

ZAR CO<sub>2</sub> Kompetenzzentrum KVA Linth



VBSA-Klimafonds-Event 2025

St. Ursanne

12.12.2025

## Einführung (WF)

### Technische Erkenntnisse Arbeitspakte

Umwelt, Gesundheit, Bewilligung Aminwäsche (SR)

Abscheidung (DM)

Verwendung (DM)

Logistik & Speicherung (CS)

Lebenszyklusanalyse (CS)

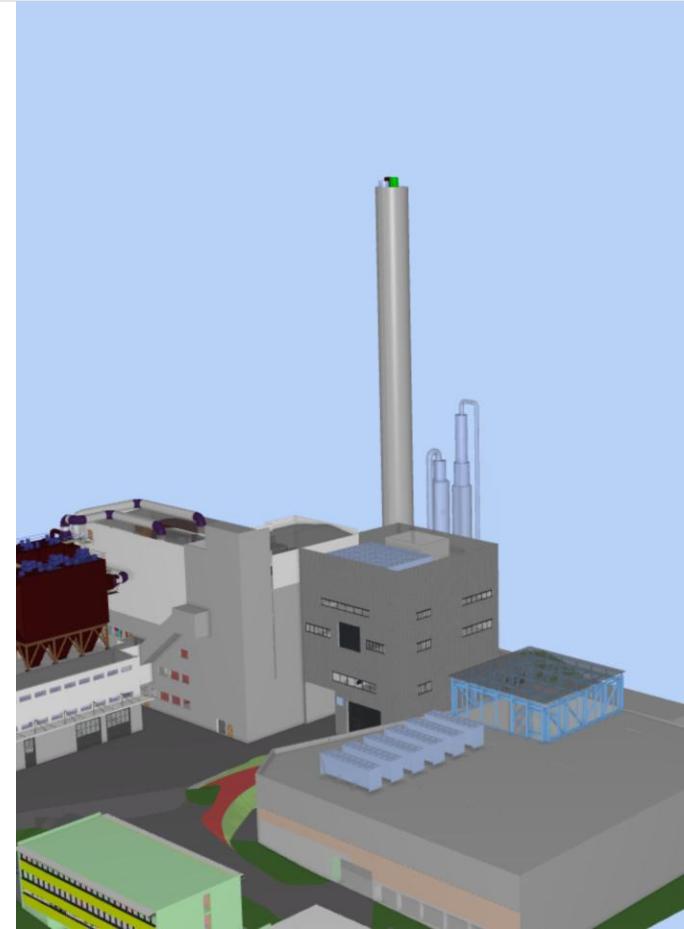
### *Zwischen-Fragerunde*

## Projekt CCS Linth (WF)

### Finanzierung (WF)

### Einordnung und Ausblick (WF)

### *Diskussion*



## Finanzierung 2022-2025 (3.8 Mio CHF):

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra  
  
Bundesamt für Umwelt BAFU



**kva linth**  
energie + recycling

**ZAR**

STIFTUNG ZENTRUM FÜR NACHHALTIGE  
ABFALL- UND RESSOURCENNUTZUNG



**Stiftung der Glarner Kantonalbank**  
für ein starkes Glarnerland

## Team:



**Walter Furgler**

Geschäftsführer KVA Linth



**Dr. Daniel Marxer**

Leiter CO<sub>2</sub> Kompetenzzentrum



**Stefan Ringmann**

Leiter Technik / Verfahren KVA  
Linth  
Wiss. MA Kompetenzzentrum



**Dr. Cinia Schriber**

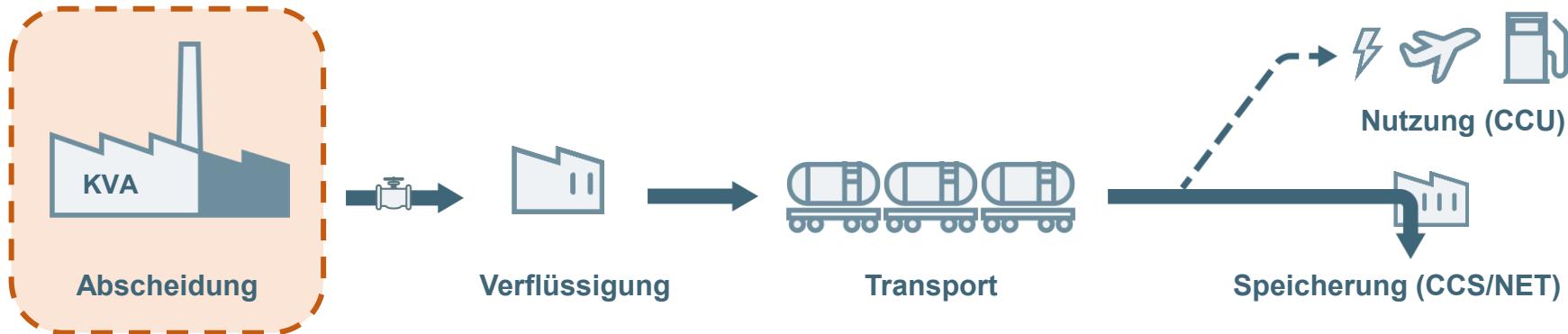
Projektleiterin CO<sub>2</sub>  
Kompetenzzentrum

**Ziel:** die Umsetzung von CCS / CCU bei KVA in der Schweiz bestmöglich unterstützen und vorantreiben

# Arbeitspakete CO<sub>2</sub> Kompetenzzentrum 2022-2025



# Umwelt / Gesundheit Aminwäsche



ausreichend geklärt  
offene Fragen  
noch nicht geklärt

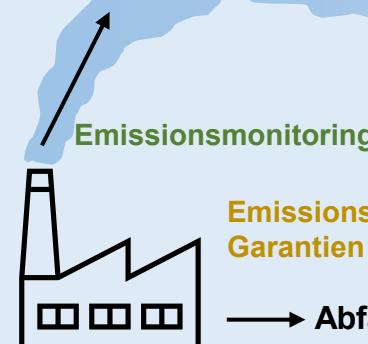
Zum Beispiel:

- Ammoniak
- Amine
- Aldehyde, Ketone
- Nitrosamine
- Nitramine
- ...

**Emissionsgrenzwerte**

5 mg/Nm<sup>3</sup> (LRV)

Keine Grenzwerte im Kontext CC definiert



KVA mit Aminwäsche  
zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung

**GSchV, Handling /  
QM Waschflüssigkeit**

Online: PTR-tof-MS, FT-IR

Offline: Impinger + LC-MS (**Aufbau von Know-How in CH!**)

Aerosolmessungen im Abgasstrom vor und nach Carbon Capture (ELPI+, etc.)



**Boden**

**Wasser**

# Emissionsmessungen Pilotanlage ARC

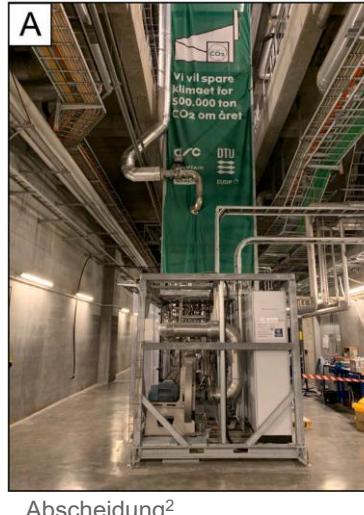
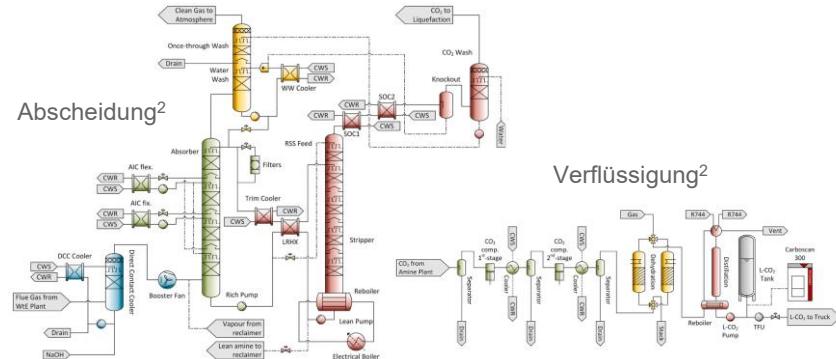
- ZAR war Projektpartner im Projekt ACCEPT



