

# Herzlich Willkommen zum 1. Workshop “Direct Air Capture made in Baden-Württemberg” CO<sub>2</sub>-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](http://www.zsw-bw.de)

## POLITIKBERATUNG



## PHOTOVOLTAIK



## WINDENERGIE



## WASSERSTOFF



## BATTERIEN



## BRENNSTOFFZELLEN



Stuttgart



Widderstall/Merklingen



Stötten/Geislingen



Ulm

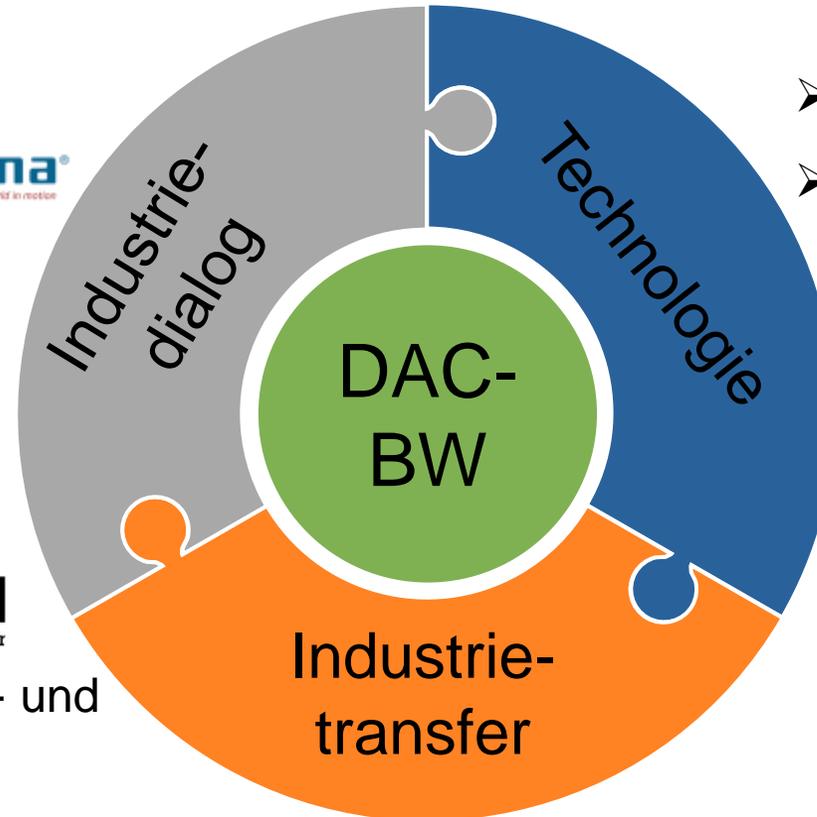


# DAC-BW: „Direct Air Capture made in Baden-Württemberg“

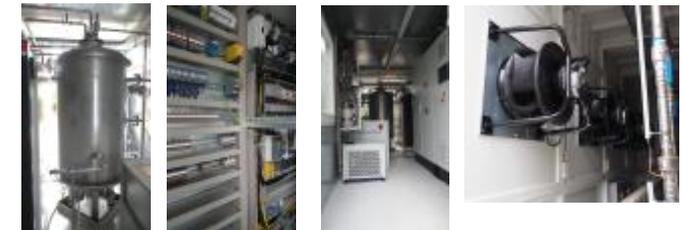
Initiierung einer DAC- und Komponentenfertigung auf Landesebene

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

- Demonstrationsbetrieb einer DAC-Forschungsanlage (ca. 100 t<sub>CO2</sub>/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 CO<sub>2</sub>-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: CO<sub>2</sub>-Märkte und ökonomische Potenziale für DAC (25.04.2024 - online)

- Entwicklung von CO<sub>2</sub>-Bedarfen und möglichen CO<sub>2</sub>-Quellen auf dem Weg zur Klimaneutralität
- Die Rolle von DAC als CO<sub>2</sub>-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: CO<sub>2</sub>-Märkte und ökonomische Potenziale für DAC “

- Begrüßung und Überblick (Raphael Vollmer)
- Entwicklung von CO<sub>2</sub>-Bedarfen und möglichen CO<sub>2</sub>-Quellen auf dem Weg zur Klimaneutralität (Marcel Klingler + Patrick Wolf)
- Die Rolle von DAC als CO<sub>2</sub>-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

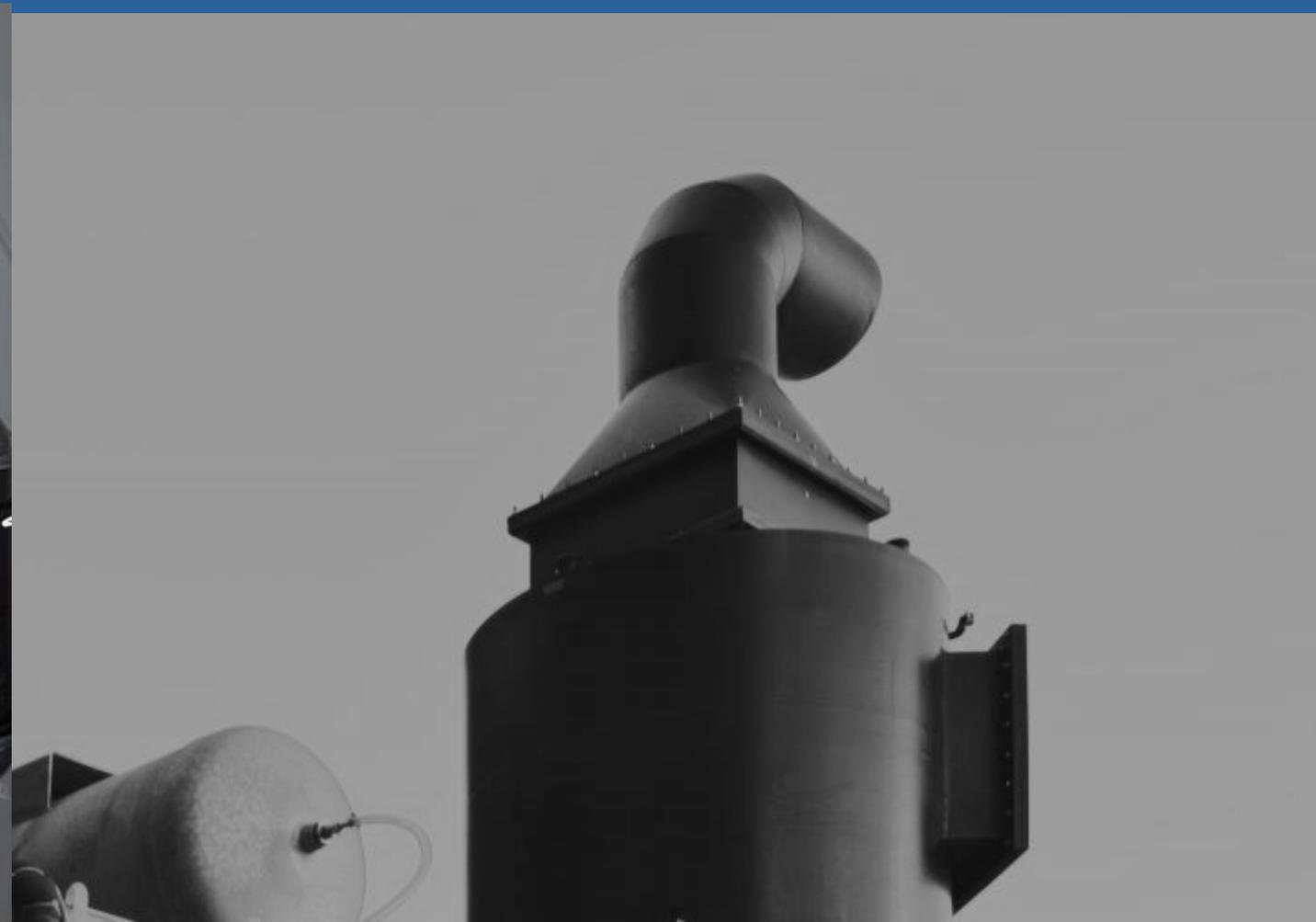
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS



Baden-Württemberg

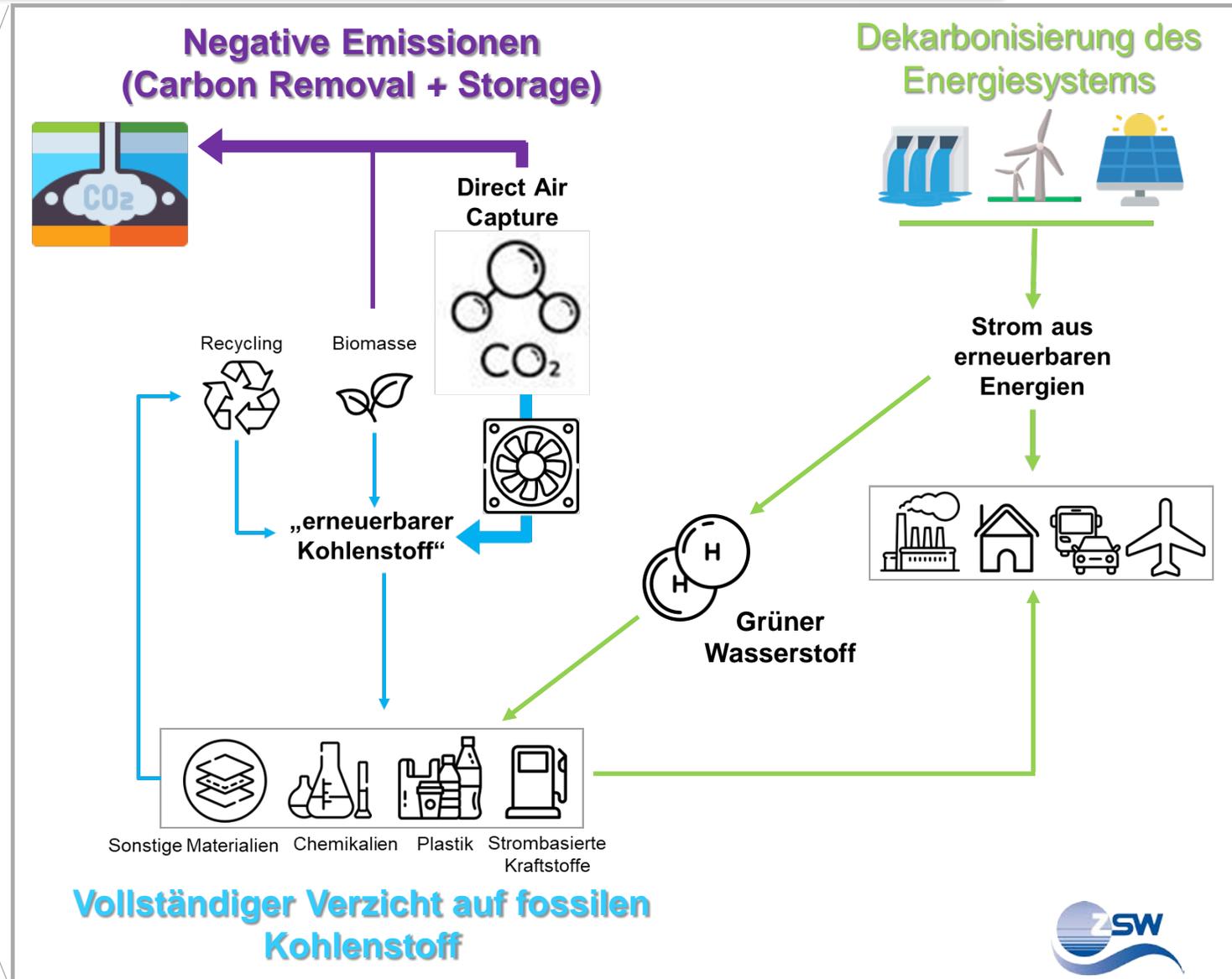
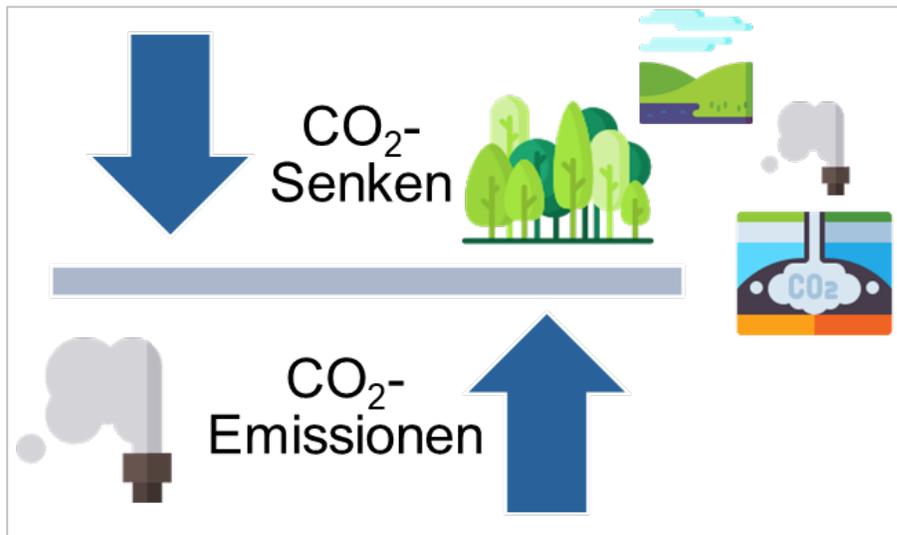
MINISTERIUM FÜR VERKEHR

# Entwicklung von CO<sub>2</sub>-Bedarfen und mögliche CO<sub>2</sub>-Quellen auf dem Weg zur Klimaneutralität



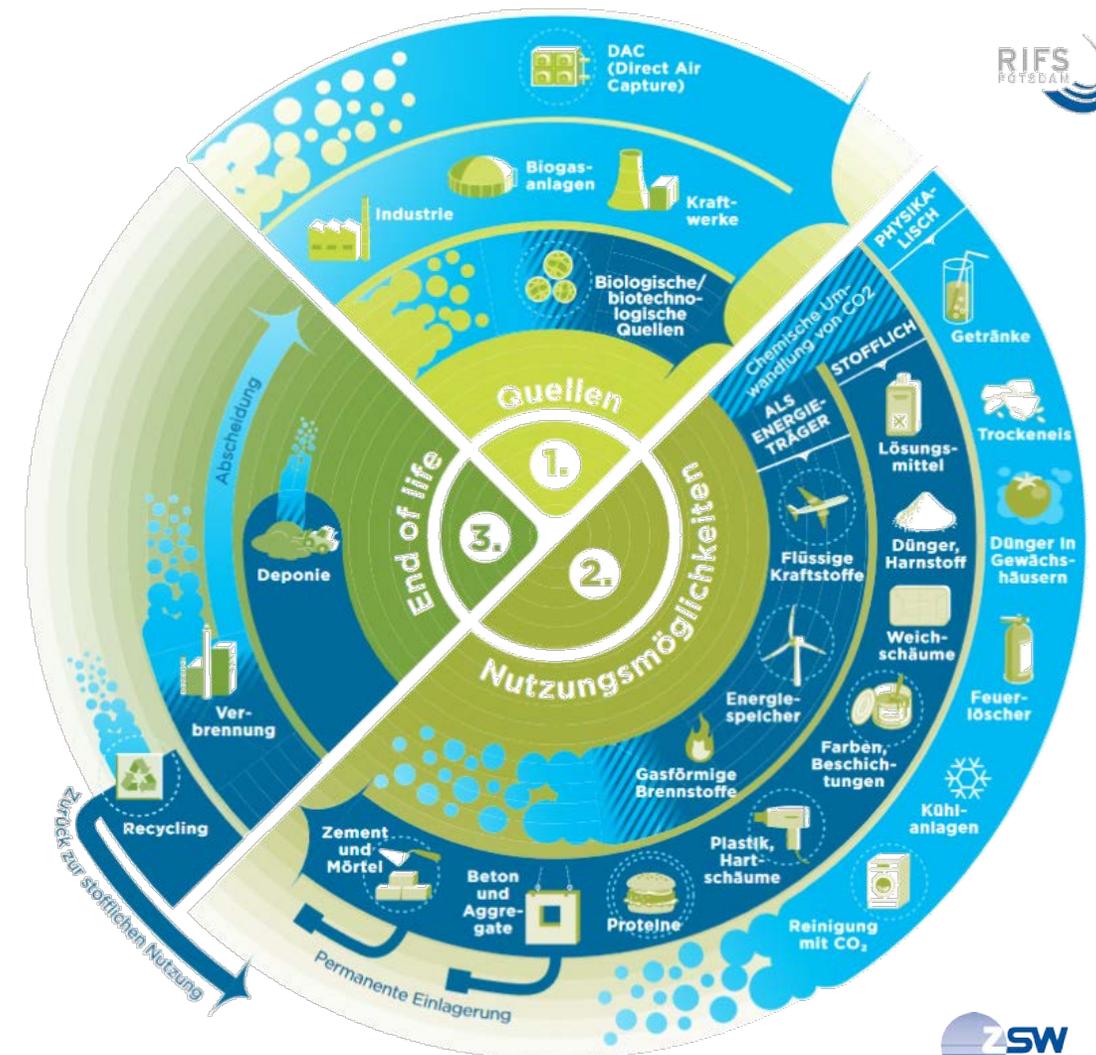
# Netto-Treibhausgasneutralität – Welche Rolle spielt DAC?

