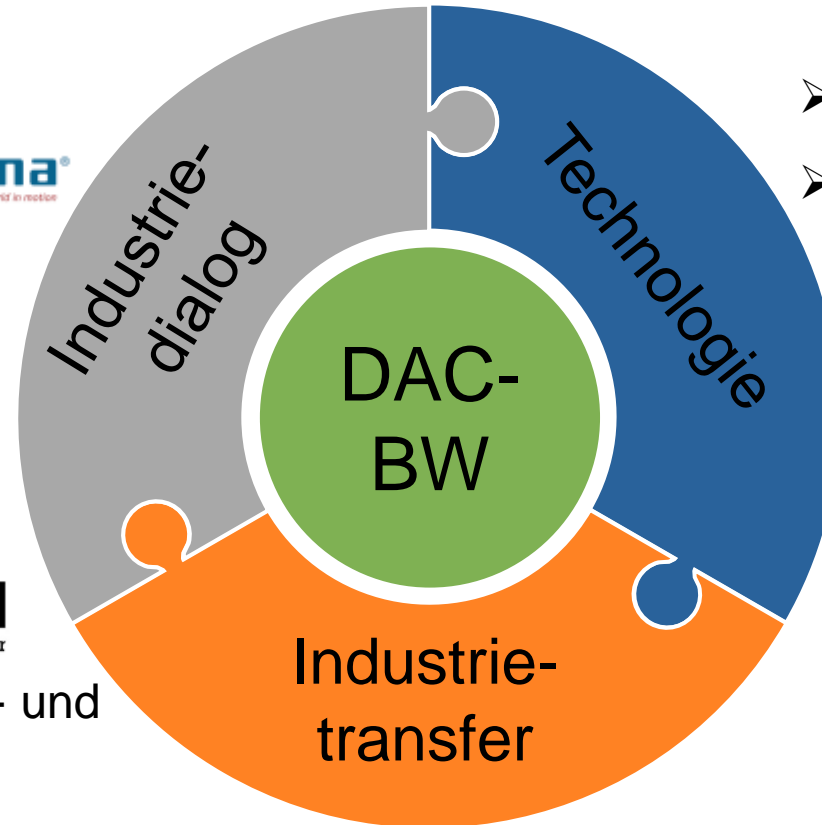


DAC-BW: „Direct Air Capture made in Baden-Württemberg“

Initiierung einer DAC- und Komponentenfertigung auf Landesebene

- Ansprache relevanter Unternehmen.
- Technische Qualifizierung.
- Aufbau eines Industrienetzwerks.

- Demonstrationsbetrieb einer DAC-Forschungsanlage (ca. 100 t_{CO2}/a).
- Skalierung und Industrialisierung.
- Prozesssimulation und -optimierung.



- Initiierung von Komponenten- und Produktentwicklungen.
- Aufbau von Fertigungskapazitäten in BaWü für den Technologieexport.



Stärkung baden-württembergischer Unternehmen für den Markthochlauf Direct Air Capture

- Technologieübergreifende Informationsbereitstellung
 - Workshops zu Komponenten und Baugruppen.
 - Workshop zu CO₂-Märkten und Geschäftsmodellen.
 - Einblick in die Praxis (F&E-Anlagen am ZSW).
 - Informationsmaterial auf Projekt-Homepage.
- Vernetzungsmöglichkeit für Akteure und Marktteilnehmer.
- Unterstützungsangebote auch außerhalb des Projektes durch:
 - Technischer Beratungen bei Produktentwicklungen.
 - Fördermöglichkeiten bei Produktentwicklungen.
 - Komponententests.

1. Workshop: CO₂-Märkte und ökonomische Potenziale für DAC (25.04.2024 - online)

- Entwicklung von CO₂-Bedarfen und möglichen CO₂-Quellen auf dem Weg zur Klimaneutralität
- Die Rolle von DAC als CO₂-Quelle und damit verbundene Potenziale für die Industrie in BaWü
- Die Entwicklung des Rechtsrahmens – ein Markt entsteht

2. Workshop: DAC-Technologieüberblick (18.07.2024 - online)

- Funktionsweise von DAC-Anlagen und Verfahrensvarianten
- Überblick bestehender Technologien und Wettbewerber, aktuelle Trends und Entwicklungen
- Herausforderungen bei der Industrialisierung und Skalierung von DAC

3. Workshop: Anforderungen an Komponenten und Baugruppen (10.10.2024 – ZSW)

- Übersicht der wesentlichen DAC-Komponenten am Beispiel der DAC-Technologie des ZSW
- Spezifische Anforderungen an die Absorber- und Desorber-Komponenten
- Anforderungen an die Mess- und Regelungstechnik
- Besichtigung einer DAC-Anlage mit einer Abscheidekapazität von ca. 100 t/a

Agenda

1. Workshop: CO₂-Märkte und ökonomische Potenziale für DAC “

- Begrüßung und Überblick (Raphael Vollmer)
- Entwicklung von CO₂-Bedarfen und möglichen CO₂-Quellen auf dem Weg zur Klimaneutralität (Marcel Klingler + Patrick Wolf)
- Die Rolle von DAC als CO₂-Quelle und damit verbundene Potenziale für die Industrie in Baden-Württemberg (Andreas Püttner + Peter Bickel)
- Die Entwicklung des Rechtsrahmens – ein Markt entsteht (Maïke Schmidt)
- Fragen und Diskussion



Baden-Württemberg

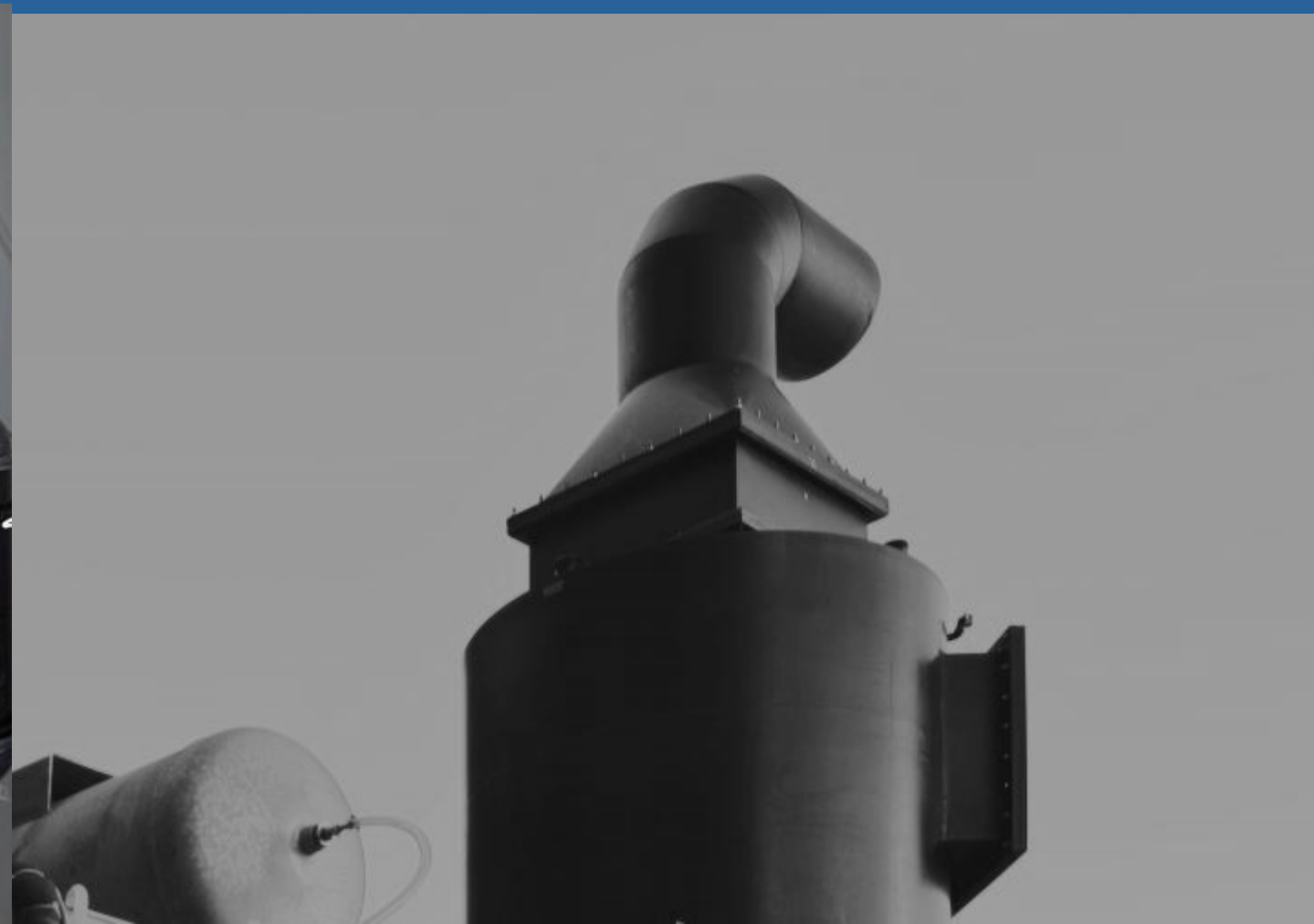
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS



Baden-Württemberg

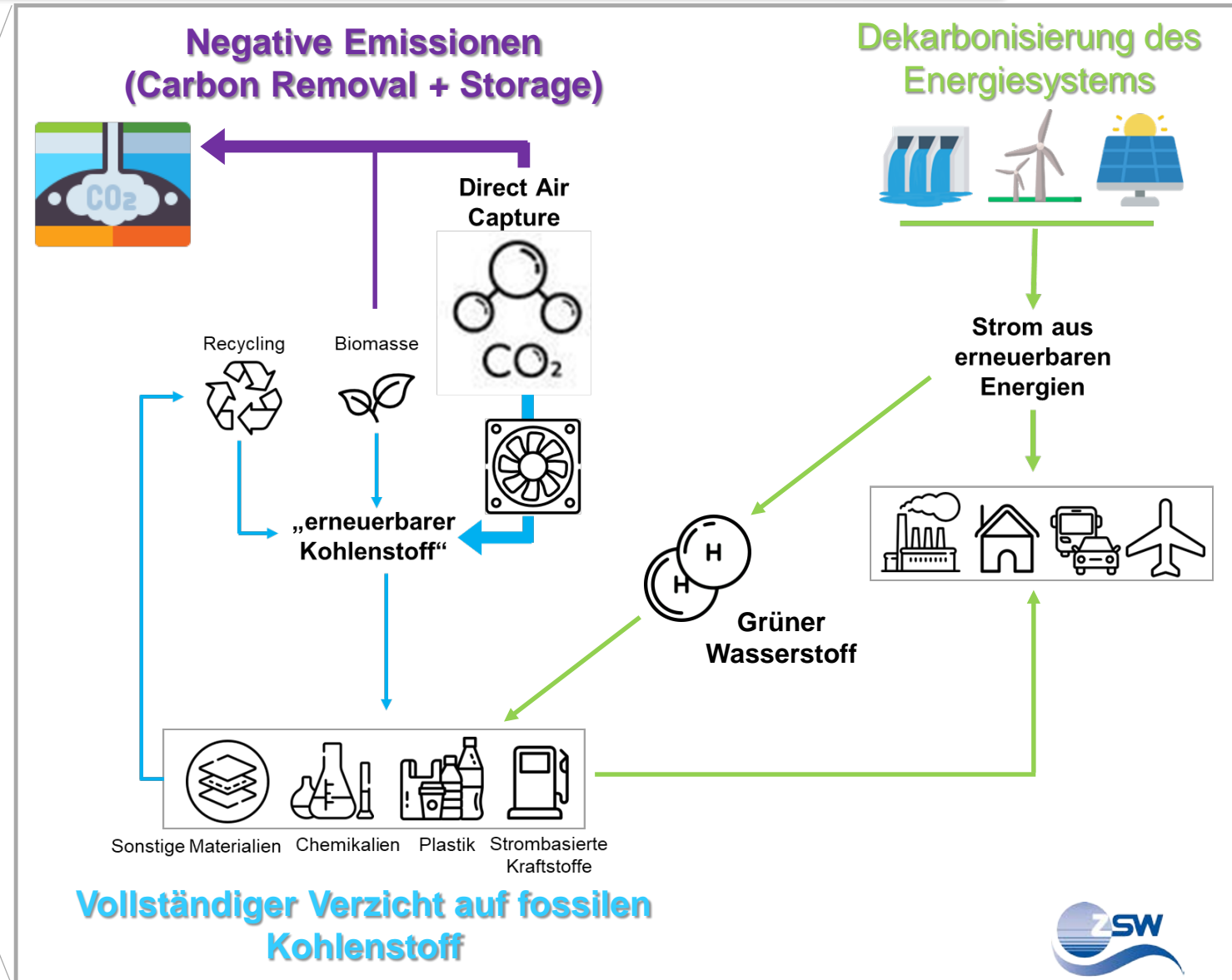
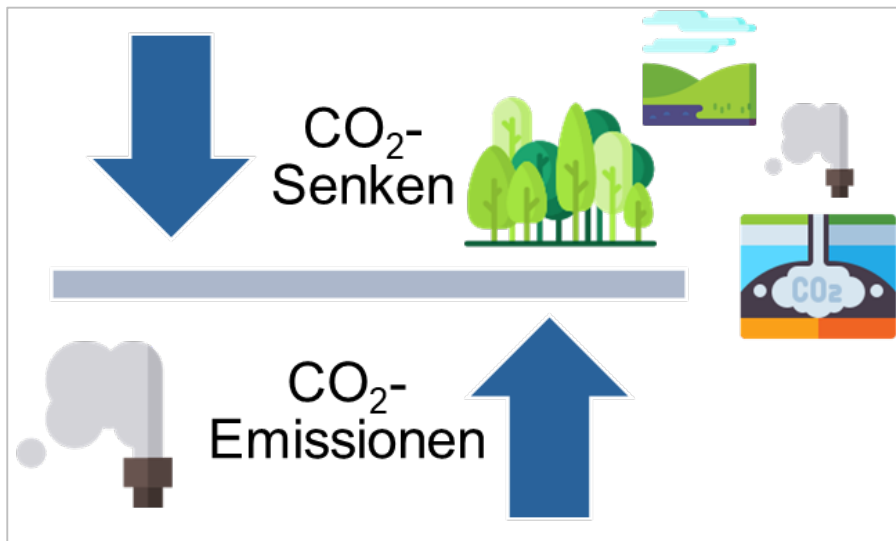
MINISTERIUM FÜR VERKEHR

Entwicklung von CO₂-Bedarfen und mögliche CO₂-Quellen auf dem Weg zur Klimaneutralität



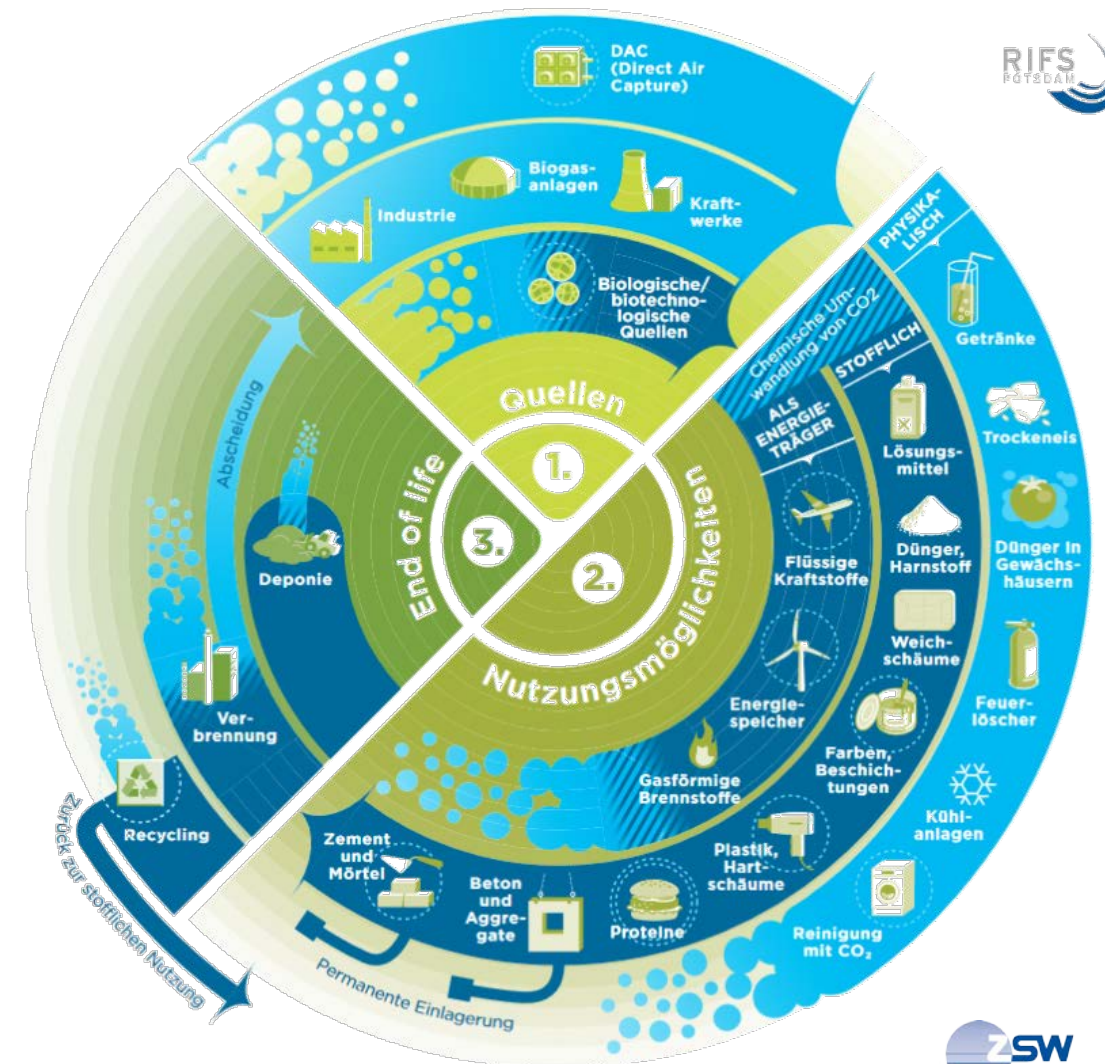
Netto-Treibhausgasneutralität – Welche Rolle spielt DAC?

