

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

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?
15	160-190	0.8	> 1000 Jahre möglich	CDR



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

Alle Abschätzungen sind mit Unsicherheiten verbunden. Die wichtigsten Annahmen sind am Ende des Faktendokumentiert. Alle Werte, Annahmen und Einschätzung stammen von INFRAS, ausgehend von den neusten haftlichen 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.). Der Anteil ARA wird dabei als relativ starr angenommen.

Beschreibung

In den 41 Aargauer Abwasserreinigungsanlagen (ARA) fallen jährlich 15'000 Tonnen Klärschlamm (Trockensubstanz) an, wovon der überwiegende Anteil (rund 80%) biogen ist¹ (ursprünglich über Pflanzen gebundener Kohlenstoff, der durch Menschen und ggf. Tiere verwertet wurde). Dieser Klärschlamm kann entweder unter Abscheidung des CO₂ (CCS/CDR) verbrannt werden oder thermisch zu einer chemisch inerten Form umgewandelt werden (analog Pflanzenkohle).

Die Hauptemissionsquellen der ARA sind jedoch Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄). Diese müssten zusätzlich abgeschieden respektive beseitigt werden, wofür jedoch Stand heute noch keine technologische Lösung ersichtlich ist.

Quantitatives Potenzial im Jahr 2050

Potenzial: 15 kt CO₂ CDR durch CCS

Das zukünftige Potenzial von CCS bei Abwasserreinigungsanlagen hängt von folgenden Faktoren ab:

- Menge an Klärschlamm.
- Möglichkeit der Methan- und Lachgasabscheidung, resp. Neutralisierung.
- Möglichkeit der Sammlung von Klärschlamm an zentralen Punktquellen (z.B. KVA oder Zementwerke).

Abschätzung unsicher:

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

Grundsätzlich hängt die Entwicklung der Menge an Klärschlamm vor allem mit der Bevölkerungsentwicklung zusammen. Gegenwärtig sind keine grundlegenden Trends für die Menge an Klärschlamm zu beobachten.

¹ Umweltbundesamt 2022, online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_149-2022_bestimmung_der_biogenen_kohlenstoffgehalte_von_klaerschlamm_und_faulgas_und_untersuchung_von_abhaengigkeiten_zu_klaeranlagen-basisdaten_abwasserwerten_und_klaerschlammzusammensetzung.pdf

Da bei der Behandlung von Klärschlamm mehrere Treibhausgase entstehen, ist das Reduktions-/CDR-Potenzial aufgeschlüsselt zu betrachten. Methan entsteht bei der Faulung des Klärschlammes und kann direkt vor Ort thermisch verwertet werden, wobei CO₂ entsteht. Bei der Verbrennung des Klärschlammes entsteht Lachgas, dieses zerfällt bei genug hohen Temperaturen im Ofen zu Stickstoff und Sauerstoff. Das bei der Verbrennung des Klärschlammes und des Methans entstehende (v.a. biogene) CO₂ kann abgeschieden werden.

Da die Methanverbrennung oft vor Ort geschieht und somit nicht immer mit weiteren Abgasen verbunden werden kann, ist die Emissionsmenge deutlich zu klein, um für CCS berücksichtigt zu werden. Es ist jedoch denkbar, dass hier in Zukunft durch technologische Entwicklungen noch Potenziale entstehen.

Das Potenzial liegt somit unter Berücksichtigung nur der CO₂-Emissionen der Klärschlammverbrennung bei 15 kt CO₂ / Jahr.² Dieser Wert bedingt, dass der gesamte Klärschlamm in Anlagen mit CO₂-Abscheidungen verbrannt wird, da die ARA selbst deutlich zu klein sind. Dies müsste entsprechend in KVA oder Zementwerken geschehen (siehe entsprechende Faktenblätter).

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

Bei der Verbrennung in Zementwerken entsteht kein zusätzlicher Energiebedarf, da dieser bereits dort ausgewiesen wird (ist unabhängig vom Brennstoff). Grundsätzlich liegt der Energiebedarf von Oxyfuel, was für Zementwerke als Abscheidungstechnologie angenommen wird, bei rund **0.8 MWh / t CO₂**.

Im Falle von Aminwäsche in KVAs kann der Energiebedarf Grossteils durch die Abwärme der Anlage gedeckt werden, ist jedoch wesentlich (ca. 1 MWh / t CO₂, was ca. 13 GWh / Jahr entspricht³ - siehe Faktenblatt KVA). Falls der Klärschlamm an einer KVA verbrannt wird, ist dieser Energiebedarf auch als zusätzlich anzunehmen, da sich dadurch die Menge an Brennstoff und die CO₂-Emissionen insgesamt erhöhen würden.