„Netto-Treibhausgasneutralität bedeutet, dass noch genau so viel CO<sub>2</sub> ausgestoßen werden darf, wie über Senken wieder aufgenommen werden kann!“

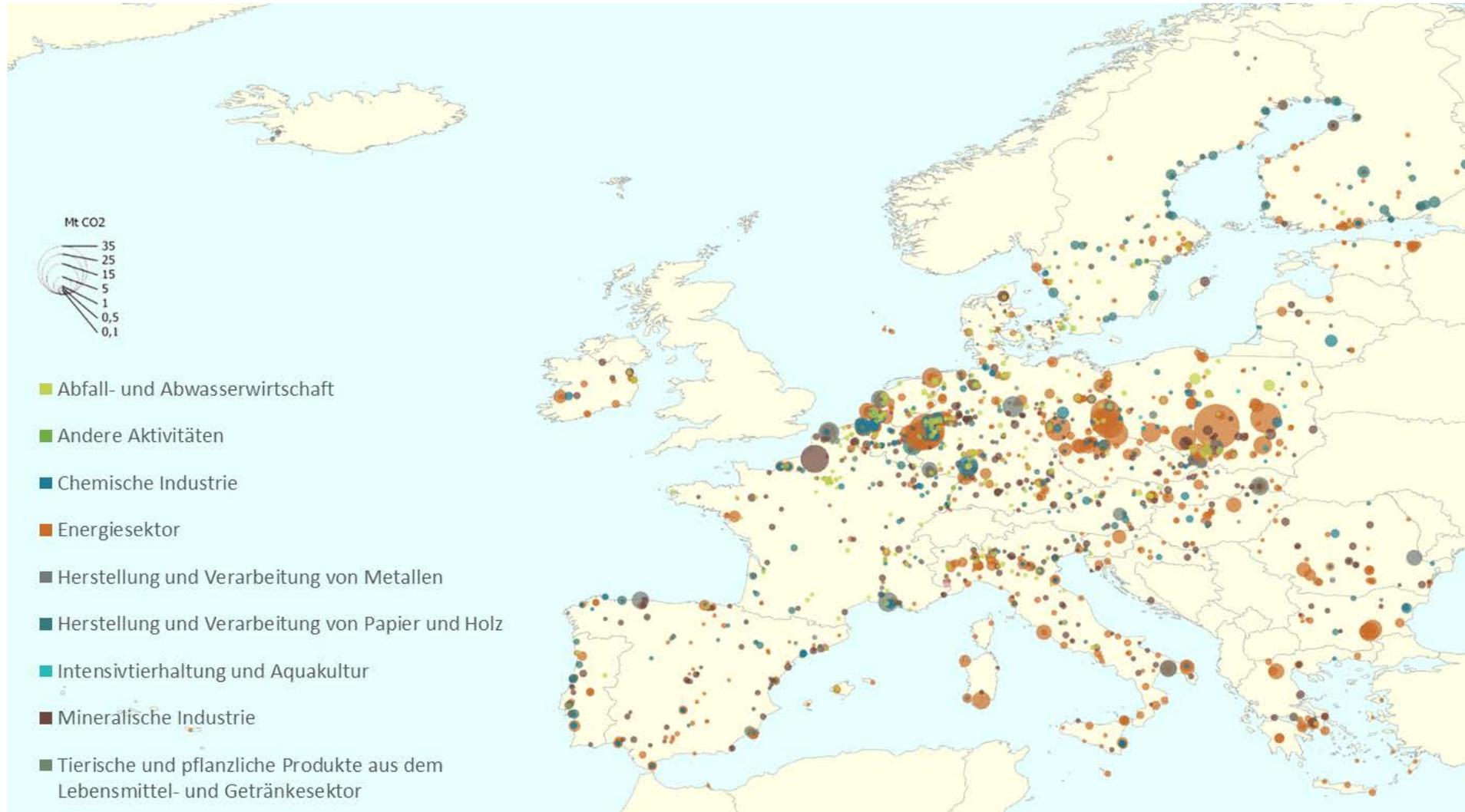


## CO<sub>2</sub>-Quellen und CO<sub>2</sub>-Nutzungsmöglichkeiten

- CO<sub>2</sub>-Quellen
  - Industrie, Biogasanlagen, Kraftwerke und DAC-Anlagen
- CO<sub>2</sub> als Ressource
  - Nutzungsmöglichkeiten für CO<sub>2</sub> heute und in Zukunft?
    - Physikalische Nutzung
    - Chemische Umwandlung von CO<sub>2</sub>
      - Stoffliche Nutzung
      - Nutzung als Energieträger
- End of life
  - Abscheidung → Zur Nutzung (CCU) oder Speicherung
  - Recycling → Zurück zur stofflichen Nutzung
  - Speicherung → Zur Langfristspeicherung (CCS)

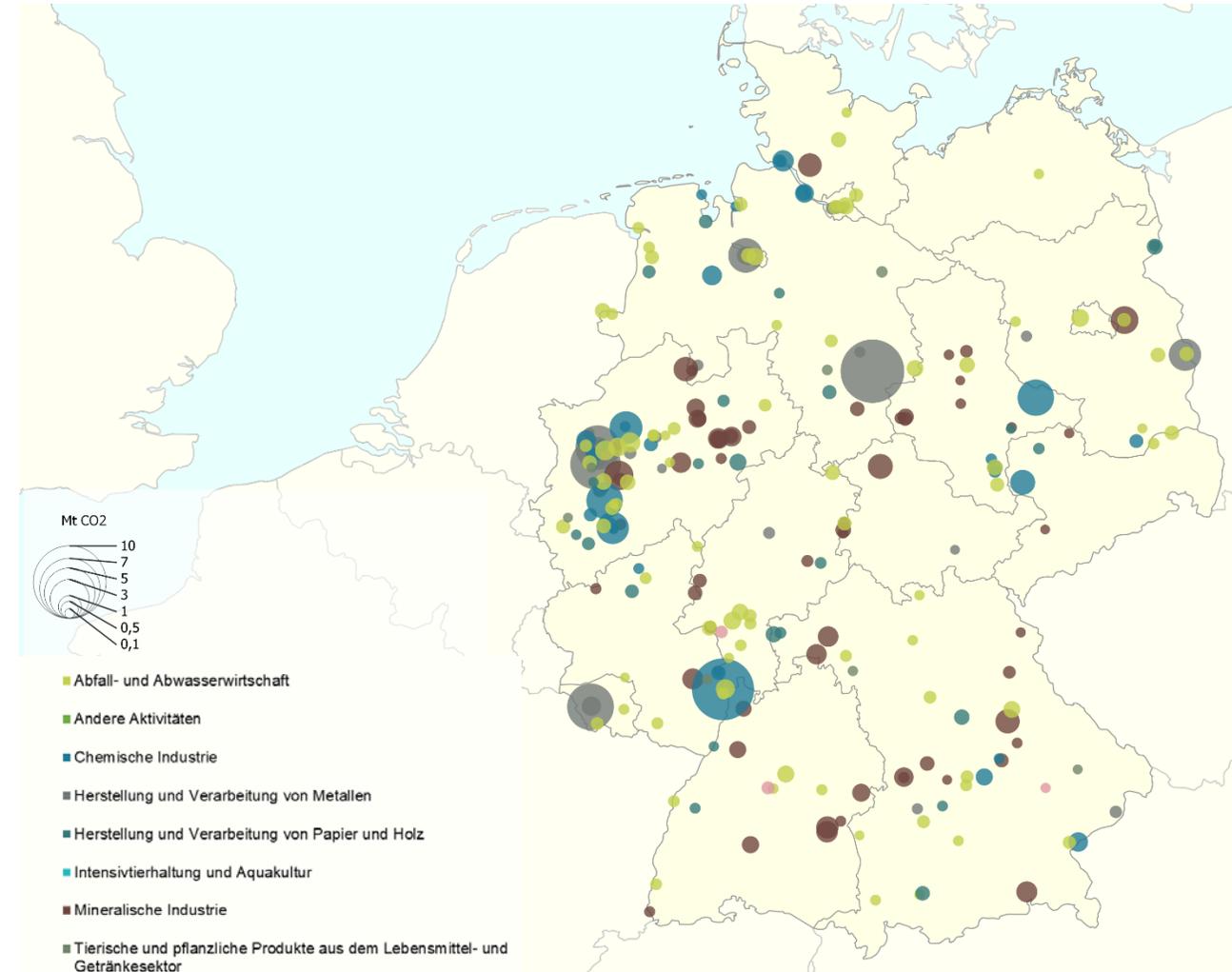
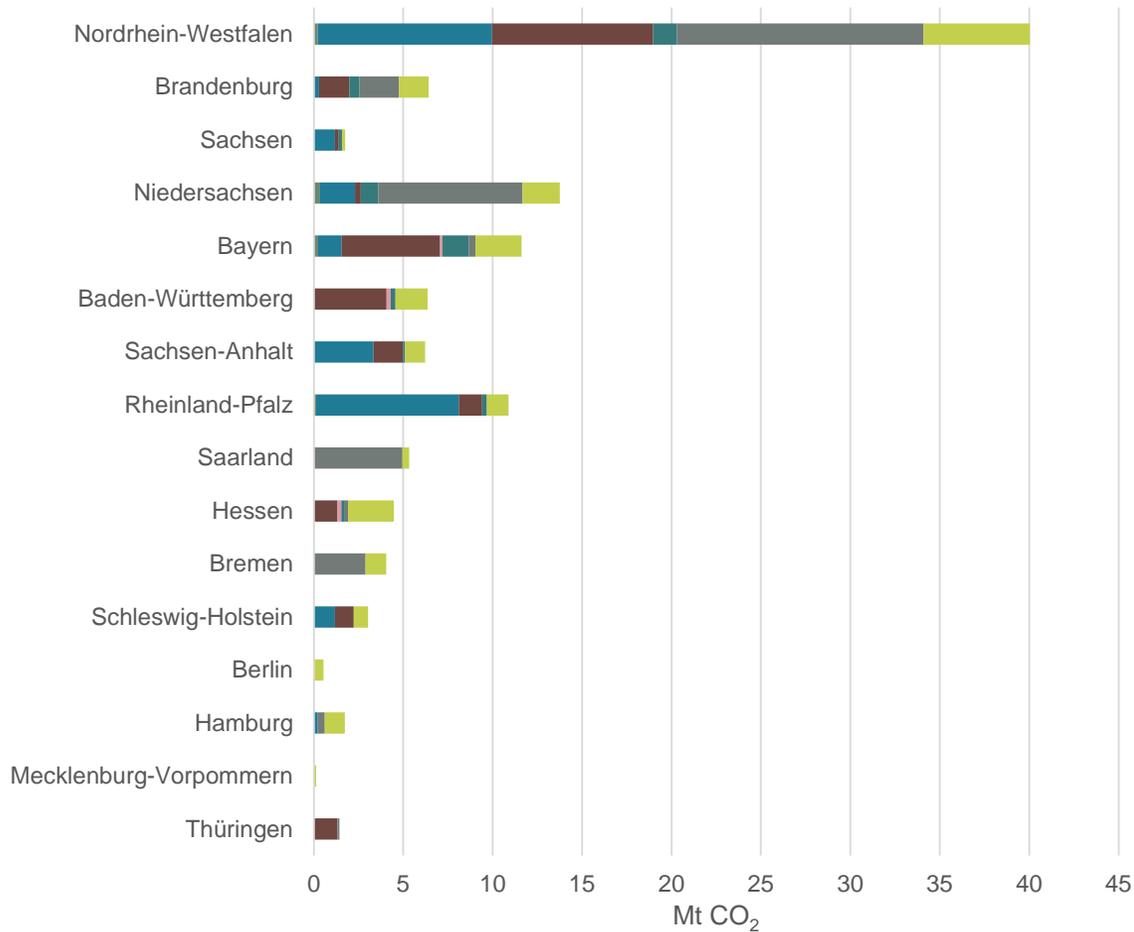


# Geographische Verteilung von CO<sub>2</sub>-Emittenten in Europa



# Potenzielles CO<sub>2</sub>-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 (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)  
Backnatron (Natriumbikarbonat)  
Kalziumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>)  
Andere anorganische Karbonate (Mg/K<sub>2</sub>/Li<sub>2</sub>/SrCO<sub>3</sub>)

### 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 CO<sub>2</sub> recycling—The technical potential for the present and future utilization for fuels in Germany. *Journal of CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> Utilization*, 17, 50-59.
- Schmid, C., & Hahn, A. (2021). Potential CO<sub>2</sub> utilisation in Germany: An analysis of theoretical CO<sub>2</sub> demand by 2030. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 50, 101580.

# CO<sub>2</sub>-Bedarf

## CCU-TRL für CO<sub>2</sub>-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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	6
Backnatron (Natriumbikarbonat)	8-9
Kalziumkarbonat (CaCO <sub>3</sub> )	7
Andere anorganische Karbonate (Mg/K <sub>2</sub> /Li <sub>2</sub> /SrCO <sub>3</sub> )	<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

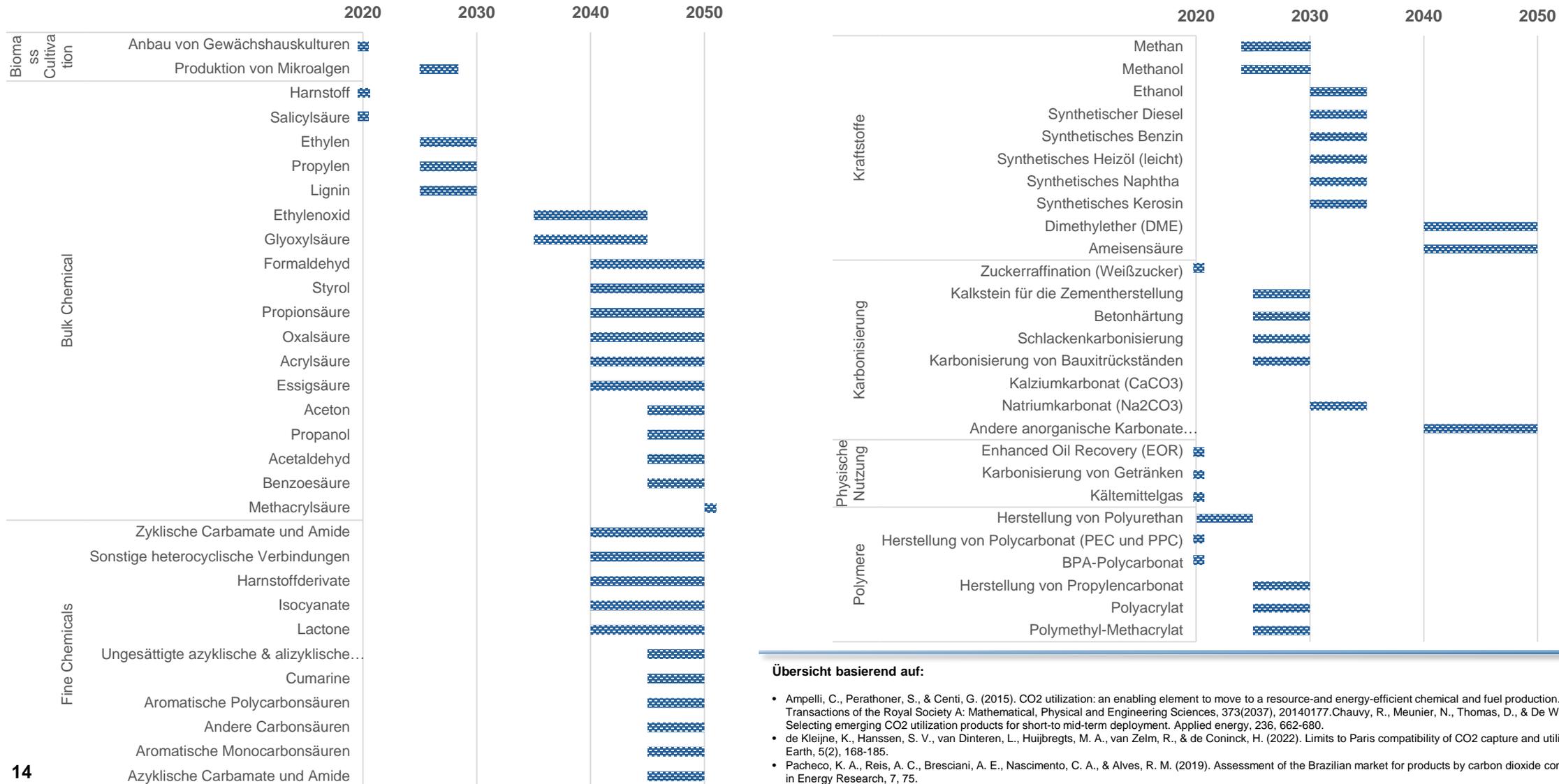
Ameisensäure	3-5
Methanol	7-8
Methan	7-8
Ethanol	6
Dimethylether (DME)	3
Synthesegas	6
Synthetisches Naphtha	6
Synthetisches Benzin	6
Synthetischer Diesel	6
Synthetisches Kerosin	6
Synthetisches Heizöl (leicht)	6

#### Übersicht basierend auf:

- Billig, E., Decker, M., Benzinger, W., Ketelsen, F., Pfeifer, P., Peters, R., ... & Thrän, D. (2019). Non-fossil CO<sub>2</sub> recycling—The technical potential for the present and future utilization for fuels in Germany. *Journal of CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> Utilization*, 17, 50-59.
- Schmid, C., & Hahn, A. (2021). Potential CO<sub>2</sub> utilisation in Germany: An analysis of theoretical CO<sub>2</sub> demand by 2030. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 50, 101580.