„Netto-Treibhausgasneutralität bedeutet, dass noch genau so viel CO₂ ausgestoßen werden darf, wie über Senken wieder aufgenommen werden kann!“

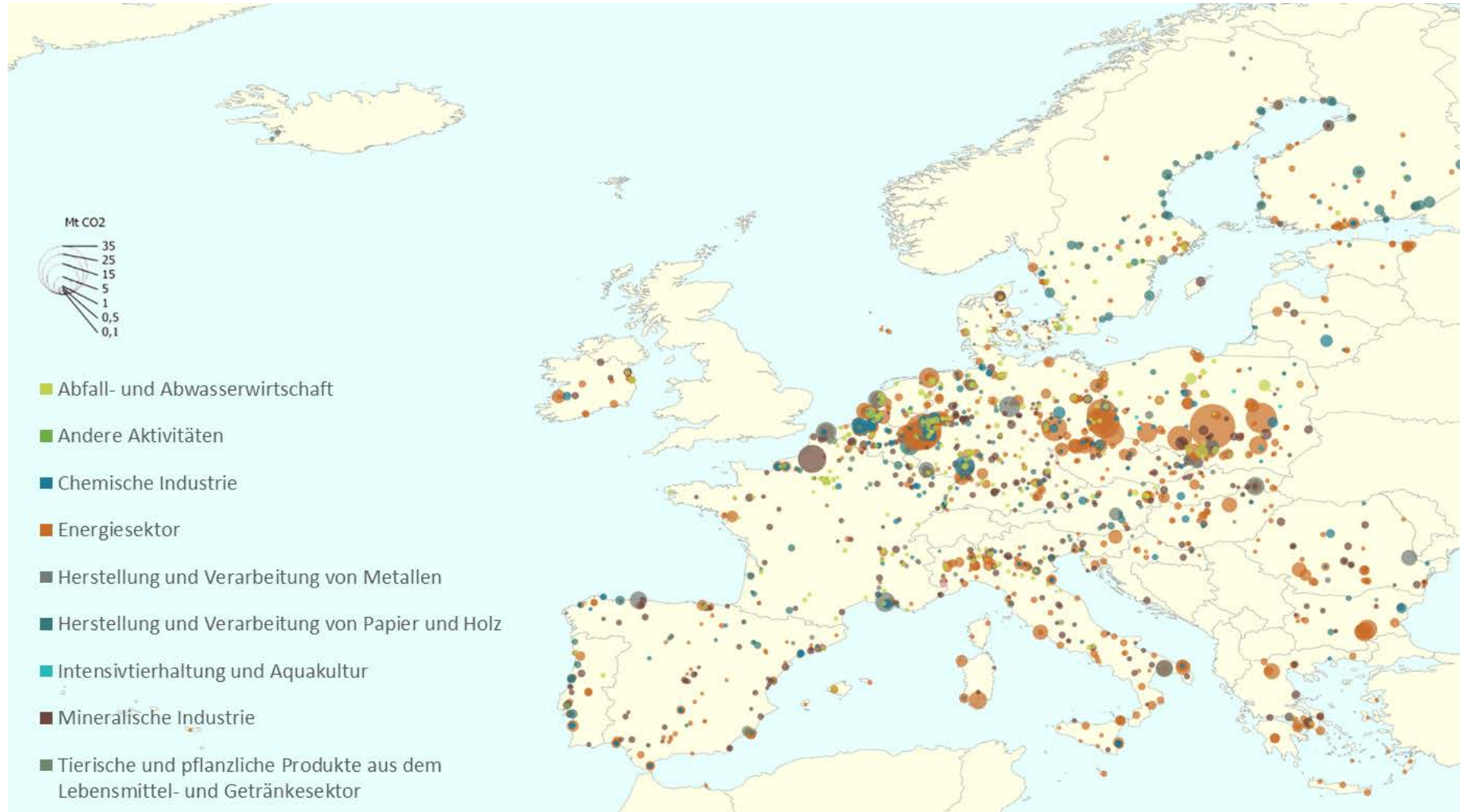


CO₂-Quellen und CO₂-Nutzungsmöglichkeiten

- CO₂-Quellen
 - Industrie, Biogasanlagen, Kraftwerke und DAC-Anlagen
- CO₂ als Ressource
 - Nutzungsmöglichkeiten für CO₂ heute und in Zukunft?
 - Physikalische Nutzung
 - Chemische Umwandlung von CO₂
 - Stoffliche Nutzung
 - Nutzung als Energieträger
- End of life
 - Abscheidung → Zur Nutzung (CCU) oder Speicherung
 - Recycling → Zurück zur stofflichen Nutzung
 - Speicherung → Zur Langfristspeicherung (CCS)

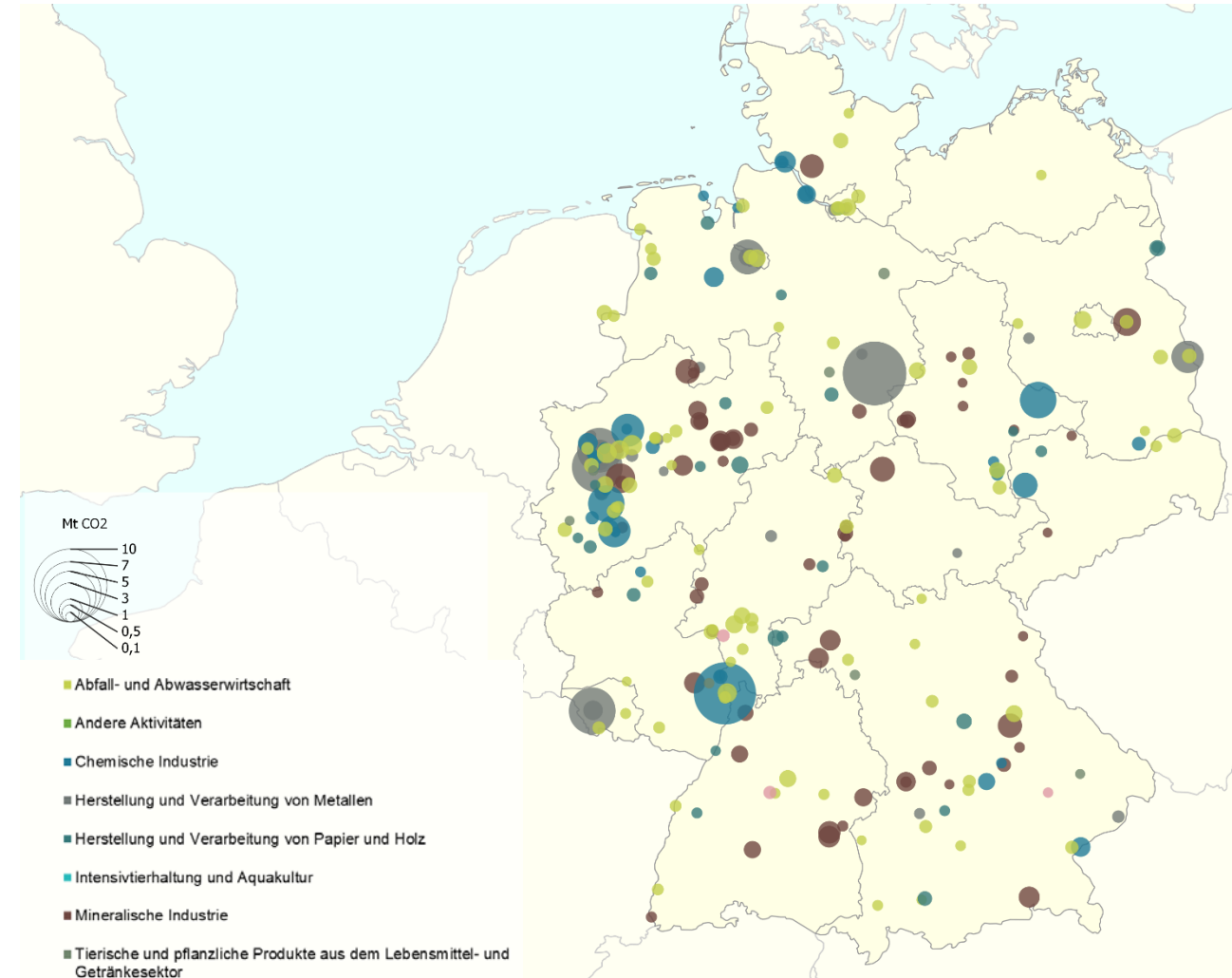
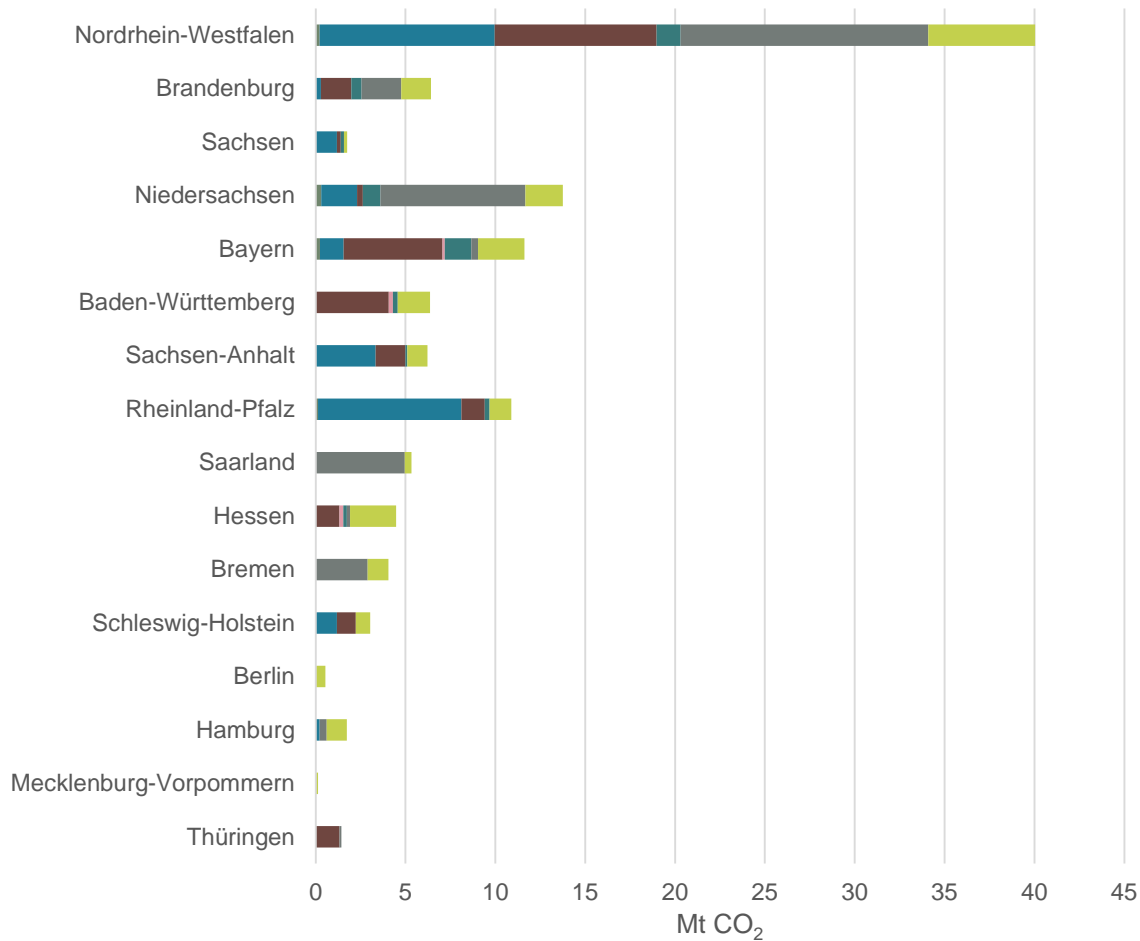


Geographische Verteilung von CO₂-Emittenten in Europa



Potenzielles CO₂-Angebot in Deutschland (ohne Energiesektor)

Zementwerke und Müllheizkraftwerke sind flächendeckend zu finden



Physische Verwertung

Karbonisierung von Getränken
Kältemittelgas
Enhanced Oil Recovery (EOR)
Wasseraufbereitung:
Ansäuerung/Neutralisierung und Entsalzung
Enhanced Gas Recovery (EGR)
Enhanced geothermal systems (EGS)
Enhanced Coal Bed Methane Recovery (ECBM)
Feuerlöschmittel
Pharmazeutische Prozesse: Inertisierung, Extraktion mit superkritischen Flüssigkeiten oder Produkttransport
Lebensmittelverarbeitung, -konservierung und -verpackung
Imprägnierung von Waren
Schädlingsbekämpfung
Pneumatik
Entkoffeinierung von Kaffee
Trockeneis
Metallverarbeitung
Zellstoff- und Papierverarbeitung
Reinigungsmittel zum Beispiel in der Elektronik- und Textilindustrie
Inertes Gas in der Chemie-, Lebensmittel-, Pharma- oder Metallindustrie
Schutzgas beim Schweißen

12

Biologische Umwandlung / Biomasse-Kultivierung

Produktion von Mikroalgen
Anbau von Gewächshauskulturen

Mineralisierung

Betonhärtung
Karbonisierung Bauxitrückstände, etc.
Schlackenkarbonisierung
Zuckerraffination (Weißzucker)
Natriumkarbonat (Na₂CO₃)
Backnatron (Natriumbikarbonat)
Kalziumkarbonat (CaCO₃)
Andere anorganische Karbonate (Mg/K₂/Li₂/SrCO₃)

Herstellung von Feinchemikalien

Isocyanate
Lactone
Azyklische Carbamate und Amide
Ungesättigte azyklische & alizyklische Monocarbonsäuren
Aromatische Monocarbonsäuren
Aromatische Polycarbonsäuren
Cumarine

Herstellung von Bulk-Chemikalien

Harnstoff
Salicylsäure
Essigsäure
Acrylsäure
Formaldehyd
Ethylen
Ethylenoxid
Propylen
Aceton
Styrol
Propionsäure
Acetaldehyd
Propanol
Oxalsäure
Methacrylsäure
Glyoxylsäure

Herstellung von Polymeren

Herstellung von Propylencarbonat
Herstellung von Polyurethan
Herstellung von Polycarbonat (PEC und PPC)
Polyacrylat
Polymethyl-Methacrylat
BPA-Polycarbonat

Energieträger

Ameisensäure
Methanol
Methan
Ethanol
Dimethylether (DME)
Synthesegas
Synthetisches Naphtha
Synthetisches Benzin
Synthetischer Diesel
Synthetisches Kerosin
Synthetisches Heizöl (leicht)

Übersicht basierend auf:

- Billig, E., Decker, M., Benzinger, W., Ketelsen, F., Pfeifer, P., Peters, R., ... & Thrän, D. (2019). Non-fossil CO₂ recycling—The technical potential for the present and future utilization for fuels in Germany. *Journal of CO₂ utilization*, 30, 130-141.
- Bobeck, J., Peace, J., Ahmad, F. M., & Munson, R. (2019). Carbon Utilization—A Vital and Effective Pathway for Decarbonization. *Center for Climate and Energy Solutions: Arlington, VA, USA*.
- Brinckerhoff, P. (2011). Accelerating the uptake of CCS: industrial use of captured carbon dioxide. *Global CCS Institute*, 260.
- Chauvy, R., Meunier, N., Thomas, D., & De Weireld, G. (2019). Selecting emerging CO₂ utilization products for short- to mid-term deployment. *Applied energy*, 236, 662-680.
- Patricio, J., Angelis-Dimakis, A., Castillo-Castillo, A., Kalmykova, Y., & Rosado, L. (2017). Region prioritization for the development of carbon capture and utilization technologies. *Journal of CO₂ Utilization*, 17, 50-59.
- Schmid, C., & Hahn, A. (2021). Potential CO₂ utilisation in Germany: An analysis of theoretical CO₂ demand by 2030. *Journal of CO₂ Utilization*, 50, 101580.

CO₂-Bedarf

CCU-TRL für CO₂-Anwendungsbereiche

Physische Verwertung

Karbonisierung von Getränken	
Kältemittelgas	
Enhanced Oil Recovery (EOR)	
Wasseraufbereitung: Ansäuerung/Neutralisierung und Entsalzung	
Enhanced Gas Recovery (EGR)	
Enhanced Geothermal Systems (EGS)	
Enhanced Coal Bed Methane Recovery (ECBM)	
Feuerlöschmittel	
Pharmazeutische Prozesse	
Lebensmittelverarbeitung, - konservierung und -verpackung	9
Imprägnierung von Waren	
Schädlingsbekämpfung	
Pneumatik	
Entkoffeinierung von Kaffee	
Trockeneis	
Metallverarbeitung	
Zellstoff- und Papierverarbeitung	
Reinigungsmittel zum Beispiel in der Elektronik- und Textilindustrie	
Inertes Gas in der Chemie-, Lebensmittel-, Pharma- oder Metallindustrie	
Schutzgas beim Schweißen	

13

Biologische Umwandlung / Biomasse-Kultivierung

Produktion von Mikroalgen	7-8
Anbau von Gewächshauskulturen	9

Mineralisierung

Betonhärtung	7-8
Karbonisierung Bauxitrückstände, etc.	7-9
Schlackenkarbonisierung	7-8
Zuckerraffination (Weißzucker)	9
Natriumkarbonat (Na ₂ CO ₃)	6
Backnatron (Natriumbikarbonat)	8-9
Kalziumkarbonat (CaCO ₃)	7
Andere anorganische Karbonate (Mg/K ₂ /Li ₂ /SrCO ₃)	<7

Herstellung von Feinchemikalien

Isocyanate	1-3
Lactone	4
Azyklische Carbamate und Amide	2
Ungesättigte azyklische & alizyklische Monocarbonsäuren	2
Aromatische Monocarbonsäuren	2
Aromatische Polycarbonsäuren	2
Cumarine	2

Herstellung von Bulk- Chemikalien

Harnstoff	9
Salicylsäure	9
Essigsäure	3
Acrylsäure	3
Formaldehyd	1-3
Ethylen	7
Ethylenoxid	4
Propylen	7
Aceton	2
Styrol	1-3
Propionsäure	1-3
Acetaldehyd	2
Propanol	2
Oxalsäure	4
Methacrylsäure	1
Glyoxylsäure	4

Herstellung von Polymeren

Herstellung von Propylencarbonat	7
Herstellung von Polyurethan	8-9
Herstellung von Polycarbonat (PEC und PPC)	9
Polyacrylat	7
Polymethyl-Methacrylat	7
BPA-Polycarbonat	9

Energieträger

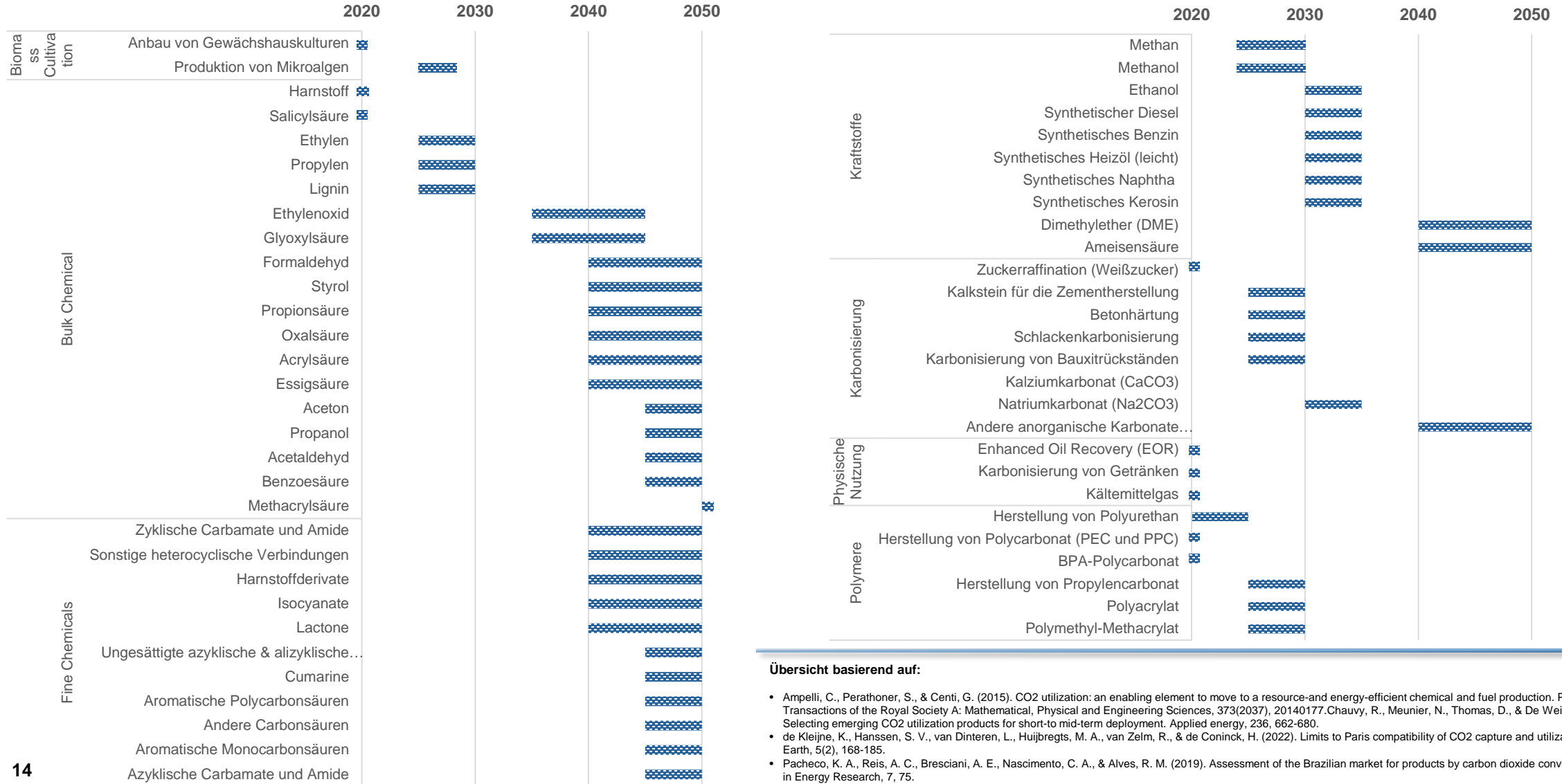
Ameisensäure	3-5
Methanol	7-8
Methan	7-8
Ethanol	6
Dimethylether (DME)	3
Synthesegas	6
Synthetisches Naphtha	6
Synthetisches Benzin	6
Synthetischer Diesel	6
Synthetisches Kerosin	6
Synthetisches Heizöl (leicht)	6

