

**CCU in Bayern –
CO₂ als erneuerbarer Rohstoff
für die stoffliche Nutzung**



Workshop-Zusammenfassung

20.11.2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Workshop 1: Status Quo der CO ₂ -Wertschöpfung in Bayern.....	3
1. Methodik	3
2. Handlungsbedarfe	3
3. Zusammenfassung der Kernpunkte	4
Workshop 2: CO ₂ als Ressource von morgen – Visionen für Bayern	10
1. Methodik	10
2. Ergebnisse	10
Workshop 3: Von der Idee zur Umsetzung – CO ₂ -Wertschöpfung praktisch gestalten.....	14
1. Methodik	14
2. Ergebnisse	15

Workshop 1: Status Quo der CO₂-Wertschöpfung in Bayern

1. Methodik

Der erste Stakeholder-Workshop im Rahmen des Projekts „CCU in Bayern“ fand am 17. September 2025 im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie in München statt. Ziel des Workshops war es, den Status quo der CO₂-Wertschöpfung in Bayern zu erfassen, Herausforderungen und Hemmnisse entlang der Wertschöpfungskette zu identifizieren sowie erste Potenziale und Kooperationsansätze sichtbar zu machen.



Abbildung 1: „CO₂- Journey Map“

Der Workshop wurde als World-Café entlang einer „CO₂ Journey Map“ durchgeführt (s. **Abbildung 1**). Die Teilnehmenden diskutierten in wechselnden Kleingruppen zentrale Herausforderungen, Hemmnisse und Chancen an sechs Stationen der CO₂-Wertschöpfungskette – von Emission und Abscheidung über Transport und Nutzung bis zu Markt und Gesellschaft. Die Ergebnisse wurden auf Pinnwänden dokumentiert.

2. Handlungsbedarfe

Entlang der „CO₂ Journey Map“ des Workshops lassen sich über alle Stationen hinweg konkrete Handlungsbedarfe ableiten.

In der Station **Emission & Abscheidung** besteht vorrangig Bedarf an der Weiterentwicklung und Standardisierung technischer Lösungen – insbesondere an modularen, energieeffizienten Abscheidungskonzepten für dezentrale Quellen sowie an klaren Vorgaben zur CO₂-Reinheit und Aufteilung von Verantwortlichkeiten zwischen Emittenten und Nutzern.

In der Station **Logistik & Infrastruktur** steht der Aufbau eines abgestimmten CO₂-Transport- und Hub-Konzepts im Vordergrund, das sowohl Großemittenten als auch viele kleinere Standorte einbindet, inklusive fairer Transportpreismodelle, technischer Standards und flankierender Akzeptanzmaßnahmen für Leitungen und Hubs.

Für **Konversionstechnologien** sind weitere F&E-Anstrengungen nötig, um Energiebedarf und Prozesskomplexität zu reduzieren, Anforderungen an CO₂-Qualitäten je Produktpfad zu definieren und den tatsächlichen Klimanutzen der verschiedenen Technologien belastbar zu bewerten und in industrielle Umgebungen integrieren zu können. In der Station

Regulierung & Rahmenbedingungen liegt der Schwerpunkt auf der Schaffung eines verlässlichen, konsistenten Rechtsrahmens, der CCU in ETS, RED III und weiteren Regelwerken abbildet, biogenes und zirkuläres CO₂ klar einordnet und Genehmigungsprozesse für Anlagen und Infrastruktur vereinfacht.

Bei **Anwendungen & Geschäftsmodellen** besteht Bedarf, tragfähige Business Cases für priorisierte CO₂-Nutzungspfade zu entwickeln, geeignete Anreiz- und Förderinstrumente auszubauen, die Komplexität für Betreiber und insbesondere KMU zu reduzieren und Schnittstellen zu Energie- und H₂-Märkten mitzudenken.

Im Kontext **Markt & Gesellschaft** sind schließlich Strategien gefordert, die Wirtschaftlichkeit CO₂-basierter Produkte durch geeignete Markt- und Preissignale zu verbessern, Akzeptanz für Infrastruktur und CO₂-Nutzung zu stärken, transparente und glaubwürdige Kommunikation zu etablieren und Beteiligungs- sowie Bildungsangebote zu entwickeln, die CCU als Bestandteil einer zirkulären Kohlenstoffwirtschaft verständlich machen.

Im Nachfolgenden finden Sie zentrale Punkte der einzelnen Stationen.

3. Zusammenfassung der Kernpunkte

Station 1 – Emission & Abscheidung

Positive Entwicklungen

- Es gibt konkrete Projekte & Best Practices:
 - Relevante Akteure setzen bereits CO₂-Abscheideprojekte um oder berücksichtigen die CO₂-Abscheidung in der Planung neuer Anlagen. (z.B. in der Müllverbrennung)
 - Erste Demoanlagen und Pilotprojekte demonstrieren bereits die technische Machbarkeit von dezentralen CCU-Anwendungen ohne Pipelinebedarf.
- Sektoren mit hohem Potenzial sind identifiziert und teils schon aktiv:
 - Viele Biogasanlagen als punktuelle Quellen für biogenes CO₂ in Bayern vorhanden.
 - Kunststoffindustrie als Paradebeispiel für zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft.
 - CO₂ aus Steam Reforming (hohe Reinheit) wird bereits für sensible Anwendungen (z. B. medizinische Gase) genutzt.
- Sektorenkopplung wird bereits gedacht und zum Teil erprobt:
 - Nutzung von Abwärme / Überschussstrom für Abscheidung, Verflüssigung und Power-to-X-Prozesse.

