January 2026

Carbon" Capture Utilization & Storage (CCUS)

Fakten von Fiktion trennen

Dr Lars Schernikau

Content

1. Kohlendioxidentfernung, warum?
2. Wie können wir CO2 abscheiden, welche Speicher – risiken bestehen – und wie steht der Energieaufwand zum Nutzen?
3. Nützliche Energie vs. eingesetzte Energie
4. CO_2 nutzen, und was herstellen?
5. Direkte Luftabscheidung, welche Logik?
6. Die „Klimawirkung" der CO_2-Entfernung
7. Summary
8. Anhang 1 & 2

Links, and resources

Die CO_2-Entfernung (CDR – carbon dioxide removal), Nutzung und Speicherung von Kohlendioxid (CCUS – „carbon" capture utilization and storage) wird weithin als entscheidendes Instrument zur Erreichung der Klimaziele gefördert. In den meisten „Netto-Null"-Szenarien wird davon ausgegangen, dass große Mengen an CO_2 in Zukunft aus der Atmosphäre entfernt werden, um Emissionen zu kompensieren, die nicht vermieden werden können.

In diesem Blog untersuche ich, ob CDR, CCS, CCU oder „Direct Air Capture" (DAC) in der Praxis tatsächlich sinnvolle „Klimavorteile" bieten und was sie kosten. Anhand veröffentlichter Daten der IEA, des IPCC, der BCG und peer-reviewter Literatur zeige ich, dass CCUS nur sehr wenig CO_2 entfernt, große Mengen an Energie und Kapital erfordert und keine messbaren „Klimawirkungen" erzielt.

Bevor ihr meine Aussage ablehnt, hört mir bitte zu … Wir werden gemeinsam durchgehen, wofür diese Begriffe stehen, was ihre Ziele zu sein scheinen, und dann kommen wir auf meine obenstehende, scheinbar „harte" Aussage zurück

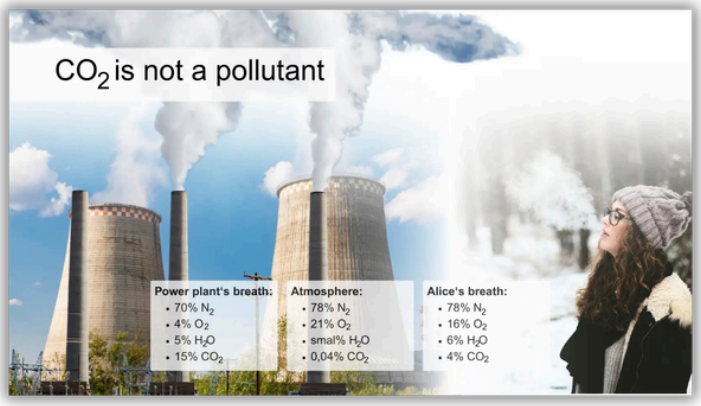
1. Kohlendioxidentfernung, warum?

In seiner „Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger" hat der Weltklimarat- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) deutlich gemacht, dass „Netto-Null"-Emissionen „so schnell wie möglich" erreicht werden müssen, um die Auswirkungen des globalen Temperaturanstiegs abzuschwächen. Im Gegensatz zu emissionsmindernden „Klimaschutzlösungen", die die Menge des in die Atmosphäre freigesetzten CO_2 begrenzen, definiert der IPCC die CO_2-Entfernung (CDR) als ***„Maßnahmen, bei denen CO_2 aus der Atmosphäre entfernt und dauerhaft in geologischen, terrestrischen oder ozeanischen Speichern oder in Produkten gespeichert wird". [1]***

CCS – „Carbon" Capture and Storage (Kohlenstoffabscheidung und -speicherung) ist ein irreführender Begriff und könnte genauer als CO_2-Abscheidung und -Speicherung beschrieben werden, da es sich bei dem abgeschiedenen Stoff um Kohlendioxid (CO_2) und nicht Kohlenstoff handelt.

Kohlenstoff selbst ist ein festes Element und ein grundlegender

Abbildung 1: Aus der Forschung und Analyse von Schernikau, Schätzungen nur zur Veranschaulichung



Bestandteil allen Lebens auf der Erde, einschließlich etwa 25 % unseres Körpers, sodass der Begriff „Kohlenstoffabscheidung" wissenschaftlich gesehen flasch ist. Da jedoch die beabsichtigte Bedeutung allgemein verstanden wird, ist der Begriff CCS allgemein anerkannt.

Aus diesem Grund bevorzuge ich den Begriff CDR – Carbon Dioxide Removal (Kohlendioxidabscheidung oder -entfernung) gegenüber CCS, da er das Ziel genauer beschreibt. Direct Air Capture (DAC) bezeichnet eine Technologie, die darauf abzielt, CO_2 direkt aus der Luft zu entfernen und dauerhaft unterirdisch zu speichern. BCG, McKinsey und viele andere haben ganze Berichte über CDR verfasst [1,2].