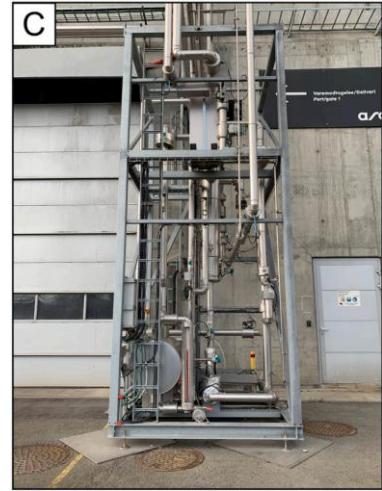
- Aminwäsche-Pilotanlage in der KVA ARC in Kopenhagen
- Online- und Offline-Abgasanalytik, Monitoring Solvent
- Hauptresultate (für MEA kürzlich publiziert<sup>1</sup>)

- sehr hohe Emissionen gemessen bei allen Kampagnen (Amine, Nitrosamine bei CESAR-1, Ammoniak bei MEA ohne saure Nachwäsche). **MEA-Emissionen im Mittel 35 mg/Nm<sup>3</sup>**
- hoher MEA-Verbrauch
- Grund für die hohen Emissionen nicht klar - Hypothese: feine Partikel/Aerosole (SO<sub>3</sub>?) im Abgas unterliegen Wachstum im Absorber. Ähnliches Phänomen auch bei Pilotierung Twence<sup>2</sup> und weiteren Anlagen beobachtet

→ Ergebnisse überraschen. Pilotierung am konkreten Abgasstrom empfohlen (Lieferant konnte Emissionen nicht vorhersagen)



Abscheidung<sup>2</sup>



Reclaimer<sup>2</sup>

## MEA-Pilotversuch ARC Kopenhagen<sup>1</sup>

Parameter	Unit	1 <sup>st</sup> Measurement	2 <sup>nd</sup> Measurement
Date (ISO 8601)	YYYY-MM-DD	2024-02-19	2024-04-18
Measurement period	HH:MM	11:38 - 14:54 (CET)	10:29 - 13:37 (CET)
	[...]		
MEA	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	42	29 !
	[...]		
TONO	mmol/Nm <sup>3</sup> , dry	0.0014 ?	<0.0007
NDELA	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	<0.00009	<0.00005
NDMA	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	<0.0002	<0.0001
NMOR	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	<0.0002	<0.0001
NMEA	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	<0.00009	<0.00005
NPYR	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	<0.00009	<0.00005
NDEA	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	<0.00009	<0.00005
NPIP	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	<0.00009	<0.00005
NDPA	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	<0.00009	<0.00005
NDBA	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	<0.00009	<0.00005
Nitroso-HeGly	mg/Nm <sup>3</sup> , dry	0.00032	<0.0001

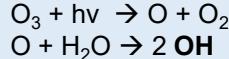
<sup>1</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894725083044>

## Abluftmessungen (Vakuumpumpe) KVA Linth<sup>2</sup>

05.08.2025	Nitrosamine, nach Vakuumpumpe (FLUWA)	abs. Menge µg	Konzentration µg/m <sup>3</sup> n. tr.
Kürzel	Verbindung		
NDMA	N-Nitrosodimethylamin	< 0.94	< 0.085
NDEA	N-Nitrosodiethylamin	< 0.94	< 0.085
NEIPA	N-Nitroso-ethyl-isopropylamin	< 0.94	< 0.085
NDIPA	N-Nitrosodi-iso-propylamin	< 0.94	< 0.085
NMBA	N-Nitroso-N-methyl-4-aminobuttersäure	< 0.94	< 0.085
NMPIA	N-Nitroso-N'-methylpiperazin	< 0.94	< 0.085
NDBA	N-Nitrosodi-n-butylamin	< 0.94	< 0.085
NMPA	N-Nitroso-N-methyl-3-aminopropansäure	< 0.94	< 0.085
NDELA	N-Nitrosodiethanolamin	< 0.94	< 0.085
NMEA	N-Nitroso-methylethylamin	< 0.94	< 0.085
NDPA	N-Nitrosodi-n-propylamin	< 0.94	< 0.085
NPYR	N-Nitrosopyrrolidin	< 0.94	< 0.085
NPIP	N-Nitrosopiperidin	< 0.94	< 0.085
NMOR	N-Nitrosomorpholin	< 0.94	< 0.085
NMBAMe	N-Nitroso-N-methyl-4-aminobuttersäuremethylester	< 0.94	< 0.085
NMPAMe	N-Nitroso-N-methyl-3-aminopropansäuremethylester	< 0.94	< 0.085
	Summe (inkl. BG):	< 15.0	< 1.36
	Summe (inkl. ½ BG):	< 7.5	< 0.68
	Summe (exkl. BG):	0.0	0.0

<sup>2</sup> Airmes AG, Kirchberg / Labor Veritas, Zürich

- Bei Versuchsmessungen in der KVA Linth ähnliche Bestimmungsgrenzen wie beim Pilotprojekt in Kopenhagen erreicht
- Prozedere zur Bildung des Summenparameters bei Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze ist noch unklar. Bei Vorgabe «0.5 \* BG» hängt der Wert vom gewählten Analysenumfang ab → Vorgabe der Behörde gefordert.
- Universitäten (EPFL, Lausanne) erreichen nochmals tieferen BG, sind aber nicht akkreditiert.

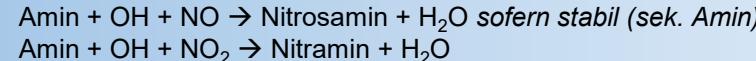


## Dispersion/Ausbreitung + atmosph. Reaktionen

Abhängig von Topographie, Wetter, Licht, Schadstoffbelastung Luft, ...

Zum Beispiel:

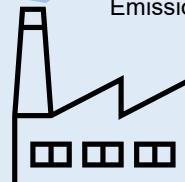
- Zersetzungreaktionen
  - Bildung von Nitrosaminen und Nitraminen aus Aminen
  - ...



ausreichend geklärt  
offene Fragen  
noch nicht geklärt



OH-Chemie ist in Nähe der Emissionsquelle unterdrückt



## KVA mit Aminwäsche zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung

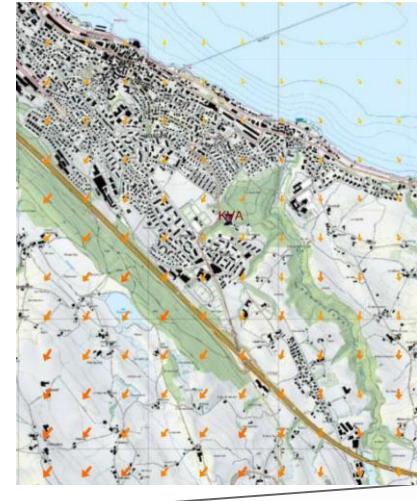
## Ausbreitungsmodellierung (?)



