

Departement Bau, Verkehr und Umwelt (BVU) Kanton Aargau
CCS und CDR Perspektiven Aargau
Faktenblatt CCS Zement

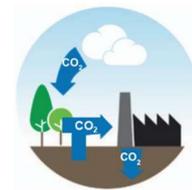
Zürich, 27. Juni 2025

Autoren INFRAS: Felix Weber, Moritz Reisser, David Giger, Jürg Füssler

Projektleitung BVU: Lisa Hämmerli, Lars Kistler

Übersicht

Potenzial [kt CO ₂ / a]	Kosten [CHF / t CO ₂]	Energiebedarf [MWh / t CO ₂]	Permanenz	CDR oder Reduktion?
460 davon 110* CDR	160-190	0.8	>1000 Jahre möglich	Gemischt



Grafik: adaptiert von Minx et al. (2017).

Alle Abschätzungen sind mit Unsicherheiten verbunden. Die wichtigsten Annahmen sind am Ende des Faktenblatts dokumentiert. Alle Werte, Annahmen und Einschätzung stammen von INFRAS, ausgehend von den neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen.

*Insgesamt kann durch die verfügbare Biomasse ein theoretisches CDR-Potenzial von rund 335kt CO₂eq erschlossen werden (für die Summe von BECCS, Pflanzenkohle, sowie biogene Brennstoffe in Zementwerken und KVA.). Aufgrund von Nutzungskonflikten und der überhaupt notwendigen Menge an Brennstoff für die Zementwerke gehen wir von einer deutlich tieferen Anwendung von Biomasse in Zementwerken aus (siehe unten).

Beschreibung

Analog zu anderen Anwendungen von CCS wird die Abscheidung von CO₂ aus den Abgasen direkt am Zementwerk (der Punktquelle) vorgenommen. Die besondere Relevanz von CCS bei Zement ergibt sich aus zwei Faktoren: Einerseits machen die Zementwerke aktuell mehr als 80% der gesamten Industrieemissionen des Aargaus aus. Andererseits ist ein Grossteil (ca. 50-70%) der CO₂-Emissionen bei der Zementherstellung geogenen Ursprungs und entsteht bei der chemischen Umsetzung von Kalk zu Calciumoxid beim Sintern des Zementklinkers^{1,2}. Damit gelten diese Emissionen als schwer vermeidbar. Die restlichen Emissionen bei der Zementherstellung entstehen durch die notwendige Energieerzeugung, sowie vor- und nachgelagerte Prozesse (Transport, Rohstoffabbau, etc.). Der überwiegende Anteil der Emissionen ist Stand heute also geogen oder fossil und führt durch CCS primär zu einer Emissionsreduktion, jedoch nicht zu CDR. Lediglich die Abscheidung von biogenen Emissionen, welche aktuell nur einen kleinen Teil ausmachen, kann tatsächlich zu Negativemissionen führen (falls die verwendete Biomasse nachhaltig bewirtschaftet wurde).

Quantitatives Potenzial im Jahr 2050

Potenzial: 350 kt CO₂ / Jahr Reduktion durch CCS und 110 kt CO₂ / Jahr CDR* durch CCS

**plus 15 kt CO₂ CDR durch Klärschlamm von ARAs, welche bereits dort verbucht wurden (siehe Faktenblatt ARA CCS).*

Für die Abschätzung des quantitativen Potenzials sind zwei Faktoren besonders entscheidend:

Abschätzung unsicher:

Siehe «Annahmen» am Ende des Faktenblatts. Rasches Handeln, bestmögliche Rahmenbedingungen und grosse Investitionen in Technologie und Infrastruktur sind nötig.

¹ Khaiyum et al. (2023): Evaluation of Carbon Emission Factors in the Cement Industry: An Emerging Economy Context. Sustainability.

² Cemsuisse: Roadmap 2050, S. 6, https://www.cemsuisse.ch/app/uploads/2021/04/Cemsuisse_Roadmap_210422.pdf

1. Wie stark der Anteil Klinker reduziert werden kann, beziehungsweise emissionsarme Alternativen eingesetzt werden können. Dadurch können die Restemissionen insgesamt vermindert werden (und dadurch auch das weitere Potenzial durch CCS).
2. inwiefern biogene Energieträger für die Feuerung eingesetzt werden können.