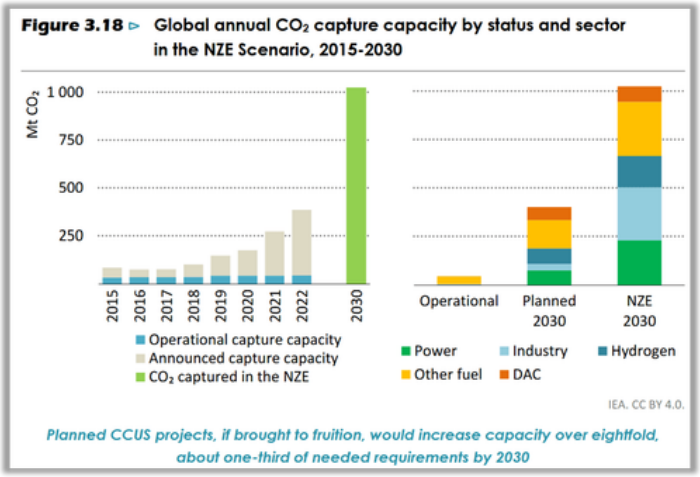
Anmerkung: *Interessanterweise stammt der Kohlenstoff in unserem Körper zu fast 100 % aus dem atmosphärischen CO_2. In der Praxis stammt **fast der gesamte Kohlenstoff in lebenden Organismen aus dem atmosphärischen CO_2.** CO_2 erhält alles pflanzliche Leben auf der Erde, das wiederum Tiere und Menschen ernährt. Ein Teil des von Menschen „aufgenommenen" CO_2 wird in unserem Körper gespeichert, während ein größerer Teil wieder als CO_2 ausgeatmet wird, und zwar in einer Konzentration von etwa 4 % im Vergleich zum atmosphärischen Durchschnitt von etwa 0,04 %.*

Fakt 1: Der Kohlenstoff in Deinem Körper stammt aus CO_2. CO_2 ist ein grundlegender Baustein allen Lebens auf der Erde und an sich kein Schadstoff. Das ist keine Frage des Glaubens, sondern grundlegende Biochemie.

CO_2, Leben und Treibhauseffekt: CO_2 ist ein Treibhausgas, das derzeit zu etwa 420 ppm in der Atmosphäre vorkommt. Es ist auch die wichtigste Kohlenstoffquelle für alle Lebewesen. ***Der Kohlenstoff in Pflanzen, Tieren und Menschen stammt fast ausschließlich aus dem atmosphärischen CO_2.***

CO_2 ist ein Treibhausgas, aber kein dominantes. ***Wasserdampf und Wolken sind für über 90 %*** des Treibhauseffekts verantwortlich. Die Erwärmungswirkung von CO_2 nimmt logarithmisch ab, was bedeutet, dass jede zusätzliche Tonne

Abbildung 2: „Netto-Null“-Pfade setzen eine umfangreiche CO_2-Entfernung voraus



Von: IEA Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach – 2023 Update, S. 132 [4]

einen geringeren Effekt hat als die vorherige. Ein kontinuierlicher Anstieg der CO_2-Konzentration führt daher zu immer geringeren Temperaturänderungen. (WMO, [3]).

Ich bin der Meinung, dass unser derzeitiges Wissen und unsere Berechnungsmethoden bei weitem nicht ausreichen, um zuverlässige Vorhersagen für das Klimasystem zu treffen. Ob erhöhte CO_2-Werte letztendlich schädlich oder vorteilhaft für das Leben auf der Erde sind, ist eine andere Frage. Mein Blog befasst sich nicht mit dem Kausalzusammenhang zwischen atmosphärischem CO_2 und diesen Klimaauswirkungen. Für diese Diskussion verweise ich die Leser in der Regel auf Prof. Koonins Buch „Unsettled“ und die Schriften von Prof. Pielke.

Unsere Gesellschaft, die weitgehend von Vorschriften bestimmt wird, ist bestrebt, CO_2 zu entfernen, um die Konzentrationen in der Atmosphäre messbar zu reduzieren, mit dem Ziel, die Temperaturen zu senken oder die zukünftige Erwärmung zu begrenzen, und hofft damit, zukünftige Extremwetterereignisse und den Anstieg des Meeresspiegels zu verringern.
Nur zur Information: Im Meerwasser ist pro Volumeneinheit etwa 100.000 Mal mehr Kohlenstoff enthalten als in der Luft. Die Ozeane sind ein natürlicher CO_2-Speicher, wenn die Konzentration in der Atmosphäre aus irgendeinem Grund ansteigt. Über 50 % des vom Menschen ausgestoßenen CO_2 wird von der Natur aufgenommen, davon wahrscheinlich fast 30 % allein von den Ozeanen.

Fakt 2: CO_2 ist ein Treibhausgas, das als geringfügiges Treibhausgas wirkt und einen abnehmenden Einfluss auf die Temperaturen hat.

Die Idee der CO_2-Entfernung existiert, weil „Netto-Null“ dies erfordert. Emissionsreduktionen allein reichen nicht aus, um die festgelegten Ziele zu erreichen, daher wird von einem hohen CO_2-Entfernungsvolumen in der Zukunft ausgegangen. Aus diesem Grund zieht die direkte Luftabscheidung (Direct Air Capture, DAS) trotz ihres begrenzten praktischen Nutzens weiterhin Investitionen an.

- Der IPCC prognostiziert, dass bis 2050 jährlich zwischen 6 und 10 Milliarden Tonnen CO_2 ($GtCO_2$) entfernt werden müssten [1], um die Ziele des „Pariser Abkommens“ zu erreichen.
- Die IEA prognostiziert in ihrem Netto-Null-Szenario, dass bis 2050 6 Milliarden Tonnen CO_2 entfernt werden müssen [4]...
- ...Zur Information: Die „Netto-Null“ der IEA oder anderer Akteure ist in Wirklichkeit keine Netto-Null, da CH_4 niemals eine Netto-Null erreichen wird und dies auch nicht modelliert ist.
- BCG schätzt in einem Szenario zweiten Grades, dass bis 2035 1 Milliarde Tonnen CO_2 abgeschieden und dauerhaft entfernt werden müssten [2].
- McKinsey schätzt, dass bis 2050 Investitionen in Höhe von 6 bis 16 Billionen US-Dollar in die CO_2-Entfernung erforderlich wären (0,5 bis 2 Billionen US-Dollar bis 2030).