## Wasser

## Boden

- **GRAMM (GRAz Mesoscale Model)** als zugrundeliegendes Strömungsmodell, welches grossräumige Wind- und Turbulenzfelder berechnet und komplexe topografische Gegebenheiten berücksichtigt
- Zusammenarbeit mit der TU-Graz seit 2023: **Implementierung** einer vereinfachten **Amin-Chemie** in das bestehende **GRAL**-Modell (**GRAz Lagrangian**)
- Validiert für  $\text{NO}_x$  und PM2.5, PM10 und in A, CH vielfach verwendet.
- Anfang 2025: **Expertengutachten** zur Modellchemie durch Prof. Emeritus Claus J. Nielsen and Prof. Dr. Armin Wisthaler (Uni Oslo)
  - zahlreiche konstruktive Inputs
- **Anpassung** des Modells und geänderte Emissionen
- **Wiederholung der Modellierung** für die KVA Horgen
- **Modellierung KVA Linth**
- Modell wird bereits von anderen CH-Emittenten angefragt

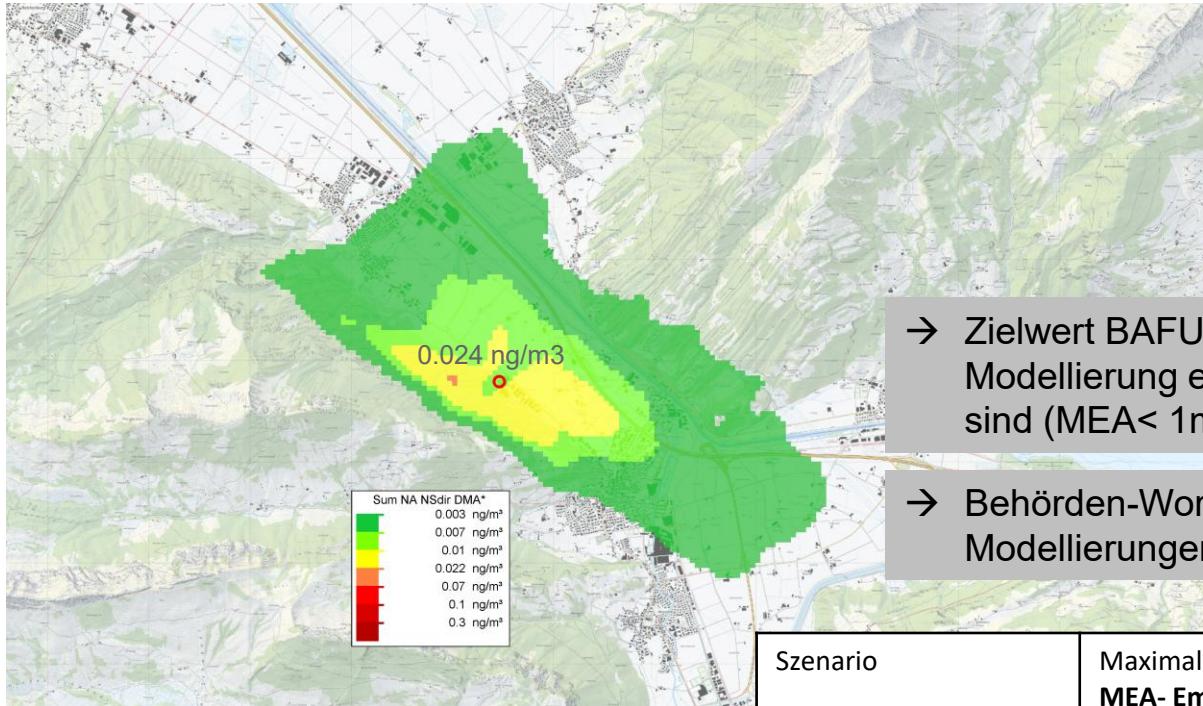


Expert Review by  
Prof. Emeritus Claus J. Nielsen and Prof. Dr. Armin Wisthaler

## 1. Introduction

We, the undersigned experts, have conducted an in-depth evaluation of the study titled "Entwicklung eines Modells zur Dispersionsmodellierung von Aminen und deren Zersetzungsprodukten aus der  $\text{CO}_2$ -Abscheidung in Gelände mit komplexer Topografie" (Bericht Nr. I-26/24/UUh V&U Inst\_23/019/639 vom 29.01.2025). The abovementioned study seeks to establish a modeling framework for predicting both air concentrations and deposition fluxes of monoethanolamine (MEA) and its degradation products in the vicinity of a waste-to-energy facility equipped with amine-based post-combustion  $\text{CO}_2$  capture.

# Ausbreitungsmodellierung Resultate KVA Linth



vorläufige Ergebnisse

Summe Nitramine + Nitrosamine  
Jahresmittelwert für 1 mg/Nm<sup>3</sup> MEA-  
Emissionen

Auch zeitliche Verläufe an definierten  
Rezeptorpunkten rechenbar

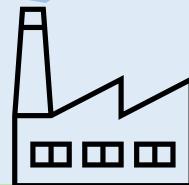
→ Zielwert BAFU (0.03 ng/m<sup>3</sup>) wird gemäss  
Modellierung eingehalten, wenn die Emissionen tief  
sind (MEA< 1mg/Nm<sup>3</sup>)

→ Behörden-Workshop mit Prof. A. Wisthaler:  
Modellierungen sind als Abschätzung zu verstehen

Szenario	Maximaler JMW bei <b>MEA- Emissionen 1 mg/Nm<sup>3</sup></b>	Maximaler JMW bei <b>MEA- Emissionen 5 mg/Nm<sup>3</sup></b>
Nitramine aus MEA	0.0081 ng/m <sup>3</sup>	0.041 ng/m <sup>3</sup>
Nitrosamine direkt	0.016 ng/m <sup>3</sup>	0.016 ng/m <sup>3</sup>
NA+NDDir+DMA*	<b>0.024 ng/m<sup>3</sup></b>	<b>0.057 ng/m<sup>3</sup></b>

# Umwelt- und Bewilligungsaspekte: Immissionen

ausreichend geklärt  
offene Fragen  
noch nicht geklärt



KVA mit Aminwäsche  
zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung

## Immissionen

Immissions-Zielwert Luft 0.03 ng/m<sup>3</sup>  
(JMW Summe NS+NA, Krebsrisiko: 10<sup>-6</sup>)