Herausforderungen

- Hoher Energiebedarf der Abscheidung.
- Geringer Reifegrad geeigneter Abscheidungstechnologien für spezifische Sektoren.

- Unterschiedliche CO₂-Reinheiten je nach Nutzungspfad
 - Unterschiedliche Anforderungen (EIGA-Qualität vs. technische Qualität).
 - Unklar: *Welche Reinheit ist flächendeckend nötig?*
 - Unklar: *Wer trägt die Verantwortung und Kosten für die Reinheit (Erzeuger vs. Nutzer)?*
- Strukturelle Lücken:
 - Abscheidung bisher kaum in bestehende Anlagen integriert.
 - Zurückhaltende Investitionen in Anlagen.
- Unklare Rahmenbedingungen hemmen den Ausbau: Flächenverfügbarkeit, Zugang zu CO₂-Abnehmern, Infrastrukturanschluss, Energieversorgung.

Station 2 – Logistik & Infrastruktur

Positive Entwicklungen

- Technologie für CO₂-Transport ist grundsätzlich vorhanden – die Herausforderung liegt eher bei Planung, Skalierung und Rahmenbedingungen.
- Es gibt bereits konkrete konzeptionelle Ansätze:
 - Bayerischen CO₂-Kernnetzes als wegbereitende Maßnahme.
 - CO₂-Hubs an Güterbahnhöfen / logistischen Knotenpunkten als dezentrale Sammelstellen.
 - Regionale Clusterlösungen für kleine Emittenten (z. B. Biogas, KMU, Abfallwirtschaft).
- Relevante Akteure beschäftigen sich bereits aktiv mit der Anbindung.
- Es werden bereits Machbarkeitsstudien zu Transportkosten durchgeführt.
- Book-&-Claim-Ansätze für biogenes CO₂ können die Erschließung biogener CO₂-Quellen fördern.

Herausforderungen / Handlungsbedarfe

- Netzinfrastuktur als Flaschenhals:
 - Ohne gezielten Ausbau kein funktionierender CO₂-Transport.
 - Bedarf an einem „bayerischen CO₂-Kernnetz“ inkl. Kopplung mit H₂- und anderen Netzen.
- Hohe Transportkosten:
 - Teurer Transport nach Norddeutschland vs. niedrigerer Kosten innerhalb Bayerns.
 - Distanzbasierte Tarife für Transport würden Bayern stark benachteiligen.
- Dezentrale Emittenten:
 - Biogasanlagen & kleinere Emittenten sind schwer in klassische Pipeline-Logik integrierbar.
 - Pipeline lohnt sich v. a. für Großemittenten; Alternativen fehlen.
- Multimodale Logistik überlastet:
 - Bahn bereits stark ausgelastet; LKW-Transport begrenzt.
 - Intralogistik für CO₂ muss erst aufgebaut werden.
 - Multimodale Transportkapazitäten müssen erst geschaffen werden.

- Fehlende Standards & Regulatorik:
 - Kein einheitlicher technischer Qualitätsstandard für CO₂.
 - Lebensmittelqualität ist oft unnötig hoch für CCU-Anwendungen.
 - Regulatorische Unsicherheiten bremsen Infrastrukturprojekte.
- Akzeptanzfragen:
 - Bedenken in der Bevölkerung gegenüber Leitungen und Infrastruktur.

Station 3 – Konversionstechnologien

Positive Entwicklungen

- Bayern/Deutschland verfügen bereits über ein etabliertes Spektrum an CO₂-Nutzungspfaden
- Technologien für CO₂-Konversion sind grundsätzlich vorhanden – die Herausforderung liegt auch hier analog zum Transport in der Skalierung, regulatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.
- Es gibt konkrete Firmen & Technologien, die bereits am Markt oder im fortgeschrittenen Pilotstadium sind.
- Methanol wird klar als Plattformchemikalie gesehen, und es gibt schon erste Anwendungen (z.B. Schiffsmotoren).

Herausforderungen / Handlungsbedarfe

- Sehr hoher Energiebedarf (Druck, Temperatur, Strom) für viele Konversionspfade.
- Transportfähigkeit & Dauer der Bindung: Wie lange muss CO₂ gebunden sein, um als klimawirksam anerkannt zu werden?
- Wettbewerb mit anderen C-Quellen (Biomasse, Recycling) – Frage der sinnvollsten Kohlenstoffquelle.
- Technische Weiterentwicklung notwendig:
 - Bessere Katalysatoren und Elektrodenmaterialien.
 - Effizientere Prozesse mit geringeren Temperatur- und Druckniveaus.
- Integration in industrielle Umgebung:
 - Platzverfügbarkeit, Abgasführung, Schnittstellen zur bestehenden Produktion.
- Reinheit & Aufreinigung:
 - Aufreinigung von Emissionen für Konversion erforderlich und kostenintensiv.
- Emissionsbilanz:
 - Viele Konversionspfade verursachen zusätzliche CO₂-Emissionen → Klimanutzen muss kritisch bewertet werden.
- Zertifizierung & Akzeptanz bestimmter CO₂-basierter Produkte noch unklar.