# CO<sub>2</sub>-Bedarf

## Technologische Reife für CCU-Pfade



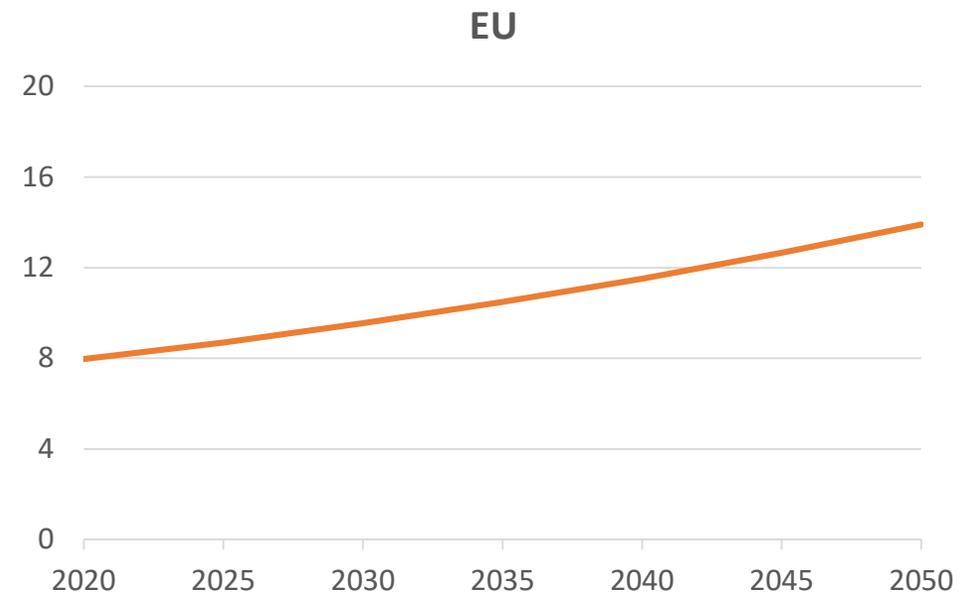
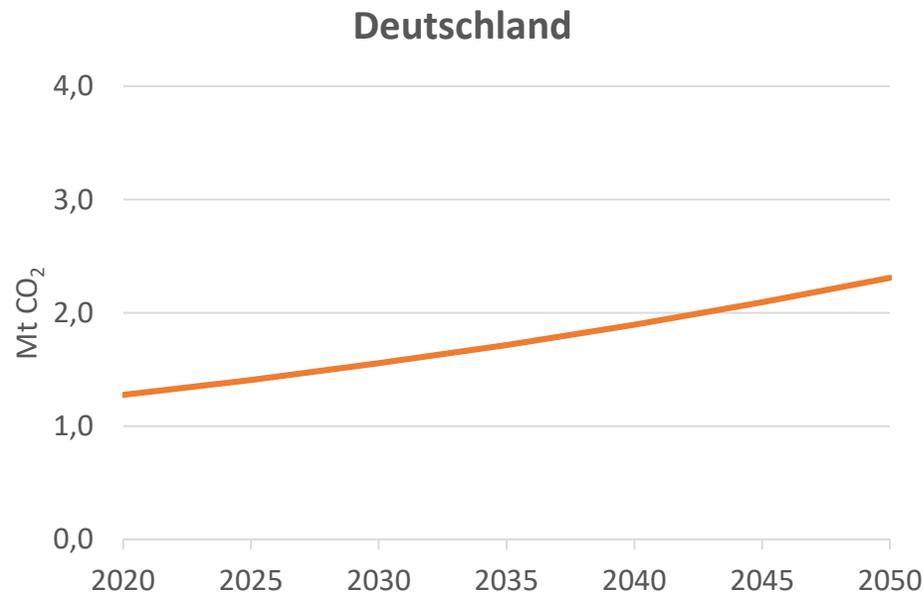
### Übersicht basierend auf:

- Ampelli, C., Perathoner, S., & Centi, G. (2015). CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> utilization products for short- to mid-term deployment. Applied energy, 236, 662-680.
- de Kleijne, K., Hanssen, S. V., van Dinteren, L., Huijbregts, M. A., van Zelm, R., & de Coninck, H. (2022). Limits to Paris compatibility of CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> utilisation in Germany: An analysis of theoretical CO<sub>2</sub> demand by 2030. Journal of CO<sub>2</sub> Utilization, 50, 101580.
- Hierauf basierenden Abschätzungen

# CO<sub>2</sub>-Bedarf im CCU-Kontext

## Bestehender CO<sub>2</sub>-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



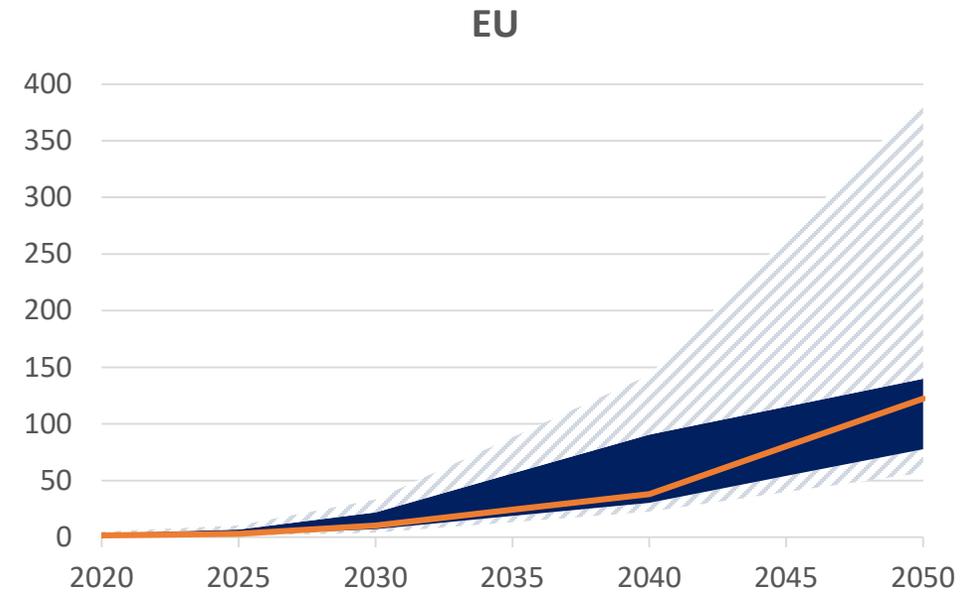
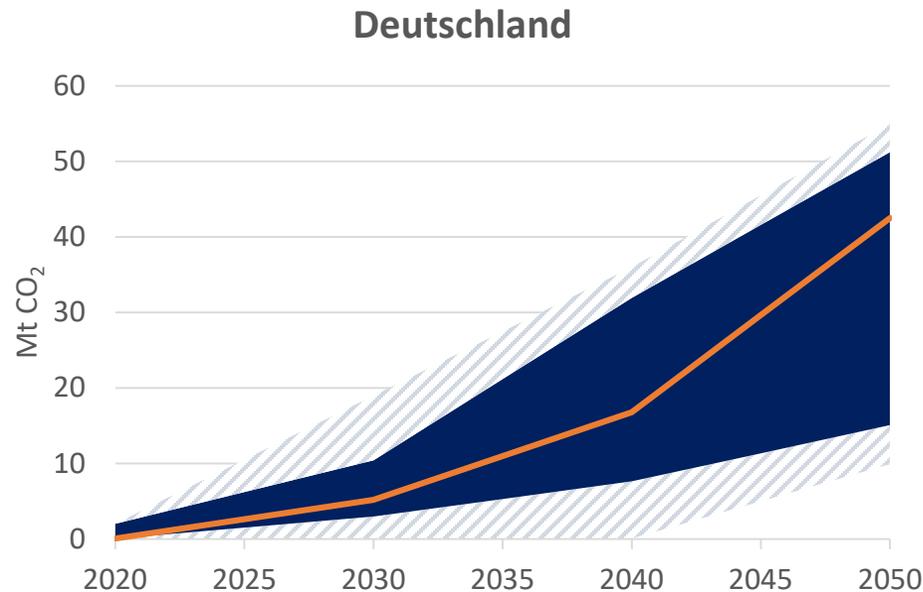
Übersicht basierend auf:

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

# CO<sub>2</sub>-Bedarf im CCU-Kontext

## Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Bedarfs für den **Chemiesektor** nach unterschiedlichen Szenarien

- Basierend auf einer Literatur- und Szenarienauswertung wurden Bandbreiten des zukünftigen CO<sub>2</sub>-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).



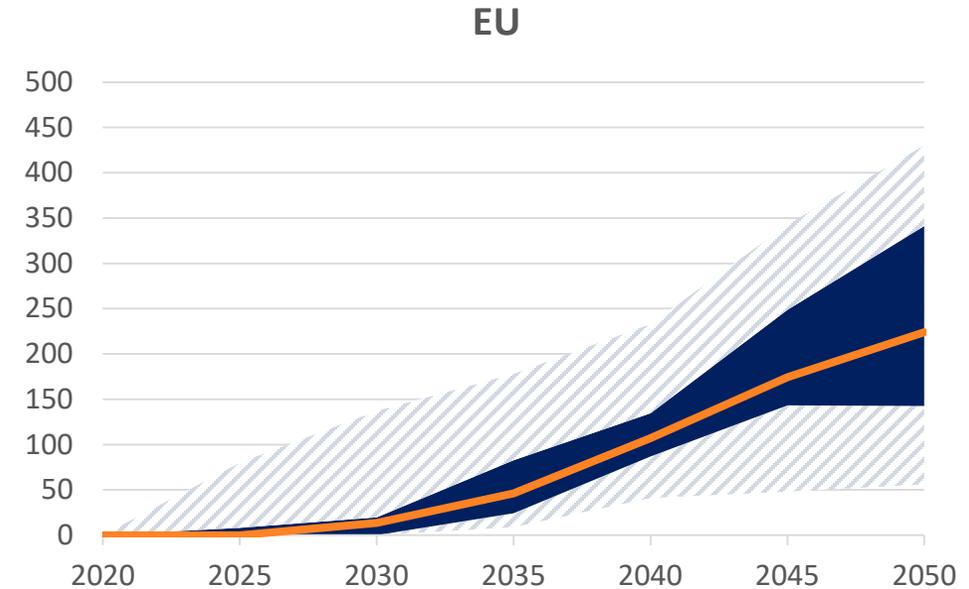
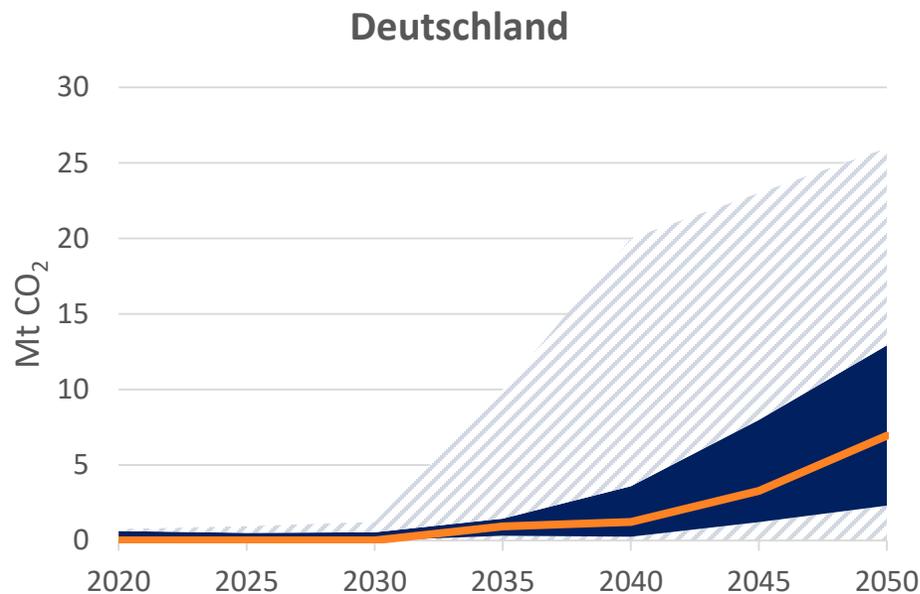
### Übersicht basierend auf:

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

# CO<sub>2</sub>-Bedarf im CCU-Kontext

## Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Bedarfs für die Kraftstoffproduktion nach unterschiedlichen Szenarien

- CO<sub>2</sub>-Bedarf auf EU-Ebene sehr stark von Kraftstoffproduktion abhängig.
- Große Unsicherheiten hinsichtlich zukünftiger Produktion synthetischer Kraftstoffe geht mit großen Bandbreiten des künftigen CO<sub>2</sub>-Bedarfs einher



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

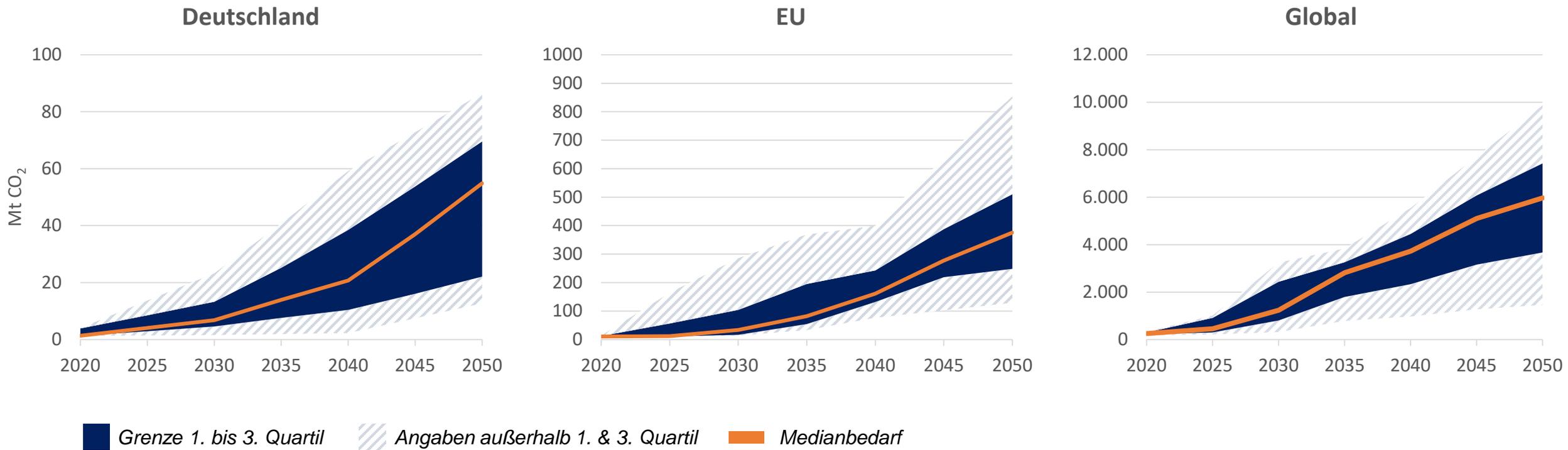
### Übersicht basierend auf:

Global Alliance Powerfuels (2020) | Global CO<sub>2</sub> 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

# CO<sub>2</sub>-Bedarf im CCU-Kontext

## Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Gesamtbedarfs für CCU nach unterschiedlichen Szenarien

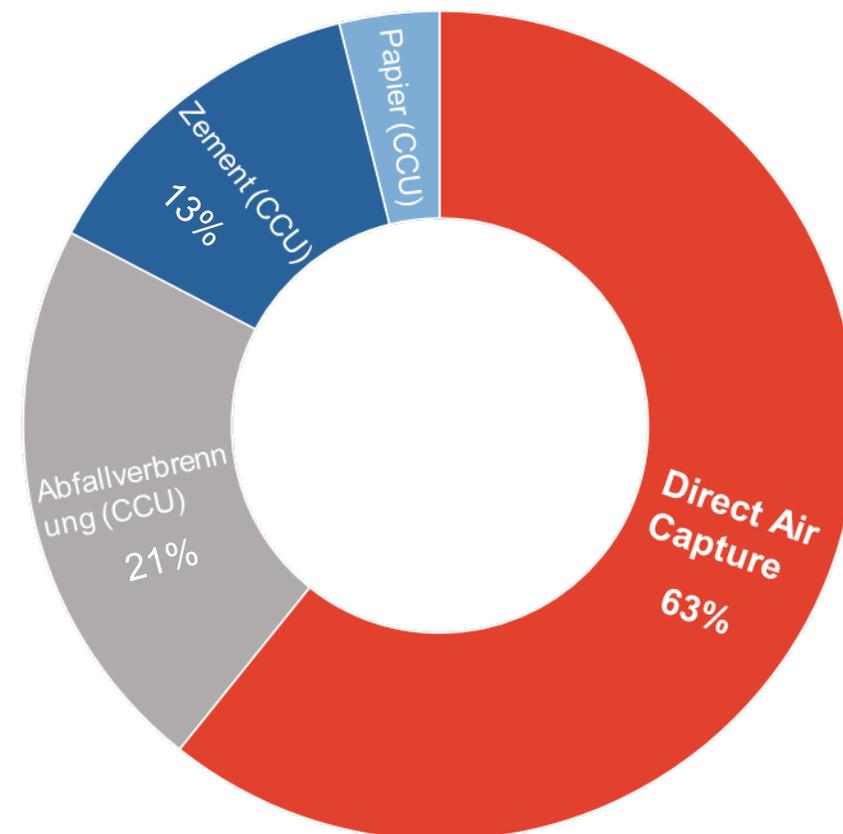
- Aus den kumulierten, sektorspezifischen Auswertungen ergibt sich ein Korridor mit der zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Gesamtnachfrage
- Zu erwartender Gesamtbedarf in 2050 liegt bei etwa 55 Mt (DE) bzw. 375 Mt (EU) sowie global bei etwa 6000 Mt
- Bedarf wird in der Regel durch Produktion synthetischer Energieträger und Chemikalien bestimmt



## Fazit

- CO<sub>2</sub> ist ein Rohstoff und kann zukünftig in vielen Anwendungsbereichen genutzt werden.
- CO<sub>2</sub> als Rohstoff wird langfristig allerdings ein knappes Gut.
- Im Hinblick auf das CO<sub>2</sub>-Angebot aus nicht-vermeidbaren Punktquellen entsteht perspektivisch ein CO<sub>2</sub>-Nachfrageüberhang, der bspw. über DAC gedeckt werden muss.

Erwartete CO<sub>2</sub>-Bereitstellungspfade auf globaler Ebene in 2050



Quelle: Galimova et al. 2022.



Baden-Württemberg

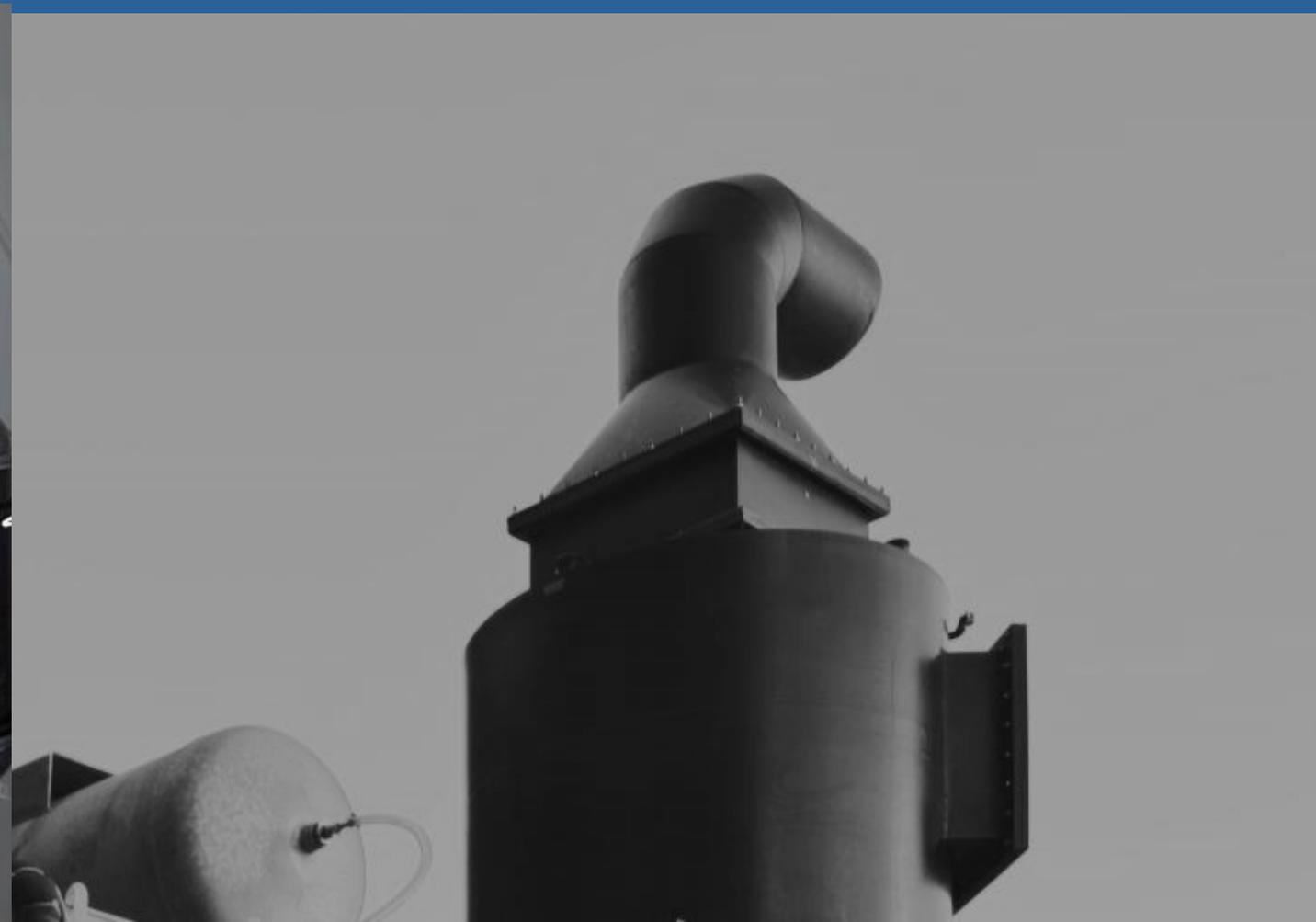
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS



Baden-Württemberg

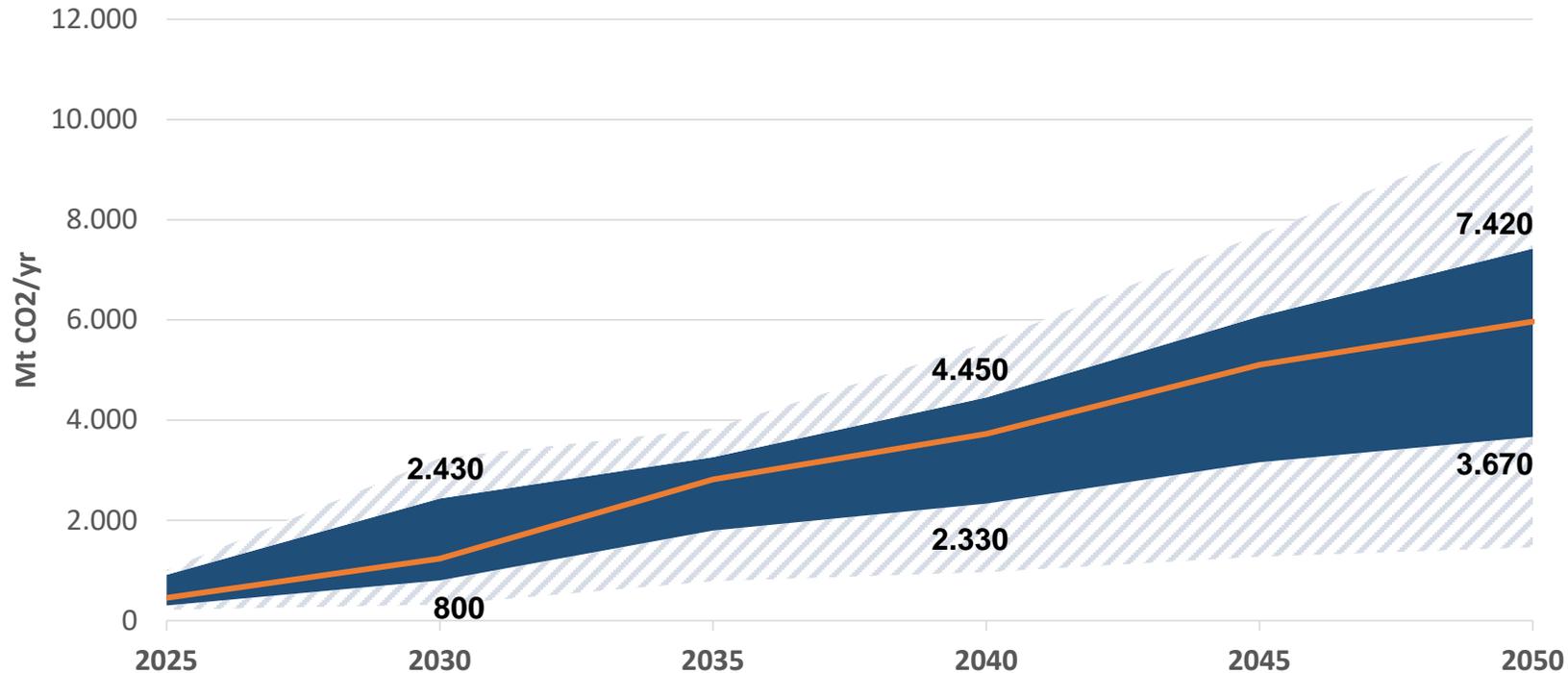
MINISTERIUM FÜR VERKEHR

# Die Rolle von DAC als CO<sub>2</sub>-Quelle und damit verbundene Potenziale für die Industrie in Baden-Württemberg



# Weltweiter Bedarf an CCU und negativen Emissionen

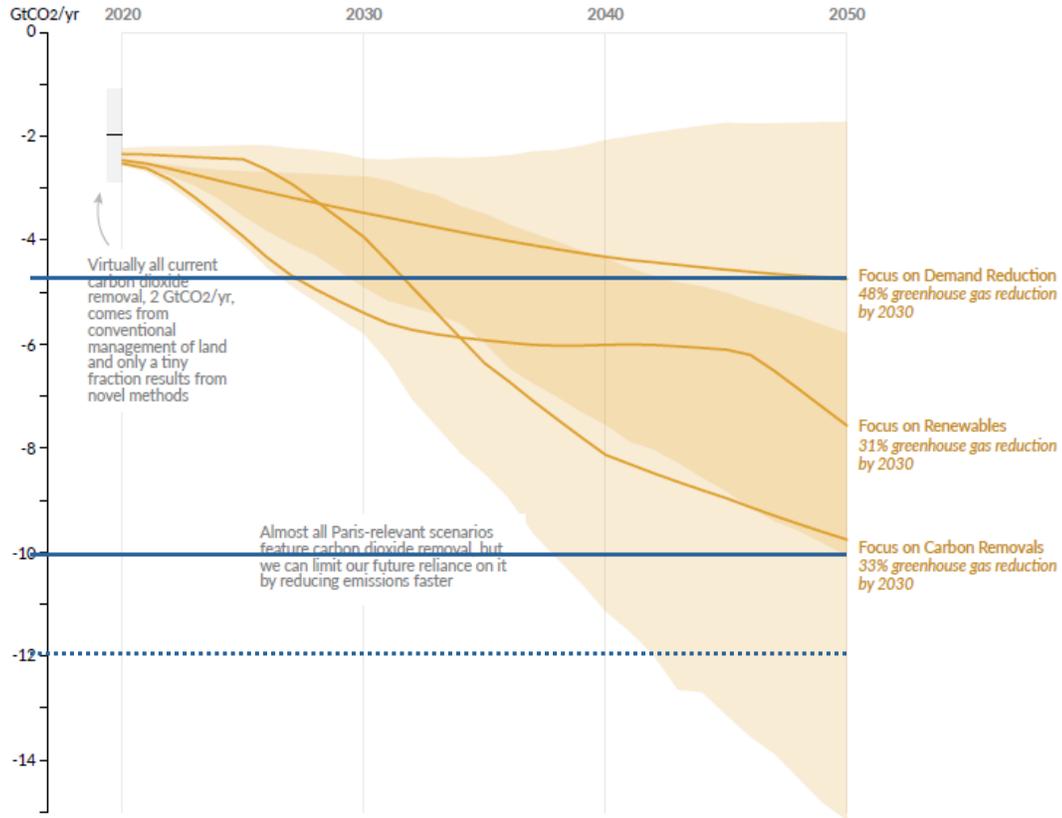
## Carbon Capture and Use (CCU)