## Immissionen Boden



## Boden



## Immissions-Messung Luft

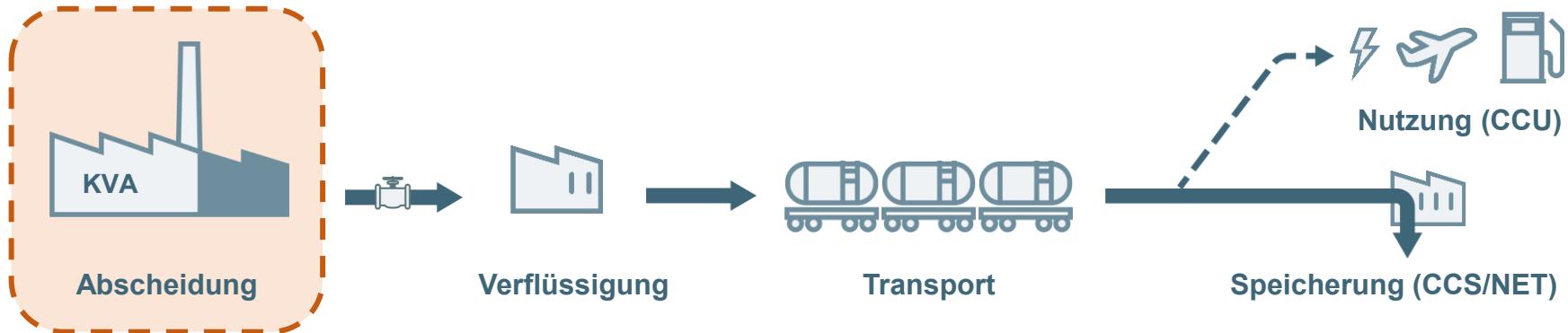
Berechnung  
Depositionsraten

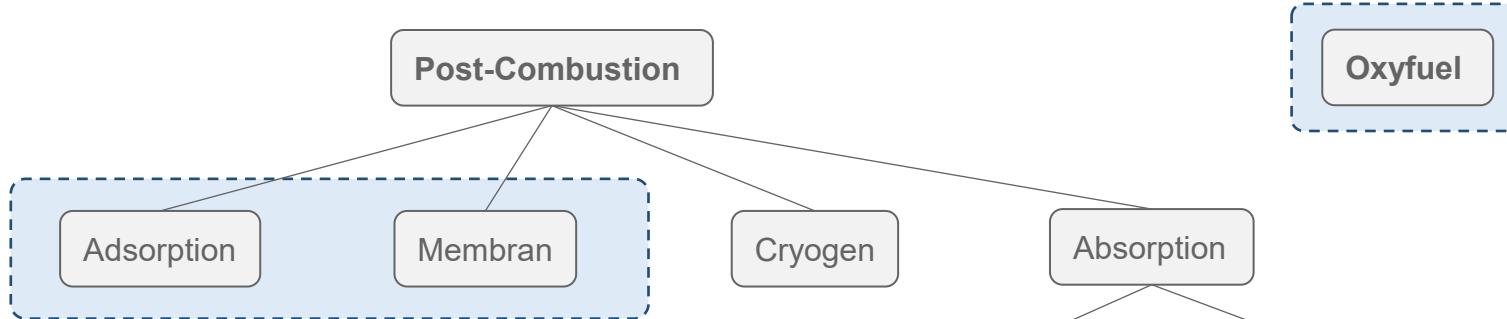
## Grenz- / Zielwert Wasser

## Wasser

Messung Immissionen Wasser  
Modellierung Immissionen Wasser

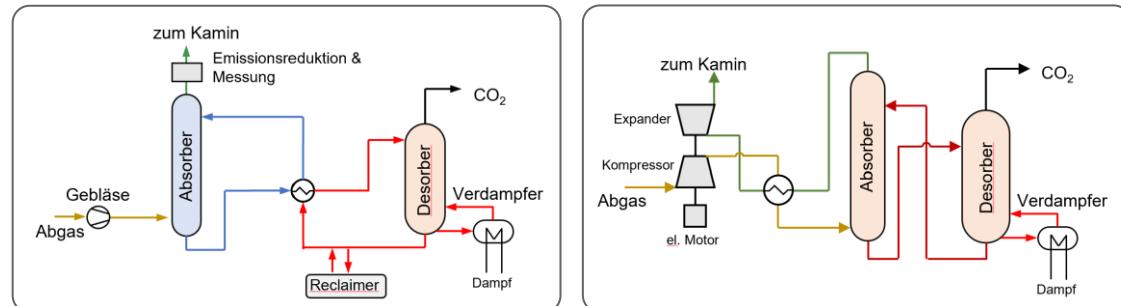
# Verfahrensmonitoring





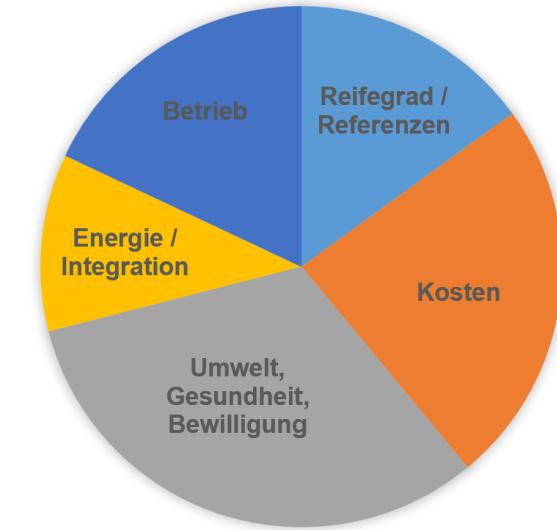
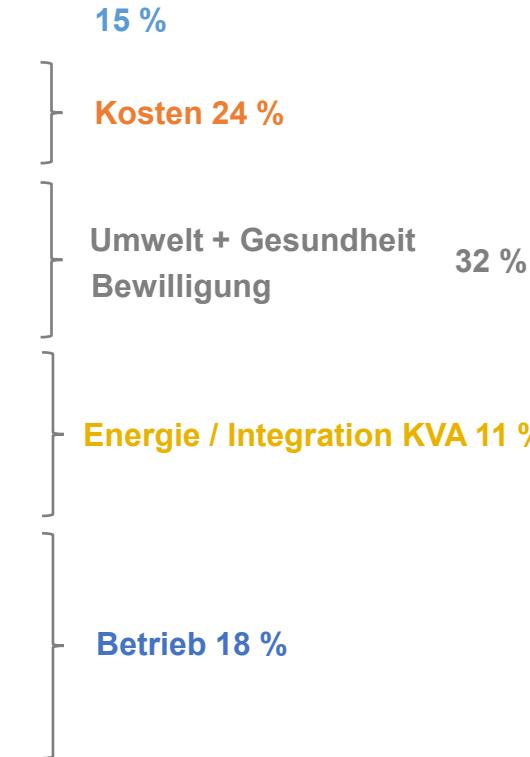
- vielversprechende Verfahren für die Zukunft
- für eine sofortige Umsetzung ist es noch zu früh

zeitnah umsetzbar an KVA → vertiefte Betrachtung



# Bewertungskriterien + Gewichtung

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent, H<sub>2</sub>O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad



die Betrachtungen gelten für die  
Aminwäsche mit MEA und HPC ohne  
Additive und sind spezifisch für die KVA Linth

# Technologische Reife / Referenzen

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent, H<sub>2</sub>O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

## Amin

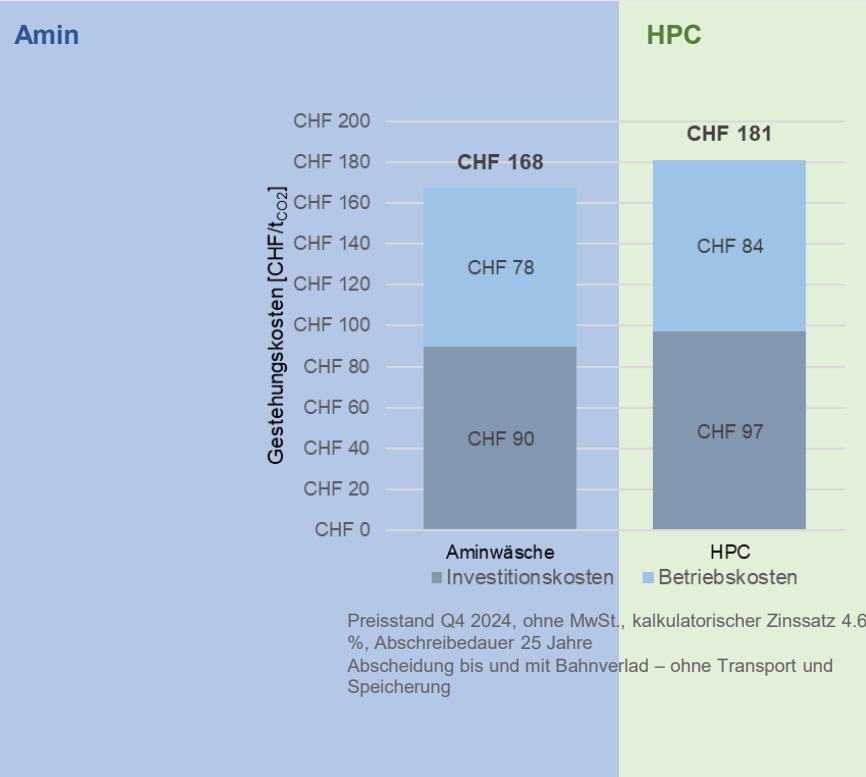
- >>100 Anlagen Petrochemie/Industrie (z.B. 'natural gas sweetening')
- Transfer andere Anwendungen → KVA: Herausforderung: empfindlich auf O<sub>2</sub> und Schadstoffe
- Anwendungen Rauchgase: mehrere in Betrieb (KVA, Kohlekraftwerke). Einige Probleme (Lösungsmittelstabilität, Abscheideleistung, Korrosion, Schäumen)
- zahlreiche geplante Projekte (z.B. KVA Oslo, Protos,...) → KVA im Ausland planen meist Aminwäsche.