Station 4 – Regulierung & Rahmenbedingungen

Positive Entwicklungen

- Zentrale regulatorische Themen sind klar identifiziert:
 - CO₂-Qualitätsstandards, Zertifizierung, ETS, RFNBO, RED III etc.
- Es existiert bereits ein europäischer und nationaler Rechtsrahmen, auch wenn er aus Sicht der Teilnehmenden verbesserungsbedürftig ist:
 - EU-ETS, RED III, RFNBO-Delegated Acts, EEG-Regelungen – all das ist vorhanden, aber CCU muss besser integriert werden.
- Positiv hervorgehoben wird, dass insbesondere die Biogasbranche schon heute bereit und fähig wäre, CO₂ abzuscheiden,

Herausforderungen / Handlungsbedarfe

- Fehlender bzw. unverlässlicher gesetzlicher Rahmen:
 - Kein klarer, langfristig verlässlicher Regulierungsrahmen für Abscheidung, Transport, Nutzung.
 - Rechtsunsicherheit hemmt Investitionen, v. a. in Infrastruktur.
- Unklare Standards & Zertifizierung:
 - Kein angemessenes System für CO₂-Qualitäten.
 - Unterschiedliche Behandlung von biogenem, fossilem und zirkulärem CO₂.
 - Unsicherheit bei Anrechnung in Produkt- und Klimabilanzen.
- Europäische Regulierung als Hemmnis:
 - RFNBO-Regeln schließen zahlreiche biogene CO₂-Quellen (z. B. EEG-Biogas) von der Nutzung aus.
 - CCU ist im EU-ETS bislang unzulänglich berücksichtigt.
- Genehmigungsverfahren unklar (Anlagenbau, Leitungen, Haftung, Zuständigkeiten).

Station 5 – Anwendungen & Geschäftsmodelle

Positive Entwicklungen

- Es gibt bereits eine Reihe von konkreten Anwendungen und Geschäftsmodellen im Markt bzw. in Planung:
 - Kraftstoffe (z. B. e-Fuels) und Mineralisierung in Baustoffen als existierende bzw. anlaufende Geschäftsmodelle.
 - Methanolprojekte, u. a. für die Schifffahrt.
 - Bioabfallvergärungs- / Biomethananlagen mit CO₂-Verflüssigung und Vermarktung.
 - Chemische Methanisierung und Pyrolyseöl als lagerfähige Basischemikalie.
- Konkrete Projektideen:
 - Bioabfallvergärungsanlagen mit CCU.
 - Inhouse-CCU-Kreisläufe bei Brauereien (CO₂-Produzent = CO₂-Abnehmer).
 - Direktbeziehungen Emittent–Abnehmer mit technischem CO₂-Standard (Beispiel agriportance).

- Es werden bereits innovative Geschäftsmodellkonzepte diskutiert:
 - „Reverser ETS“ (Vergütung statt Bepreisung von CO₂).
 - Zertifizierungssysteme für CO₂-basierte chemische Produkte.
 - Temporäre CO₂-Speicherung, um Erzeugung und Nutzung zeitlich zu entkoppeln.

Herausforderungen / Handlungsbedarfe

- Fehlende Wirtschaftlichkeit entlang fast aller Stufen der CO₂-Wertschöpfungskette.
- Hohe Einstiegshürden für Anlagenbetreiber & Investoren:
 - Komplexe Genehmigungsverfahren.
 - Hoher technologischer und administrativer Aufwand.
- Unsichere politische und regulatorische Rahmenbedingungen:
 - Nicht-konsistente, nicht-kontinuierliche Politik; kurze Zeitfenster.
- Unklarer Business Case:
 - Hohe CO₂-Transportkosten, fehlende Verwertungspfade.
 - ETS derzeit für kurzfristige stoffliche Nutzung schwer nutzbar.
- Mangel an Anreizsystemen:
 - Kein funktionierender CO₂-Preis oder Markt für stofflich genutztes CO₂.
 - Nicht genug grüner Strom und Wasserstoff verfügbar als Input für viele Geschäftsmodelle.

Station 6 – Markt & Gesellschaft

Positive Entwicklungen

- Es existieren bereits sichtbare Märkte und Anwendungen:
 - CO₂ in Getränkeindustrie, Trockeneis, Kunststoffen – Beispiele, die Teilnehmende explizit als greifbare industrielle Nutzung nennen.
 - Diskussion um Aufbau eines „grünen Kohlenstoffkreislaufs“, insbesondere in der Kunststoff- und Getränkeindustrie.
- Es sind schon politische und finanzielle Instrumente im Einsatz oder in Diskussion:
 - Investitionszuschüsse und Forschungsförderungen.
 - Konzepte zu Zertifikatehandel und Anrechenbarkeit von Negativemissionen.
- Marktmechanismen & Geschäftsmodelle:
 - Neue Geschäftsmodelle z.B. rund um Biogas und Abfallnutzung werden aktiv geprüft.
- Kommunikation & Akzeptanz:
 - Klarer Konsens, dass rein technokratische Kommunikation nicht reicht – Storytelling, Social Media, Influencer und Beteiligungsformate werden konkret vorgeschlagen.
 - Es gibt bereits ein Bewusstsein für moderne Kommunikationsansätze, über Technik und Regulierung hinaus.
- Langfristige Zielvorstellung im Marktbild:
 - CO₂-basierte Produkte sollen wettbewerbsfähig sein und ein Markt entstehen, der ohne dauerhafte Förderung funktioniert.