2. Wie können wir CO_2 abscheiden und welche Risiken bestehen bei der Speicherung?

Laut der ersten vollständigen Aufzeichnung der weltweiten unterirdischen CO_2-Speicherung [5] wurden seit 1996, also in fast 30 Jahren, weltweit weniger als 400 Millionen Tonnen CO_2 abgeschieden und unterirdisch gespeichert.

Ein erheblicher Teil dieses CO_2 wurde für die **Enhanced Oil Recovery (EOR)** und nicht für die dauerhafte Speicherung verwendet. Selbst bei Speicherprojekten verbleibt nicht das gesamte zugeführte CO_2 unterirdisch.

Realistisch gesehen dürfte die kumulative ***Nettoentfernung eher bei 100 bis 200 Millionen*** Tonnen liegen, was mit Kosten in Höhe von mehreren zehn Milliarden Dollar verbunden ist (die Gesamtkosten für diese Leistung werden auf 60 bis 120 Milliarden US-Dollar geschätzt). Es ist offensichtlich, dass nicht das gesamte CO_2 aus der Atmosphäre entfernt wurde, wodurch die „Klimawirkung” deutlich geringer ausfiel als erwartet.

Die weltweite operative ***CCS-Kapazität liegt heute (2025) bei etwa 50 Millionen Tonnen pro Jahr***, was nur einen verschwindend geringen Bruchteil der jährlichen globalen Emissionen von ~70 Milliarden Tonnen CO_2e im Jahr 2025 ausmacht (einschließlich CH_4 unter der Annahme eines GWP_{20}).

Klimamodelle und „Netto-Null“-Szenarien gehen von einer CO_2-Entfernung im Milliarden-Tonnen-Bereich innerhalb eines Jahrzehnts aus, während der tatsächliche Einsatz von CCS nach 30 Jahren Bemühungen im Millionen-Tonnen-Bereich liegt. ***Diese Lücke ist keine Frage politischer Ambitionen, sondern von physikalischen, energetischen und materiellen Einschränkungen.***

Die Abscheidung von CO_2 ist nur der erste Schritt bei jedem Versuch einer „dauerhaften Entfernung von Kohlendioxid”.

Abbildung 3: “Source Do et al 2022 [9]

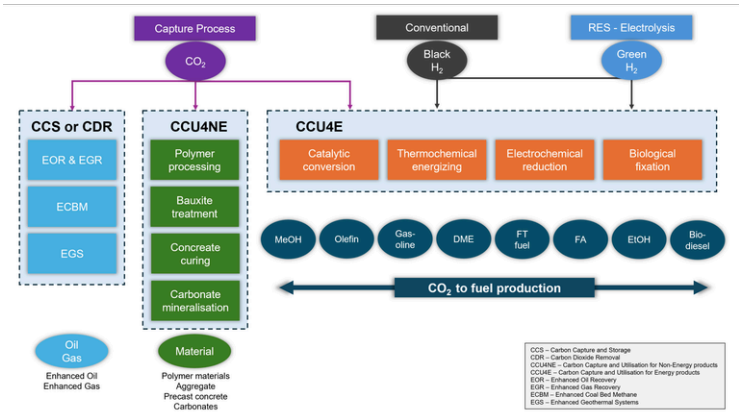
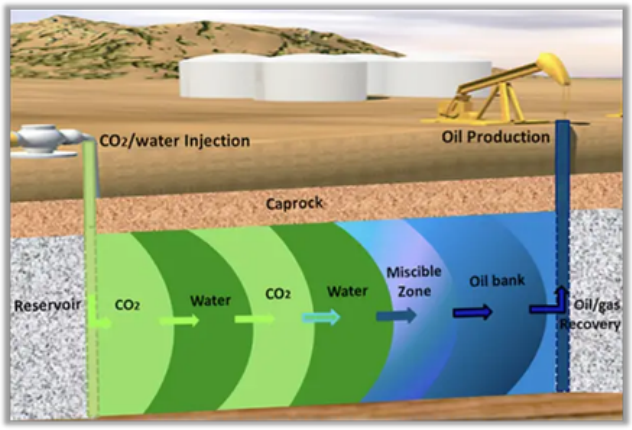


Abbildung 4: Quelle: Carbon Industrial Usage – Enhanced Oil Recovery (EOR) [10]



In der Praxis konzentriert sich die CO_2-Abscheidung auf Quellen, an denen die CO_2-Konzentrationen bereits relativ hoch sind, hauptsächlich thermische Kraftwerke. Typische Konzentrationen sind:

- **Kohlekraftwerke (konventionelle Verbrennung):** ***~12–15 % CO_2*** im Rauchgas
- **Kombikraftwerke mit integrierter Vergasung (IGCC) (ohne CCS):** ***~6–8 % CO_2*** im Abgas
  - Kohle wird hier **vergast, nicht verbrannt.**
  - **Die CO_2-Konzentrationen vor der Verbrennung erreichen ~30–40 %**, was für die Abscheidung ideal wäre.
  - Wenn CO_2 vor der Verbrennung nicht abgeschieden wird, geht diese ***hohe Konzentration durch Verdünnung verloren.***
- **Gaskraftwerke:** ***~3–5 % CO_2*** im Abgas, trotz höherer Gesamtbrennstoffeffizienz.
- **Direkte Luftabscheidung „Direct Air Capture“** ***(DAC) zum Vergleich: ~0,04 % CO_2*** in der Umgebungsluft.

Fakt 3: Bei einem modernen Kohlekraftwerk mit ~90 % CCS ist der Gesamtprimärenergiebedarf pro gelieferter MWh in der Regel ~40 % höher als ohne CCS (siehe Anhang 1).