Es laufen derzeit viele Studien und Versuche zu emissionsärmerem Zement resp. Baustoffarten, mit sehr unterschiedlichen Ergebnissen, Eigenschaften und Anwendungsfällen. Gemäss der Roadmap 2050 von Cemsuisse³ soll jedoch eine Reduktion der Prozessemissionen pro Tonne Zement von 50% durch den Einsatz alternativer mineralischer Komponenten im Zement und die Reduktion von Klinker möglich ist. Somit verblieben Restemissionen von ca. 345kt CO₂ / Jahr und damit ein CCS-Potenzial von ca. 310kt CO₂ / Jahr auf die geogenen Prozessemissionen.

Als Energieträger werden derzeit noch vorrangig fossile Stoffe eingesetzt (> 80%). Vorrang haben sogenannte Sekundärstoffe wie Altreifen, Altplastik oder Altholz, da im Gegensatz zu vielen anderen Einsatzgebieten von Energieträgern beim Zementbrennen durch die hohen Temperaturen keine hohen Ansprüche an die Qualität oder Reinheit des Brennstoffes gesetzt werden. Theoretisch könnte vermutlich fast das gesamte Material aus biogenen Quellen verwendet werden, was in einem quantitativen CDR-Potenzial von 165kt CO₂ / Jahr resultieren würde. Cemsuisse³ rechnet insgesamt mit einem geringeren Brennstoffbedarf und einer Erhöhung des biogenen Anteils um rund 50% auf rund 75% der gesamten Brennstoffe. Dadurch ergibt sich ein Reduktionspotenzial durch CCS auf den fossilen Anteil von rund 40kt CO₂ / Jahr sowie ein CDR-Potenzial von rund 125kt CO₂ / Jahr auf den biogenen Anteil. Unter der Annahme, dass rund 15kt CO₂ des biogenen Anteils aus dem Klärschlamm der ARAs resultieren und dort bereits angerechnet sind (siehe Faktenblatt ARA CCS), liegt das CDR-Potenzial bei 110kt CO₂ / Jahr.

Permanenz

>1000 Jahre

Die Permanenz hängt massgeblich davon ab, in welcher Form das abgeschiedene CO₂ gespeichert wird. Für die beiden plausibelsten Möglichkeiten, geologische Tiefenspeicherung und in Abbruchzement, kann jedoch eine Permanenz von >1000 Jahre angenommen werden.

Energiebedarf

440 GWh / Jahr

Ein Zementwerk mit Oxyfuel-Technologie braucht rund viermal so viel Strom wie ein herkömmliches Zementwerk, hauptsächlich durch die Sauerstoffaufbereitung⁴. Für die zwei Zementwerke im Kanton Aargau bedeutet das einen erhöhten Strombedarf von rund 440 GWh / Jahr, was über 2% des im Kanton Aargau produzierten Stroms entspricht. Insofern dürfte das Ausschöpfen des Potenzials nur mit Import von Sauerstoff aus Ländern mit Energieüberschuss möglich sein.

Logistikanforderungen

Für die skalierte Anwendung von CCS ist ein nationales und internationales Pipelinennetzwerk vonnöten, um die riesigen Mengen an abgeschiedenem CO₂ (zu den Lagerstätten) zu transportieren. Auf Kantonebene ist daher ein Anschluss an dieses Netzwerk essenziell. Für die Schätzungen zu Potenzialen und Kosten, wird ein solches Pipelinennetzwerk angenommen.

³ Cemsuisse: Roadmap 2050, S. 9, https://www.cemsuisse.ch/app/uploads/2021/04/Cemsuisse_Roadmap_210422.pdf

⁴ Weber (2024): AC2OCem - Accelerating Carbon Capture using Oxyfuel Technology in Cement Production. Veröffentlicht durch das BAFU.