Herausforderungen / Handlungsbedarfe

- Wirtschaftlichkeit & Energiepreise:
 - CO₂-basierte Produkte sind heute meist nicht wettbewerbsfähig.
 - Hoher Preis für grünen Strom als zentraler Kostentreiber.
 - ETS nicht anrechenbar bei stofflicher Nutzung → kein CO₂-Preisvorteil.
- Infrastruktur & Abhängigkeiten:
 - Eine wahrgenommene geringe Akzeptanz für CO₂-Infrastruktur (Pipelines, Hubs) auf lokaler Ebene.
 - Abscheidung, Transport und Nutzung müssen synchron geplant werden.
- Regulatorik & Vertrauen:
 - Fehlende Planungssicherheit.
 - Fristen und Vorgaben werden als „unrealistisch“ wahrgenommen.
 - Politische Kommunikation wird teils als „unehrlich“ empfunden.
- Diskurs zu Emissionen:
 - Unterscheidung „vermeidbare vs. unvermeidbare Emissionen“ wird als blockierend empfunden.
- Kommunikation & Bildung:
 - Reine Vernunftargumente („gut fürs Klima“) reichen nicht mehr.
 - Fehlende frühzeitige Bildung, Aufklärung und Beteiligung der Gesellschaft.

Workshop 2: CO₂ als Ressource von morgen – Visionen für Bayern

1. Methodik

Der zweite Workshop im Rahmen des Projekts „CCU in Bayern“ fand am 8. Oktober 2025 als Online-Veranstaltung statt und widmete sich der Entwicklung konkreter Zielbilder für eine CO₂-Wertschöpfung in Bayern. Der Fokus lag auf der Frage, wie eine erfolgreiche Umsetzung von Carbon Capture and Utilization (CCU) in Bayern in 5, 10 oder 20 Jahren aussehen könnte und welche Schritte zur Erreichung dieses Zustands notwendig wären.

In Kleingruppen entwickelten die Teilnehmenden an einem virtuellen Whiteboard Visionen für eine CO₂-basierte Wirtschaft. Ausgehend von einer fiktiven Zukunft mit etablierter CO₂-Nutzung wurden anschließend rückblickend notwendige Entwicklungen, politische Weichenstellungen, technologische Fortschritte oder Kooperationsformen identifiziert, die zu diesem Ziel geführt haben könnten. Die erarbeiteten Visionen und Roadmaps wurden gemeinsam reflektiert und in einer moderierten Abschlussrunde diskutiert.

2. Ergebnisse

Gesamtvision 2045 – CO₂ als wertvolle Ressource in Bayern

Alle Gruppen sehen im Jahr 2045 Bayern als Teil eines europaweit harmonisierten, voll funktionsfähigen CO₂-Kreislaufsystems, das wesentlich zur Klimaneutralität beiträgt. CO₂ wird nicht mehr als Abfall, sondern als strategischer Rohstoff betrachtet, der in einer Vielzahl von Industrien zirkuliert, langfristig gebunden oder als Basis für nachhaltige Produkte genutzt wird. Bayern verfügt über eine gesicherte erneuerbare Energieversorgung, ausgereifte Abscheidungs- und Nutzungstechnik sowie eine funktionierende CO₂-Transportinfrastruktur. Für CCU-Anwendungen gibt es klare politische und regulatorische Rahmenbedingungen sowie eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz.

CO₂-Kreislaufwirtschaft als Standard

- CO₂ wird flächendeckend abgeschieden, genutzt oder langfristig gebunden.
- Effiziente Abscheidetechnologien sind Standard bei allen großen Emittenten, ergänzt durch dezentrale Lösungen für regionale Quellen.
- 50% und mehr der CO₂-Emissionen werden in Bayern erfasst, verwertet oder gespeichert.

CO₂ als industrieller Wertstoff

- CO₂ ist ein anerkannter Rohstoff, dessen Nutzung wirtschaftlich attraktiv ist.
- Ein breites Portfolio an CO₂-basierten Produkten (Methanol, Chemikalien, Kunststoffe, Baumaterialien) ist etabliert.
- Die bayerische Chemie-, Kunststoff- und Baustoffindustrie nutzt CO₂ routinemäßig als Kohlenstoffquelle.
- Gebäude und Infrastrukturen dienen als langfristige CO₂-Senken.

Infrastruktur: vollständig ausgebaut, sektorgekoppelt

- Bayern verfügt über ein zukunftsfähiges CO₂-Transportnetz aus Pipelines, modularen Hubs und flexiblen Logistiklösungen.
- CO₂- und Wasserstoffinfrastrukturen sind gekoppelt und europaweit integriert.
- Energieintensive CCU-Prozesse basieren auf einer zuverlässigen Versorgung mit erneuerbarem Strom und grünem Wasserstoff.

Einheitliche Regulierung, klare Anrechenbarkeit

- Europaweit einheitliche Regelwerke ermöglichen Planungs- und Investitionssicherheit.
- CCU/CCS ist in EU-ETS, Zertifizierung, Bilanzierung und Standardisierung voll verankert.
- Klare Definitionen – z.B. zu „langfristiger CO₂-Bindung“, Massenbilanzierung und Qualitätsanforderungen – sind umgesetzt.
- Die Nutzung biogenen oder atmosphärischen CO₂ wird politisch anerkannt und finanziell belohnt.

Energieversorgung als Basis für CCU

- Bayern verfügt über einen massiven Ausbau erneuerbarer Energien sowie geothermischer Potenziale.
- Energiepreise sind stabil, Versorgungssicherheit ist gewährleistet, grüner Wasserstoff ist verfügbar und wirtschaftlich.

Gesellschaftliche Akzeptanz & Kommunikation

- CCU gilt in der Gesellschaft als notwendige Lösung für unvermeidbare Emissionen.
- Transparente Kommunikation, Bildungsangebote und Beteiligungsprozesse haben Akzeptanz und Vertrauen gestärkt.

Innovation, Wertschöpfung & Standortvorteile

- Bayern hat eine führende Rolle in Forschung, Pilotierung und Skalierung von CCU-Technologien.
- CCU/CCS stärkt regionale Wertschöpfung, insb. in Industrie, Biogaswirtschaft und Bauwesen.
- Start-ups, Mittelstand und Großindustrie arbeiten in einem innovationsfreundlichen Ökosystem zusammen.