Dies umfasst den zusätzlichen Kohleverbrauch, die Abscheidung und Komprimierung, den erhöhten Abbau, die Handhabung und den Transport der zusätzlichen Kohle sowie den Transport und die Injektion von CO_2 zur Speicherung, wobei davon ausgegangen wird, dass das gesamte CO_2 dauerhaft entfernt wird, was in der Praxis nicht der Fall ist.

CCS macht Energiesysteme nicht sauberer, sondern größer, komplexer und weniger effizient.

Fakt 4: Die „Energiekosten von CCS” für ein Kohlekraftwerk betragen etwa 1 MWh pro 1 Tonne CO_2 (siehe Anhang 1).

Unter Berücksichtigung des Brennstoffmultiplikators für Gaskraftwerke mit CCS sind wir von etwa 25 % weniger ausgegangen, da Gaskraftwerke trotz der geringeren CO_2-Konzentration im Abgasstrom tendenziell brennstoffeffizienter sind.

Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) plant Deutschland eine CCS-Kapazität von rund **2 Millionen Tonnen CO_2 pro Jahr.**

Bei diesem Umfang ist der Beitrag „klimatisch vernachlässigbar“, was die große Kluft zwischen politischen Ambitionen und Realität verdeutlicht. [6]

Wenn wir uns die suboptimalen Ergebnisse des **australischen Vorzeigeprojekts zur CO_2-Abscheidung und -Speicherung CCS (siehe Details zu Gorgon im Anhang unten) und die klimatisch vernachlässigbaren Ambitionen** Deutschlands ansehen, stellen wir fest, dass die CO_2-Abscheidung und -Speicherung bislang weder Zuverlässigkeit in großem Maßstab noch bedeutende Auswirkungen bei ihrem Einsatz bietet.

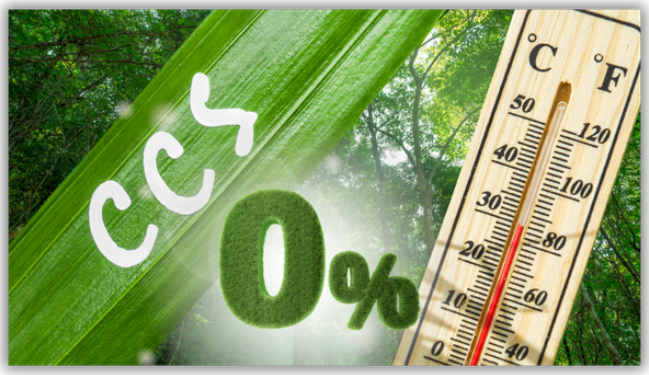
Die **geologische Speicherung** birgt auch Risiken. Eine weitere zentrale Herausforderung bei der CO_2-Abscheidung und -Speicherung (CCS) ist die ***langfristige Entsorgung des Kohlendioxids nach der Abscheidung.*** Die am häufigsten vorgeschlagene Lösung ist die geologische Speicherung, bei der CO_2 unterirdisch in erschöpfte Öl- und Gaslagerstätten (sofern diese in der Nähe des Abscheidungsortes verfügbar sind) oder in tiefe salzhaltige Aquifere injiziert wird. Eines der bekanntesten Beispiele für Letzteres ist das CO_2-Injektionssystem, das im Rahmen des Gorgon-LNG-Projekts in Westaustralien entwickelt wurde und von einem Joint Venture unter der Leitung von Chevron (mit Shell und ExxonMobil als Partnern) betrieben wird.

Das Gorgon-Gasfeld vor der Küste Westaustraliens ***wurde unter der Bedingung genehmigt, dass das CCS-Projekt 80 Prozent der ausgestoßenen CO_2-Menge, also 4 Millionen Tonnen pro Jahr, auffangen kann und wird. Tatsächlich wurden im Geschäftsjahr 2024 jedoch nur 1,6 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalent erreicht*** [7].

Eine weitere Überlegung bei jedem Projekt zur unterirdischen CO_2-Speicherung sind die Folgen einer unbeabsichtigten CO_2-Freisetzung. Kohlendioxid ist ein Erstickungsmittel und kann sich, da es dichter als Luft ist, unter bestimmten Bedingungen in Bodennähe ansammeln, insbesondere in geschlossenen oder tief liegenden Bereichen. ***Bei ausreichend hohen Konzentrationen (5 % und mehr, verglichen mit 0,04 % CO_2-Konzentration in der Umgebungsluft) kann CO_2 zu schnellem Bewusstseinsverlust und zum Tod führen*** [8].

Eine natürliche Freisetzung von CO_2 aus einem Vulkankratersee führte 1986 zum Erstickungstod von etwa 1.700 Menschen und Tausenden von Tieren. Weitere Einzelheiten finden Sie in Anhang 1.

In unserer eigenen, von Fachkollegen begutachteten Studie Schernikau/Smith 2022 **„Climate Impacts’ of Fossil Fuels in Today’s Energy Systems”** kommen wir zu dem Schluss, dass Erdgas aufgrund der CO_2- und CH_4-Emissionen von Gas nicht „klimafreundlicher” ist als Kohle. Weitere Einzelheiten und zusätzliche Quellen finden Sie in Anhang 1.



3. CO_2 nutzen und was herstellen

CCU steht für CO_2-Abscheidung und -Nutzung. Bitte beachten Sie, dass die ***Verwendung von CO_2 zur Herstellung von Kraftstoffen oder Chemikalien dieses nicht aus der Atmosphäre entfernt.*** Es bedeutet, dass zusätzliche Energie aufgewendet wird, um aus CO_2 andere Produkte herzustellen, in der Regel Kraftstoffe, die später das gleiche oder sogar mehr CO_2 freisetzen.