- 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



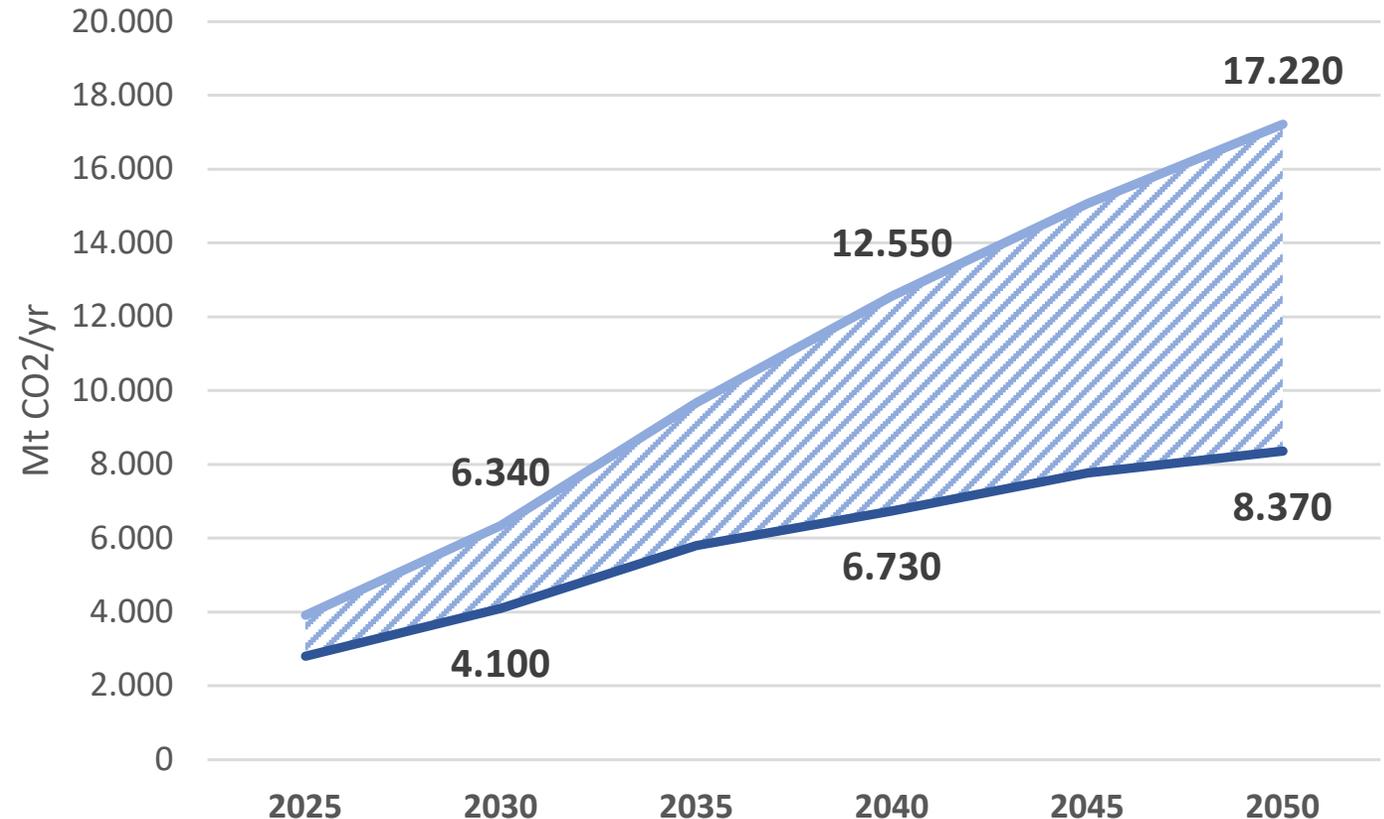
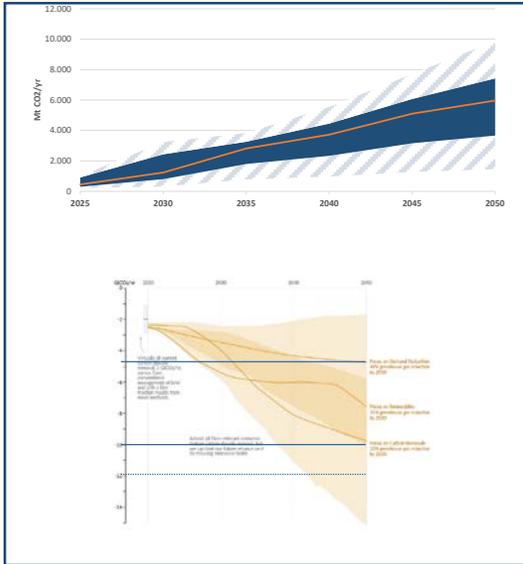
Smith et al. (2023)

- Weitere Szenarien sehen bis 2050 negative Emissionen in Höhe von 6 bis 12 Gt CO<sub>2</sub> 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)

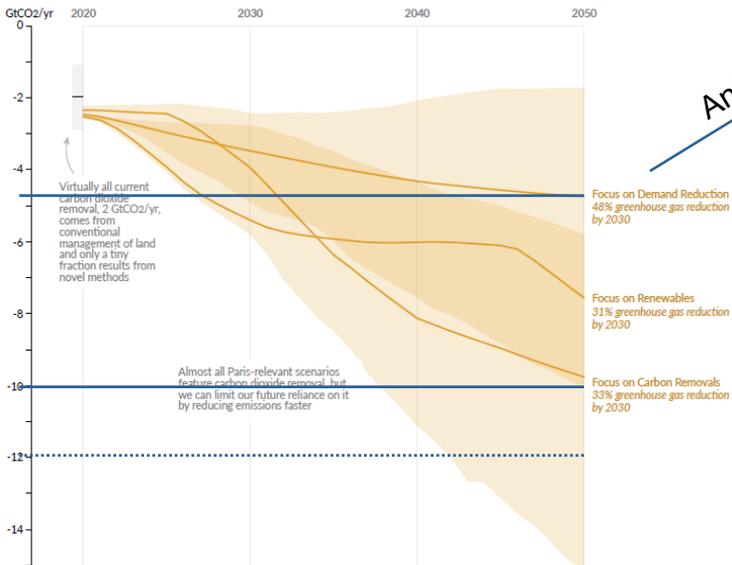
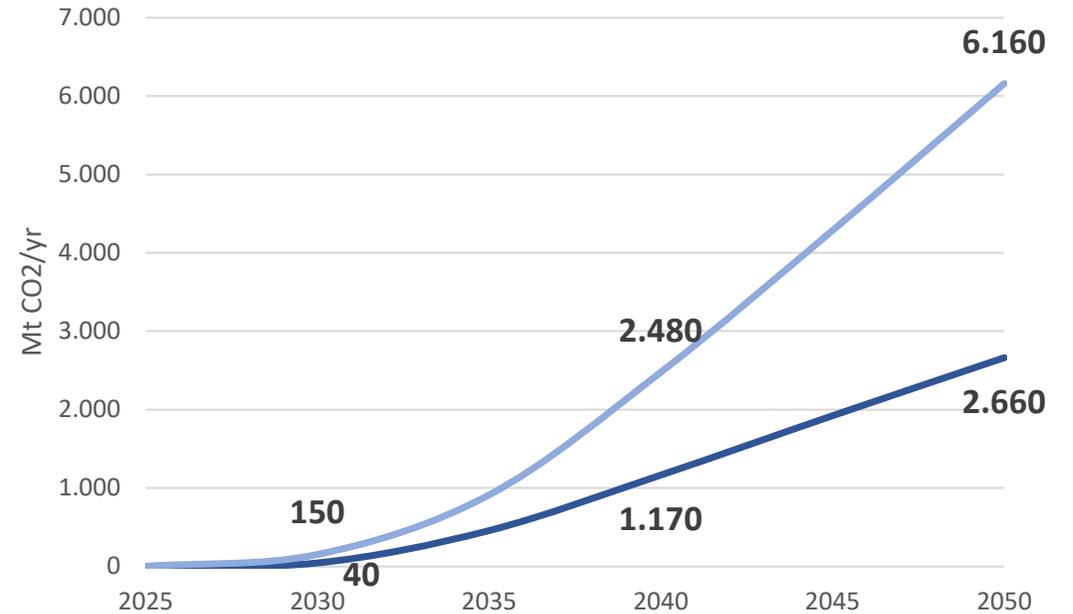
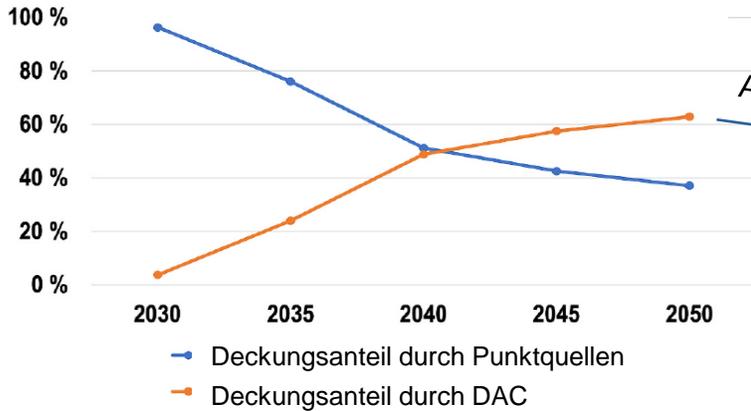


- CO<sub>2</sub>-Bedarf für CCU insbesondere abhängig vom Produktionsumfang strombasierter Kraftstoffe.
- Große Unsicherheiten bestehen ebenfalls bei der physischen Nutzung von CO<sub>2</sub>.
- Der Umfang negativer Emissionen hängt maßgeblich von globalen Klimaschutzaktivitäten statt.
- Eine Verfehlung 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 CO<sub>2</sub> aus DAC-Anlagen

## Szenarienraum unterer und oberer Rand

Galimova et al. 2022.



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 CO<sub>2</sub> oder hoher Reinheitsgrad des abgeschiedenen CO<sub>2</sub>.
- Für die verschiedenen Anwendungsfälle können unterschiedliche Skalierungsschritte für DAC-Anlagen gewählt werden.

# Gesamtbedarf an CO<sub>2</sub> aus DAC-Anlagen

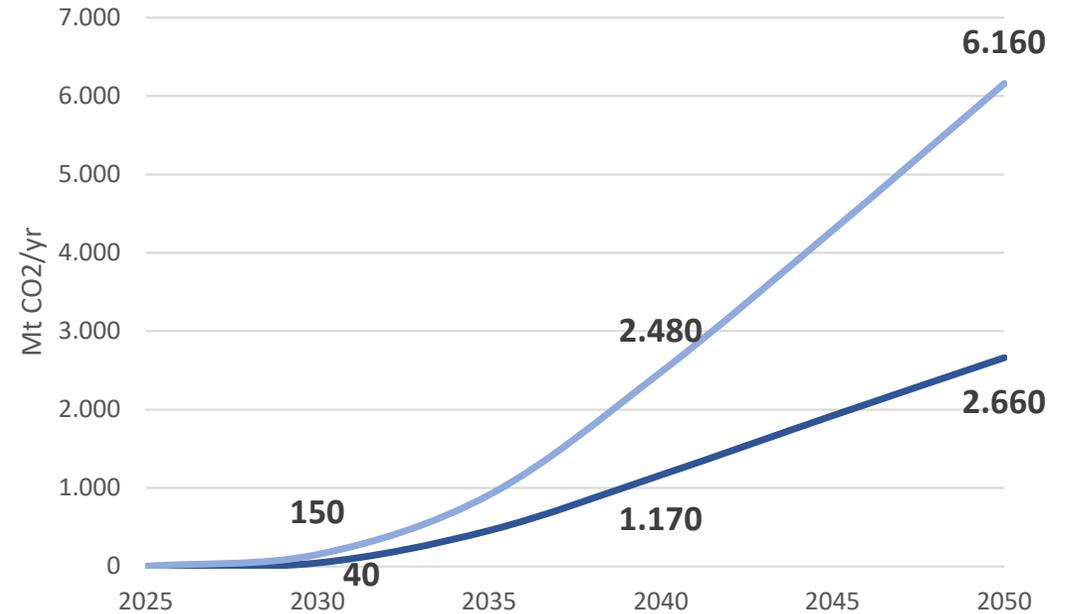
## Szenarienraum unterer und oberer Rand