Roadmap 2025-2045

Die anschließend entwickelte Roadmap benennt zentrale Schritte, die für eine Transformation Bayerns hin zu einem integrierten CO₂-Kreislaufstandort. Sie gliedert sich in drei Entwicklungsphasen, die sich entsprechend ihrem Zeithorizont als kurz-, mittel- und langfristig kategorisieren lassen.

Phase 1: Grundlagen schaffen (2025–2030)

Ziel: Rechtssicherheit, Akzeptanz, frühe Skalierung & Vorbereitung der Infrastruktur

Klare regulatorische Basis

- Verabschiedung und Umsetzung des KSpTG & klar definierte CCU/CCS-Regeln.
- Harmonisierung von Vorgaben auf EU-, Bundes- und Landesebene.

- Definition zentraler Begriffe:
 - „Langfristige CO₂-Bindung“ (50+ Jahre)
 - „Was zählt als CCU?“
 - CO₂-Qualitätsstandards, Transportstandards
- Integration von CCU/S in EU-ETS und Aufbau einer Anrechenlogik für Negativemissionen.

Genehmigungen & Behördenprozesse beschleunigen

- Digitalisierte Genehmigungsverfahren für Abscheidung, Transport, Upstream (EE-Anlagen) und Downstream (CCU-Produktion).
- Einheitliche Prüfkriterien & Risiko-/Sicherheitsstandards.

Energie- & Wasserstoffbasis stärken

- Ausbau von Wind, PV, Geothermie als Grundlage für CCU.
- Sicherstellung der Versorgung mit bezahlbarem grünem Strom und H₂.
- Erste regionale H₂/CO₂-Hubs initiieren.

Technologieentwicklung & Skalierung

- Förderung von Pilot- und Demonstrationsprojekten:
 - CO₂-Abscheidung
 - Methanol & E-Chemikalien
 - CO₂-basierte Baustoffe
- LCA-Analysen zu verschiedenen CCU-Pfaden.
- Entwicklung energieeffizienterer Abscheidetechniken.

Markt- und Bürgerakzeptanz

- Kommunikationskampagnen zu Rolle & Grenzen von CCU.
- Beteiligung der lokalen Bevölkerung bei Infrastrukturprojekten.
- Markttöffnung für „Non-high-performance“-Produkte aus CO₂.

Phase 2: Infrastruktur & Skalierung (2030–2040)

Ziel: CO₂-Logistik, Produktmärkte und industrielle Nutzung hochskalieren

Aufbau eines bayerischen CO₂-Kernnetzes

- Entwicklung eines multimodalen Transportnetzes:
 - Pipelines für große Emittenten
 - ISO-Container-Anschlusspunkte für dezentrale Quellen
- Einheitliche CO₂-Qualitätsstandards im Transport.

Industrialisierung der CO₂-Nutzung

- Breite Einführung CO₂-basierter Produkte:
 - E-Methanol
 - Grundchemikalien
 - Kunststoffe
 - Baustoffe (z. B. Carbonatbeton)
- Etablierung eines CO₂-Produktportfolios, das fossilen Kohlenstoff ersetzt.
- Integration von CCU in Kunststoff- und andere chemische Wertschöpfungsketten.

Effiziente & wirtschaftliche Technologien

- Abscheideanlagen arbeiten wirtschaftlich (niedrigere CapEx/OpEx).
- Weiterentwicklung von Technologien zur CO₂-Bindung (50+ Jahre) und Speicherung.
- Standardisierte Massenbilanzierungsmodelle für CO₂ in Energie- & Chemiesystemen.

Sektorenkopplung

- Harmonisierte Infrastrukturplanung für H₂, CO₂, Erdgas (Bundes-/Länderebene).
- Verknüpfung von dezentralen CCU-Anlagen mit zentralen Transportstrukturen.
- Biogasanlagen werden zu Knotenpunkten negativer Emissionen.

Marktmechanismen & Zertifikate

- Transparente, digital überwachte Systeme für CO₂-Zertifikate.
- Monetarisierung von biogenem & atmosphärischem CO₂ (Bonusmechanismen).
- Industrie erhält Investitionssicherheit für Großanlagen.

Phase 3: Integration & Reifephase (2040–2045)

Ziel: Geschlossener CO₂-Kreislauf, fossiler Kohlenstoff wird ersetzt

Europäisch vernetztes CO₂-System

- Grenzüberschreitende Transport- & Speicherinfrastruktur steht.
- Bayern ist in europäische CO₂-Ströme integriert (Import/Export von CO₂ & E-Produkten).

Geschlossene Kohlenstoffkreisläufe

- CO₂ aus Industrie, Abfall und Biogas wird konsequent abgeschieden, genutzt oder gespeichert.
- Bauwerke dienen als dauerhafte CO₂-Senken.
- CO₂ als Rohstoff ersetzt fossil-basierte Kohlenstoffquellen in Chemie & Materialien.

Vollständig funktionsfähige CCU-Ökonomie

- CCU ist wirtschaftlich tragfähig ohne Subventionen.
- Wertschöpfung entsteht entlang der gesamten CO₂-Kette:
Emittenten → Abscheidung → Transport → Produkt → Bindung
- Alle relevanten Industrien sind integriert (Chemie, Kunststoffe, Baustoffe, Energie).

Gesellschaft und Arbeitsmarkt sind transformiert

- CCU ist breit akzeptiert als Lösung für unvermeidbare Emissionen.
- Ausbildungs- und Hochschulsysteme sind angepasst.
- Neue Berufe und Qualifikationen im Bereich CO₂-Management haben sich etabliert.