## HPC

- >>100 Anlagen Petrochemie/Industrie (z.B. Ammoniakproduktion)
- Transfer andere Anwendungen → KVA: chemisch einfacher, da unempfindlich auf O<sub>2</sub>; Schadstoffe weniger kritisch, anorganisch. Aber: zusätzliche Verdichtung nötig.
- Anwendungen Rauchgase: keine aktuellen Industrieanlagen, nur Pilotanlagen. Prozess wurde früher industriell eingesetzt für Rauchgase. Stockholm Exergi Biomasse 800 kt/a im Bau.
- Anwendungen KVA: nur Pilotanlagen

Aminwäsche im Vorteil (Referenzen). Beide Verfahren als umsetzbar eingeschätzt.

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) **Investitionskosten (CAPEX)**
- 3) **Betriebskosten (OPEX)**
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent, H<sub>2</sub>O,..)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad



Gestehungskosten bei HPC-Verfahren ca. 10-15 CHF/t<sub>CO2</sub> höher als Aminwäsche  
 → entspricht ca. 2.5-4% der Gesamtkosten (inkl. Transport + Speicherung)

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz**
- 5) Mitarbeiterschutz**
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz**
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent, H<sub>2</sub>O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

## Amin

- **Umwelt- und Bevölkerungsschutz:** siehe vorherige Folien
- **Mitarbeiterschutz:** Schutzmassnahmen zur Minimierung Exposition der Mitarbeiter mit Waschlösung (ähnlich Chemiebetrieb)
- **Bewilligungsfähigkeit** bzw. Zeitschiene für Bewilligungsprozess mit Unsicherheiten behaftet
- **Akzeptanz:** wird im Kontext KVA Linth als kritisch erachtet. Emission von krebsverursachenden Substanzen (egal wie tiefe Konzentration), wenn es Alternativen gibt heikel

## HPC

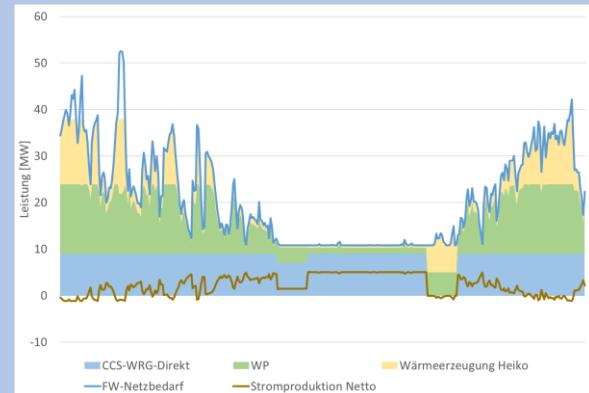
- **Umwelt- und Bevölkerungsschutz:** Kaliumcarbonat hat keinen 'Dampfdruck' und wird somit nicht gasförmig emittiert.
- Emissionen als Aerosole nicht ausgeschlossen. Da Waschlösung unbedenklich, wird dies als unkritisch erachtet.
- Abgasqualität dürfte sich sogar verbessern (z.B. Reduktion von sauren Schwefel-Verbindungen, ggf. Stickoxiden)
- **Mitarbeiterschutz:** unter Druck stehende, heiße Abgase
- **Bewilligungsfähigkeit, Akzeptanz:** bzgl. Luftreinhaltung / Emissionen unkritisch erachtet  
*(gilt ohne Additive!)*

Aminwäsche kritisch; HPC unproblematisch → Hauptvorteil HPC

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) **Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)**
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent,  $H_2O$ ,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

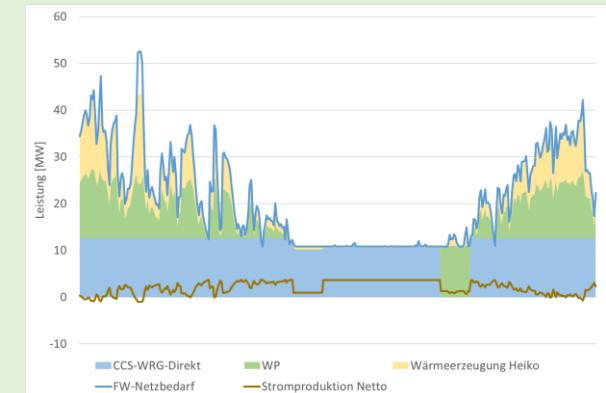
## Amin

- Geplanter Fernwärmeausbau kann bedient werden
- Einsatz Kompressionswärmepumpen nötig (zu wenig Dampf für AWP)



## HPC

- Geplanter Fernwärmeausbau kann bedient werden
- Leichter Vorteil: mehr direkt nutzbare Abwärme (höheres Temperaturniveau)
- Einsatz Absorptionswärmepumpen nötig (zu wenig eigener Strom für KWP)



HPC minimal im Vorteil: mehr Wärmeauskoppelung ohne Wärmepumpen möglich.  
 Wärmepumpen (AWP) sinnvoller nutzbar für Niedertemperatur-Wärme (auch ohne CC).  
 Maximale Auskoppelung im Vollausbau ähnlich.

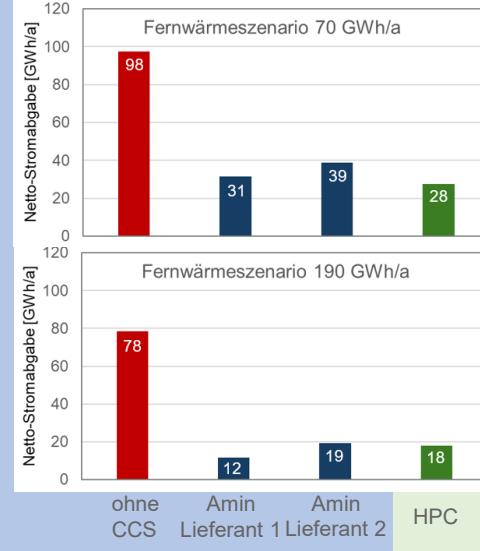
# Stromabgabe

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) **Stromabgabe (ohne Kosten)**
- 9) Platzbedarf
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent,  $H_2O$ ,..)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

**Amin**

**HPC**

Netto-Stromabgabe über ein Jahr



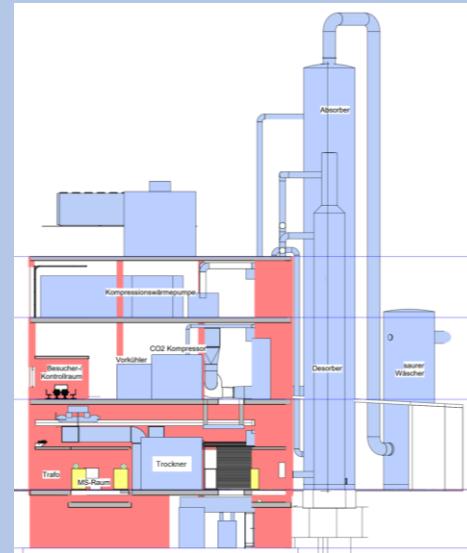
Aminwäsche leicht im Vorteil bei kleinem Fernwärmennetz: ca. 3-9 Gwh<sub>el</sub>/Jahr höherer Stromverkauf (10 GWh<sub>el</sub>/Jahr Unterschied entsprechen im CH-Strommix (ecoinvent v3.8) etwa 400 t<sub>CO2</sub>-eq oder 0.3% des abgeschiedenen CO<sub>2</sub> )

bei grösserem Fernwärmeausbau identischer Stromverkauf erwartet  
→ Aminwäsche minimal im Vorteil