Wie bei allen Prozessen ist die Abscheidung von CO_2 und die Verwendung des darin enthaltenen Kohlenstoffs zur Herstellung neuer Produkte nur dann sinnvoll, wenn dies sowohl wirtschaftlich als auch energetisch rentabel ist. Dr. Bodo Wolf, ein guter Freund von mir, schrieb 2005 ein berühmtes Buch mit dem Titel *„Öl aus Sonne – Die Brennstoffformel der Erde”*. Wolf, ein Experte für Vergasung, Unternehmer und Erfinder, beschrieb darin die Logik der Wiederverwendung des Elements Kohlenstoff als Brennstoff für unsere Welt.

CO_2 befindet sich bereits in seinem niedrigsten chemischen Energiezustand, als vollständig oxidierter Kohlenstoff. ***Jeder Versuch, CO_2 zu „nutzen”, erfordert daher die Zufuhr von Energie***, in der Regel in großen Mengen.

- Bei der „Umwandlung“ von CO_2 in Kohlenwasserstoffe oder „E-Kraftstoffe“ (Methanol, synthetischer Diesel/Jet) wird viel Wasserstoff benötigt, der in der Regel durch Elektrolyse gewonnen wird. Wasserstoff dominiert sowohl die Energiekosten als auch die monetären Kosten dieser Verfahren. Weitere **Informationen zu „grünem“ Wasserstoff** finden Sie hier.
- Bei Produkten wie Harnstoff oder einigen Karbonaten wird CO_2 als Rohstoff verwendet, wodurch die „Energiekosten“ geringer ausfallen können.

Die industrielle Nutzung von CO_2 lässt sich in drei Hauptkategorien einteilen:

- CCS oder CDR zur Speicherung von CO_2 unter der Erde oder zur verbesserten Ölgewinnung (EOR)
- Kohlenstoffabscheidung und -nutzung für Nicht-Energieprodukte (CCU4NE)
- und für Energieprodukte (CCU4E), wie in der folgenden Grafik dargestellt

Fakt 5: Die Nutzung von CO_2 zur Herstellung von Kraftstoffen stellt eine zusätzliche Energiesenke dar, die energieintensiver ist als die CO_2-Abscheidung und -Speicherung (CCS).

Fakt 6: Die Herstellung von Kraftstoffen aus CO_2 unter Verwendung von Wasserstoff verursacht Gesamtenergiekosten auf Systemebene von 8–10+ MWh pro Tonne CO_2, und das CO_2 wird letztendlich immer noch in die Atmosphäre freigesetzt. Die „Energiekosten“ für die Förderung und Raffination von Öl sind deutlich geringer.

Die Enhanced Oil Recovery (EOR) ist derzeit die häufigste Verwendung von abgeschiedenem CO_2. Sie ist wirtschaftlich attraktiv und energiepositiv, da sie Öl produziert, aber ihr „Klimanutzen” ist fragwürdig.

EOR ist eine Reihe von Techniken, mit denen Öl gefördert wird, das mit normalen primären oder sekundären Methoden nicht gewonnen werden kann. Nachdem ein natürliches Ölreservoir (Druck und Wasserflutung) erschöpft ist, kann EOR die Gesamtölförderung erheblich steigern. EOR ist in der Regel in ausgereiften Ölfeldern wirtschaftlich attraktiv.

- Die Primärförderung erzielt etwa 10 % der Ölmenge.
- Die Sekundärförderung (Wasser- oder Gasinjektion) erhöht diesen Wert auf 20 bis 40 %.
- EOR kann die Förderung auf 30 bis 60 %+ steigern

CO_2-EOR ist weltweit die am häufigsten verwendete Methode. CO_2 vermischt sich mit Öl, wodurch dieses leichter fließt. So kann CO_2 unterirdisch gespeichert und gleichzeitig mehr Öl gefördert werden. Der „Klimanutzen” ist jedoch umstritten, da EOR-Verfahren energieintensiv sind und das geförderte Öl später verbrannt wird [11].

Fakt 7: „Enhanced Oil Recovery“ ist die häufigste Verwendung von CO_2, deren „Klimavorteile“ fragwürdig sind, wenn es überhaupt welche gibt. Sie ist jedoch wirtschaftlich sinnvoll und energiepositiv, da sie Öl fördert, das sonst nicht gewinnbar wäre.

4. Direct Air Capture, welche Logik??

Fakt 8: DAC befasst sich gleichzeitig mit Physik, Umfang und Zeit – und verliert diesen Kampf gegen alle drei Faktoren. Die Energiekosten von DAC betragen ~2–4 MWh/Tonne CO_2.

Die direkte Luftabscheidung (Direct Air Capture, DAC) steht vor einem grundlegenden Problem: geringe Dichte.
Atmosphärisches CO_2 macht nur **etwa 0,04 % der Luft** aus, was bedeutet, dass DAC-Systeme enorme Luftmengen verarbeiten müssen, um sehr geringe Mengen an CO_2 abzuscheiden. Wenn Sie schon die Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid für teuer hielten, dann wird die direkte Luftabscheidung und -speicherung noch weitaus teurer sein.

Die Trennung einer Substanz in so geringen Konzentrationen ist von Natur aus energieintensiv. Der größte Teil der Energie bei DAC wird für die Bewegung der Luft aufgewendet, nicht für die Abscheidung von CO_2. Während die Abscheidung aus Kraftwerksabgasen bereits bei viel höheren Konzentrationen kostspielig ist, vervielfacht sich die Herausforderung bei der Abscheidung aus der Umgebungsluft um ein Vielfaches.