Klimapolitische Rolle

- Bayern weist eine bilanziell negative CO₂-Bilanz auf (durch biogene Quellen und CO₂-Kreislaufsysteme).
- CCU/CCS bildet einen strategischen Pfeiler der Klimaneutralität in Deutschland und Europa.

Workshop 3: Von der Idee zur Umsetzung – CO₂-Wertschöpfung praktisch gestalten

1. Methodik

Der dritte Workshop im Rahmen des Projekts „CCU in Bayern“ fand am 29. Oktober 2025 beim bifa Umweltinstitut in Augsburg statt. Er hatte das Ziel, konkrete Maßnahmen und Projektideen zur praktischen Umsetzung von CO₂-Wertschöpfungspfaden in Bayern zu entwickeln. Zusätzlich wurden Kooperationsinteressen, Risiken sowie Herausforderungen identifiziert.

Der Workshop war darauf ausgelegt, mit heterogenen Expertengruppen konkrete Lösungsansätze zu fünf Themenfeldern zu generieren:

- Gesellschaft & Kommunikation
- Technologie
- Infrastruktur
- Ökonomie & Markt
- Regulatorik & Politik.

Die Methodik basierte auf drei Elementen:

1. Die 30 Teilnehmenden erarbeiteten in wechselnden Gruppen Maßnahmenvorschläge anhand eines standardisierten Maßnahmen-Canvas (s. **Abbildung 2**), das aus folgenden Feldern bestand:

Maßnahmen-Canvas CCU in Bayern – Workshop 3: Von der Idee zur Umsetzung | 29.10.2025

Logos: CAKUM, Chemie Cluster Bayern, CCU in Bayern

Felder des Canvas:

- Titel:** [Empty box for title]
- Kernidee + Beschreibung:** [Large central box for the core idea]
- benötigte Ressourcen:** [Box for resources needed]
- beteiligte Akteure:** [Box for stakeholders]
- Risiken + Herausforderungen:** [Box for risks and challenges]
- Erfolgskriterien:** [Box for success criteria]
- Skalierbarkeit:** [Box for scalability]
- Verknüpfung mit bestehenden Projekten:** [Box for linking to existing projects]
- Maßnahmen-Daten:** [Box for data and metrics]

- Titel und Ziel
- Kernidee + Beschreibung
- benötigte Ressourcen
- beteiligte Akteure
- Risiken + Herausforderungen
- Erfolgskriterien
- Skalierbarkeit
- Verknüpfung mit bestehenden Projekten.

Abbildung 2: Maßnahmen-Canva

2. Nach einer Arbeitsrunde rotierten die Teilnehmenden zu neuen Tischen bzw. Konstellationen. Parallel dazu wurden die eingereichten Ideen an Pinnwänden thematisch geclustert.
3. In einer abschließenden, offenen Bewertungsrunde konnten die Teilnehmenden für sie vielversprechende Maßnahmen bewerten und somit priorisieren.

2. Ergebnisse

Der Workshop hatte das Ziel, konkrete **Maßnahmen und Projektideen zur praktischen Umsetzung** von CO₂-Wertschöpfungspfad in Bayern zu **entwickeln**. Zusätzlich wurden Kooperationsinteressen, Risiken, Engpässe sowie notwendiger Handlungsbedarf identifiziert.

TOP 3-Maßnahmen (über alle Themenfelder)

Nachfolgend werden die drei Maßnahmen vorgestellt, die von den Teilnehmenden am besten bewertet wurden.

1) CO₂ wird zu Treibstoff (Ökonomie & Markt, 10 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Diese Maßnahme zielt darauf ab, CO₂ aus industriellen Punktquellen (Ziegel-, Glas-, Metall-, Zementindustrie sowie Biogas) in synthetische Kraftstoffe umzuwandeln.

Kernprozess

- CO₂-Abscheidung aus lokalen Punktquellen
- Kombination mit H₂ (aus Elektrolyse oder biogenem Methan)
- Herstellung von Syngas
- Weiterverarbeitung zu Methanol oder anderen E-Fuels

Nutzen & Wirkung

- Bereitstellung grüner, speicherbarer Energieträger
- Lokale Wertschöpfung durch Nutzung regionaler CO₂-Quellen
- CO₂ wird zum Rohstoff statt zum Abfall
- Entlastung fossiler Treibstoffimporte
- Hohe Relevanz für Chemie, Mobilität, Raffinerien, Landwirtschaft

Voraussetzungen

- Günstiger grüner Wasserstoff (5–6 ct/kWh Strompreis als Ziel)
- Technologielieferanten, Raffinerien, Infrastruktur
- Förderung (z. B. Klimaschutzverträge, Innovation Fund)

Herausforderungen

- Hoher Energiebedarf der Elektrolyse
- Regulatorische Unsicherheiten (keine Anrechenbarkeit im ETS)
- Wirtschaftlichkeit abhängig von H₂-Preis

2) CCU-Klimaschutzverträge – Pilotprojekt „Safe Space“ (Regulatorik & Politik, 10 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Auf Basis des Modells „Klimaschutzverträge“ soll ein Pilotformat entwickelt werden, das energieintensiven Unternehmen sichere Rahmenbedingungen für CCU-Demonstrationen bietet.