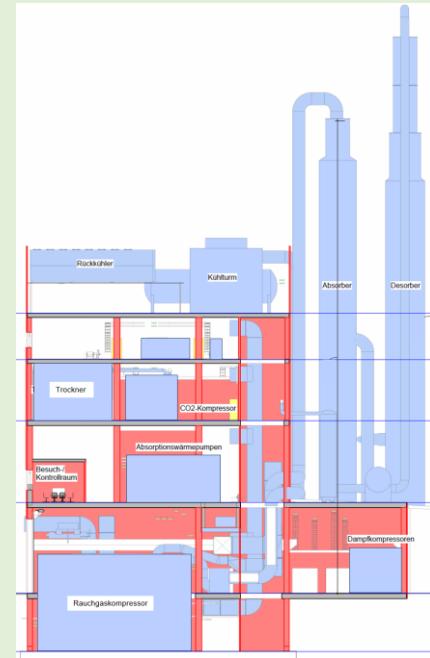
# Platzbedarf

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf**
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent,  $H_2O$ ,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

**Amin**



**HPC**



HPC benötigt mehr Platz (+1 Stockwerk)

Unterschied für KVA Linth irrelevant (beide auf gleicher Grundfläche, Kosten separat berücksichtigt)

# Art des Betriebs

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf

## 10) Art des Betriebs

- 11) Betriebsmittel (Solvent, H<sub>2</sub>O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

### Amin

- ‘**mehr Chemie**’
  - anfälliger für bio-Fouling, Schäumen
  - komplexeres Lösungsmittel-Management (Analytik, Reclaiming / Aufbereitung, Entsorgung, Handling)
- Umfassende Umweltanalytik nötig – Emissionsmessungen, Immissionsmessungen, Reporting
- → umfangreiches Chemie-Know-How nötig

### HPC

- ‘**mehr rotierendes Equipment**’
- An- Abfahrprozedur komplexer als bei Aminwäsche (Kompressor)

leichter Vorteil HPC – passt eher zum bestehenden Betrieb

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent, H<sub>2</sub>O,..)**
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

## Amin

- **Verbrauch MEA:** ca. 1-2 kg<sub>MEA</sub>/t<sub>CO<sub>2</sub></sub>
- Marktvolumen heute ca. 0.9 Mio. t/Jahr
- fossiler Ursprung
- **Kosten MEA:** ca. CHF 2 pro Tonne abgeschiedenes CO<sub>2</sub> → moderate bis tiefe Sensitivität auf Preisschwankungen MEA
- **Wasserverbrauch** für Rückkühlung ca. doppelt so hoch wie HPC
  - 60'000 m<sup>3</sup>/a Hybridkühler oder
  - 235'000 m<sup>3</sup>/a Kühltürme
- **Reclaimer-Abfälle:** Stand heute als Sonderabfall

## HPC

- **Verbrauch K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:** ca. 0.05-0.15 kg<sub>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></sub>/t<sub>CO<sub>2</sub></sub>
- Marktvolumen heute ca. 2 Mio. t/Jahr
- aus Abbau von Kalisalz
- **Kosten K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:** ca. CHF 0.2 pro Tonne abgeschiedenes CO<sub>2</sub> → sehr tiefe Sensitivität auf Preisschwankungen K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- **Wasserverbrauch** für Rückkühlung
  - 30'000 m<sup>3</sup>/a Hybridkühler oder
  - 125'000 m<sup>3</sup>/a Kühltürme

leichter Vorteil HPC:

Herkunft, Verfügbarkeit, Kosten Lösungsmittel  
Entsorgung Abfälle (Abwasser, Betriebsmittel)

Wasserverbrauch

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent, H<sub>2</sub>O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten**
- 13) Abscheidegrad

## Amin

- **sehr flexibel**, ca. 50-110% des Designpunkts möglich. Limitierung entweder durch Kolonne oder Nachbehandlung (Verdichtung, Verflüssigung)
- rasche Änderungen/Schwankungen im Input können zu erhöhten Emissionen führen

## HPC

- **weniger flexibel** → Betriebsbereich Compander (auslegungsabhängig; grösserer Betriebsbereich bedeutet tieferen Wirkungsgrad im Designpunkt)
- ca. 75-110% des Designpunkts ohne Rückführung möglich. Wirkungsgrad des Verdichters sinkt bei Teillast (<5%).
- tiefere Werte möglich, aber nur mit Rückführung eines Teilstroms zum Kompressor ('Recycling') → ineffizient, erhöhter Stromverbrauch

Vorteil Aminwäsche

Flexibilität HPC ausreichend für Betrieb ohne Recycling bei Stillstand Ofen 1 (KVA Linth)

- 1) Technologische Reife / Referenzen
- 2) Investitionskosten (CAPEX)
- 3) Betriebskosten (OPEX)
- 4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz
- 5) Mitarbeiterschutz
- 6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz
- 7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)
- 8) Stromabgabe (ohne Kosten)
- 9) Platzbedarf
- 10) Art des Betriebs
- 11) Betriebsmittel (Solvent, H<sub>2</sub>O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad**

## Amin

- **90% problemlos erreichbar**
- höherer Abscheidegrad wäre mit moderatem Zusatzaufwand auch erreichbar (z.B. 95%)

## HPC

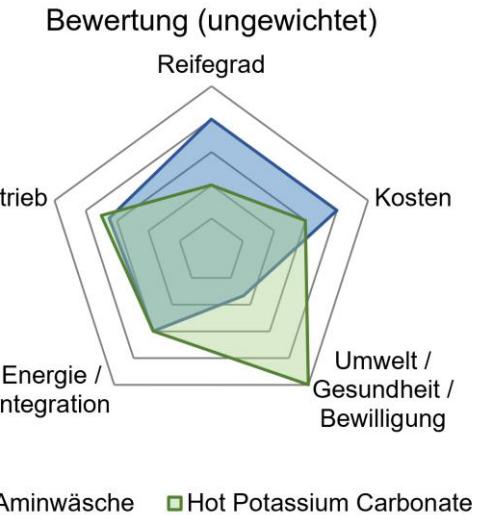
- **90% problemlos erreichbar**
- höherer Abscheidegrad (z.B. 95%) nur mit grösserem Zusatzaufwand als bei der Aminwäsche möglich (Energie, Equipment-Grösse)

Im Vorprojekt wurden die Verfahren bei 90% Abscheidegrad verglichen

abgeschiedene CO<sub>2</sub>-Menge über das Jahr bei der Aminwäsche evtl. etwas höher → leichter Vorteil

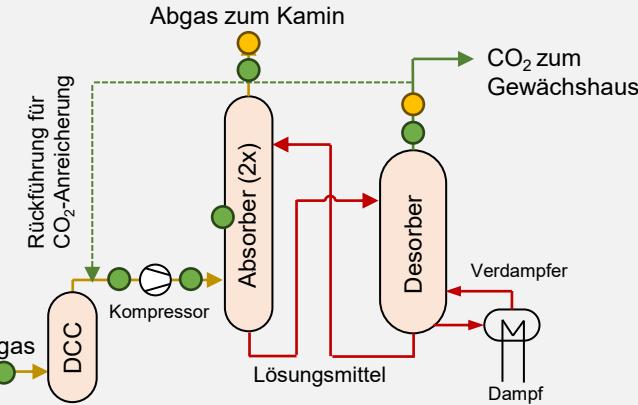
# Verfahrensbeurteilung KVA Linth Stand heute

Kriterium	Gewichtung		Bewertung Amin	Bewertung HPC
	%	1-5 (höher = besser)		
Technologische Reife / Referenzen	15	15	4	2
CAPEX	12	24	4	3
OPEX	12		4	3
Umwelt- und Bevölkerungsschutz	12	32	2	5
Mitarbeiterenschutz	10		2	5
Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz	10		1	5
Fernwärmeeabgabe (ohne Kosten)	5	11	3	4
Stromabgabe (ohne Kosten)	3		3	2
Platzbedarf	3		3	3
Art des Betriebs	5	18	2	3
Betriebsmittel (Lösungsmittel, Wasser, ...)	5		2	4
Flexibilität / Teillastverhalten	5		4	3
Abscheidegrad	3		5	4
<b>Gesamtbewertung</b>			<b>298</b>	<b>359</b>



- HPC etwas teurer und weniger erprobt, jedoch als umsetzbar eingeschätzt
- Umwelttechnisch Aminwäsche kritischer

Abgestimmt mit Verwaltungsrat KVA Linth. Vorläufige Einschätzung, spezifisch für KVA Linth. Bei neuen Erkenntnissen Neubeurteilung möglich.