Wenn man davon ausgeht, dass die Energiekosten nur ~2–4 MWh/Tonne CO_2 betragen, würde die jährliche „Entfernung” von 1 Milliarde Tonnen CO_2 mittels DAC 2.000 bis 4.000 TWh pro Jahr (8–15 % des weltweiten Stromverbrauchs) betragen.

DAC ist daher technisch möglich, aber praktisch nicht skalierbar. Es existiert hauptsächlich als Modellannahme, die es ermöglicht, „Netto-Null“-Szenarien mathematisch zu schließen, und nicht als realistischer Weg für eine groß angelegte CO_2-Entfernung.

Oh, es gibt noch einen weiteren „kleinen Punkt” zu beachten: ***Die Atmosphäre und die Oberflächengewässer befinden sich in einem dynamischen Gleichgewicht, was bedeutet,***

dass, wenn wir CO_2 aus der Atmosphäre entfernen würden, CO_2 aus den Oberflächengewässern wieder in die Atmosphäre freigesetzt würde. Übrigens werden nur etwa 45 % des ausgestoßenen CO_2 zu sogenanntem „Luft-CO_2”, der Rest wird von der Natur, unseren Ozeanen und der Biosphäre aufgenommen. [12,13]

„Als allgemeine Technologie gegen den Klimawandel mit praktischer und signifikanter Wirkung in großem Maßstab ist DAC völlig undurchführbar.” (Prof. Rasmussen, Cambridge, [13])

5. Die „Klimaauswirkungen“ der CO_2-Entfernung

Wie bereits erwähnt, nehmen wir einmal an, dass seit 1996 weltweit tatsächlich 200 Millionen Tonnen CO_2 mithilfe von CCS entfernt wurden… Wie sahen die „Auswirkungen auf das Klima” aus?

Die unpopuläre Wahrheit ist: Selbst wenn durch alle bisherigen CCS-Maßnahmen 200 Millionen Tonnen CO_2 dauerhaft entfernt worden wären, wären die Auswirkungen auf das Klima praktisch gleich null.

Der IPCC bietet einen vereinfachten MAGICC-Online-Rechner an, in den Sie die „vermiedenen” CO_2-Emissionen in Tonnen eingeben können, um die Auswirkungen auf die Temperaturen in 75 Jahren, also im Jahr 2100, zu sehen. Weitere Einzelheiten zu MAGICC des IPCC finden Sie in Anhang 2.

Fakt 9: Angenommen, dass CCUS in den letzten 30 Jahren etwa 200 Millionen Tonnen CO_2 (die nie wieder aufgetaucht sind) aus der Atmosphäre entfernt hat, dann sind laut IPCCs MAGICC die Temperaturen im Jahr 2100 um ≈ 0,0001 °C gesunken.

Runden wir diesen Wert auf Null, da er nicht messbar ist und keinerlei Auswirkungen auf Extremwetterereignisse oder den Meeresspiegel hat.

Die geschätzten Auswirkungen aller bisherigen CO_2-Entfernungsmaßnahmen auf die Temperatur sind gleich **null:** Sie sind **nicht messbar** und haben **keinen Einfluss** auf Extremwetterereignisse oder den Anstieg des Meeresspiegels.

Als Faustregel gilt unter Verwendung des MAGICC-Modells des IPCC, dass eine dauerhafte CO_2-Entfernung von ***1 Milliarde Tonnen pro Jahr über einen Zeitraum von 75 Jahren*** unter Einsatz von 8–15 % der weltweiten Elektrizität zu einer Verringerung der Erwärmung um nur ***≈0,035 °C im Jahr 2100*** führen würde, was immer noch unterhalb der Nachweisgrenze liegt.

- Unter Verwendung des IPCC-AR6-Modellrahmens entspricht dies einem vermiedenen **Anstieg des Meeresspiegels um etwa 7 mm bis zum Jahr 2100**, was ebenfalls nicht messbar ist.
- Zum Kontext: Der IPCC prognostiziert, dass der globale mittlere Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 bei einer Erwärmung um 1,5 °C um **etwa 10 cm niedriger sein wird als bei einer Erwärmung** um 2 °C, wobei die Unsicherheitsspanne zwischen **4 und 16 cm** liegt; diese Prognosen sind nach wie vor umstritten.

Zusammenfassung

Lassen Sie uns die Fakten noch einmal zusammenfassen…

Fakt 1: Der Kohlenstoff in Deinem Körper war einst CO_2. ***CO_2 ist ein grundlegender Baustein allen Lebens auf der Erde und an sich kein Schadstoff.*** Das ist keine Frage des Glaubens, sondern grundlegende Biochemie.

Fakt 2: CO_2 ist ein Treibhausgas, das als geringfügiges Treibhausgas wirkt und nur einen geringen Einfluss auf die Temperaturen hat.

Fakt 3: Bei einem modernen ***Kohlekraftwerk mit*** ~90 % CCS ist der ***gesamte Primärenergiebedarf pro gelieferter MWh in der Regel ~40 % höher als ohne CCS.***

Fakt 4: Die „Energiekosten von CCS” für ein Kohlekraftwerk betragen etwa 1 MWh pro 1 Tonne CO_2.

Fakt 5: Die Nutzung von CO_2 zur Herstellung von Kraftstoffen stellt eine zusätzliche Energiesenke dar, die energieintensiver ist als CCS.

Fakt 6: Die Herstellung von Kraftstoffen aus CO_2 unter Verwendung von Wasserstoff verursacht Gesamtenergiekosten auf Systemebene von etwa 8–10+ MWh pro Tonne CO_2, und das CO_2 wird letztendlich immer noch in die Atmosphäre freigesetzt.