Übersicht basierend auf:

- Billig, E., Decker, M., Benzinger, W., Ketelsen, F., Pfeifer, P., Peters, R., ... & Thrän, D. (2019). Non-fossil CO₂ recycling—The technical potential for the present and future utilization for fuels in Germany. *Journal of CO₂ utilization*, 30, 130-141.
- Bobeck, J., Peace, J., Ahmad, F. M., & Munson, R. (2019). Carbon Utilization—A Vital and Effective Pathway for Decarbonization. *Center for Climate and Energy Solutions: Arlington, VA, USA*.
- Chauvy, R., Meunier, N., Thomas, D., & De Weireld, G. (2019). Selecting emerging CO₂ utilization products for short- to mid-term deployment. *Applied energy*, 236, 662-680.
- Patricio, J., Angelis-Dimakis, A., Castillo-Castillo, A., Kalmykova, Y., & Rosado, L. (2017). Region prioritization for the development of carbon capture and utilization technologies. *Journal of CO₂ Utilization*, 17, 50-59.
- Schmid, C., & Hahn, A. (2021). Potential CO₂ utilisation in Germany: An analysis of theoretical CO₂ demand by 2030. *Journal of CO₂ Utilization*, 50, 101580.

CO₂-Bedarf

Technologische Reife für CCU-Pfade



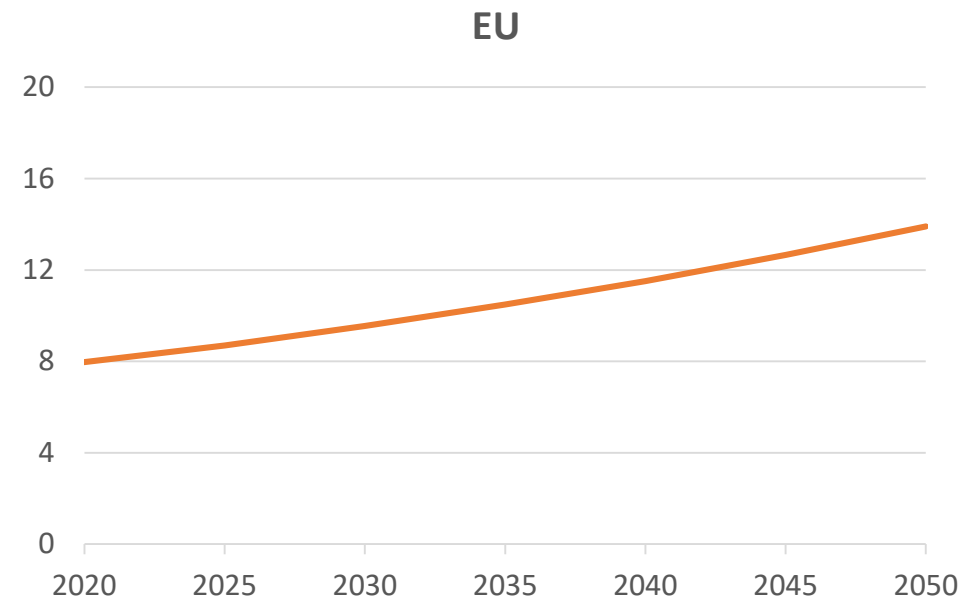
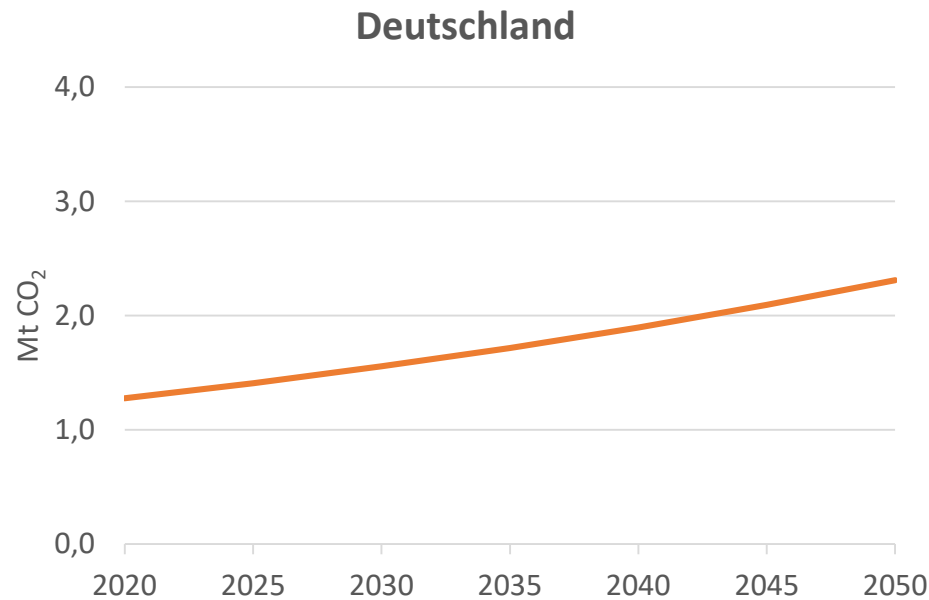
Übersicht basierend auf:

- Ampelli, C., Perathoner, S., & Centi, G. (2015). CO₂ utilization: an enabling element to move to a resource- and energy-efficient chemical and fuel production. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 373(2037), 20140177.
- Chauvy, R., Meunier, N., Thomas, D., & De Weireld, G. (2019). Selecting emerging CO₂ utilization products for short- to mid-term deployment. Applied energy, 236, 662-680.
- de Kleijne, K., Hanssen, S. V., van Dinteren, L., Huijbrechts, M. A., van Zelm, R., & de Coninck, H. (2022). Limits to Paris compatibility of CO₂ capture and utilization. One Earth, 5(2), 168-185.
- Pacheco, K. A., Reis, A. C., Bresciani, A. E., Nascimento, C. A., & Alves, R. M. (2019). Assessment of the Brazilian market for products by carbon dioxide conversion. Frontiers in Energy Research, 7, 75.
- Schmid, C., & Hahn, A. (2021). Potential CO₂ utilisation in Germany: An analysis of theoretical CO₂ demand by 2030. Journal of CO₂ Utilization, 50, 101580.
- Hierauf basierenden Abschätzungen

CO₂-Bedarf im CCU-Kontext

Bestehender CO₂-Bedarf

- Bestehende Bedarfe lassen sich grob in zwei wesentliche Bereiche, physische Nutzung und Harnstoffherstellung, unterteilen
- Für den bestehenden Bedarf wird in der Literatur von relativ konstanten Wachstumsraten ausgegangen



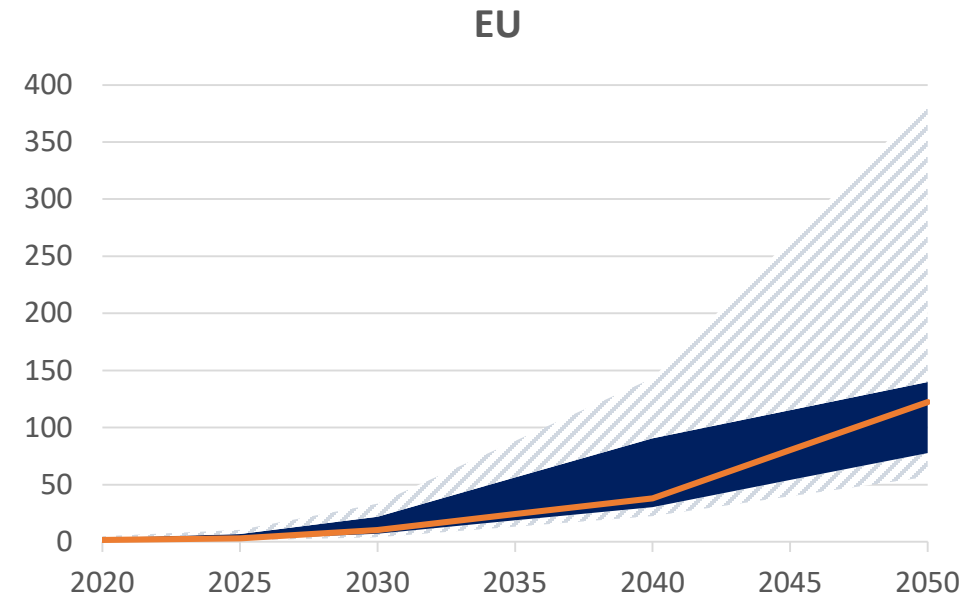
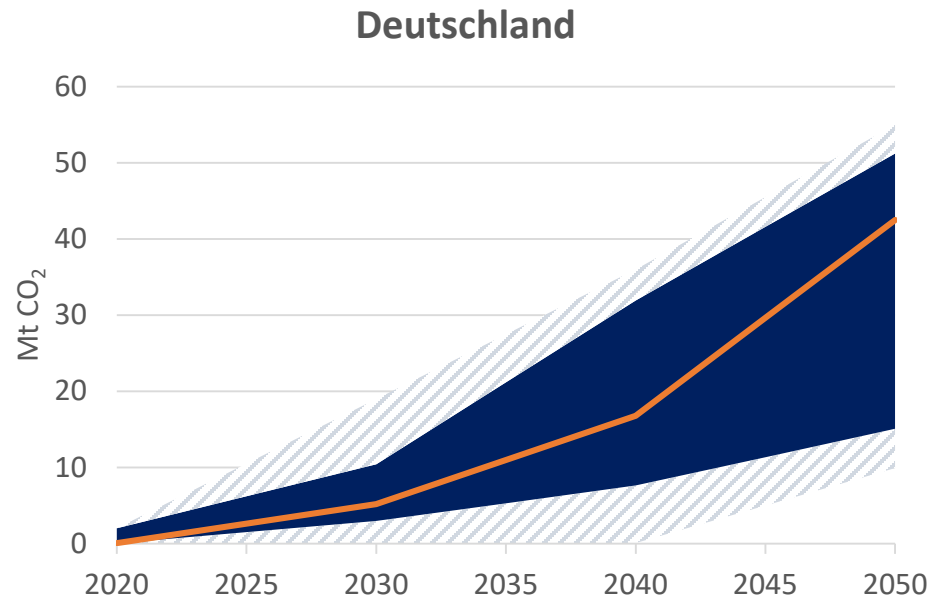
Übersicht basierend auf:

McQuillen et al. (2022) | ifa (2016) | Schmidt & Hahn (2021) | ETC (2022) | eigene Berechnungen hierauf

CO₂-Bedarf im CCU-Kontext

Bandbreite des CO₂-Bedarfs für den **Chemiesektor** nach unterschiedlichen Szenarien

- Basierend auf einer Literatur- und Szenarienauswertung wurden Bandbreiten des zukünftigen CO₂-Bedarfs für unterschiedliche Anwendungsbereiche erstellt:
 - Literaturangaben streuen sehr stark in Abhängigkeit der Datenquelle und des unterstellten Szenarios
- Zentralen Bedarfe im Chemie und Polymerbereich untergliedern sich dabei im Wesentlichen in die Herstellung von Olefinen, BTX sowie Methanol als Chemikalie (DECHEMA, 2017; Huo et al., 2023).



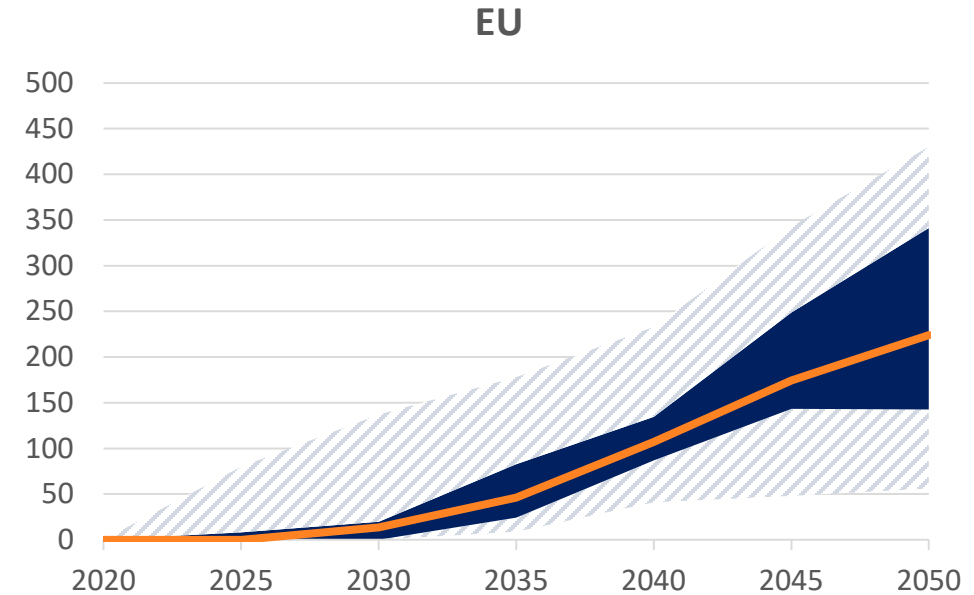
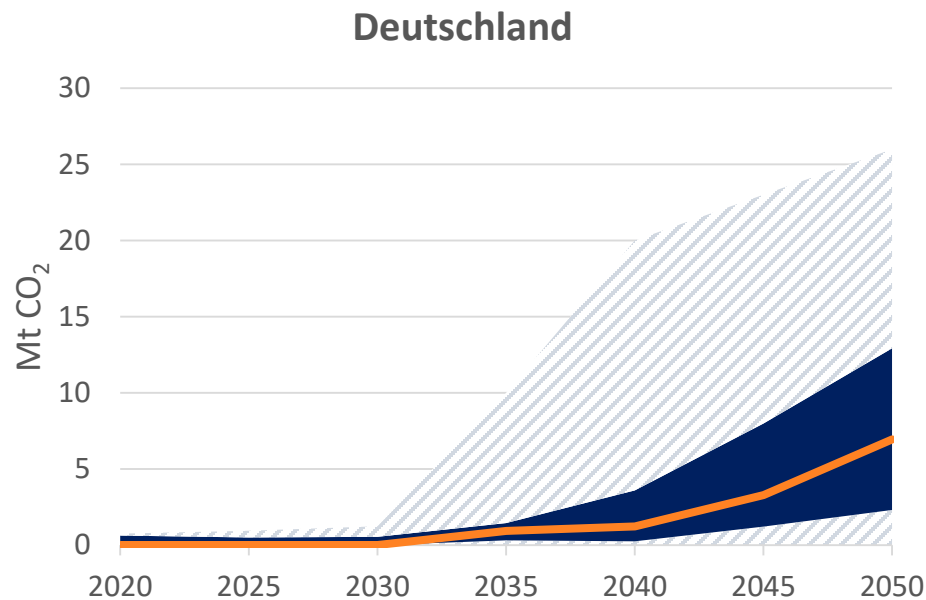
Übersicht basierend auf:

Aresta (2019) | Hepburn et al. (2019) | Granér & Johansson (2022) | Naims (2016) | Huo et al. (2023) | DECHEMA (2017) | Fraunhofer ISI (2019) | Kaiser & Bringezu (2020) | VCI (2019) | Schmidt & Hahn (2021) | Bringezu et al. (2020) | Viebahn et al. (2019) | eigene Berechnungen hierauf

CO₂-Bedarf im CCU-Kontext

Bandbreite des CO₂-Bedarfs für die Kraftstoffproduktion nach unterschiedlichen Szenarien

- CO₂-Bedarf auf EU-Ebene sehr stark von Kraftstoffproduktion abhängig.
- Große Unsicherheiten hinsichtlich zukünftiger Produktion synthetischer Kraftstoffe geht mit großen Bandbreiten des künftigen CO₂-Bedarfs einher



17 ■ Grenze 1. bis 3. Quartil ■ Angaben außerhalb 1. & 3. Quartil ■ Medianbedarf

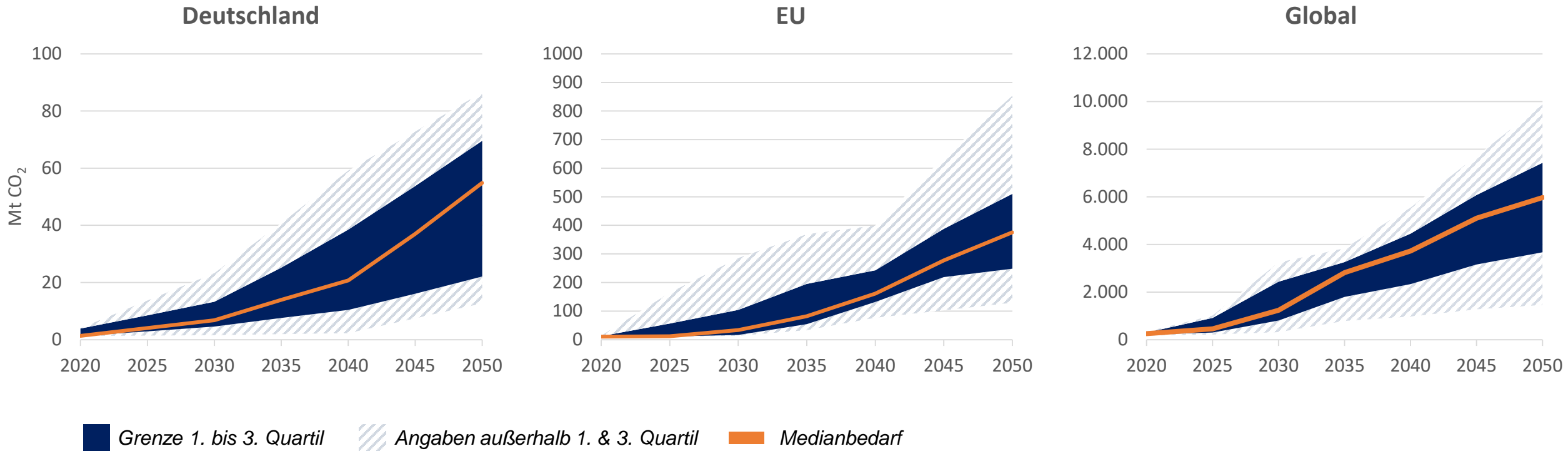
Übersicht basierend auf:

Global Alliance Powerfuels (2020) | Global CO₂ Initiative (2019) | Hepburn et al. (2019) | Fraunhofer ISI (2019) | Bazzanella & Ausfelder (2017) | Fraunhofer ISI (2019) | McQuillen et al. (2022) | European Commission (2019) | Concawe (2021) | Carlsson et al. (2020) | Millinger et al. (2021) | Viebahn et al. (2019) | Gerbert et al. (2018) | Fraunhofer ISE (2021) | dena (2021) | BDI (2021) | Prognos (2018) | eigene Berechnungen hierauf

CO₂-Bedarf im CCU-Kontext

Bandbreite des CO₂-Gesamtbedarfs für CCU nach unterschiedlichen Szenarien

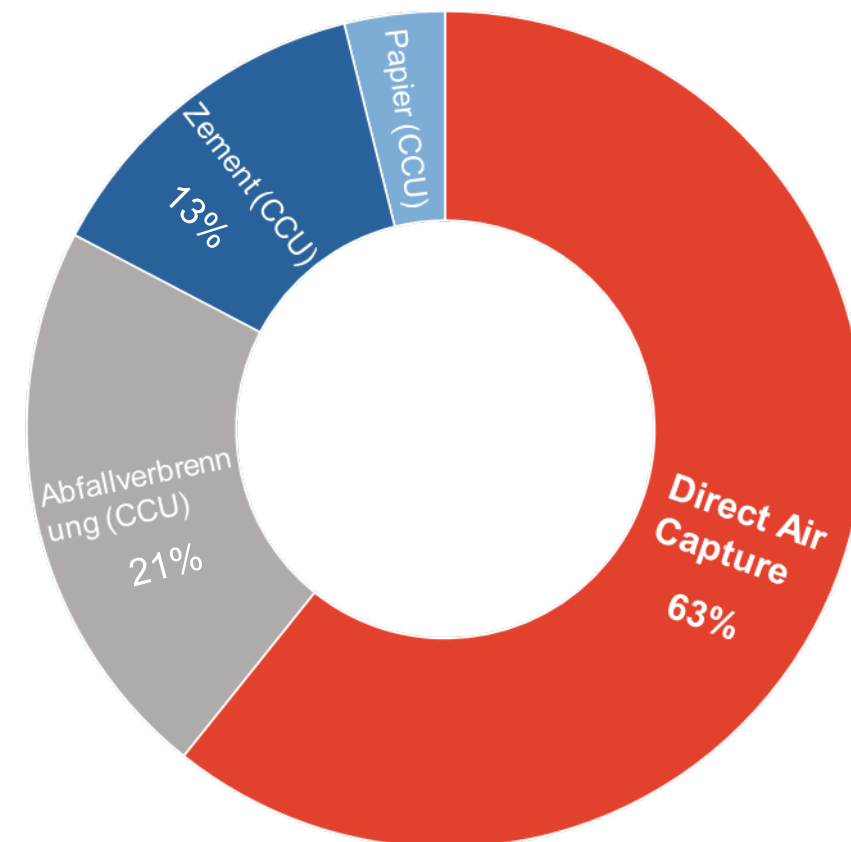
- Aus den kumulierten, sektorspezifischen Auswertungen ergibt sich ein Korridor mit der zu erwartenden CO₂-Gesamtnachfrage
- Zu erwartender Gesamtbedarf in 2050 liegt bei etwa 55 Mt (DE) bzw. 375 Mt (EU) sowie global bei etwa 6000 Mt
- Bedarf wird in der Regel durch Produktion synthetischer Energieträger und Chemikalien bestimmt



Fazit

- CO₂ ist ein Rohstoff und kann zukünftig in vielen Anwendungsbereichen genutzt werden.
- CO₂ als Rohstoff wird langfristig allerdings ein knappes Gut.
- Im Hinblick auf das CO₂-Angebot aus nicht-vermeidbaren Punktquellen entsteht perspektivisch ein CO₂-Nachfrageüberhang, der bspw. über DAC gedeckt werden muss.

Erwartete CO₂-Bereitstellungspfade
auf globaler Ebene in 2050



Quelle: Galimova et al. 2022.



Baden-Württemberg

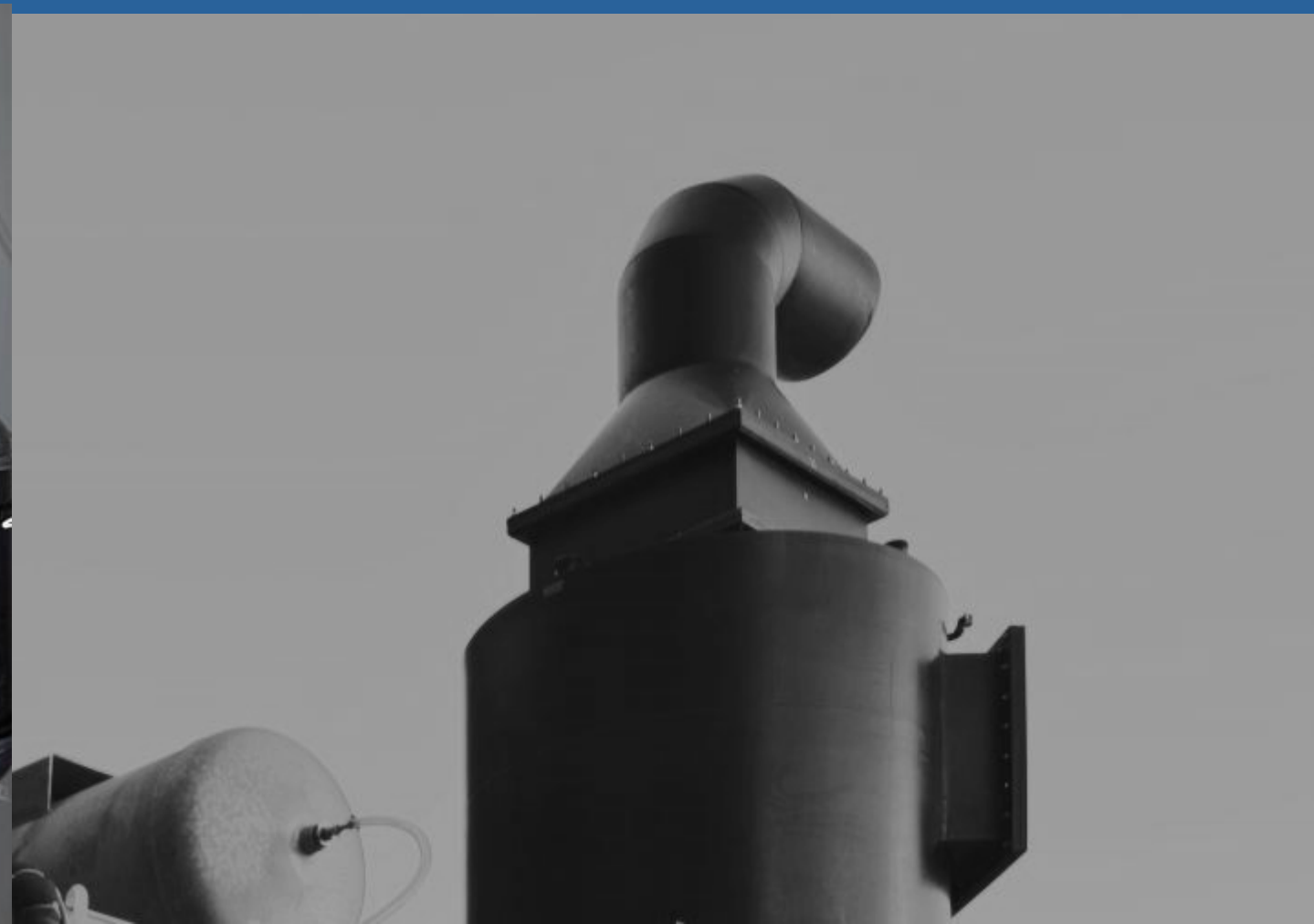
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS



Baden-Württemberg

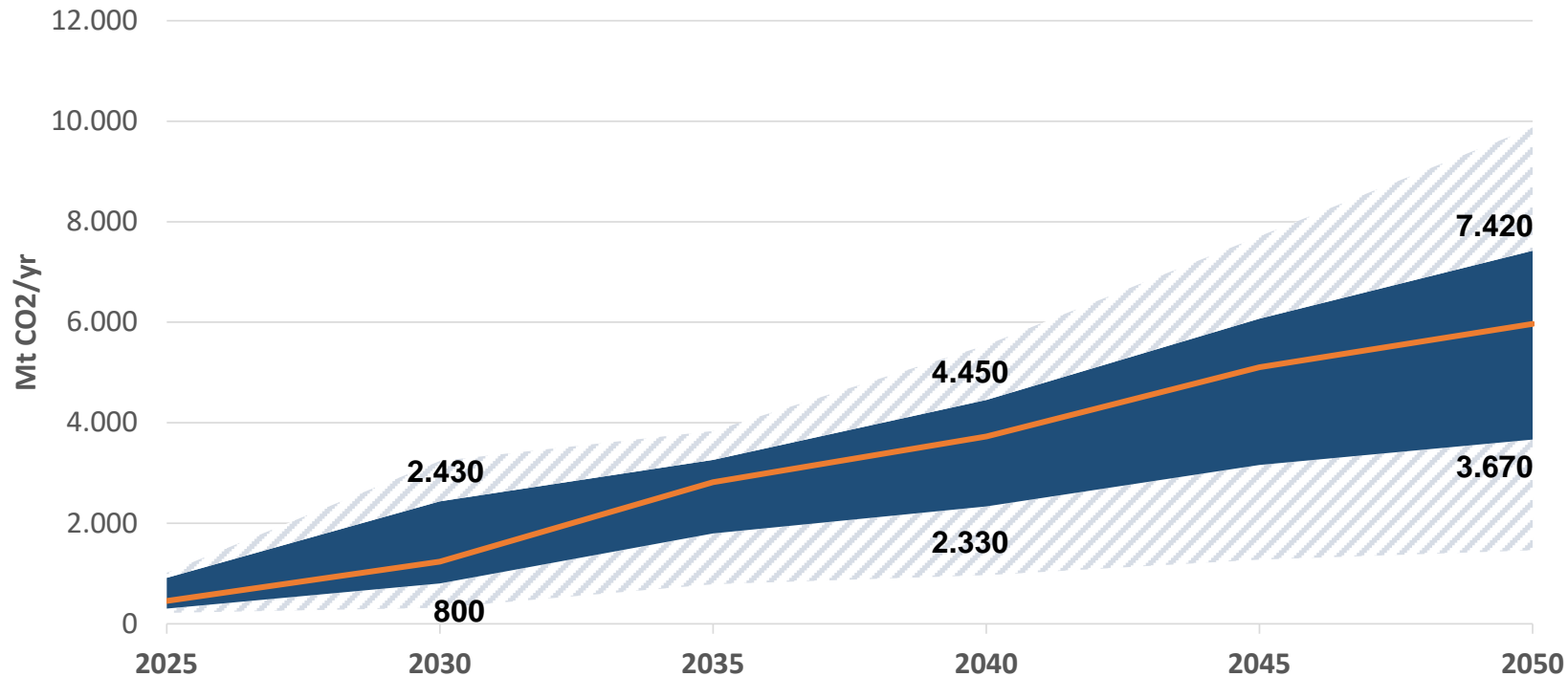
MINISTERIUM FÜR VERKEHR

Die Rolle von DAC als CO₂-Quelle und damit verbundene Potenziale für die Industrie in Baden-Württemberg



Weltweiter Bedarf an CCU und negativen Emissionen

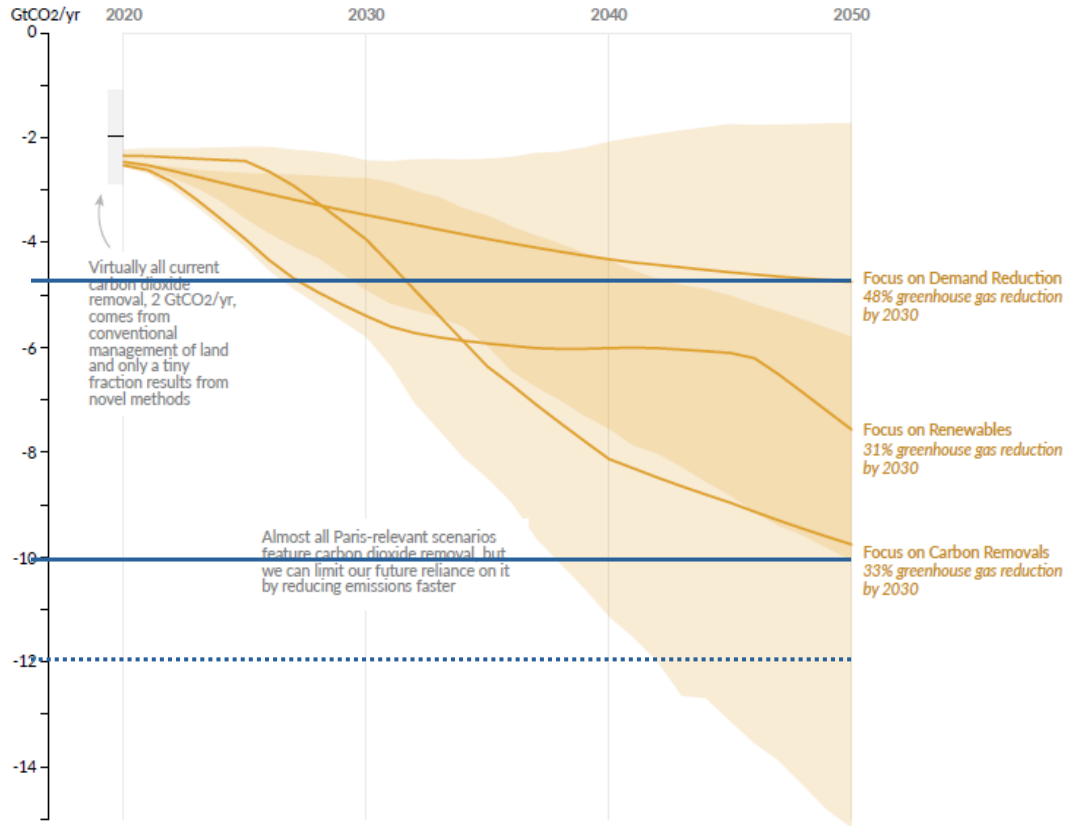
Carbon Capture and Use (CCU)



- CCU umfasst u.a. Chemiesektor, synthetische Kraftstoffe, physische Nutzung, Bauwirtschaft.
- Für industrielle Anwendungen bestehen vergleichsweise wenige „Konkurrenztechnologien“ für DAC.

Weltweiter Bedarf an CCU und negativen Emissionen

Notwendige negative Emissionen (CDR) zur Einhaltung des Pariser Klimaziels von +1,5°C



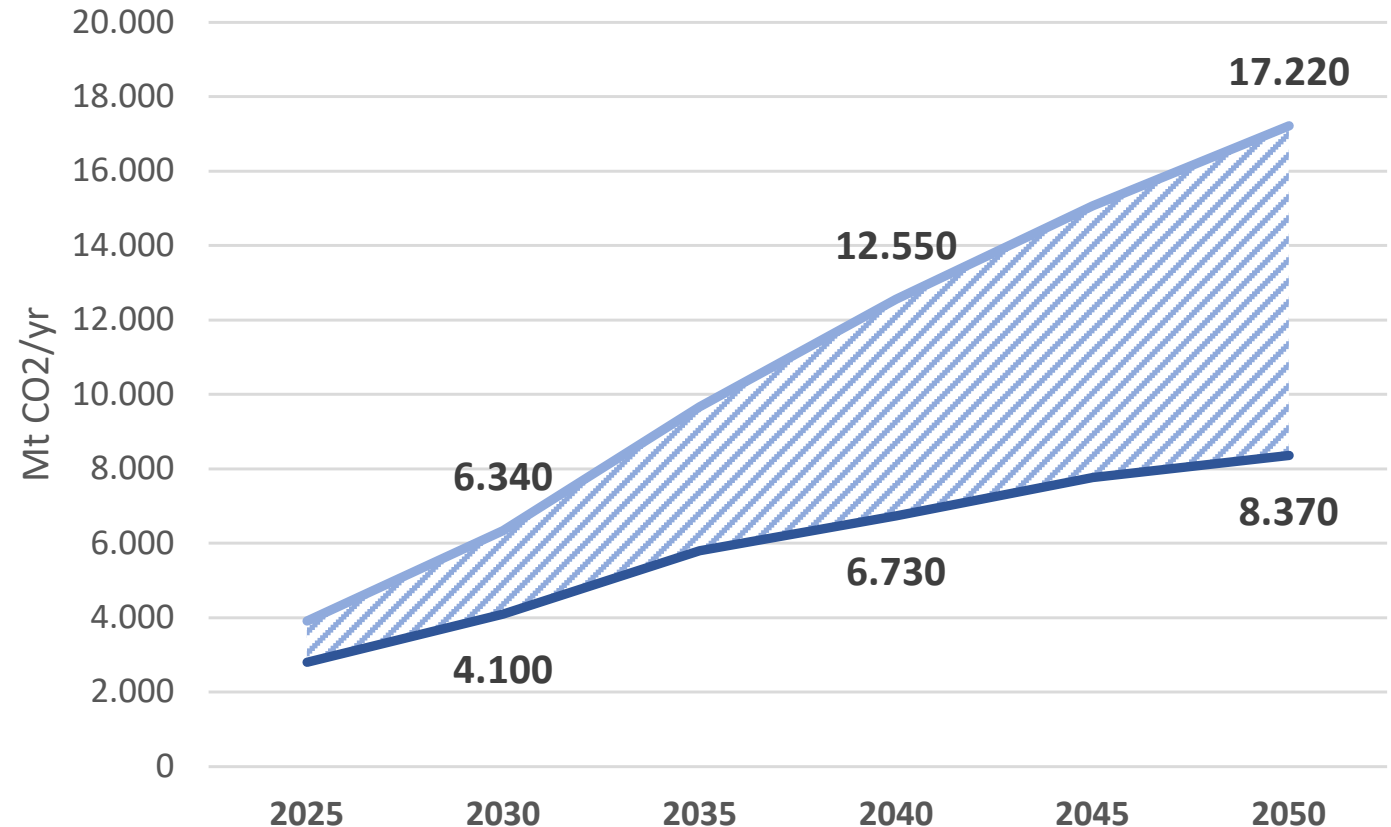
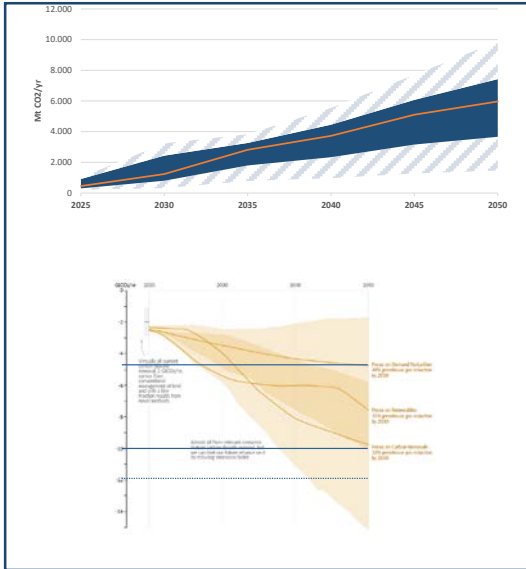
Smith et al. (2023)

- Weitere Szenarien sehen bis 2050 negative Emissionen in Höhe von 6 bis 12 Gt CO₂ vor.
- Die erforderliche Menge ist somit noch größer als bei CCU.
- Es steht eine größere Technologieauswahl zur Verfügung (natürliche und technische Verfahren).
- Potenziale vieler CDR-Verfahren aufgrund des fortschreitenden Klimawandels unsicher.