climeworks.com



1pointfive.com



**2030**

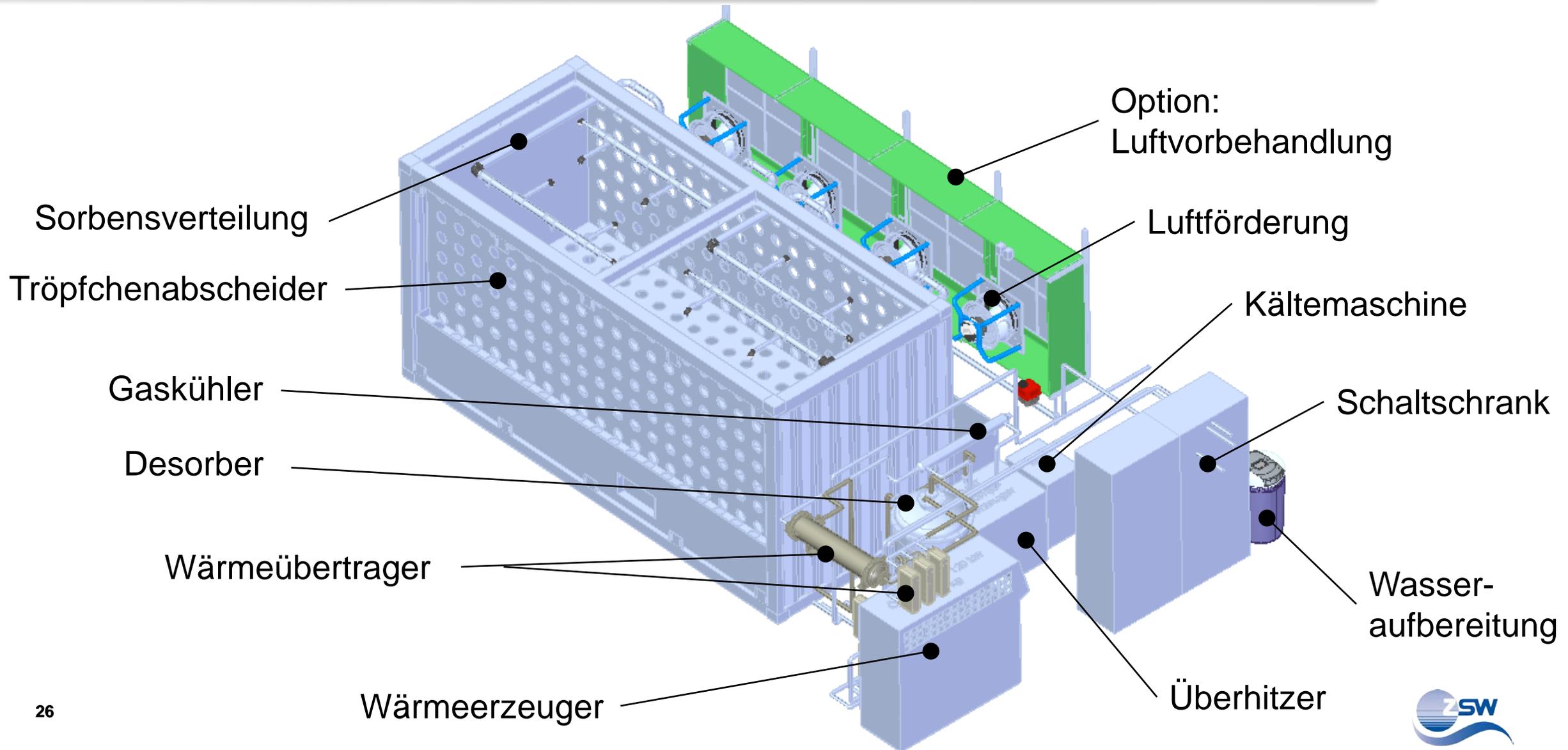
**2040**

**2050**

			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

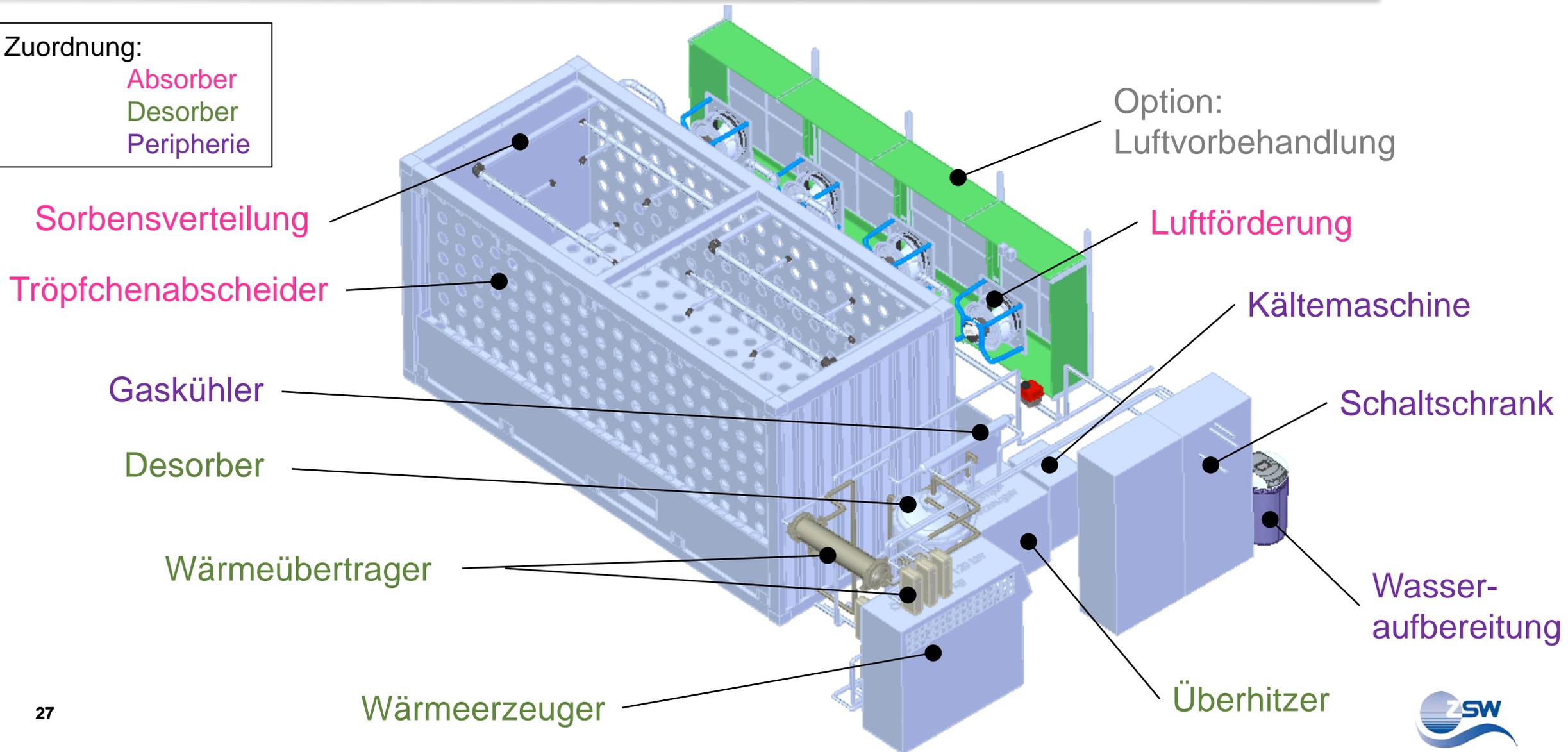
Teilsysteme der entwickelten DAC-Anlage



# Aufteilung der Investitionskosten einer DAC-Anlage

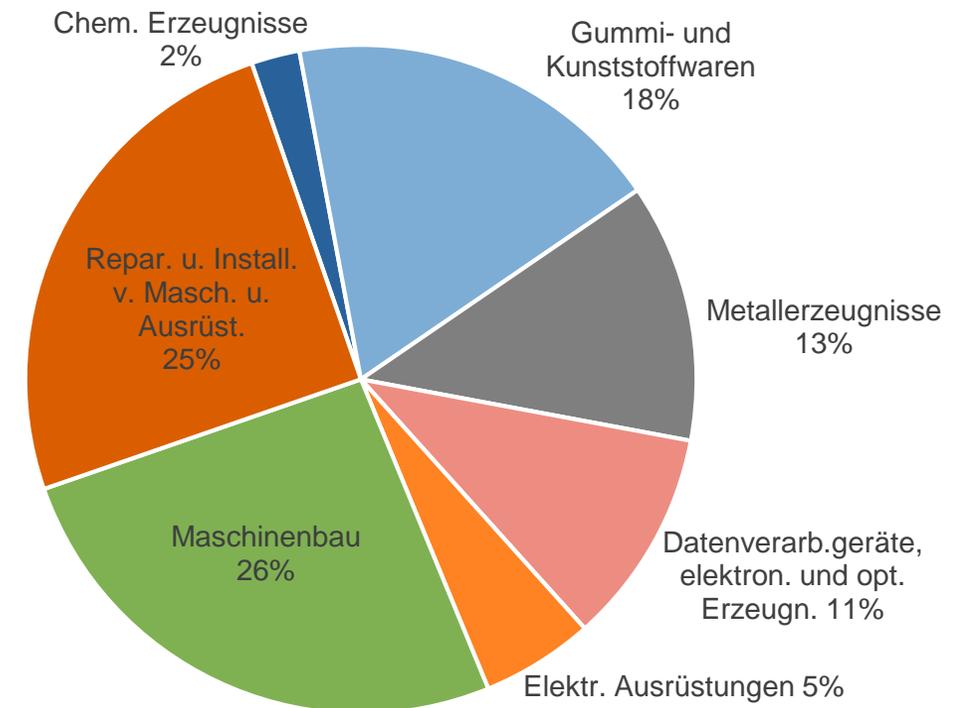
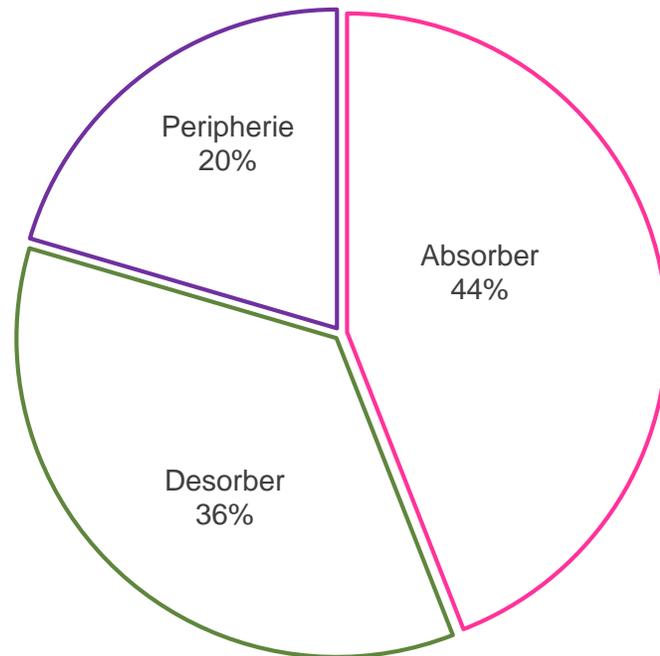
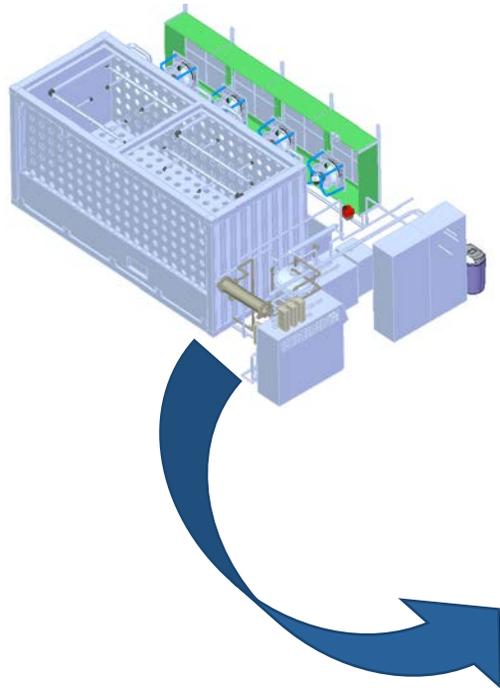
Teilsysteme der entwickelten DAC-Anlage

Zuordnung:  
Absorber  
Desorber  
Peripherie



# Aufteilung der Investitionskosten einer DAC-Anlage

Nach Teilsystemen (links) und nach Wirtschaftszweigen (rechts)

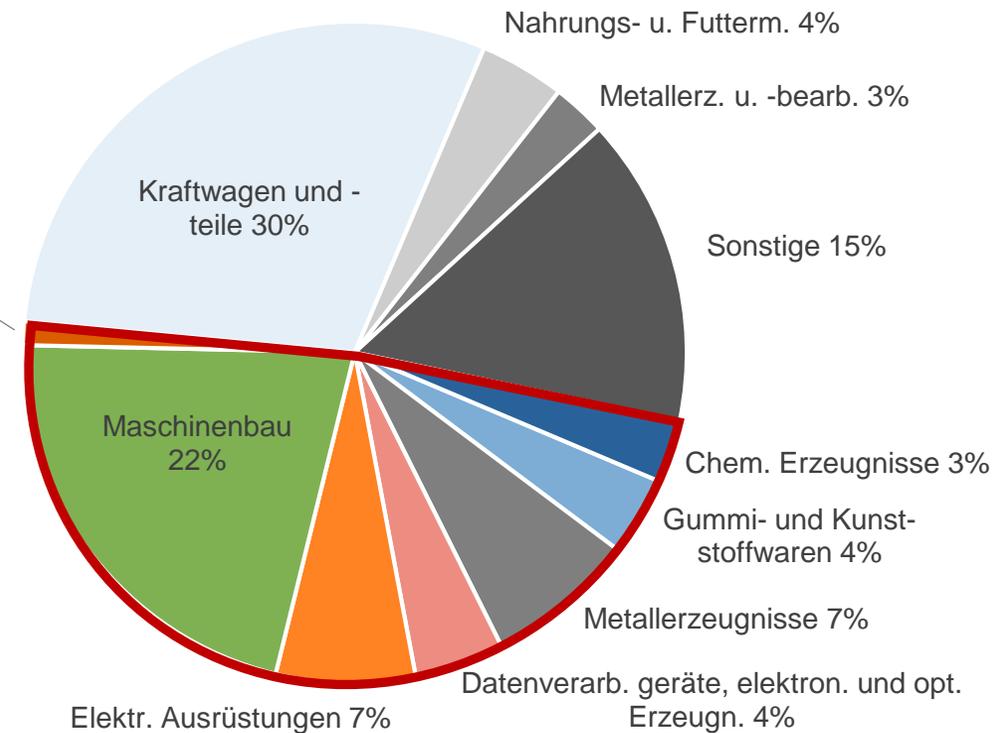
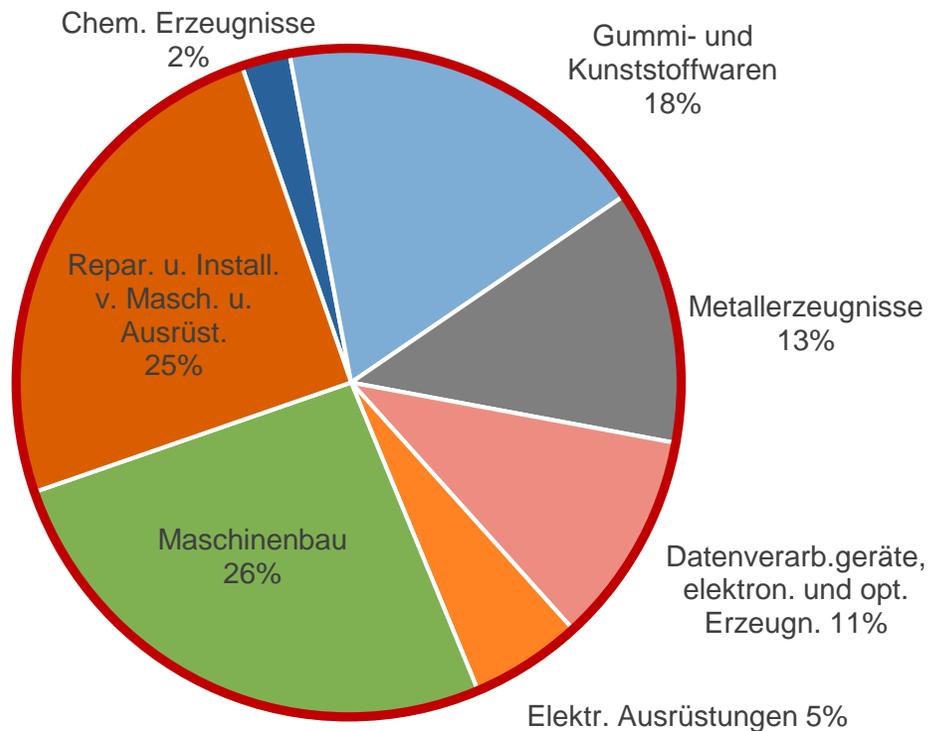


# Wie kann Baden-Württemberg profitieren?

## Gegenüberstellung Wirtschaftszweigstruktur

Aufteilung der Investitionskosten einer DAC-Anlage nach Wirtschaftszweigen

Umsatzanteile der Wirtschaftszweige im Verarbeitenden Gewerbe in Baden-Württemberg 2019



# Von der CO<sub>2</sub>-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

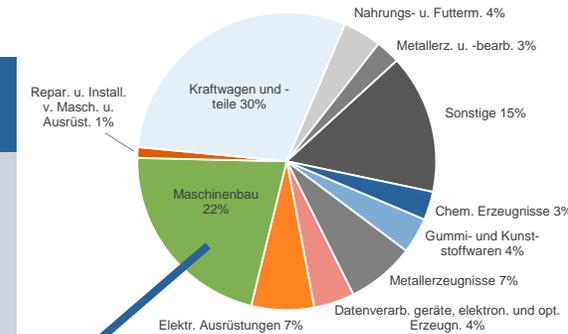
**Welthandelsanteil** = Anteil deutscher Unternehmen am weltweiten Handelsvolumen der jeweiligen Warengruppe

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

# Von der CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Nachfrage zum Wirtschaftspotenzial für DAC-Anlagen:

Von den Welthandelsanteilen Deutschlands zu denen Baden-Württembergs



?



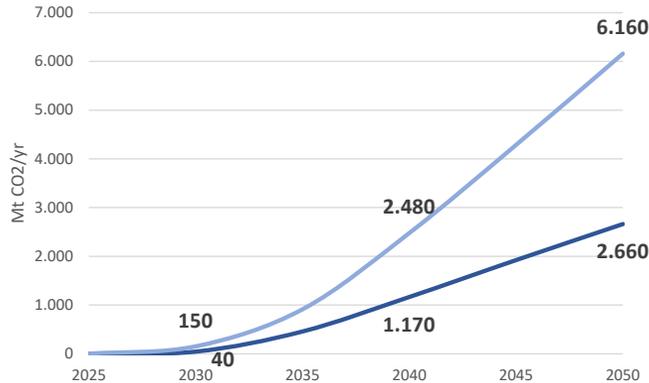
Gewichtung anhand des BW-  
Anteils am Umsatz D

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 CO<sub>2</sub>-Nachfrage zum Wirtschaftspotenzial für DAC-Anlagen:

## Angenommene zukünftige Entwicklung Welthandelsanteile Deutschland/BW

### Bandbreite Mengenentwicklung

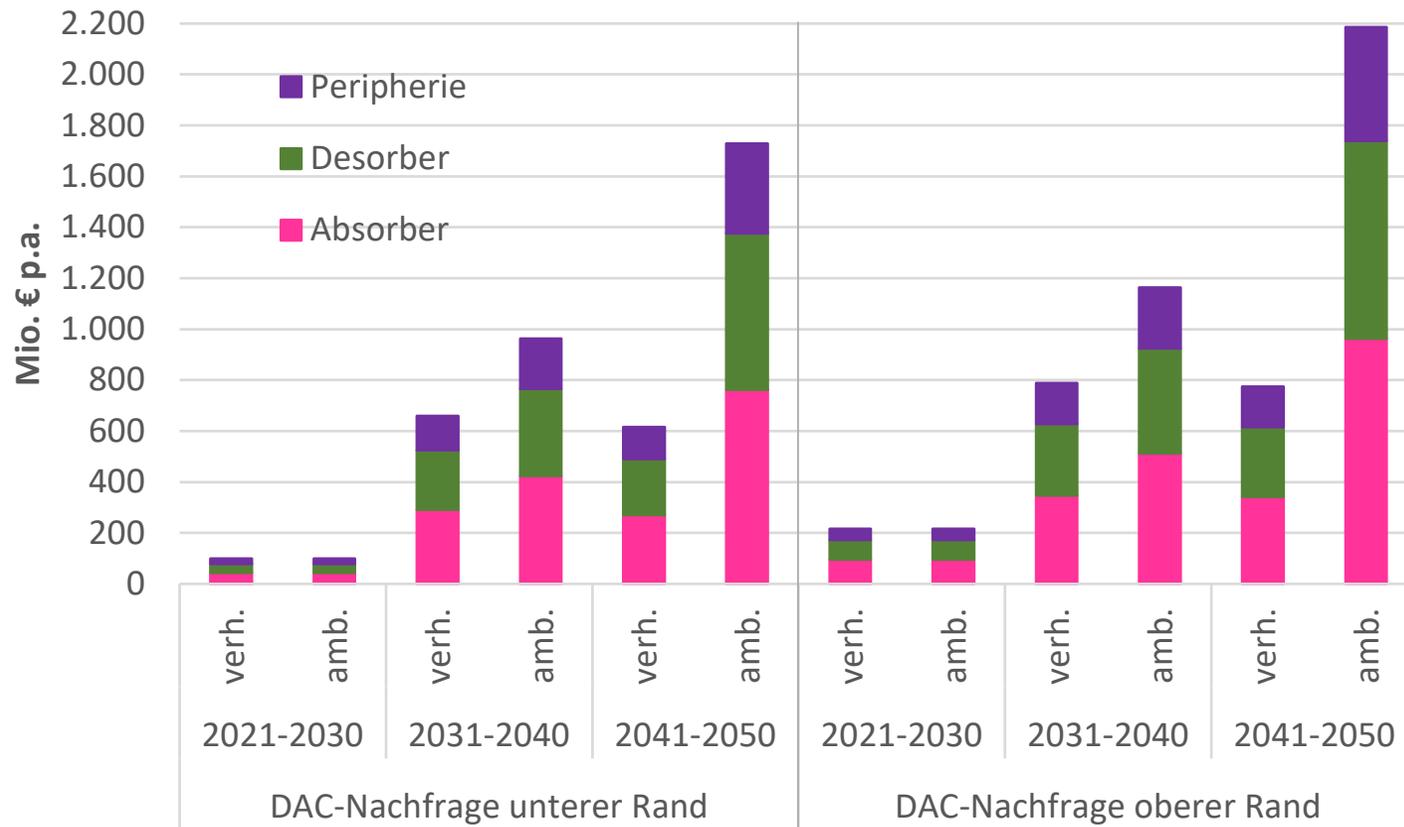


Ausgehend vom aktuellen Niveau der Welthandelsanteile der baden-württembergischen Industrie (Anteil an DE branchenspezifisch gewichtet) wurde eine Entwicklungsbereich mit folgenden Grenzen definiert:

	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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>.
- Dies beinhaltet auch die Entwicklung von für verschiedene Anwendungsfälle geeigneten Anlagenkonfigurationen (Größe, Typ, Wärmequelle uvm.).
- Die dargestellten Potenziale beinhalten zahlreiche Unsicherheiten: CO<sub>2</sub>-Bedarfe, DAC-Anteile, technologische und Kostenentwicklung, realisierbare Welthandelsanteile uvm.