Kernelemente

- Staat übernimmt Mehrkostenrisiken
- Kleine, regionale CO₂-Inselnetze werden in Pilotregionen aufgebaut
- Fokus auf „First Movers“ und Kooperationen zwischen CO₂-Quellen und -Senken

Nutzen & Wirkung

- Schnellerer Markthochlauf durch reduzierte Risiken
- Reale Daten über Kosten, Technologien, CO₂-Ströme
- Stärkung energieintensiver Industrien (Zement, Kalk, MVA, Chemie)

Voraussetzungen

- Finanzierungsinstrumente / Förderprogramm
- Anpassung des ETS (Anrechnung von CCU)
- Einbindung nur freiwilliger Unternehmen mit Pilotcharakter

Herausforderungen

- Komplexität der Anrechnung im ETS
- Auswahl geeigneter Projektregionen
- Sicherstellung langfristiger Finanzierung

3) Politikinstrumente für langfristige Investitionssicherheit in CCU-/CCS (Regulatorik & Politik, 10 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Diese Maßnahme fordert einen belastbaren regulatorischen und finanziellen Rahmen für Investitionen in CCU/CCS.

Kernschritte

- Analyse aller Kostenlücken der gesamten CCU/CCS-Kette
- Einbindung aller Stakeholder (Industrie, Infrastruktur, Kapitalgeber, Technologieanbieter)
- Ableitung langfristiger Fördermodelle und Investitionsmechanismen

Nutzen & Wirkung

- Reduzierung des Investitionsrisikos
- Aktivierung privater Kapitalströme für CCU
- Verbesserung der Planbarkeit für Industrieunternehmen
- Grundlage für Branchenleitmärkte

Voraussetzungen

- Wissenschaftlich neutrale Datengrundlage
- Politische Bereitschaft für mehrjähriges Förderprogramm
- Einbindung von Banken, Risikokapitalgebern, Industrieverbänden

Herausforderungen

- Rechtliche Unsicherheit
- Regulatorischer Rahmen von EU und Bund sind entscheidend
- Unterschiedliche Bedarfe der Branchen

TOP 3-Maßnahmen (pro Themenfeld)

Nachfolgend werden pro Themenfeld die drei Maßnahmen vorgestellt, die von den Teilnehmenden am besten bewertet wurden. Maßnahmen mit Null Punkten sind nicht aufgeführt.

Gesellschaft & Kommunikation

1) (Bayerisches) CCU/CCS-Netzwerk (7 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Regelmäßiges Austauschforum u.a. für Betreiber von MVA, Forschung, Infrastruktur und Politik.

Nutzen & Ziele

- Know-how-Aufbau zu CCU/CCS
- Vorbereitung auf ETS-Compliance
- Lernen von anderen Anlagenbetreibern und Regionen
- Transparenter Dialog zwischen Technik-, Markt- und Regulierungsexperten

Herausforderungen

- Unterschiedliche Wissensstände
- Politische Sensibilität im MVA-Kontext

2) Anti-„Not in my backyard“-Kampagne (1 Punkt)

Inhalt & Funktionsweise

Kampagne zur Erhöhung der Akzeptanz von CO₂-Speicherung oder Anlagen in der Nähe von Gemeinden.

Nutzen & Ziele

- Akzeptanz für Speicher- oder Pipelineinfrastruktur
- Finanzielle Anreize für Gemeinden
- Reduktion von Widerständen gegen CCS

Herausforderungen

- Risiko von Gegenkampagnen
- Angstthemen durch Fehlinformationen

Technologie

1) Fossiles CO₂ zu Kunststoff (7 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Mikrobiologische Nutzung von CO₂ aus Industrieabgasen zur Herstellung von Kunststoffen (z. B. für Folienherstellung).

Nutzen & Ziele

- Substitution fossiler Kunststoffrohstoffe
- Nutzung „harter“ CO₂-Quellen (Zement, Kalk, Koks)
- Hohe Skalierbarkeit durch Vielzahl von CO₂-Quellen

2) Dezentraler CO₂-negativer Biogasbetrieb (4 Punkte)

Erläuterung

Biogasanlagen nutzen CO₂ und CH₄ vor Ort zur Herstellung speicherbarer Energieträger.

Nutzen & Ziele

- Autarke, CO₂-neutrale bzw. -negative Anlagen
- Keine Pipeline erforderlich
- Einsparung von Transportemissionen

3) BioMethBoost (3 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Nach-Methanisierung von CO₂ in Biogasanlagen mit grünem Wasserstoff.

Nutzen & Ziele

- Erhöhung des Methanertrags
- Optimierung existierender Biogasanlagen
- Substitution fossilen Erdgases

Infrastruktur

1) Integration der Abfallwirtschaft in den CO₂-Kreislauf (7 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Nutzung von MVA, Klärschlammverbrennung und Deponien als zentrale CO₂-Quellen.

Nutzen & Ziele

- Erschließung großer Mengen schwer vermeidbarer Emissionen
- Potenzial für Negativemissionen durch biogene Anteile
- Entwicklung einer kreislauffähigen Logistik

2) Ganzheitliche Wertschöpfung in der Chemie (7 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Aufbau vollständiger CCU-Prozessketten im Chemiesektor (Methanol, Polymere, Monomere).

Nutzen & Ziele

- Substitution fossiler Basischemikalien
- Stärkung vorhandener Chemiestandorte
- Nutzung von Verbundstrukturen

3) Bayernweites Zweiwegenetz / Pipeline (5 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

CO₂-Netz mit zentralem Hub, dezentralen Sammelpunkten und Anbindung an Speicher und Nutzer.