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bedarf CDR [Mt]	2.500 - 3.000	3.300 - 3.910	4.000 - 6.400	4.400 - 8.100	4.600 - 9.000	4.700 - 9.800

Weltweiter Bedarf an CCU und negativen Emissionen

Gesamt – CCU und negative Emissionen (CDR)

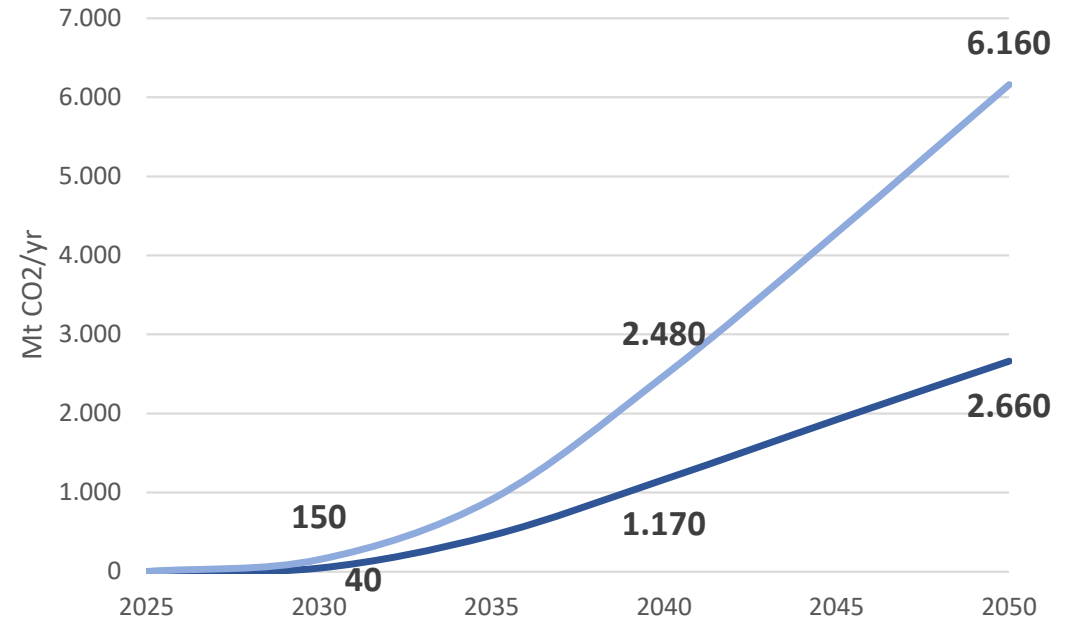
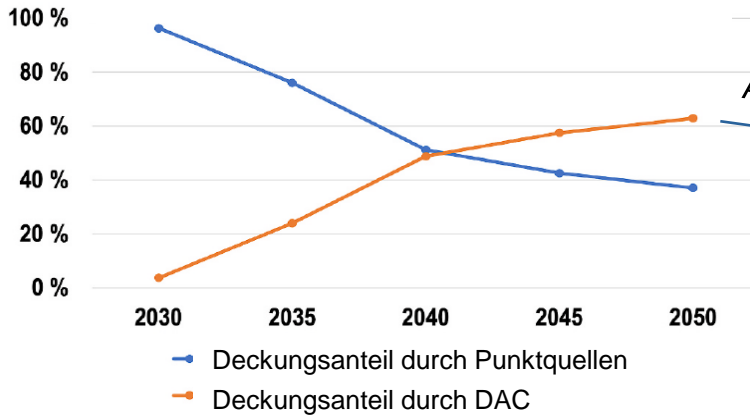


- CO₂-Bedarf für CCU insbesondere abhängig vom Produktionsumfang strombasierter Kraftstoffe.
- Große Unsicherheiten bestehen ebenfalls bei der physischen Nutzung von CO₂.
- Der Umfang negativer Emissionen hängt maßgeblich von globalen Klimaschutzaktivitäten statt.
- Eine Verfehlung der Klimaschutzziele erfordert einen enormen Ausbau von CDR-Verfahren.
- Die Realisierung des CDR-Hochlaufs ist aufgrund der kritisch einzuschätzenden technologischen Potenziale sehr unsicher. Dies gilt für natürliche und technische Verfahren.

Gesamtbedarf an CO₂ aus DAC-Anlagen

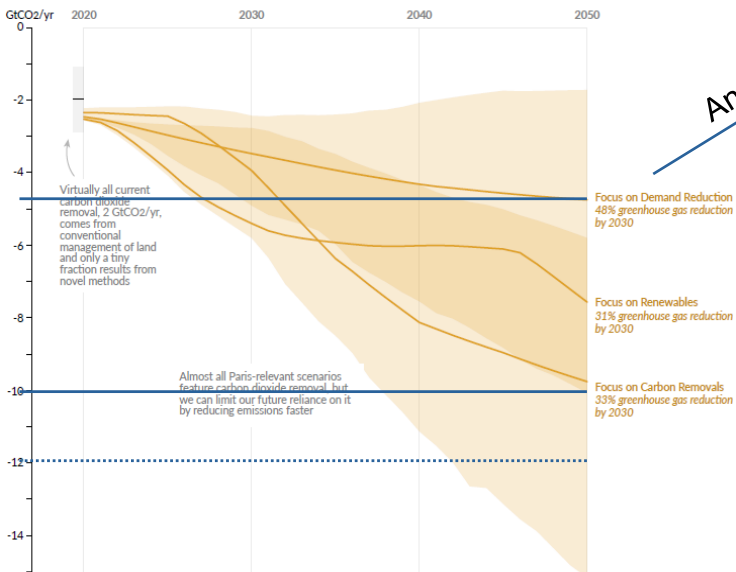
Szenarienraum unterer und oberer Rand

Galimova et al. 2022.



Anteil DAC an CCU 2050: ca. 63 %

Anteil DAC an CDR 2050: 8 – 15 %



Smith et al. (2023)

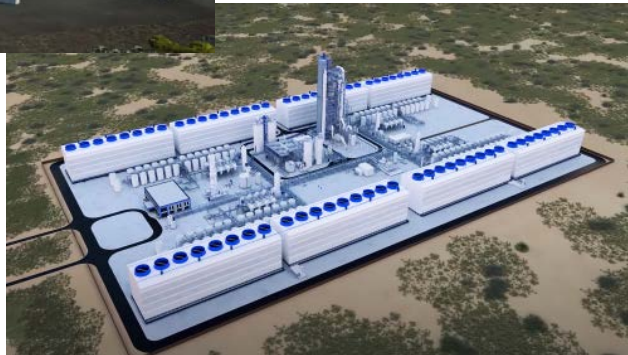
- DAC kann aufgrund des stark steigenden „Bedarfs“ an CCU und CDR nur einen Teil beisteuern. Dieser ist jedoch aufgrund der (unsicheren) Potenziale anderer Technologien entscheidend.
- DAC bietet viele Technologievorteile, z.B. Langfristigkeit bei Speicherung des CO₂ oder hoher Reinheitsgrad des abgeschiedenen CO₂.
- Für die verschiedenen Anwendungsfälle können unterschiedliche Skalierungsschritte für DAC-Anlagen gewählt werden.

Gesamtbedarf an CO₂ aus DAC-Anlagen

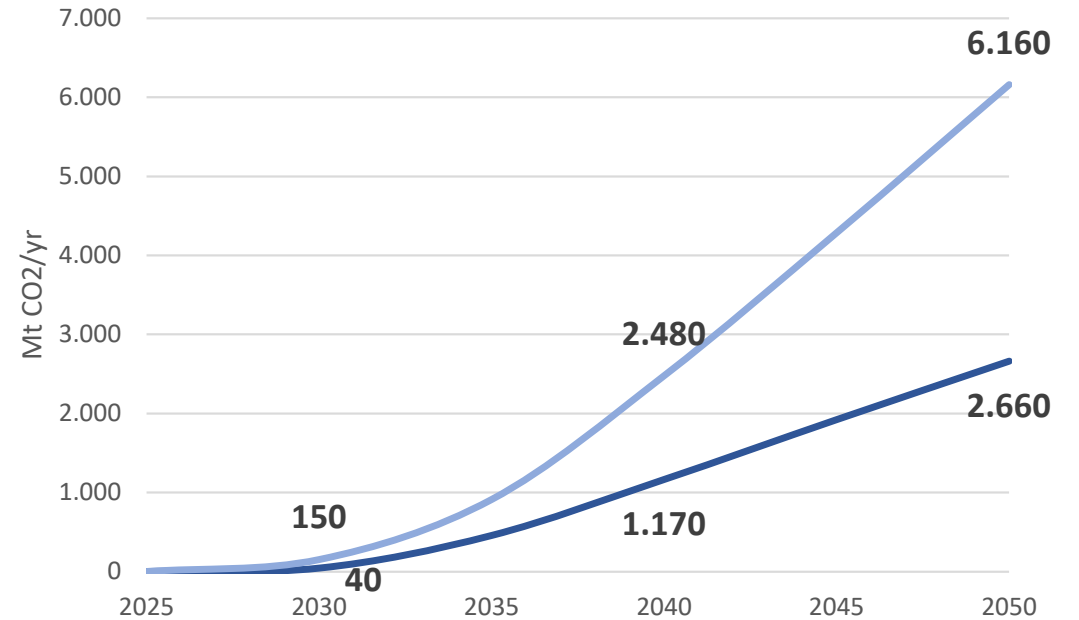
Szenarienraum unterer und oberer Rand



climeworks.com



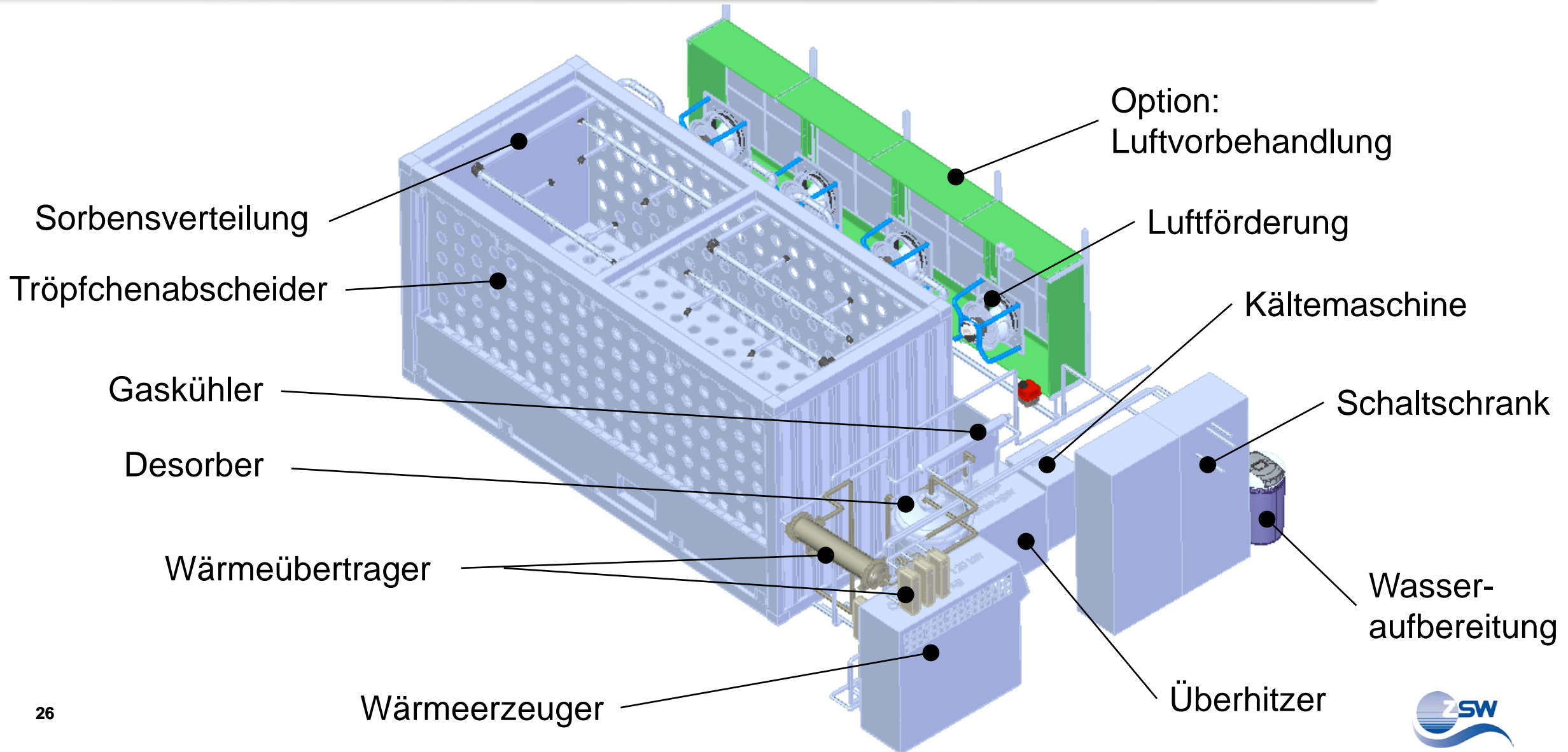
1pointfive.com



			2030	2040	2050
Mammoth (Climeworks)	36.000 t/a	Erforderliche Anlagenzahl, je nach Anlagen- kapazität	1.100 - 4.200	32.500 - 68.900	73.900 - 171.100
Stratos (1PointFive)	500.000 t/a		80 - 300	2.300 - 5.000	5.300 - 12.300
South Texas Hub DAC (1PointFive)	1 Mio. t/a		40 - 150	1.170 - 2.480	2.660 - 6.160