Baden-Württemberg

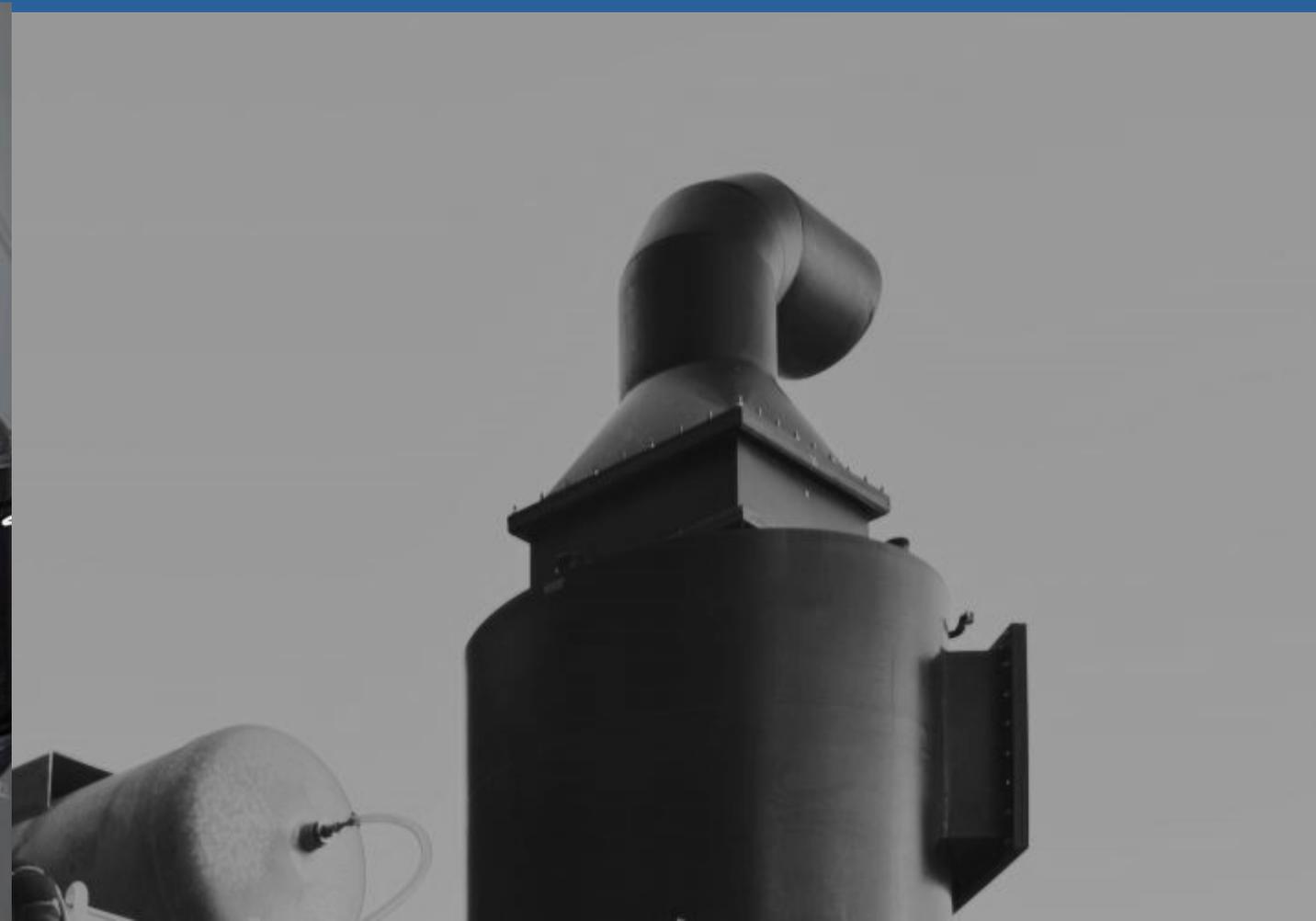
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR VERKEHR

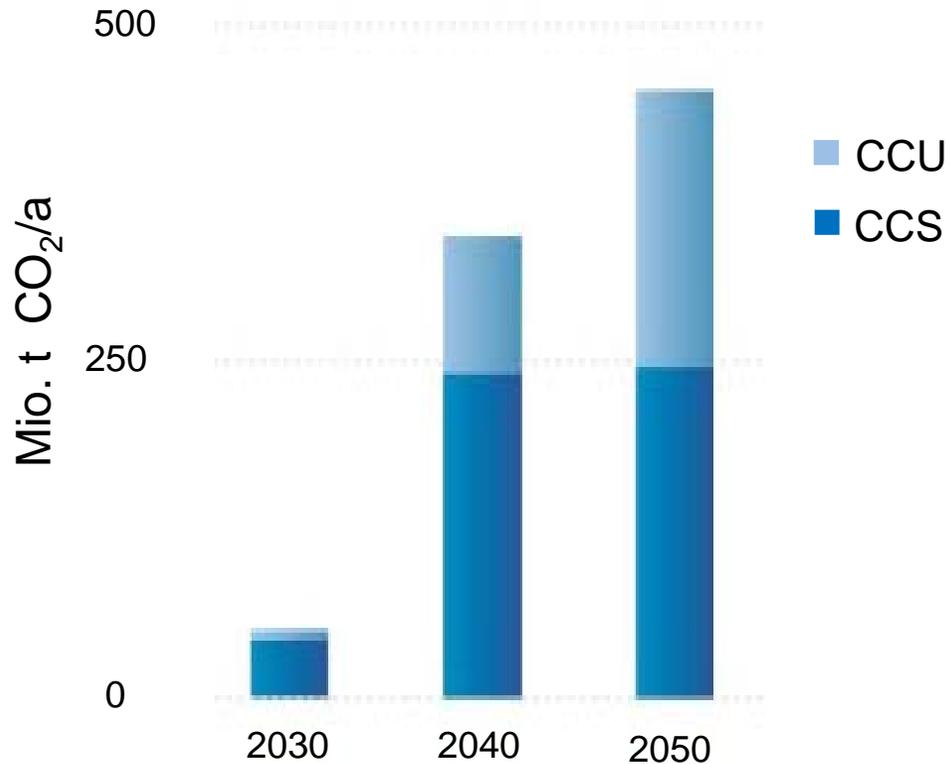
# Die Entwicklung des Rechtsrahmens – ein Markt entsteht



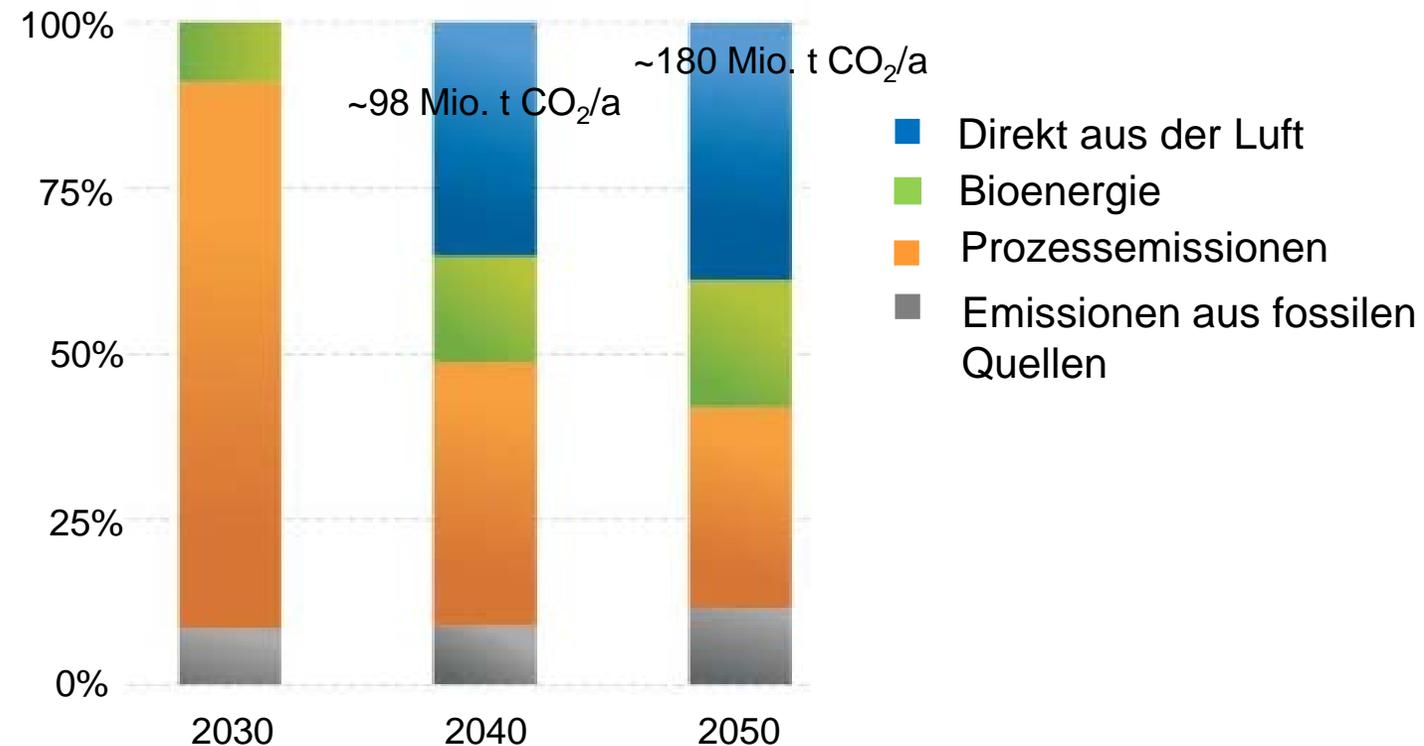
# Industrial Carbon Management Strategy der EU

(veröffentlicht am 06.02.2024)

### Erforderliche Menge des in der EU abgeschiedenen CO<sub>2</sub>



### Anteil der Abscheidung nach Ursprung des CO<sub>2</sub>



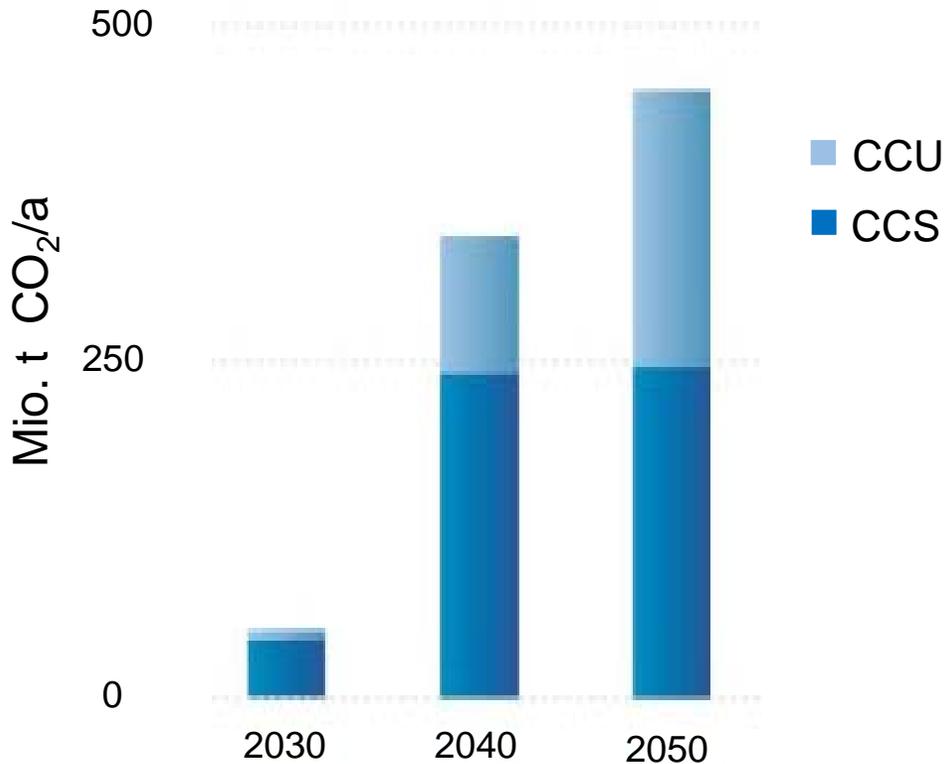
# Industrial Carbon Management Strategy der EU

(veröffentlicht am 06.02.2024)

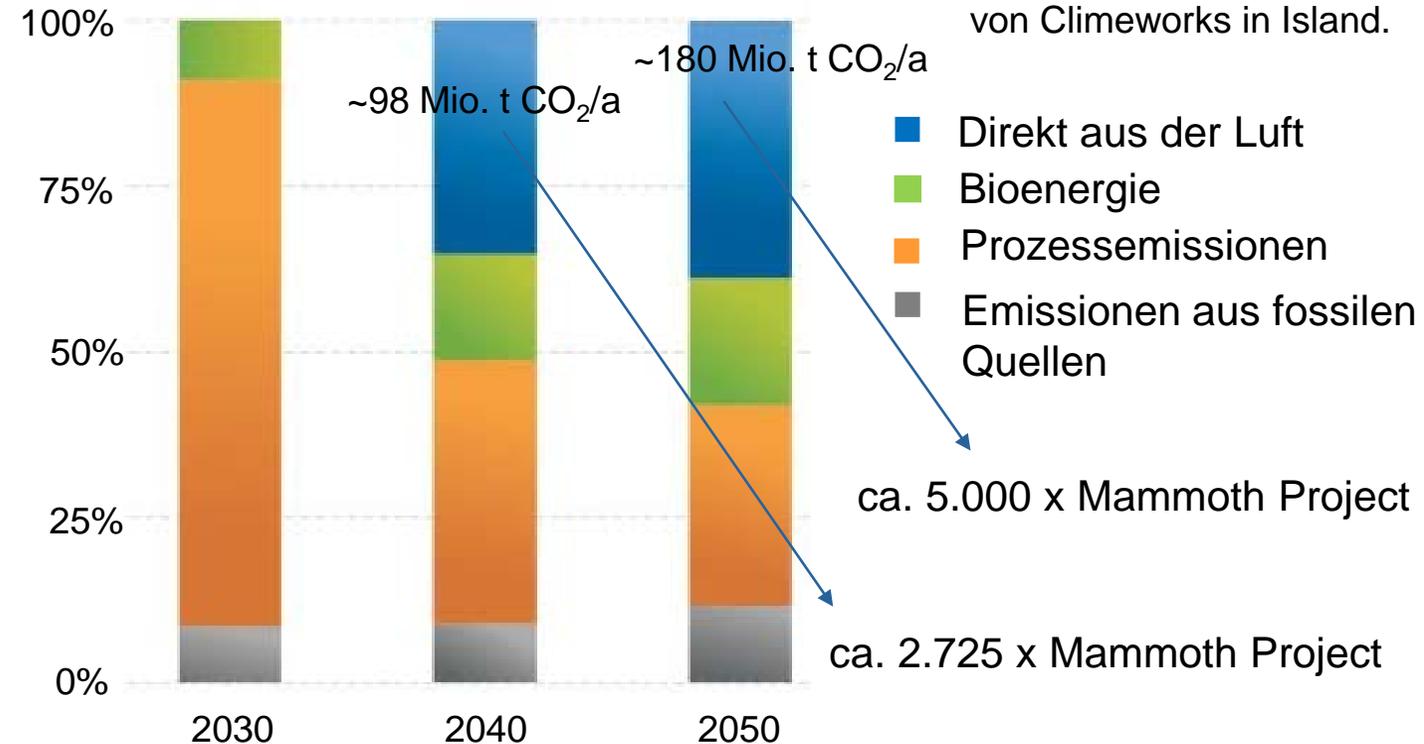


Die größte DAC-Anlage mit 36.000 t/a ist aktuell das Mammoth Projekt von Climeworks in Island.