## aufwändige Gasanalytik:

- kontinuierliche CO<sub>2</sub>-Sensoren
- Gas-Entnahmestellen mit automatischer Messstelleumschaltung und kontinuierlicher Gasanalyse FTIR + O<sub>2</sub>-Sensor

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| • Lieferant / Lizenzgeber          | Sulzer / CATALCARB                      |
| • Abgasstrom                       | 1'000 Nm <sup>3</sup> /h                |
| • CO <sub>2</sub> -Konz. Abgas KVA | 8.8 Vol-% feucht                        |
| • Abscheidegrad                    | ~90 %                                   |
| • CO <sub>2</sub> für Gewächshaus  | ~800 t/a                                |
| • Lösungsmittel                    | K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + Wasser |
| • Additive (optional)              | z.B. CATALCARB                          |
| • LxBxH                            | 3 x 3 x19 m <sup>3</sup> + Verdichter   |
| • Integriert in KVA-Leitsystem     |   |
| • Meilensteine:                    |   |

Dez 25  
Engineering

Aug 26  
Fertigung

Okt 26  
Montage

Nov 26  
IBN

bis 2030  
Pilotierung

## Fortschritte bei Adsorptions- und Membranverfahren:

- Membran-**Testanlage** und **Studie Satom** → siehe folgende Präsentation
- MTR betreibt dieses Jahr eine grosse **Demonstrationsanlage** an einem Kohlekraftwerk in den USA (Dry Fork Station Gilette): **50'000 t<sub>CO<sub>2</sub></sub>/Jahr**
- Besuch Kompetenzzentrum MTR-Demoanlage (Membran) und Firma Svante (Adsorption)
- Pilotierung Andritz an KVA (Membran)

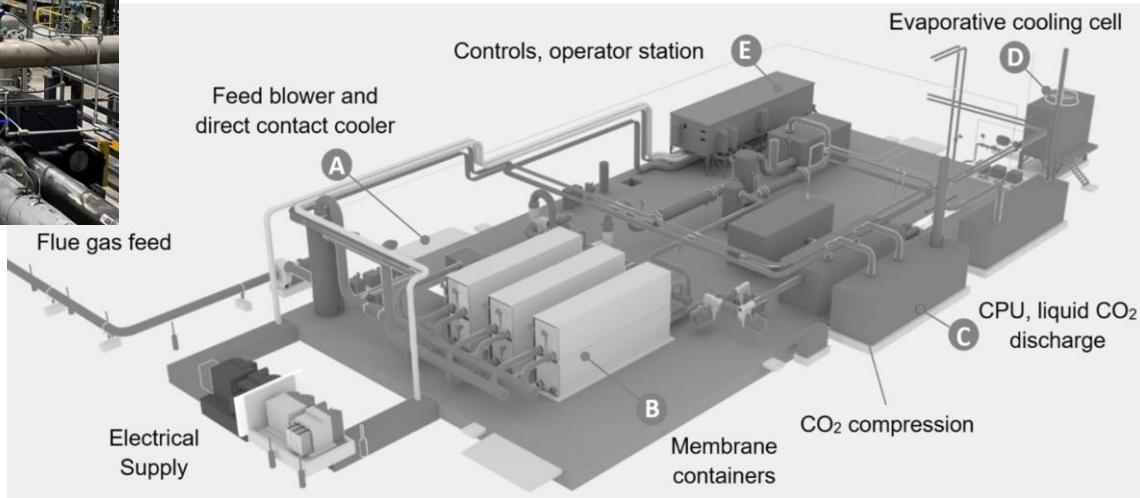
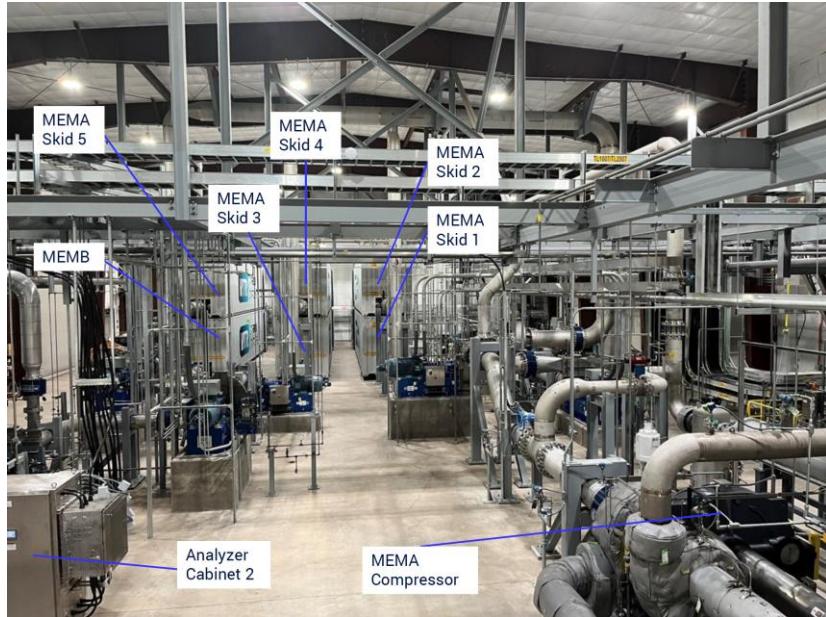
→ Die Verfahren sind **vielversprechend**, insbesondere das **Membranverfahren**

→ was noch fehlt: **Langzeit-Pilotierung** (>2 Jahre) an **KVA-Abgas**, um die Stabilität und Performance der Membranen bzw. Adsorber zu demonstrieren.



Rohbau Gebäude Membran-Pilotanlage MTR  
50 kt<sub>CO<sub>2</sub></sub>/Jahr  
[https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/24CM/24CM\\_PS<sub>C</sub>C\\_5\\_Freeman.pdf](https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/24CM/24CM_PS<sub>C</sub>C_5_Freeman.pdf)