Aufteilung der Investitionskosten einer DAC-Anlage

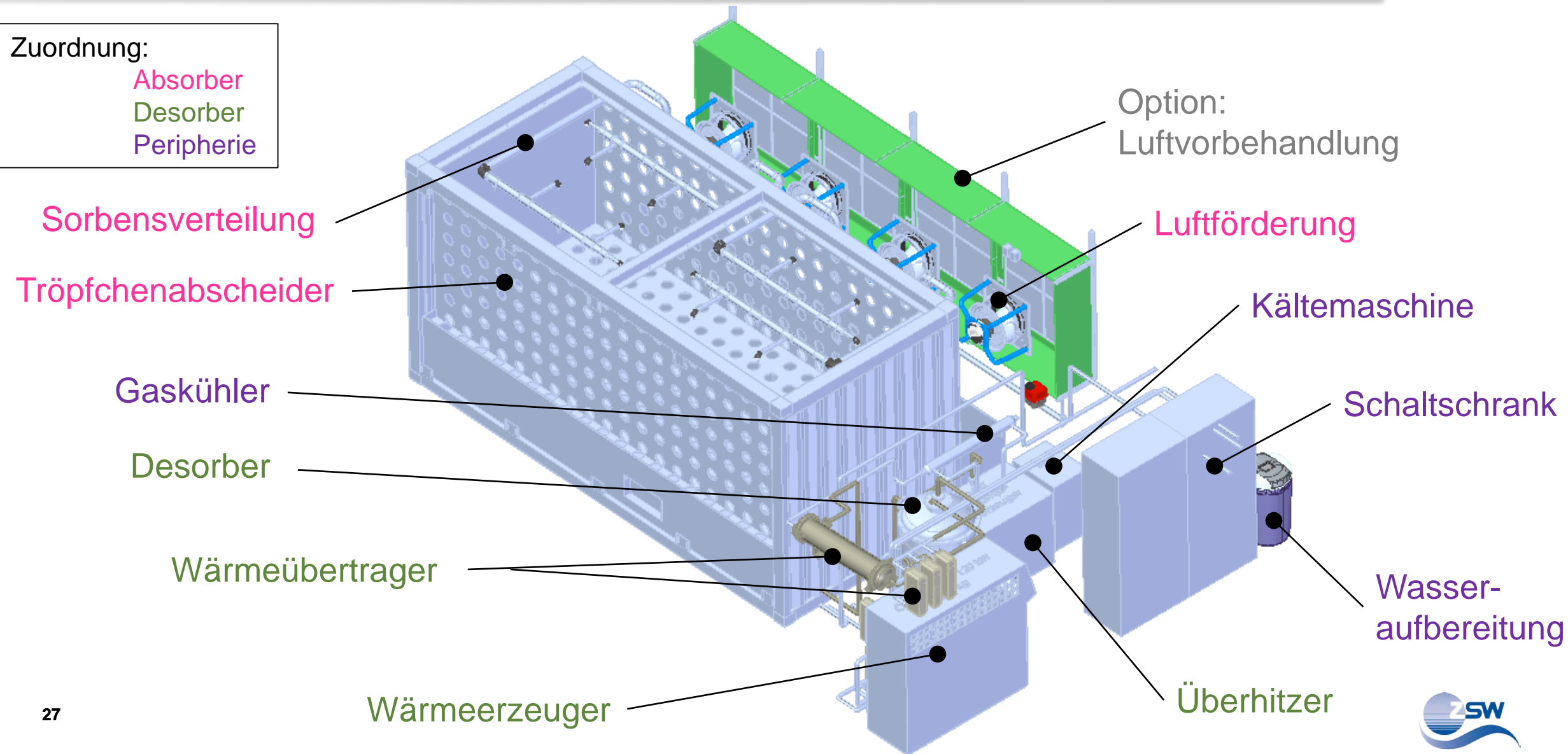
Teilsysteme der entwickelten DAC-Anlage



Aufteilung der Investitionskosten einer DAC-Anlage

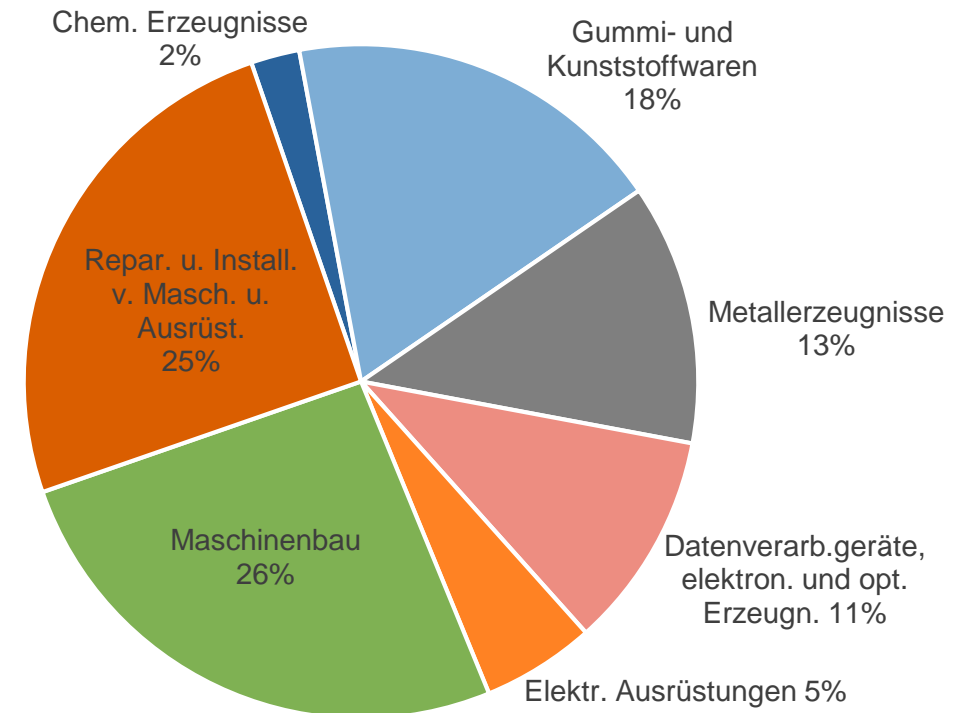
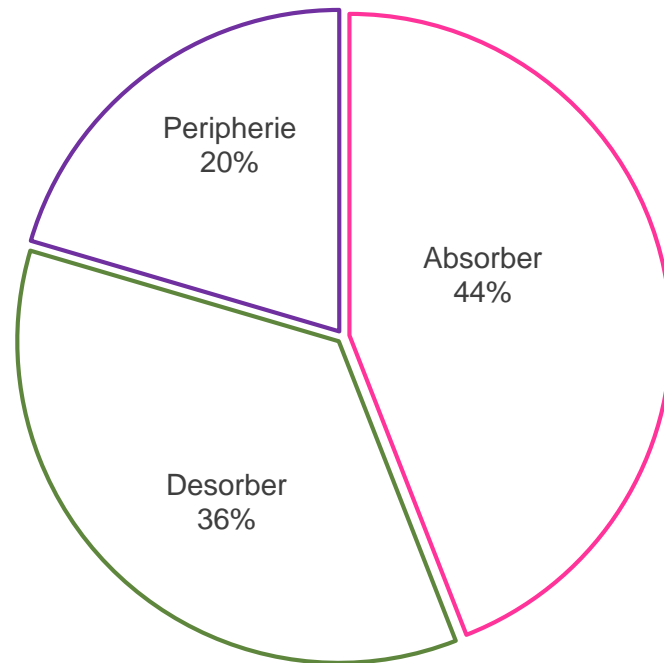
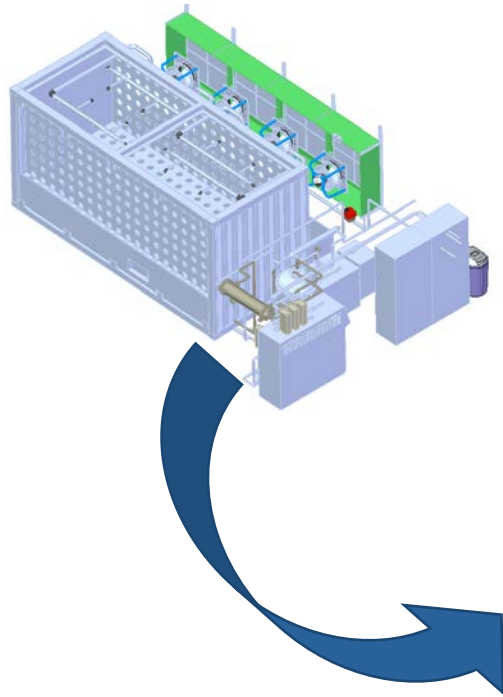
Teilsysteme der entwickelten DAC-Anlage

Zuordnung:
Absorber
Desorber
Peripherie



Aufteilung der Investitionskosten einer DAC-Anlage

Nach Teilsystemen (links) und nach Wirtschaftszweigen (rechts)

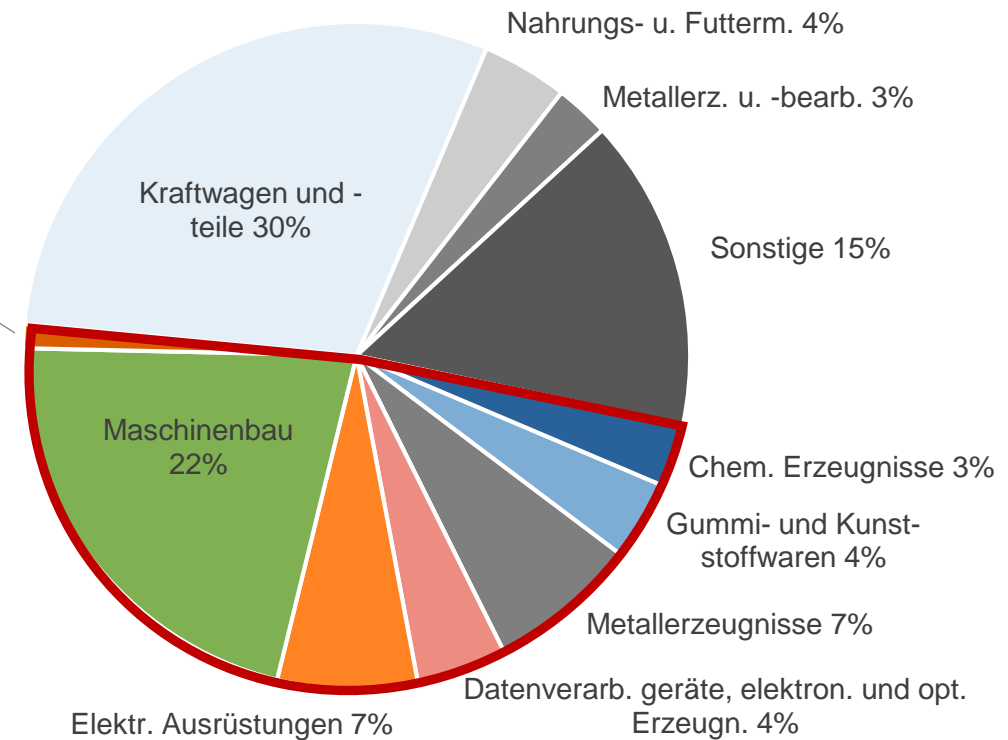
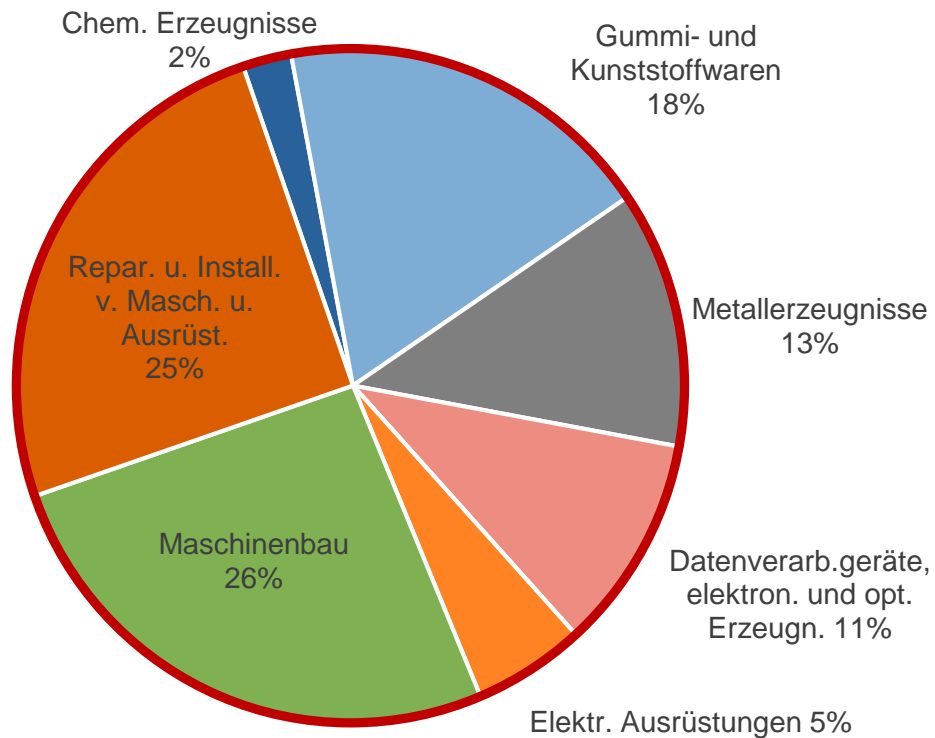


Wie kann Baden-Württemberg profitieren?

Gegenüberstellung Wirtschaftszweigstruktur

Aufteilung der Investitionskosten einer DAC-Anlage nach Wirtschaftszweigen

Umsatzanteile der Wirtschaftszweige im Verarbeitenden Gewerbe in Baden-Württemberg 2019



Von der CO₂-Nachfrage zum Wirtschaftspotenzial für DAC-Anlagen:

Welthandelsanteile Deutschland

Kategorie nach WTO	Welthandelsanteil	Wirtschaftszweig nach WZ 2008
Waren insgesamt	7,8%	25.1 Stahl- und Leichtmetallbau 25.2 Herstellung von Metalltanks und -behältern 22.2 Herstellung von Kunststoffwaren 27.1 Herstellung von Elektromotoren, Generatoren, Transformatoren, Elektrizitätsverteilungs- und -schalteneinrichtungen 33.2 Installation von Maschinen und Ausrüstungen a. n. g.
Kompressoren, Druckluft- und Vakuumtechnik	15,7%	28.1 Herstellung von nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen
Maschinenexport gesamt	15,8%	28.2 Herstellung von sonstigen nicht wirtschaftszweigspez. Maschinen
Großanlagenbau	15,0%	25.3 Herstellung von Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)
Mess- und Prüftechnik	29,4%	26.5 Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations- u. ä. Instrumenten und Vorrichtungen; Herstellung von Uhren
Chemische Erzeugnisse	11,3%	20.1 Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen

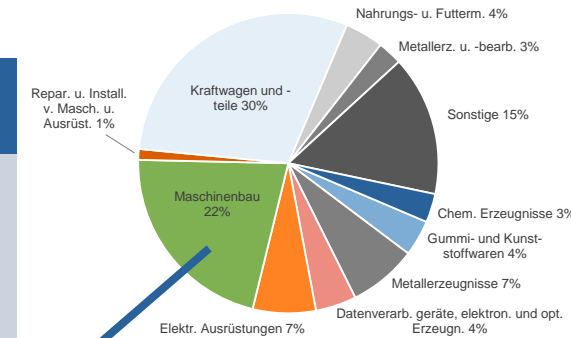
Welthandelsanteil = Anteil deutscher Unternehmen am weltweiten Handelsvolumen der jeweiligen Warengruppe

Mangels genauerer Aufschlüsselung wurden für die zur Produktion von DAC-Anlagen identifizierten Wirtschaftszweige (rechte Seite) die hier abgebildeten Welthandelsanteile angesetzt.

Von der CO₂-Nachfrage zum Wirtschaftspotenzial für DAC-Anlagen:

Welthandelsanteile Deutschland

Kategorie nach WTO	Welthandelsanteil	Wirtschaftszweig nach WZ 2008
Waren insgesamt	7,8%	25.1 Stahl- und Leichtmetallbau 25.2 Herstellung von Metalltanks und -behältern 22.2 Herstellung von Kunststoffwaren 27.1 Herstellung von Elektromotoren, Generatoren, Transformatoren, Elektrizitätsverteilungs- und -schalteneinrichtungen 33.2 Installation von Maschinen und Ausrüstungen a. n. a.
Kompressoren, Druckluft- und Vakuumtechnik	15,7%	28.1 Herstellung von nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen
Maschinenexport gesamt	15,8%	28.2 Herstellung von sonstigen nicht wirtschaftszweigspez. Maschinen
Großanlagenbau	15,0%	25.3 Herstellung von Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)
Mess- und Prüftechnik	29,4%	26.5 Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations- u. ä. Instrumenten und Vorrichtungen; Herstellung von Uhren
Chemische Erzeugnisse	11,3%	20.1 Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen



Mangels genauerer Aufschlüsselung wurden für die zur Produktion von DAC-Anlagen identifizierten Wirtschaftszweige (rechte Seite) die hier abgebildeten Welthandelsanteile angesetzt.

Von der CO₂-Nachfrage zum Wirtschaftspotenzial für DAC-Anlagen:

Von den Welthandelsanteilen Deutschlands zu denen Baden-Württembergs



?



Gewichtung anhand des BW-
Anteils am Umsatz D

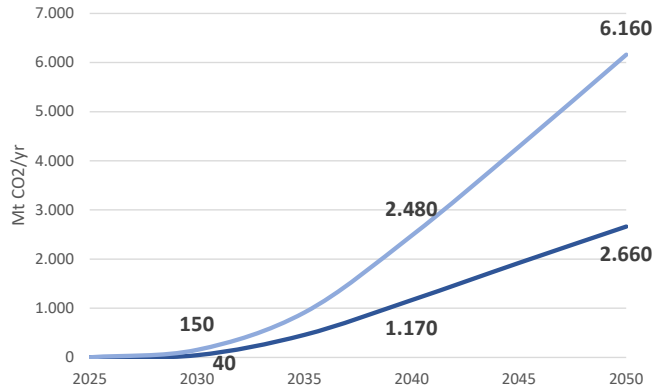


Kategorie nach WTO	Welthandelsanteil	Wirtschaftszweig nach WZ 2008
Waren insgesamt	7,8%	25.1 Stahl- und Leichtmetallbau 25.2 Herstellung von Metalltanks und -behältern 22.2 Herstellung von Kunststoffwaren 27.1 Herstellung von Elektromotoren, Generatoren, Transformatoren, Elektrizitätsverteilungs- und -schaltanlagen 33.2 Installation von Maschinen und Ausrüstungen a. n. g.
Kompressoren, Druckluft- und Vakuumtechnik	15,7%	28.1 Herstellung von nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen
Maschinenexport gesamt	15,8%	28.2 Herstellung von sonstigen nicht wirtschaftszweigspez. Maschinen
Großanlagenbau	15,0%	25.3 Herstellung von Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)
Mess- und Prüftechnik	29,4%	26.5 Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations- u. ä. Instrumenten und Vorrichtungen; Herstellung von Uhren
Chemische Erzeugnisse	11,3%	20.1 Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen

Von der CO₂-Nachfrage zum Wirtschaftspotenzial für DAC-Anlagen:

Angenommene zukünftige Entwicklung Welthandelsanteile Deutschland/BW

Bandbreite Mengenentwicklung

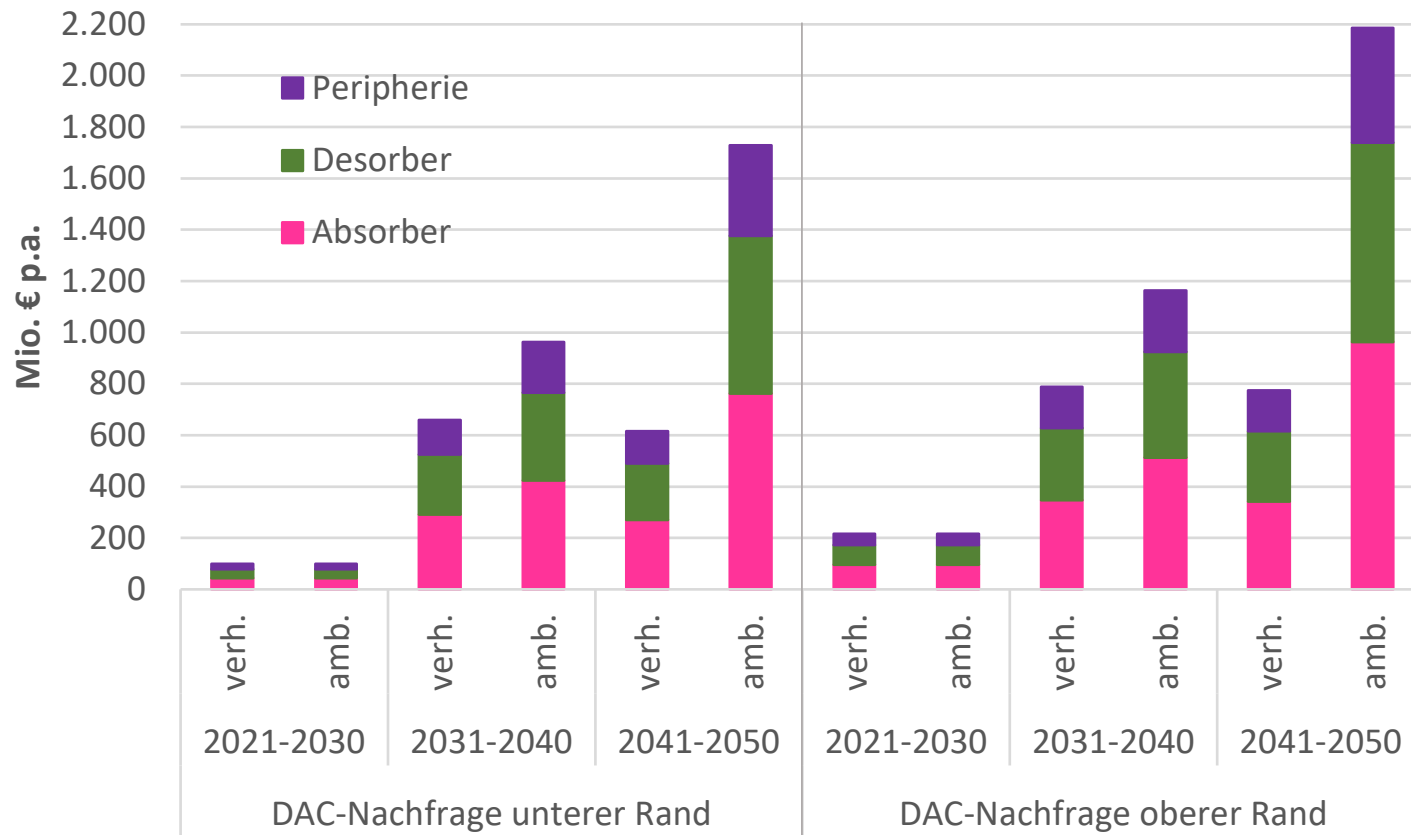


Ausgehend vom aktuellen Niveau der Welthandelsanteile der baden-württembergischen Industrie (Anteil an DE branchenspezifisch gewichtet) wurde eine Entwicklungsbereich mit folgenden Grenzen definiert:

	2030	2040	2050
<u>verhaltene</u> Entwicklung	akt. Niveau	2030 * 0,5	2040 * 0,5
Beispiel: Maschinenexport	15,8%	7,9%	3,95%
<u>ambitionierte</u> Entwicklung	akt. Niveau	unverändert	unverändert
Beispiel: Maschinenexport	15,8%	15,8%	15,8%

Von der CO₂-Nachfrage zum Wirtschaftspotenzial für DAC-Anlagen:

Ermittelte Potenziale durch Herstellung und Export von Komponenten und Anlagen



Jährliches durchschnittliches Umsatzpotenzial

2031 bis 2040: 0,7 – 1,2 Mrd. €/a

2041 bis 2050: 0,6 – 2,2 Mrd. €/a

Beschäftigungspotenzial (Anzahl Arbeitsplätze)

2031 bis 2040: 2.900 – 5.100

2041 bis 2050: 2.600 – 9.100

zum Vergleich

Auslandsumsatz von BW-Unternehmen 2019:

- Herstellung Metallerzeugnisse 9,1 Mrd. €
- Maschinenbau 50,2 Mrd. €

Gesamtbeschäftigte in BW-Unternehmen 2019:

- Herstellung Metallerzeugnisse 162.000
- Maschinenbau 335.000

- Baden-Württemberg und die Fertigung von DAC-Anlagen: das passt!
- Für die Unternehmen in Baden-Württemberg bieten sich umfangreiche Chancen, deren Realisierung setzt allerdings eine starke Wettbewerbsposition auf dem Weltmarkt voraus.
- Dafür sind zielgerichtete Geschäftsmodelle zu entwickeln. Denkbar wären bspw. abgestimmte Anlagenkonzepte zur direkten Verwendung des über DAC gewonnenen CO₂.
- Dies beinhaltet auch die Entwicklung von für verschiedene Anwendungsfälle geeigneten Anlagenkonfigurationen (Größe, Typ, Wärmequelle uvm.).
- Die dargestellten Potenziale beinhalten zahlreiche Unsicherheiten: CO₂-Bedarfe, DAC-Anteile, technologische und Kostenentwicklung, realisierbare Welthandelsanteile uvm.