Nutzen & Ziele

- Planungssicherheit für Industrie
- Ermöglicht CCS und CCU
- Grundlage für „Carbon Management“-Cluster

Ökonomie & Markt

1) CO₂ wird zu Treibstoff (10 Punkte)

s. TOP 3-Maßnahmen (über alle Themenfelder), S. 15

2) Biogenes CO₂ in die Anwendung bringen (6 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Markt- und Machbarkeitsanalyse zu CCU/CCS mit Fokus auf biogene CO₂-Quellen.

Nutzen & Ziele

- Klärung wirtschaftlich umsetzbarer Wertschöpfungsketten
- Preisfindung für CO₂
- Regionales Matching von CO₂-Quellen und -Abnehmern

3) Matching-Plattform „CO₂ zu Nutzer“ (2 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Digitale Plattform, um CO₂-Quellen und -Senken zusammenzubringen.

Nutzen & Ziele

- Transparenz über regionale Stoffströme
- Effizientere Wertschöpfungsketten
- Nutzung auch für andere Stoffe möglich

Regulatorik & Politik

1) CCU-Klimaschutzverträge – Pilotprogramm „Safe Space“ (10 Punkte)

s. TOP 3-Maßnahmen (über alle Themenfelder), S. 16

2) Politikinstrumente für langfristige Investitionssicherheit in CCU-/CCS-Vorhaben (10 Punkte)

s. TOP 3-Maßnahmen (über alle Themenfelder), S. 16

3) Transformation der chemischen Industrie (4 Punkte)

Inhalt & Funktionsweise

Rahmen für Defossilisierung schaffen: günstiger EE-Strom, Wasserstoff, Partnernetzwerke, CO₂-Infrastruktur.

Nutzen & Ziele

- Grundvoraussetzungen für CCU
- Stärkung der Chemie als Schlüsselbranche
- Anreize für Technologieumstellung

Risiken & Herausforderungen

Nach Analyse aller Maßnahmen wurden folgende Risiken und Herausforderungen besonders häufig genannt (thematisch geclustert):

Technologie- & Prozessrisiken

- Technologien „noch nicht entwickelt“ / geringe TRL
- Unsicherheiten bei der Skalierbarkeit von CCU-Prozessen
- Hoher Energiebedarf der Elektrolyse / hoher Strombedarf
- Fehlendes Know-how bei Abscheidetechnologien (v. a. für MVA)
- Verunreinigungen im CO₂ (Qualitätssicherung notwendig)
- Unsicherheit über Aggregatzustand des CO₂ (Transportfähigkeit)
- Fehlende Kopplung einzelner Prozessschritte (Wertschöpfungsketten)
- Bedarf an neuen Technologien für Sammlung, Verflüssigung, Transport
- Unsichere Produktabnahme (z. B. Abnehmer für synthetische Kraftstoffe oder Kunststoffe)
- Unklare Wirtschaftlichkeit im kleinen Maßstab (z. B. bei Biogas → CO₂ → Produkt)

Energiebezogene Risiken

- Verfügbarkeit von günstigem grünem Strom
- Knappheit von grünem Wasserstoff
- Wirtschaftlichkeit stark abhängig von Energiepreisen
- Regionale Engpässe (v. a. Süddeutschland)
- Fehlende H₂-Infrastruktur oder Elektrolysekapazitäten

Ökonomische Risiken

- Hohe Investitions- und Betriebskosten
- Wirtschaftlichkeit von Pilotanlagen unklar
- Fehlendes Marktinteresse / geringe Zahlungsbereitschaft für CO₂-basierte Produkte
- Fehlende Preissignale (unsicherer CO₂-Preis, unklare Nachfrage)
- Risiko finanzieller Fehlinvestitionen ohne Förderinstrumente
- Unsicheres Geschäftsmodell für Transport/Pipelines

Regulatorische Risiken

- Fehlende klare politische Vorgaben (EU/DE/BY)
- Unsicherheit bei ETS-Anrechnung
- RED-III-Regelungen erschweren Nutzung von CO₂ und H₂
- Unklare Definitionen & Standards für CO₂-Qualität
- Pipeline- und Speicherregulierung unzureichend
- Fehlende oder unklare Förderung (z. B. für Start-ups, Pilotanlagen)
- Investitionsschutz ungeklärt (Grandfathering)

Infrastruktur- & Logistikrisiken

- CO₂-Quellen in Bayern teilweise sehr kleinteilig → wirtschaftliche Ineffizienz
- Fehlende Transportinfrastruktur (Pipeline, Bahn, Hub-Strukturen)
- Unklarheit, wie CO₂ sinnvoll gesammelt und transportiert werden kann
- Hoher Platz- und Energiebedarf für Verflüssigung
- Sammelpunkte / Clustering unzureichend ausgebaut
- Fehlende Speicheroptionen in der Region
- Mangels Infrastruktur Gefahr von „Lock-in“ zu „CCS-only“ oder regionaler Insellösung

Kooperations- & Stakeholderrisiken

- Fehlendes Vertrauen im Wertschöpfungsnetzwerk
- Unterschiedliche Interessen zwischen Branchen
- Komplexer Stakeholderprozess (z. B. Chemiedreieck)
- Mangelndes Interesse der Industrie an frühen Pilotprojekten
- Unklare Rollen zwischen Politik, Infrastrukturbetreibern und Wirtschaft

Gesellschaftliche Risiken & Akzeptanzrisiken

- „Not in my backyard“ – Widerstand gegen CO₂-(Abscheide-)Anlagen, -Speicher, -Pipelines
- Fehlinformationen, mangelndes Verständnis für CCU/CCS
- Risiko von Gegenkampagnen
- Niedriges öffentliches Interesse am Thema CO₂-Kreislauf
- Fehlende Wahrnehmung von Mehrwerten regionaler Projekte