Kosten im Jahr 2050

160-190 CHF / t CO₂

Die Kosten sind stark davon abhängig, welche Form von Anlage verwendet wird und werden aktuell bei 15 bis 400 USD / t CO₂ eingeschätzt⁵. Eckle et al. (2021)⁶ schätzen die Kosten auf rund 156-190 CHF / t CO₂ inkl. Transport und Lagerung. Gemäss Weber (2024)⁴ muss pro Tonne Zementklinker (ohne Transport und Speicherung des CO₂) Stand heute mit Mehrkosten von 49 bis 63 EUR gerechnet werden, was bereits heute zu Kosten führt, die ansonsten skaliert bis 2050 angenommen werden. Insofern dürfte Oxyfuel an Zementwerken pro Tonne Zement günstiger im Einsatz sein als andere CCS-Anwendungen.

Abschätzung unsicher:
Siehe «Annahmen» am Ende des Faktenblatts.

Weitere Vor- und Nachteile, Herausforderungen

- + Grundsätzlich ist die Anwendung im Vergleich CCS an anderen Anlagen oder sogar DACCS relativ naheliegend, da es sich hier um wenige, enorm emissionsreiche Punktquellen handelt.
- +/- Die Nutzung von Sekundärstoffen als Brennmaterial vermindert zwar das CDR-Potenzial, substituiert jedoch deutlich schädlichere Lösungen (Verbrennen bei tieferen Temperaturen, Deponien) für die entsprechenden Materialien.
- Braucht sehr grosse initiale Investitionen für die Anschaffung.
- Eine entsprechende Transportinfrastruktur (Pipelines) wird benötigt, um Kostenersparnisse zu erreichen.
- Risiko von Carbon Leakage (Wegzug der Fabriken ins Ausland) durch hohe Kosten bzw. mangelnde Kompetitivität aufgrund Emissionshandelsystem und EU CBAM.
- Geringe technologische Reife der vollständigen Umsetzung (d.h. grosse Mengen, inkl. Endlagerung des CO₂).

Einbettung ins Netto-Null-Ziel des Kantons Aargau:

Die Relevanz der CCS- und CDR-Technologien für den Kanton Aargau beurteilen wir anhand der folgenden Faktoren: quantitatives Potenzial, Einfluss / der Steuerbarkeit der öffentlichen Hand, Machbarkeit, Territorialprinzip und Unsicherheiten.

Stand heute gehen wir davon aus, dass CCS Zement zusammen mit BECCS und CCS KVA eine wichtige Rolle spielen wird, um die Restemissionen im Kanton Aargau zu reduzieren oder auszugleichen. Eine eher ergänzende oder unterstützende Rolle sehen wir bei CCS ARA, Pflanzenkohle, Beschleunigter Verwitterung und DACCS. Eine geringe Relevanz dürften hingegen Technologien im Zusammenhang mit Wald- oder Bodenbewirtschaftung, Holzbau oder Ozeanen haben (siehe ergänzender Bericht, Kapitel 3.2.4).

⁵ Fuss et al. (2018): Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects, Env. Research Letters.

⁶ Eckle et al. (2021). Feasibility of a demonstrator for the carbon capture and storage value chain in CH with a waste to energy plant. Online: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=44583>

Wichtigste Annahmen

Beschreibung	Risiko, dass die Annahme bis 2050 nicht erfüllt wird. (= Unsicherheit)	Auswirkungen, falls Annahme nicht erfüllt wird.
Lieferkette ist vollständig CO ₂ -neutral.	Sehr hoch	Gesamtpotenzial ↓
Anbindung an ein CO ₂ -Pipelinennetzwerk ist gewährleistet.	hoch	Kosten ↑, Gesamtpotenzial ↓
Für die Abscheidung wird Oxyfuel eingesetzt (anstelle von HPC oder Aminwäsche).	hoch	Energiebedarf ↗, Kosten ↗
Das Potenzial durch verfügbare Biomasse beträgt total ca. 335kt CO ₂ eq (+65kt gegenüber 2021).	hoch	Gesamtpotenzial unklar
Das CO ₂ wird vollständig in geologischen Reservoiren oder Abbruchement gespeichert.	mittel	Permanenz ↓, Kosten und Energiebedarf unklar
Punktquellen für CCS sind nur in Ausnahmefällen kleiner als 50kt CO ₂ / Jahr.	mittel	keine
Die Abscheidungsrate vom Abgas beträgt mindestens 90%.	tief	Gesamtpotenzial ↘