Baden-Württemberg

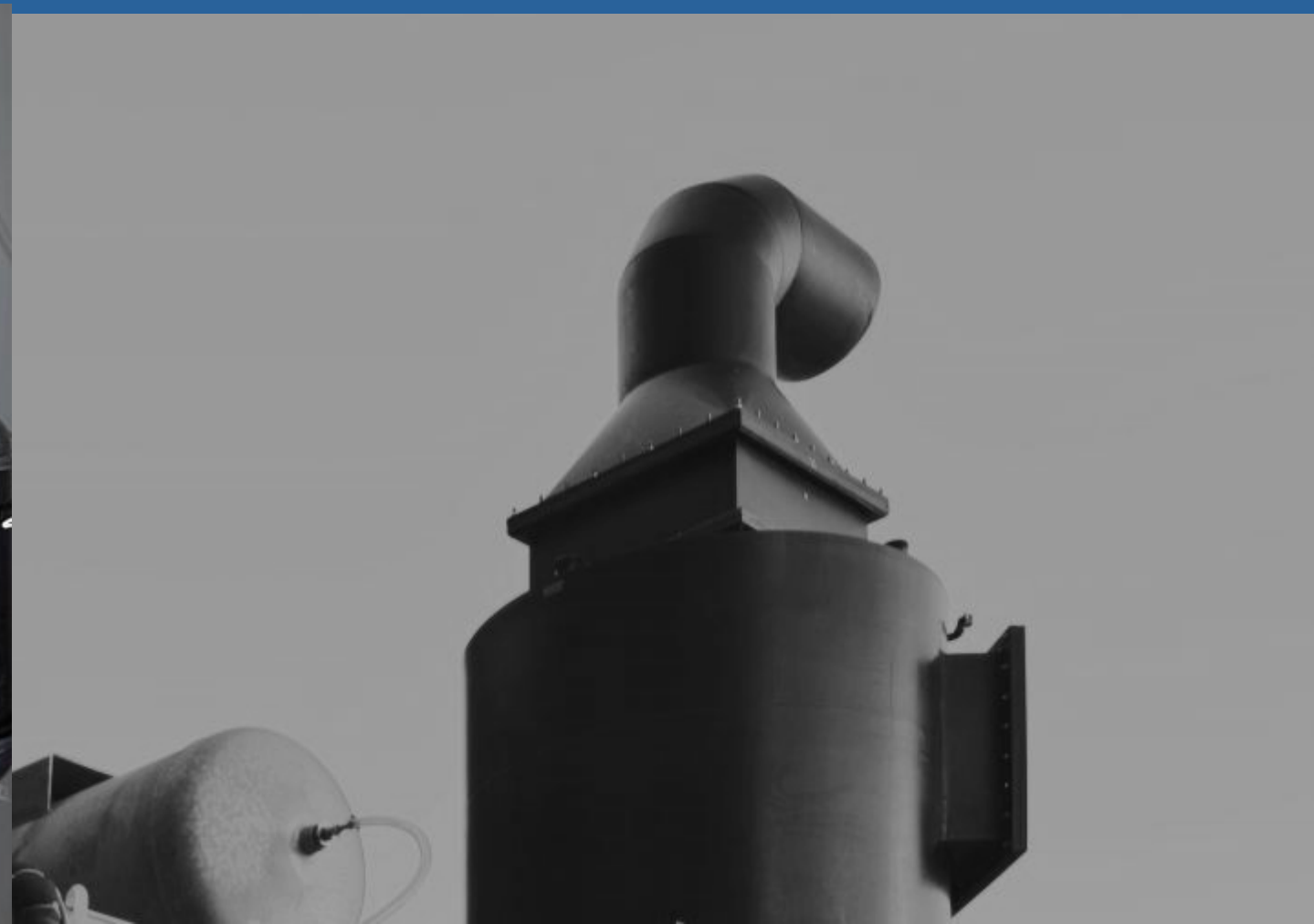
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR VERKEHR

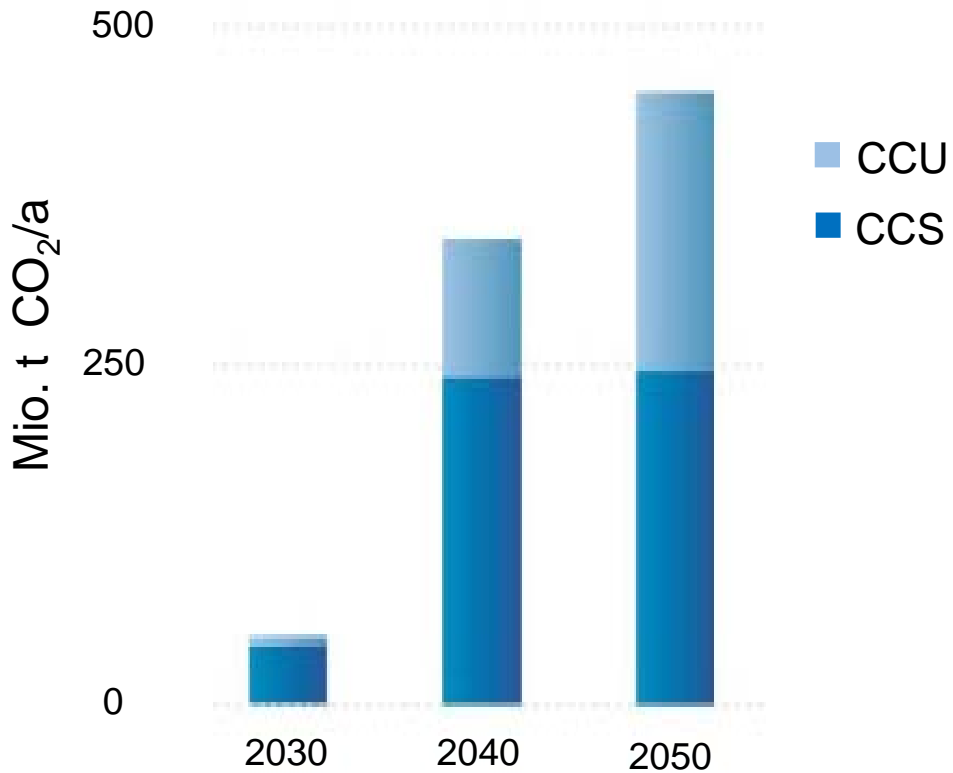
Die Entwicklung des Rechtsrahmens – ein Markt entsteht



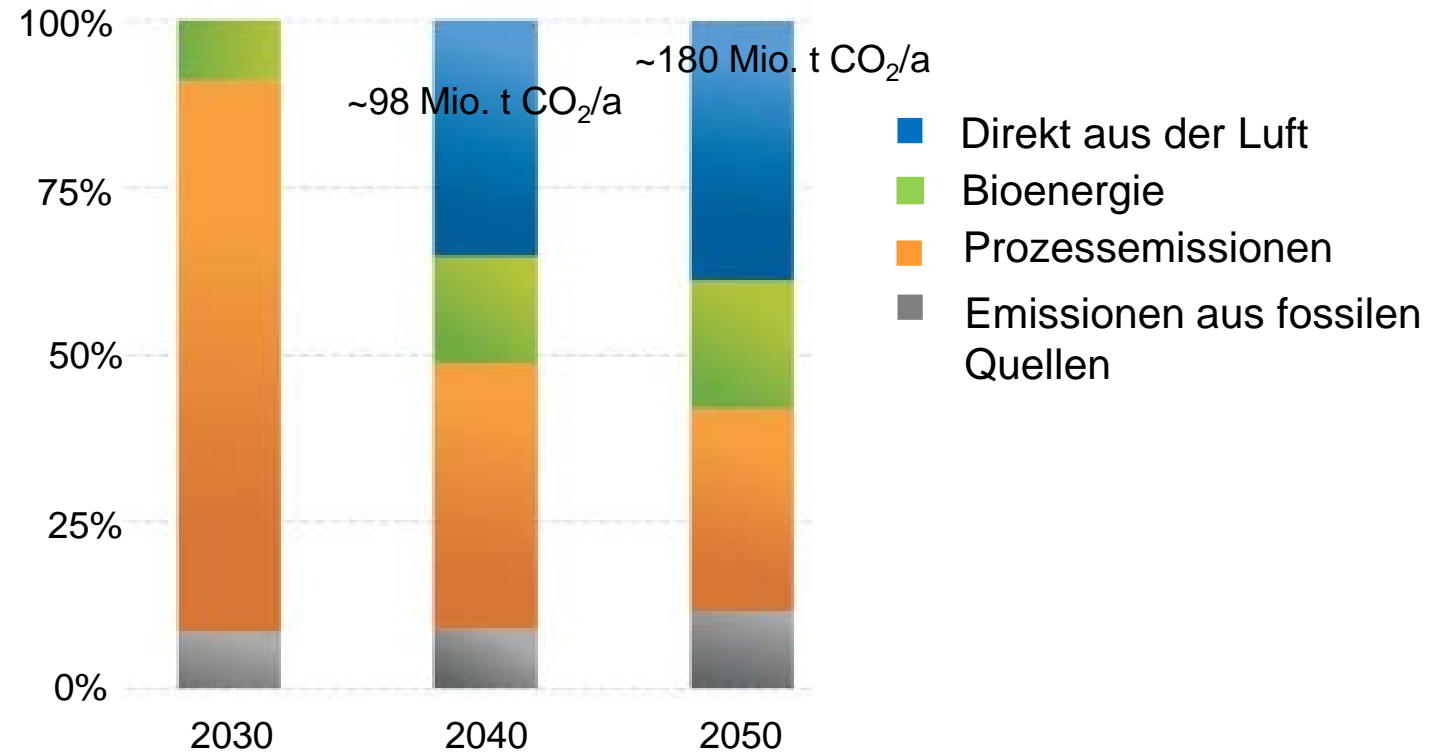
Industrial Carbon Management Strategy der EU

(veröffentlicht am 06.02.2024)

Erforderliche Menge des in der EU abgeschiedenen CO₂



Anteil der Abscheidung nach Ursprung des CO₂



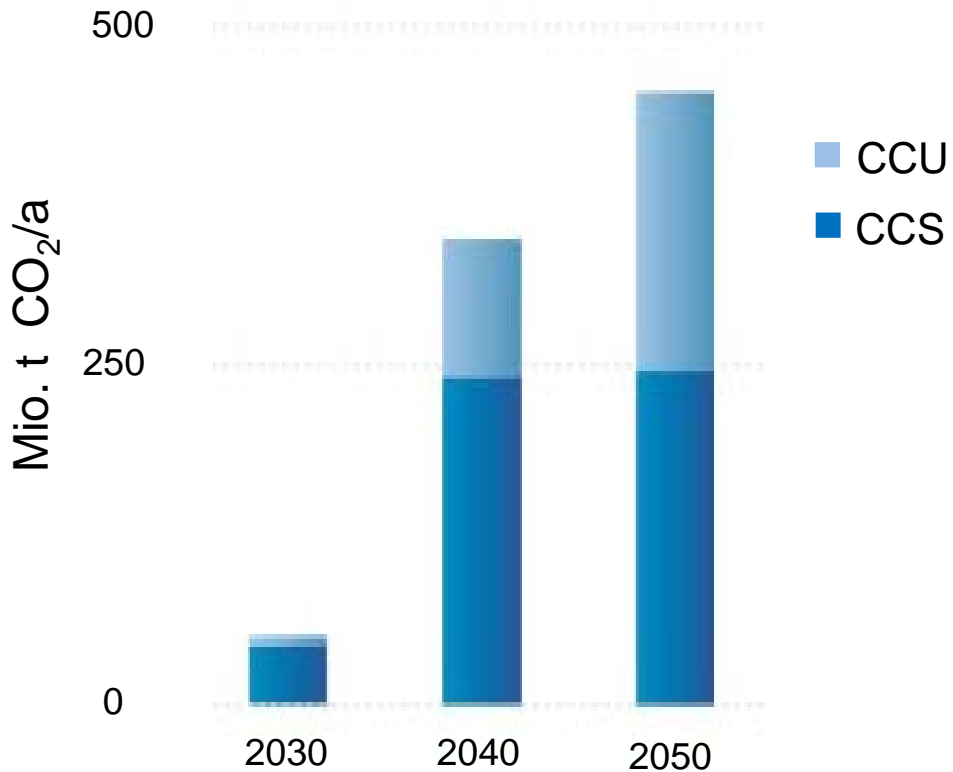
Industrial Carbon Management Strategy der EU

(veröffentlicht am 06.02.2024)

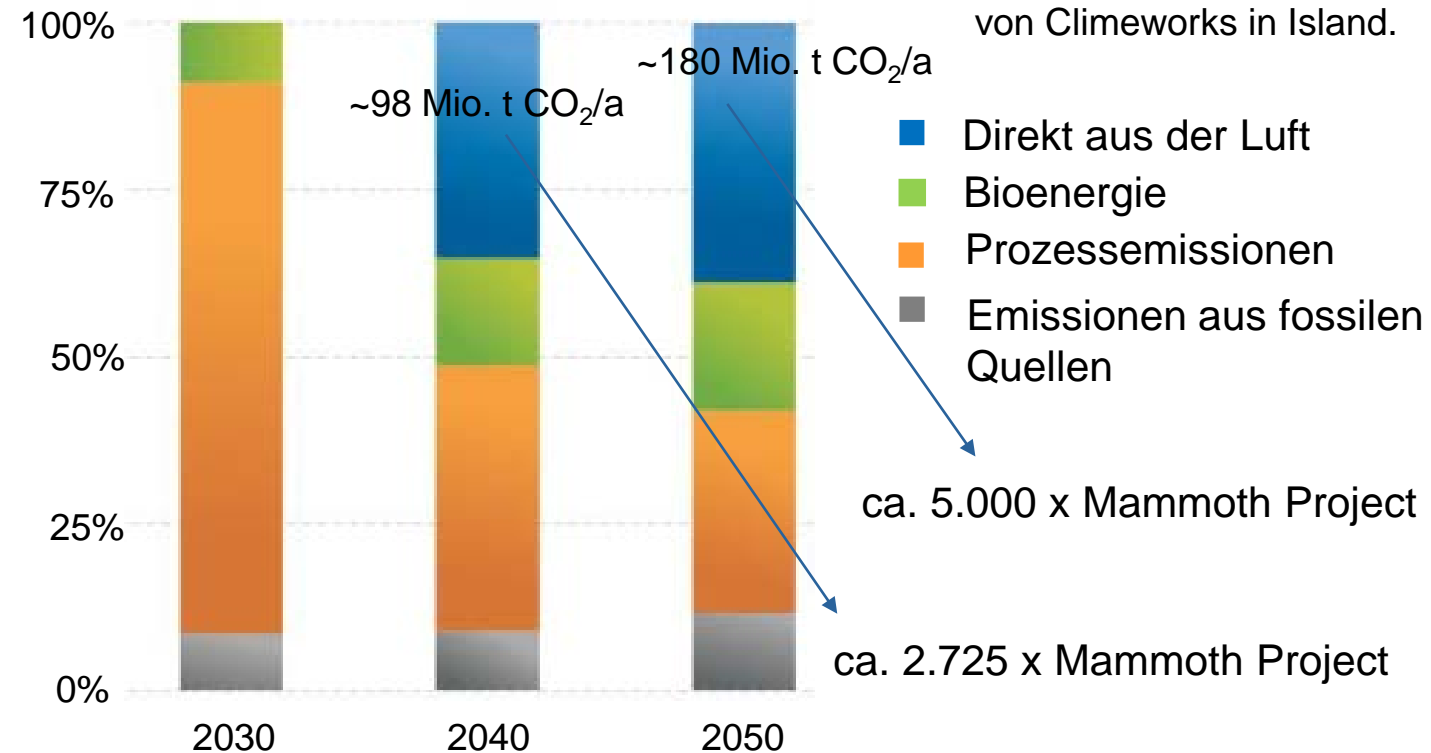


Die größte DAC-Anlage mit 36.000 t/a ist aktuell das Mammoth Projekt von Climeworks in Island.

Erforderliche Menge des in der EU abgeschiedenen CO₂



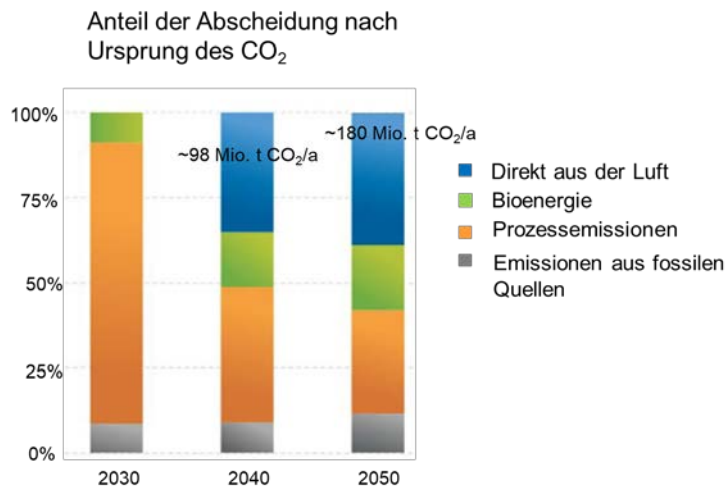
Anteil der Abscheidung nach Ursprung des CO₂



ca. 5.000 x Mammoth Project
ca. 2.725 x Mammoth Project

Die EU-Strategie für das industrielle CO₂-Management basiert auf drei Pfaden:

- CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS): CO₂ Emissionen fossilen, biogenen oder **atmosphärischen Ursprungs** werden zur dauerhaften und sicheren geologischen Speicherung abgeschieden und transportiert.
- CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre: CO₂ biogenen oder **atmosphärischen Ursprungs** wird dauerhaft gespeichert, wodurch der CO₂-Gehalt der Atmosphäre verringert wird.
- CO₂-Abscheidung und -Nutzung (Carbon Capture and Utilization, im Folgenden „CCU“): abgeschiedenes CO₂ wird in der Industrie für synthetische Produkte, Chemikalien oder Brennstoffe verwendet.