Erforderliche Menge des in der EU abgeschiedenen CO<sub>2</sub>

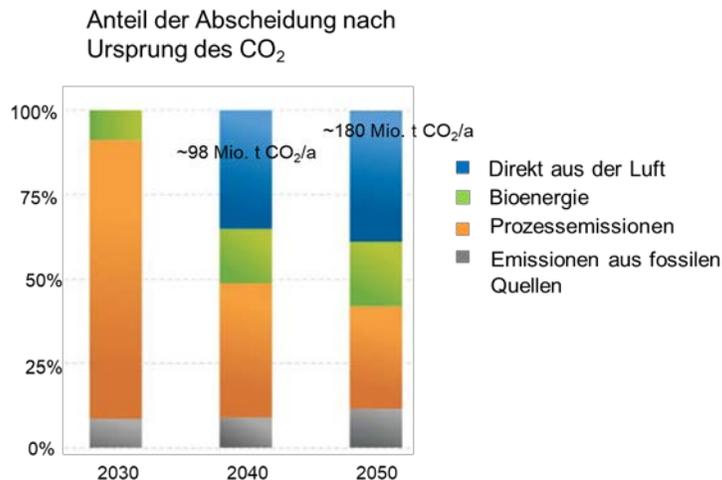


Anteil der Abscheidung nach Ursprung des CO<sub>2</sub>



Die EU-Strategie für das industrielle CO<sub>2</sub>-Management basiert auf drei Pfaden:

- CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung (CCS): CO<sub>2</sub> Emissionen fossilen, biogenen oder **atmosphärischen Ursprungs** werden zur dauerhaften und sicheren geologischen Speicherung abgeschieden und transportiert.
- CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre: CO<sub>2</sub> biogenen oder **atmosphärischen Ursprungs** wird dauerhaft gespeichert, wodurch der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre verringert wird.
- CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Nutzung (Carbon Capture and Utilization, im Folgenden „CCU“): abgeschiedenes CO<sub>2</sub> wird in der Industrie für synthetische Produkte, Chemikalien oder Brennstoffe verwendet.



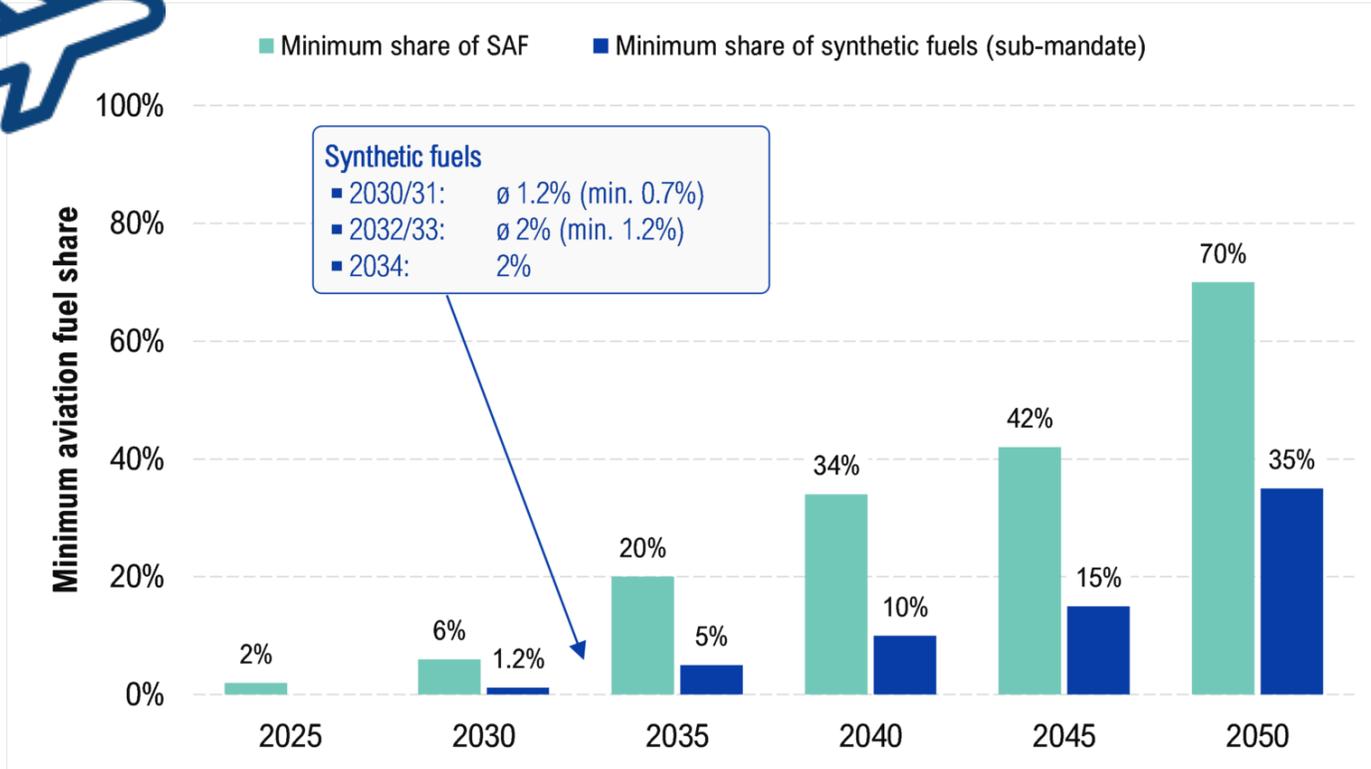
Während anfangs alle Arten von CO<sub>2</sub> genutzt werden, wird sich mit der Zeit ein höherer Klimanutzen daraus ergeben, dass die Wertschöpfungsketten zur CO<sub>2</sub>-Nutzung strategisch auf die Abscheidung von biogenem oder **atmosphärischem CO<sub>2</sub>** ausgerichtet werden.

Für alle Pfade stellt die **Infrastruktur für den CO<sub>2</sub>-Transport** die wichtigste Grundvoraussetzung dar. Wenn das abgeschiedene CO<sub>2</sub> 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

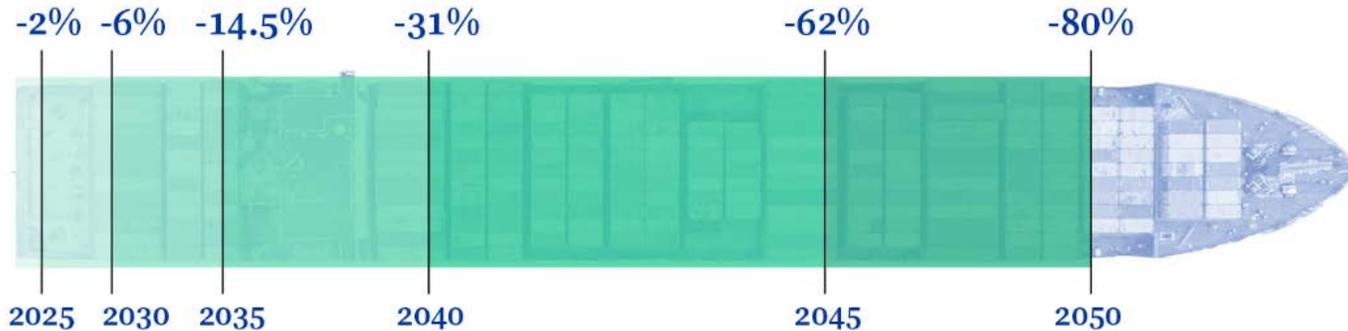
# Entwicklung der Nachfrage nach reFuels in der See-Schifffahrt (FuelEU Maritime)



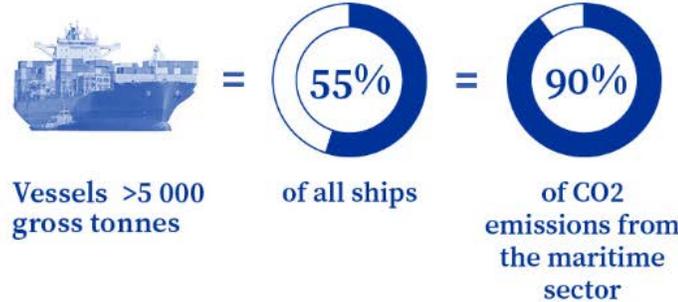
The FuelEU maritime regulation will oblige vessels above 5000 gross tonnes calling at European ports (with exceptions such as fishing ships):

→ 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

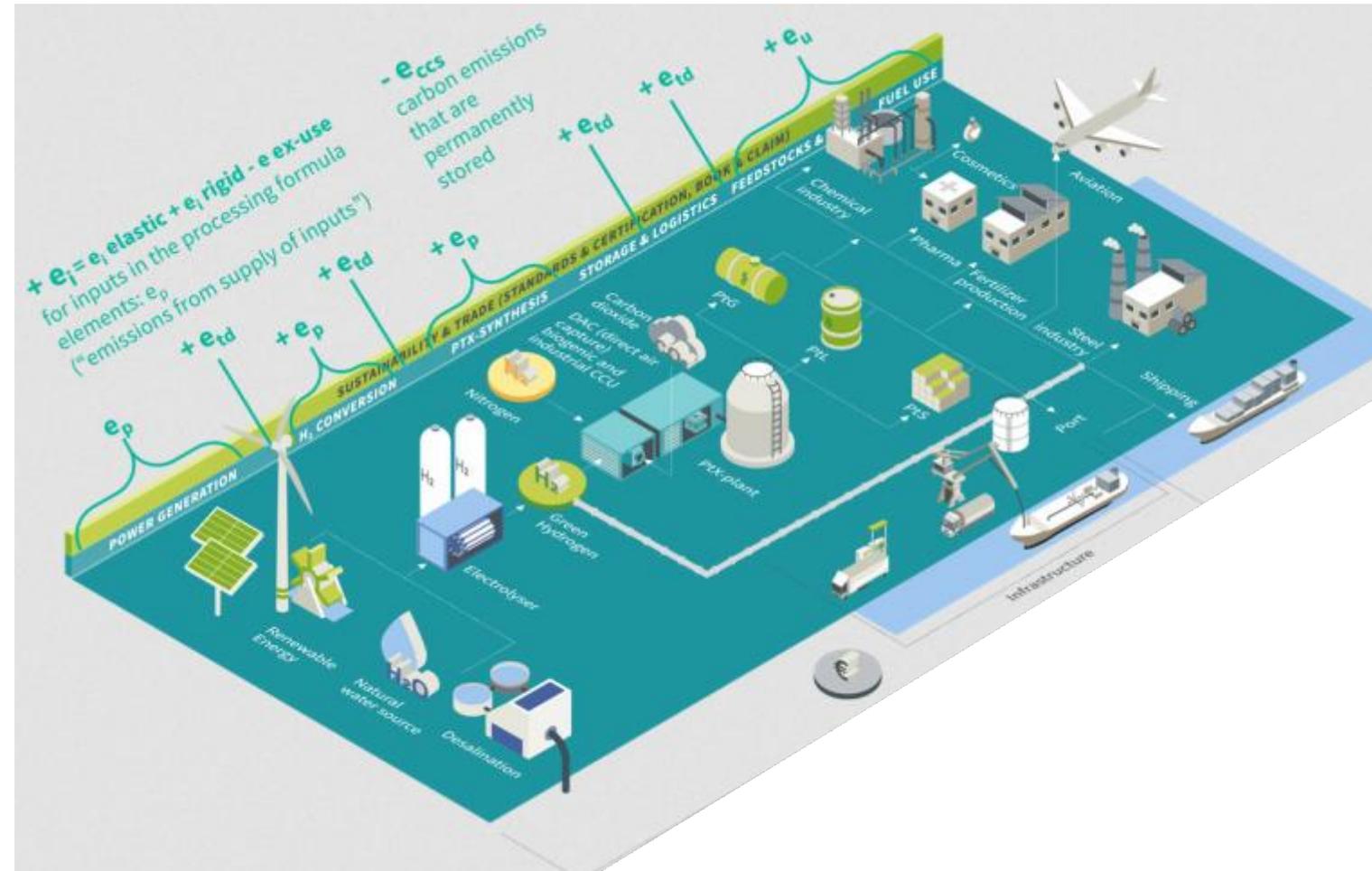
G7-Gipfel in Elmau: Klimaclub nach Scholz-Idee steht

# Carbon Capture and Use – Direct Air Capture und synthetische Kraftstoffe

## Delegated Act Art. 28 – CO<sub>2</sub>-Quellen

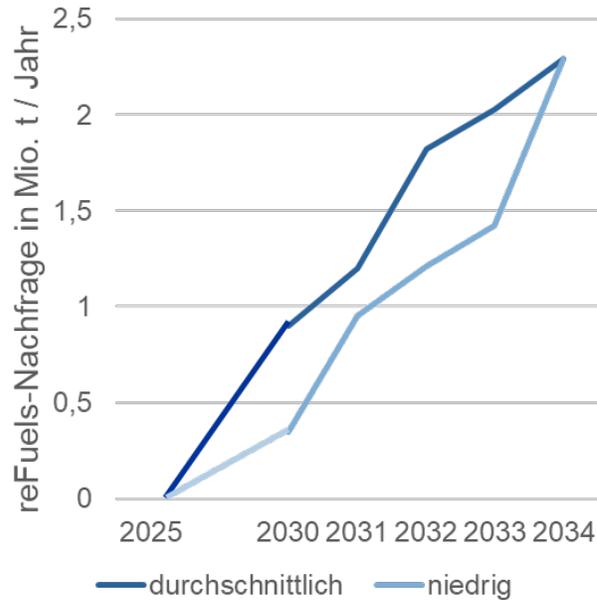
Der DA definiert eine Berechnungsmethodik zur CO<sub>2</sub>-Einsparung durch RFNBO (basierend auf 94 g CO<sub>2eq</sub>/MJ für konventionelle Kraftstoffe).

- ➔ CO<sub>2</sub>-Emissionen, die dem EU-ETS unterliegen, können nur dann als vermieden gelten, wenn sie weiterhin den CO<sub>2</sub>-Preis im ETS bezahlen.
- ➔ Unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen, z. B. die Zementindustrie dürfen nur bis 2041 als Emissionsvermeidung angesehen werden.
- ➔ CO<sub>2</sub> aus Biomasse ist dauerhaft als Emissionsvermeidung anrechenbar. Für den breiten Einsatz von Biomasse als CO<sub>2</sub>-Quelle fehlt allerdings die Rohstoffbasis.
- ➔ **CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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. m<sup>3</sup> Wasser

 ~ 67,5 TWh EE-Strom

 ~ 1,3 Mio. t H<sub>2</sub> +

 ~ 10,3 Mio. t O<sub>2</sub>

 ~ 7,2 Mio. t CO<sub>2</sub>



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...

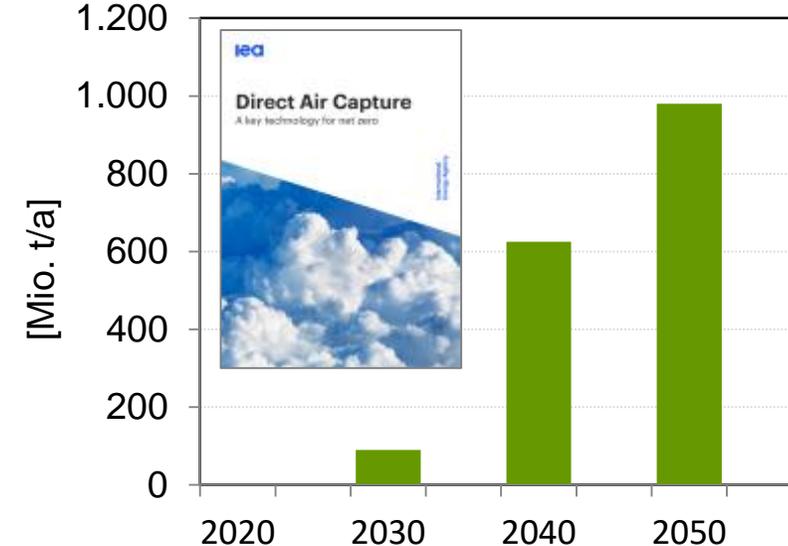


*“The scale-up of DAC deployment in the **Net Zero Scenario** implies an average of more than **30 DAC plants of 1 Mt/year** being added **each year** during 2020-2050.”*

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



Globale CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> ausgestoßen werden darf, wie über Senken wieder aufgenommen werden kann!“