Fakt 7:„Enhanced Oil Recovery“ ist die häufigste Verwendung von CO_2, deren „Klimavorteile”, wenn überhaupt vorhanden, fragwürdig sind. Sie ist wirtschaftlich sinnvoll und energiepositiv, da sie Öl produziert.

Fakt 8: DAC nimmt es gleichzeitig mit Physik, Größe und Zeit auf – und verliert diesen Kampf gegen alle drei. Die Energiekosten von DAC betragen ~2–4 MWh/Tonne CO_2.

Fakt 9: Durch CCUS wurden in den letzten 30 Jahren weltweit etwa 200 Millionen Tonnen CO_2 aus der Atmosphäre entfernt (die nie wieder aufgetaucht sind) und laut IPCCs MAGICC die Temperaturen im Jahr 2100 um ≈ 0,0001 °C gesenkt.

Meiner bescheidenen Meinung nach beseitigt die CO_2-Entfernung (CDR) unter Berücksichtigung der oben genannten Fakten die relevanten CO_2-Emissionen nicht und ist im Durchschnitt und in großem Maßstab eine wirtschaftliche Verschwendung, die Umweltprobleme eher verursacht als löst. Sie verlagert die CO_2-Emissionen lediglich aus der Atmosphäre in künstliche geologische Systeme, die über Jahrhunderte oder Jahrtausende stabil bleiben müssen. Dies schafft eine langfristige Verpflichtung, die eine kontinuierliche Überwachung, Regulierung und institutionelle Stabilität weit über die typische Lebensdauer von Infrastrukturen hinaus erfordert. Ein Versagen muss nicht häufig vorkommen, um schwerwiegende Folgen zu haben.

Die CO_2-Entfernung ist nur möglich, indem die Nettoenergie- und Rohstoffeffizienz unserer bestehenden Energiesysteme drastisch reduziert wird, was dem Ziel des Umweltschutzes zuwiderläuft. Ein gutes Beispiel hierfür ist Kohle, bei der CCS zu einem um etwa 40 % höheren Kohleverbrauch bei gleicher Stromerzeugung führt. Mit dem Anstieg des Brennstoffverbrauchs, der Bergbautätigkeit, des Wasserverbrauchs und des Infrastruktur-Fußabdrucks steht die Ressourcenintensität der ***CO_2-Entfernung in direktem Widerspruch zum Ziel der Verringerung der Umweltbelastung.*** Selbst wenn CO_2 das einzige Problem wäre, verschlechtert CDR

andere Umweltaspekte.

Selbst wenn die Welt jährlich 1 Milliarde Tonnen effektiv auffangen und dauerhaft entfernen könnte, wären die Auswirkungen auf die Temperatur kaum messbar. Die wirtschaftlichen und ökologischen Kosten sind hoch, sehr hoch… Die Hunderte von Milliarden, die für CDR ausgegeben werden sollen, könnten stattdessen für die Verbesserung der Technologie, die Bereitstellung zuverlässiger, erschwinglicher Infrastruktur, die Installation neuester Filtertechnologie, die Verbesserung der Nettoenergie- und Rohstoffeffizienz oder die Unterstützung von Bildung, Armutsbekämpfung und Gesundheit verwendet werden. Wir brauchen Lösungen, die unmittelbare und messbare gesellschaftliche Vorteile bringen.

Weitere Einzelheiten finden Sie in unserem Buch ***„Die Unbequeme Wahrheiten über Strom und die Energie der Zukunft“***

Anhang

Anhang 1: Zur CO_2-Abscheidung in Kraftwerken

Die Abscheidung und Komprimierung von CO_2 im Rahmen der Kohlendioxidabscheidung (CDR) ist **sehr energieintensiv.** Noch bevor Transport, Speicherung oder Verwertung berücksichtigt werden, fallen mehrere Nachteile auf Systemebene an:

- **CCS nach der Verbrennung in einem modernen Kohlekraftwerk**
  - Reduziert die Netto-Anlageneffizienz auf Systemebene um etwa **25–30 %**.
  - Diese Reduzierung spiegelt nur die **Abscheidung und Komprimierung** wider, ohne Transport, Speicherung oder Nutzung.
- **Verlust der Kraftstoffeffizienz auf Systemebene**
  - Eine Verringerung des Netto-Wirkungsgrads von **42 % auf 31,4 %** entspricht einem **Anstieg des Brennstoffverbrauchs pro gelieferter MWh um ~38 %. US-Energieministerium** NETL [15]
  - Das bedeutet, dass wesentlich mehr Kohle verbrannt werden muss, um die gleiche Menge Strom zu erzeugen.
- **Ineffizienz der Kraftstoffzufuhr**
  - Die zusätzlichen **~38 % Kohle** müssen abgebaut, transportiert und verarbeitet werden.
  - Diese vorgelagerten Aktivitäten verursachen wahrscheinlich **weitere ~1 % der Primärenergiekosten.**
- **CO_2-Transport und -Speicherung**
  - Die Komprimierung, der Transport und die Injektion von CO_2 unter die Erde erfordern ebenfalls Energie.
  - Im Vergleich zur Abscheidung und Komprimierung ist dieser Energiebedarf zwar gering, führt jedoch zu einem **weiteren Effizienzverlust von etwa 1 %.**

Öffentliche Berichte weisen auf eine anhaltende Unterleistung bei Gorgon hin, was mit einem **Verlust der Injektionsfähigkeit übereinstimmt.** Das Projekt-Joint-Venture hat berichtet, dass „Sand“ aus Druckentlastungsbohrlöchern austritt, ohne jedoch zu klären, ob es sich bei diesem Material um Siliziumdioxid oder Karbonat handelt. Beide Ergebnisse deuten auf eine geochemische Verschlechterung der Speicherformation hin und veranschaulichen ein grundlegendes Risiko der CO_2-Speicherung in salzhaltigen Aquiferen: Das Speichermedium **selbst kann durch das injizierte CO_2 beschädigt werden.**

Von weltweit 13 untersuchten CCS-Projekten gibt es offenbar nur zwei Erfolgsgeschichten in Norwegen [7].