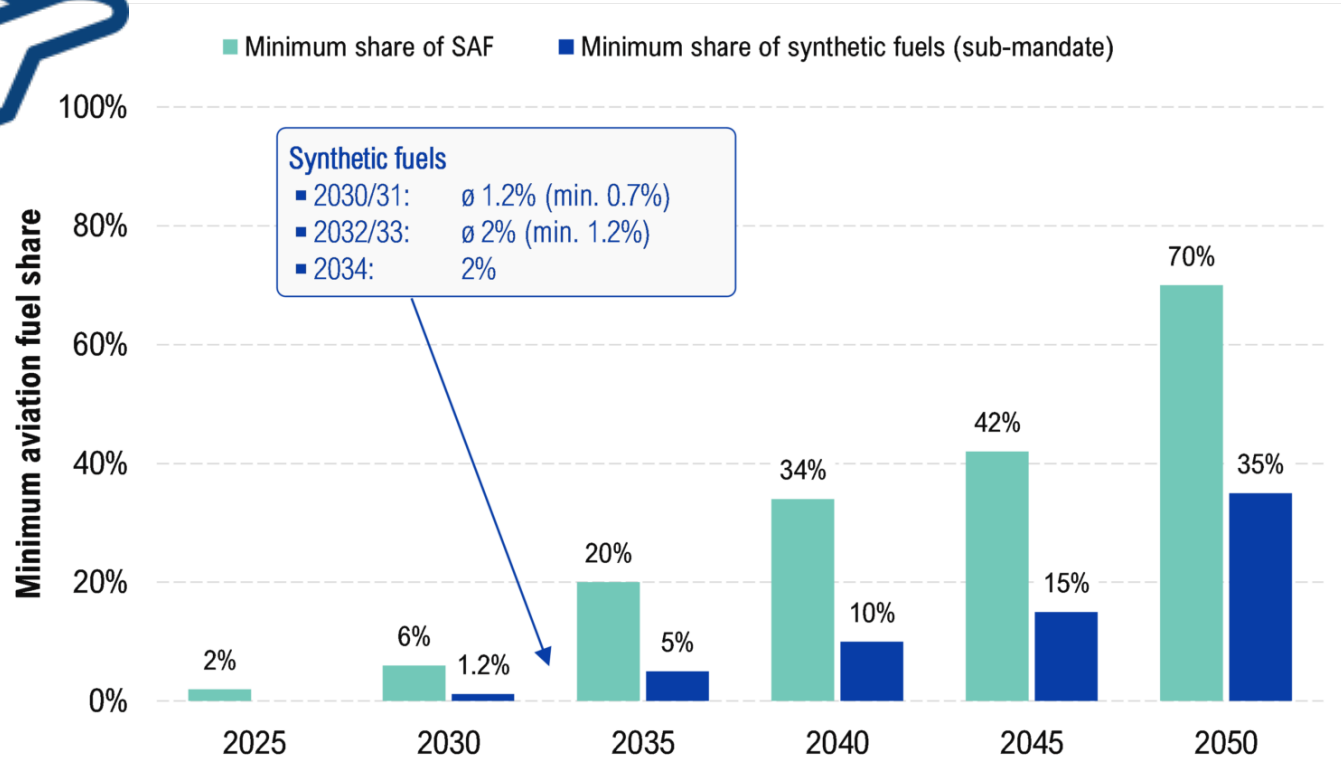


Während anfangs alle Arten von CO₂ genutzt werden, wird sich mit der Zeit ein höherer Klimanutzen daraus ergeben, dass die Wertschöpfungsketten zur CO₂-Nutzung strategisch auf die Abscheidung von biogenem oder **atmosphärischem CO₂** ausgerichtet werden.

Für alle Pfade stellt die **Infrastruktur für den CO₂-Transport** die wichtigste Grundvoraussetzung dar. Wenn das abgeschiedene CO₂ nicht direkt vor Ort genutzt wird, muss es entweder transportiert und in industriellen Prozessen genutzt oder dauerhaft in geologischen Formationen gespeichert werden.

Entwicklung der Nachfrage nach reFuels in der Luftfahrt (ReFuel Aviation)

ReFuelEU Aviation



Kerosin-Nachfrage in der EU:

- 2019: 47,5 Mio. t
- 2022: 39,1 Mio. t
- 2030: 49,9 Mio. t
- 2031: 50,4 Mio. t
- 2032: 50,9 Mio. t
- 2033: 51,4 Mio. t
- 2034: 52,0 Mio. t
- 2035: 52,5 Mio. t

(2025 wird wieder das Niveau von 2019 erreicht, danach steigt die Nachfrage um 1% pro Jahr)

reFuels-Nachfrage: 2030: 0,60 Mio. t (mind. 0,35 Mio. t)
 2031: 0,60 Mio. t (mind. 0,35 Mio. t)
 2032: 1,02 Mio. t (mind. 0,61 Mio. t)
 2033: 1,03 Mio. t (mind. 0,62 Mio. t)
 2034: 1,04 Mio. t

Klimaneutralität bis 2050



G7-Gipfel in Elmau: Klimaclub nach Scholz-Idee steht

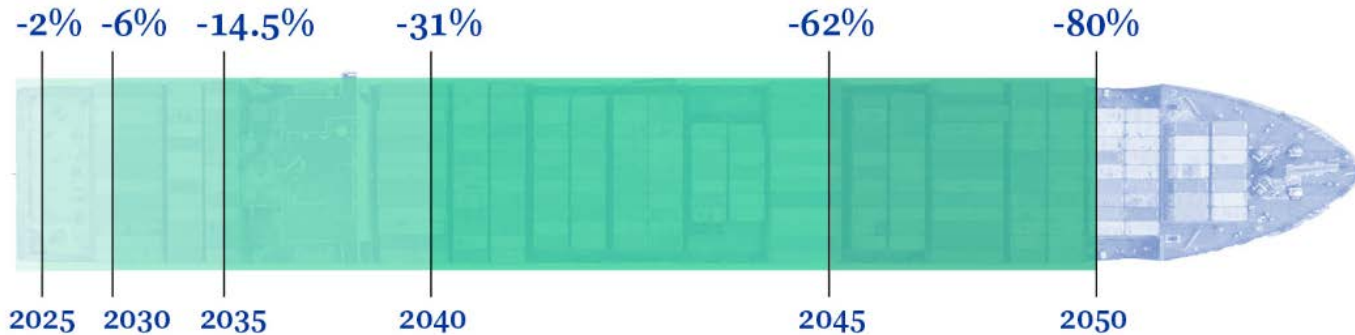
Entwicklung der Nachfrage nach reFuels in der See-Schifffahrt (FuelEU Maritime)



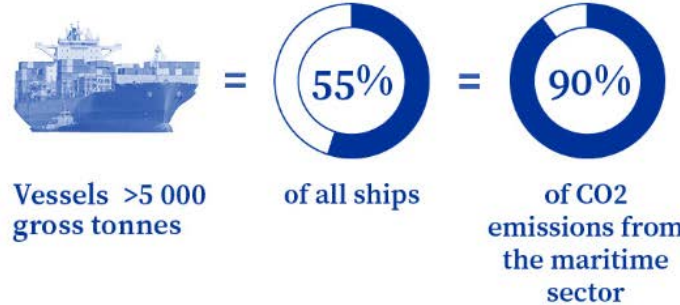
The FuelEU maritime regulation will oblige vessels above 5000 gross tonnes calling at European ports (with exceptions such as fishing ships):

→ to reduce the greenhouse gas intensity of the energy used on board as follows

Annual average carbon intensity reduction compared to the average in 2020



➔ Wenn der Anteil von RFNBO im Jahr 2031 <1% am Treibstoffmix beträgt, wird eine Mindestquote von 2% für 2034 eingeführt.



Nachfrage nach Schiffstreibstoff in der EU:

- 2021: 40,0 Mio. t
- 2030: 60,0 Mio. t
- 2031: 60,45 Mio. t
- 2032: 60,9 Mio. t
- 2033: 61,4 Mio. t
- 2034: 61,8 Mio. t
- 2035: 62,3 Mio. t

(Steigerung des Nachfrageniveaus bis 2030 auf 60, Mio. t und danach bis 2050 um 0,75% pro Jahr)

Quelle: EC - A Clean Planet for All Technical Report (2019)

reFuels-Nachfrage: 2031: 0,60 Mio. t
2034: 1,25 Mio. t

Klimaneutralität bis 2050

European Green Deal

REPowerEU Actions

Fit for 55

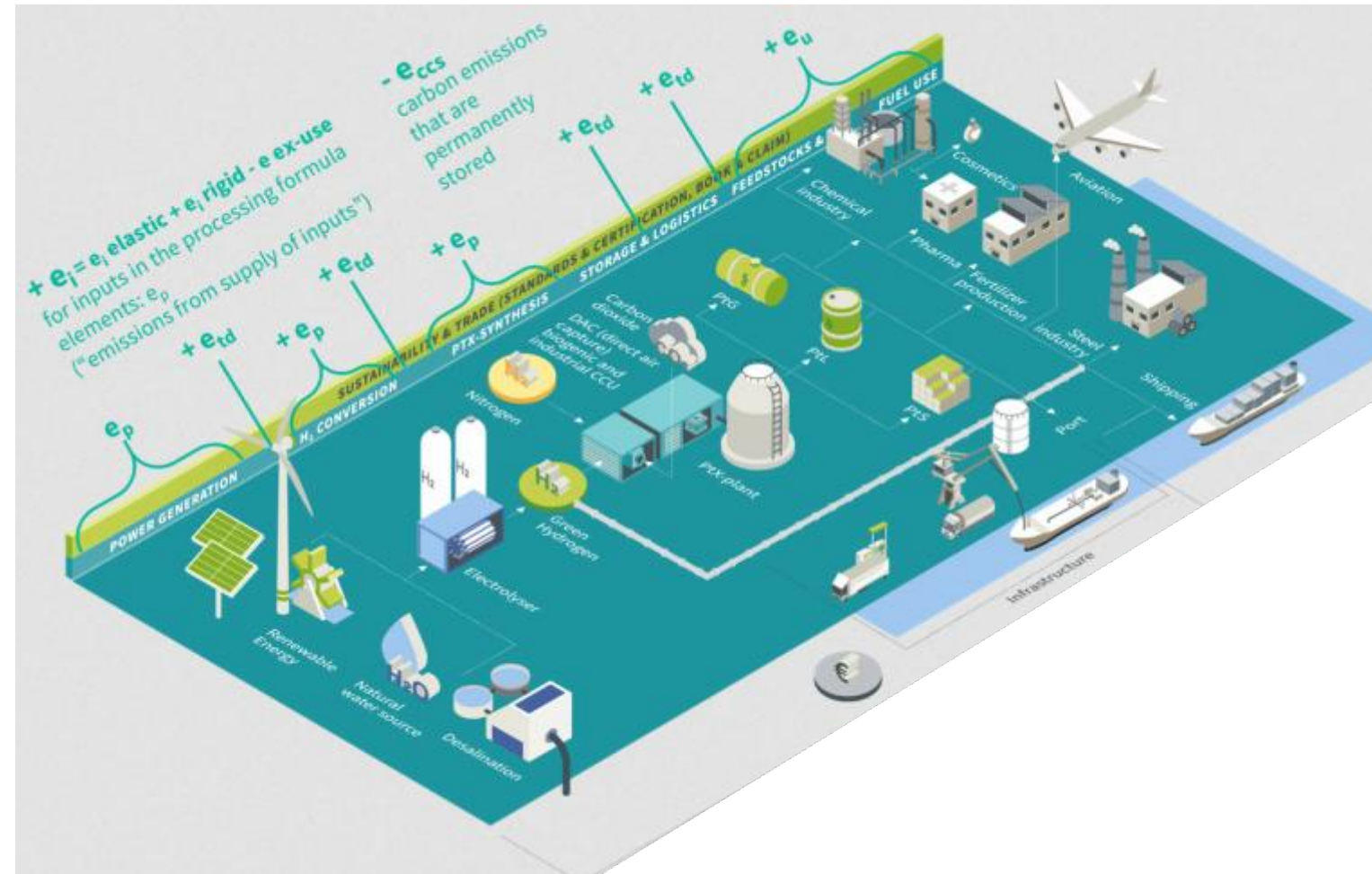
G7-Gipfel in Elmau: Klimaclub nach Scholz-Idee steht

Carbon Capture and Use – Direct Air Capture und synthetische Kraftstoffe

Delegated Act Art. 28 – CO₂-Quellen

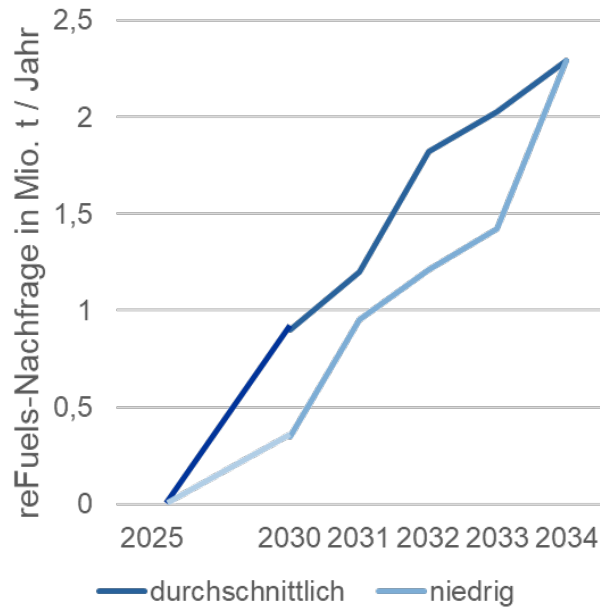
Der DA definiert eine Berechnungsmethodik zur CO₂-Einsparung durch RFNBO (basierend auf 94 g CO_{2eq}/MJ für konventionelle Kraftstoffe).

- ➔ CO₂-Emissionen, die dem EU-ETS unterliegen, können nur dann als vermieden gelten, wenn sie weiterhin den CO₂-Preis im ETS bezahlen.
- ➔ Unvermeidbare CO₂-Emissionen, z. B. die Zementindustrie dürfen nur bis 2041 als Emissionsvermeidung angesehen werden.
- ➔ CO₂ aus Biomasse ist dauerhaft als Emissionsvermeidung anrechenbar. Für den breiten Einsatz von Biomasse als CO₂-Quelle fehlt allerdings die Rohstoffbasis.
- ➔ **CO₂ aus Direct Air Capture** ist dauerhaft als Emissionsvermeidung anrechenbar.
- ➔ Für den Flugverkehr und die Seeschifffahrt existieren Quoten für RFNBOs, die erfüllt werden müssen. **DAC ist dabei die einzige dauerhaft nutzbare CO₂-Quelle!!!**





Source: <https://ptx-hub.org/delegated-acts-on-art-27-and-28-explained/>


Technologieerfordernisse für die Zielerreichung




Für 2,25 Mio. t reFuels (nur Kohlenwasserstoffe) benötigt man:

 ~ 15 Mio. m³ Wasser

 ~ 67,5 TWh EE-Strom


 ~ 1,3 Mio. t H₂ +

 ~ 10,3 Mio. t O₂


 ~ 7,2 Mio. t CO₂



Erforderliche Entwicklung bzw. Kapazitäten:

 ~ 13,5 GW bei 5.000 Volllaststunden

 ~ 8,6 GW bei 5.000 Volllaststunden

 Wasserentsalzung/-aufbereitung



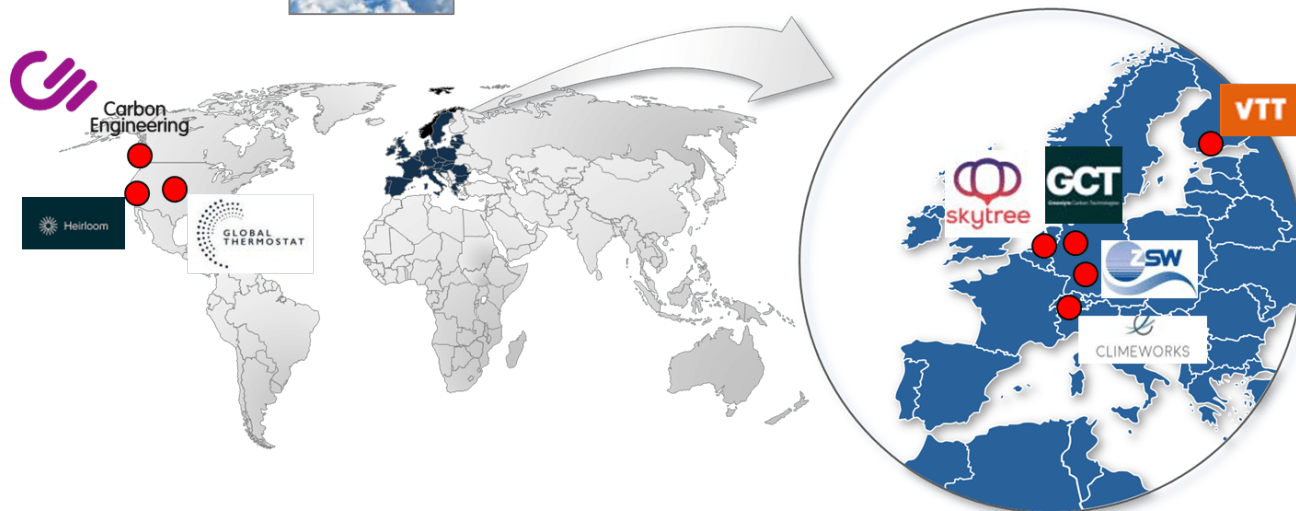
7,2 Mio. t/a
→ 200 DAC-Anlagen (36.000 t/a Mammoth Projekt Climeworks Island)

Wo stehen wir heute weltweit...

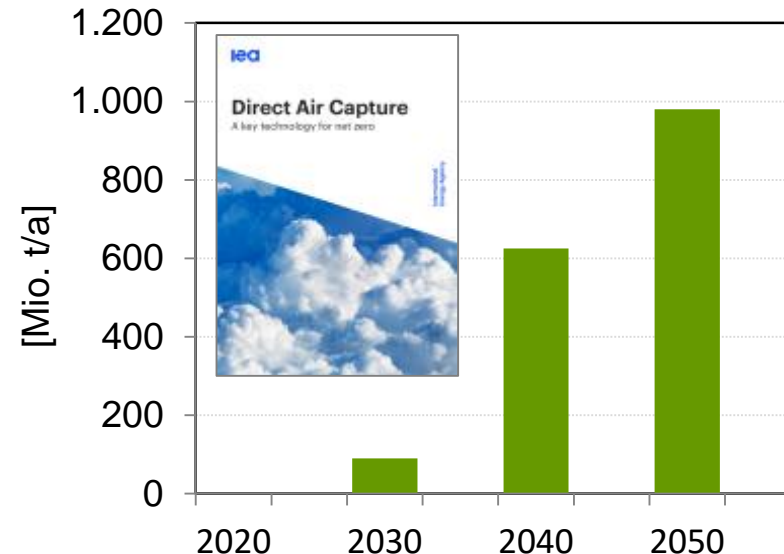


*“The scale-up of DAC deployment in the **Net Zero Scenario** implies an average of more than **30 DAC plants of 1 Mt/year** being added **each year** during 2020-2050.”*

➔ Damit dürfte im Jahr 2030 ein Investitionsvolumen von bis zu 10 Mrd. € verbunden sein.



Globale CO₂-Abscheidung mittels DAC im „Net Zero Emissions by 2050“-Szenario



- <10 Entwicklungsaktivitäten von DAC-Technologien mit Referenzanlagen weltweit.
- Keine industriellen Aktivitäten in Baden-Württemberg.
- Große Potenziale im Maschinen- und Anlagenbau und der Zulieferindustrie.

Netto-Treibhausgasneutralität – DAC hat eine große Bedeutung für die Zielerreichung!

„Netto-Treibhausgasneutralität bedeutet, dass noch genau so viel CO₂ ausgestoßen werden darf, wie über Senken wieder aufgenommen werden kann!“