Da die Verbrennung in Zementwerken angenommen wird und um Doppelzählungen zu vermeiden, wird das hier ausgewiesene CDR-Potenzial des Klärschlammes beim Zement entsprechend abgezogen. Ausserdem weist CCS ARA dadurch keinen eigenen Energiebedarf auf.

Logistikanforderungen

Aufgrund der Punktquellengrösse ist es sinnvoll, dass der getrocknete Klärschlamm für die Verbrennung zu einer KVA oder einem Zementwerk transportiert wird. Dies stellt keine grossen Logistikanforderungen (und teilweise bestehen solche Prozesse bereits).

Die Erfüllung der Logistikanforderungen für CCS an KVA oder Zementwerken (siehe entsprechende Faktenblätter) sind jedoch Voraussetzung für die Ausschöpfung des Potenzials.

Kosten im Jahr 2050

160-190 CHF / t CO₂

² Aufgrund der kleinen Menge wird der geringe fossile (Reduktions-)Anteil hier nicht separat ausgewiesen.

³ KVA Linth, Factsheet CCS: online: https://www.kva-linth.ch/fileadmin/user_upload/Factsheet_CCS.pdf (abgerufen Januar 2025).

Unsicherheit hoch: siehe Box «Annahmen».

Die Kosten sind vielen Faktoren abhängig und werden von aktuellen Studien^{4,5} auf rund 160-190 CHF / t CO₂ inkl. Transport und Lagerung geschätzt (siehe CCS Zement). Solange die Verbrennung an sehr kleinen Punktquellen stattfindet, sind die Kosten jedoch substantiell höher. Ein vergleichbares Projekt in Zürich⁶ plant aktuell mit Kosten von über 700 CHF / t CO₂ bis 2050.

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

Weitere Vor- und Nachteile

- + Verbrennung von Klärschlämmen in KVA oder Zementwerken möglich (wird z.T. schon gemacht). Es fällt ein zusätzlicher Transportaufwand an, dafür wird erheblich Kosten gespart.
- Für die zahlreichen kleineren Emissionsquellen des Reinigungsprozesses (neben der Verbrennung des Klärschlammes) ist keine CO₂- Abscheidung möglich. Ebenso bestehen aktuell keine praktischen Anwendungsmöglichkeiten, um N₂O oder das CO₂ aus der Methanverbrennung abzuscheiden.

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 ARA, Pflanzenkohle, Beschleunigte Gesteinsverwitterung und DACCS eher eine ergänzende oder unterstützende Rolle für das Erreichen von Netto-Null 2050 aufweisen. CCS Zement zusammen mit BECCS und CCS KVA weisen deutlich höhere Potenziale auf, um die Restemissionen im Kanton Aargau zu reduzieren oder auszugleichen. Eine geringe Relevanz dürften hingegen Technologien im Zusammenhang mit Wald- oder Bodenbewirtschaftung, Holzbau oder Ozeanen haben (siehe ergänzender Bericht, Kapitel 3.2.4).

Wichtigste Annahmen

Beschreibung	Risiko, dass die Annahme bis 2050 nicht erfüllt wird. (= Unsicherheit)	Auswirkungen, falls Annahme nicht erfüllt wird.
Verbrennung findet in Zementwerken oder KVA statt, nicht an der ARA selbst.	mittel	Kosten ↑, Energiebedarf ↑
Anbindung an ein CO ₂ -Pipelinennetzwerk ist gewährleistet.	hoch	Kosten ↑, Gesamtpotenzial ↓
Lieferkette ist vollständig CO ₂ -neutral.	mittel	Gesamtpotenzial ↓
Das CO ₂ wird vollständig in geologischen Reservoirs oder Abbruchzement gespeichert.	mittel	Permanenz ↓, Kosten und Energiebedarf unklar
Die Abscheidungsrate vom Abgas beträgt mindestens 90%.	tief	Gesamtpotenzial ↓

⁴ 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>

⁵ Albicker (dena) & Eichler (BAK), et al. (2023), «Carbon Capture & Storage (CCS) – Kostenschätzung für ein CCS-System für die Schweiz bis 2050». Dena und BAK im Auftrag des BAFU.

⁶ ARA Werdhölzli, siehe: https://netto-null-cockpit.stadt-zuerich.ch/actions/EN_M1