Die Katastrophe am Nyos-See in Kamerun (1986) veranschaulicht das Verhalten und die Tödlichkeit großer CO_2-Freisetzungen: Eine plötzliche natürliche Freisetzung von CO_2 aus einem Vulkankratersee führte zum Erstickungstod von etwa 1.700 Menschen und Tausenden von Tieren, als die dichte Gaswolke den Hang hinunterströmte und den Sauerstoff verdrängte. Sie liefert ein relevantes physikalisches Analogon für die CO_2-Ausbreitung und -Gefahr in Worst-Case-Freisetzungsszenarien.

Bei der LNG-Produktion wird CO_2 in der Regel aus dem Rohgas entfernt, um die Verflüssigung und den Transport zu ermöglichen. Der CO_2-Gehalt von Erdgas variiert stark je nach Feld und kann in einigen Fördergebieten hoch sein. Die Fachliteratur weist darauf hin, dass in vielen Basis-LNG-Konzepten das entfernte CO_2 entlüftet werden kann, sofern keine Abscheidung und Speicherung hinzukommt, obwohl umfassende globale Angaben dazu nur begrenzt verfügbar sind. Das entlüftete CO_2 aus der LNG-Förderung wird nicht berücksichtigt, wenn LNG auf der Grundlage der Verbrennung als vergleichsweise „sauber” vermarktet wird. In unserer eigenen, von Fachkollegen begutachteten Studie Schernikau/Smith 2022 **„Climate Impacts’ of Fossil Fuels in Today’s Energy Systems”** kommen wir zu dem Schluss, dass Erdgas aufgrund der CO_2- und CH_4-Emissionen von Gas nicht „klimafreundlicher” ist als Kohle.

Anhang 2:

Der IPCC bietet einen vereinfachten MAGICC-Online-Rechner an:

- MAGICC = Modell zur Bewertung des durch Treibhausgase verursachten Klimawandels.
- Es handelt sich um ein Klimamodell mit reduzierter Komplexität, nicht um ein allgemeines Zirkulationsmodell (GCM). Es wird vom IPCC, integrierten Bewertungsmodellen (IAMs) und politischen Entscheidungsträgern häufig verwendet, weil es schnell, transparent und anpassungsfähig ist, nicht weil es Wolken oder Ozeane im Detail abbildet.
- Dies setzt natürlich voraus, dass die zur Berechnung verwendeten Klimamodelle und Szenarien korrekt sind, was mittlerweile ernsthaft in Frage gestellt wird.
- MAGICC geht davon aus, dass sich das Klimasystem in etwa wie der Mittelwert der CMIP5-Modelle verhält, was eine sehr voreingenommene Annahme ist… Aber für dieses Beispiel nehmen wir einmal an, dass korrekt ist, siehe magicc.org

Links und Ressourcen

[1] Carbon Removals: How to Scale a New Gigaton Industry | McKinsey. 2023. (link)
[2] BCG: Boosting Demand for Carbon Dioxide Removal. 2024. (link)
[3] WMO 2021, World Meterological Organization, Greenhouse gases, (link).
[4] IEA Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach – 2023 Update. 2023. (link)
[4a] IEA, Carbon Capture and Storage: What Can We Learn from the Project Track Record? 2024. (link) p6
[5] News, Norwegian SciTech. “First Complete Record of Global Underground CO_2 Storage.” Norwegian SciTech News, November 2025. (link)
[6] IEA: Germany 2025 – Analysis. 2025. (link) p.24

[7] RenewEconomy. “Gorgon AUS: Expensive Failure: Flagship Gorgon CCS Collects Less CO_2 in Worst Year.” December 2024. (link)
[8] Sources on danger of high concentration CO_2
- NIOSH — IDLH documentation for CO_2 (link)
- OSHA — exposure limits and technical method (link)
- Health and Safety Executive — CO_2 hazard guidance (link)
- Medical review: Permentier et al. (2017), hypercapnia effects (link)

[9] Do, Thai Ngan, Chanhee You, and Jiyong Kim. “Do et al 2022: A CO_2 Utilization Framework for Liquid Fuels and Chemical Production: Techno-Economic and Environmental Analysis.” Energy & Environmental Science 15, no. 1 (2022): 169–84. (link)
[10] Carbon Industrial Usage – Enhanced Oil Recovery EOR (link)
[11] Wikipeida on Enhanced Oil Recovery, EOR (link)
[12] “Why Scaling Direct Air Capture Is Practically Impossible | LinkedIn.” September 2025. (link)
[13] Prof Rasmussen, University of Cambridge, “Why Scaling Direct Air Capture Is Practically Impossible | LinkedIn.” September 2025. (link)
[14] BCG: Shifting the Direct Air Capture Paradigm.” BCG Global, June 2023. (link)
[15] According to US DOE NETL Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants, Rev.5 (2023), adding 90% post-combustion CCS to an ultra-supercritical coal unit reduces net efficiency from 43.2% to 31.4% (LHV), implying roughly 35–40% higher fuel consumption per net MWh delivered (Table ES-1; Tables 3-14 and 3-22).”