# MTR Membran-Pilotanlage Kohlekraftwerk

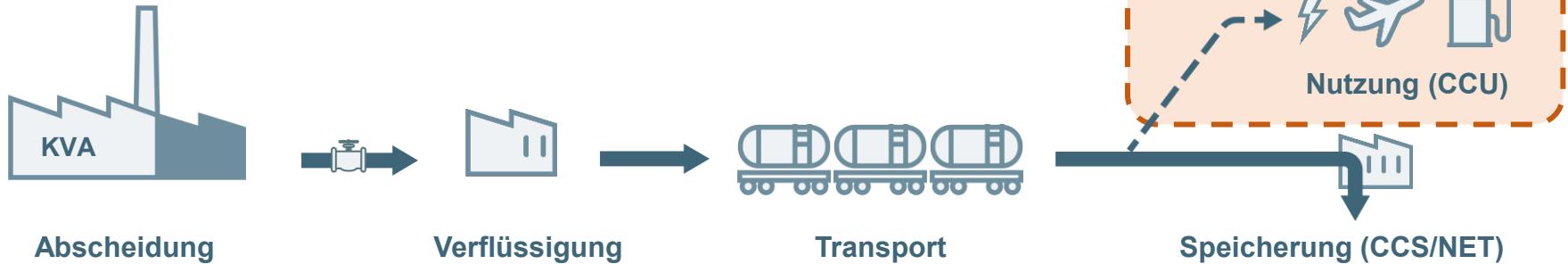


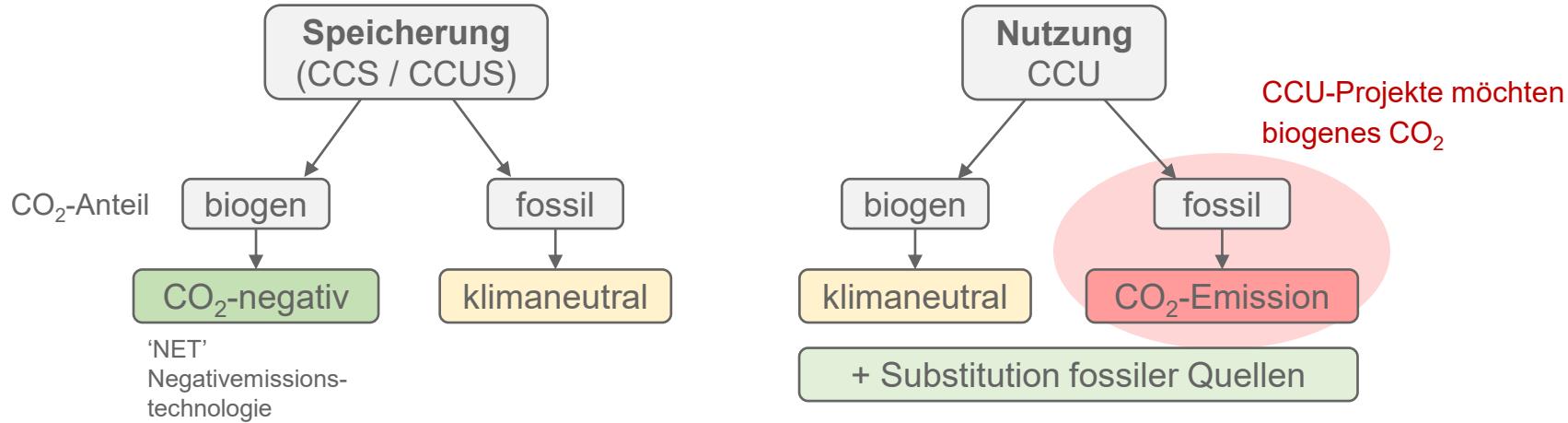
weitere Bilder + Infos:

[https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/24CM/24CM\\_PSCC\\_5\\_Freeman.pdf](https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/24CM/24CM_PSCC_5_Freeman.pdf)

[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=5070818](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5070818)

# Verwendung





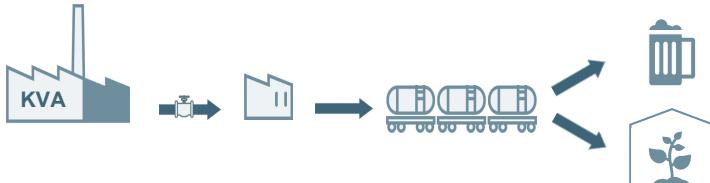
Klimastrategie BAFU plant mit CCS

«Nur mit dem Einsatz von CCS und NET kann die Schweiz ihr Netto-Null Ziel bis 2050 erreichen»\*

## bestehender Markt direkte Verwendung:

Lebensmittelindustrie, Trockeneis, Gewächshäuser, ...

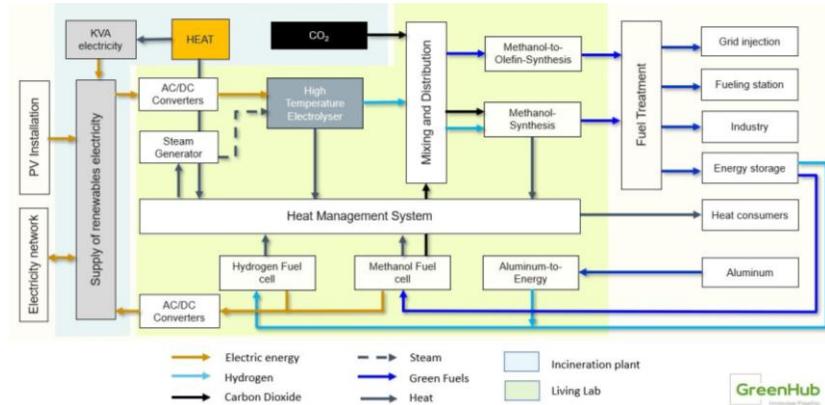
- **Quellen heute:** Wasserstoff-Cracken, Ethylenoxid, natürliche Quellen, Biogas-Anlagen, Ammoniakproduktion
- **Marktvolumen** Schweiz: < 100'000 t/a
- schwankende **Brennstoffzusammensetzung** (Abfall) wird **kritisch** gesehen (Lebensmittel)



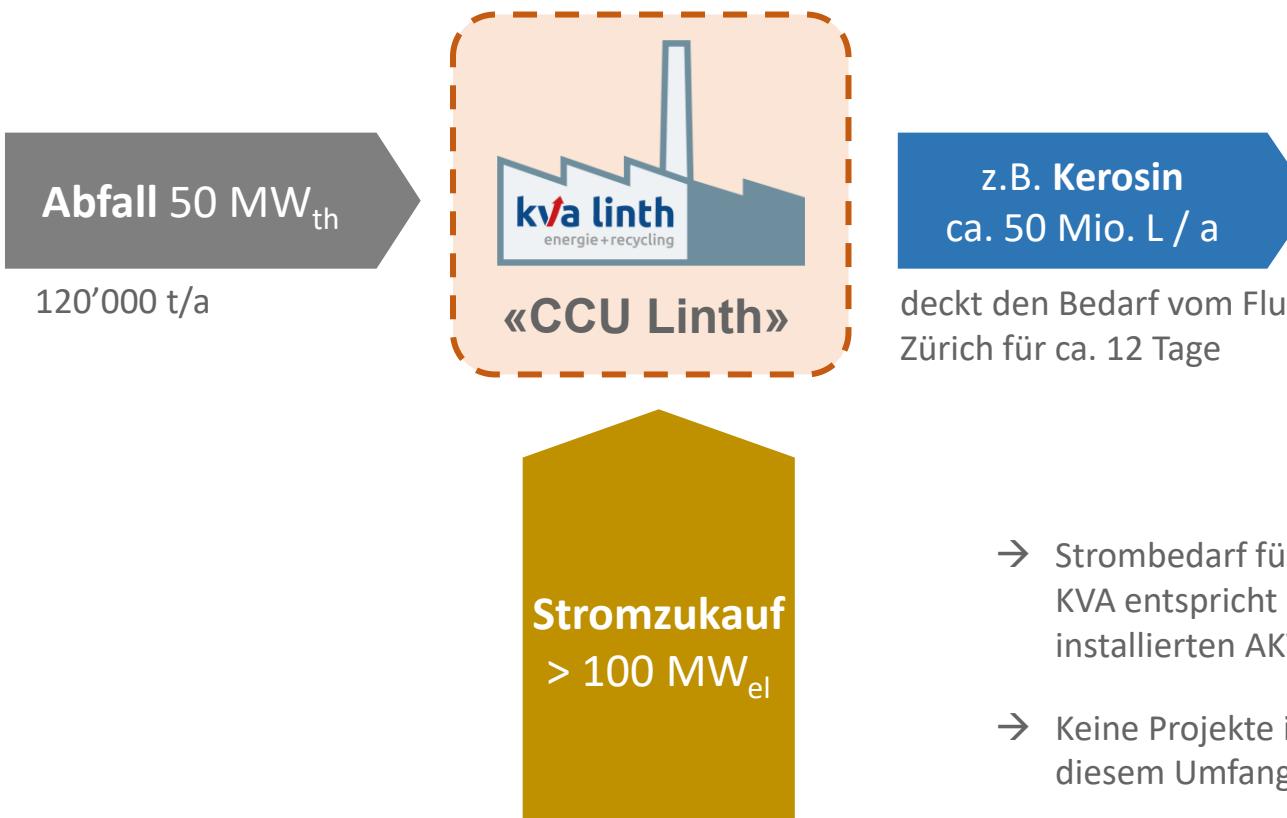
→ nur für Teilmengen / kleine Emittenten

## Verwendung für Power-to-X:

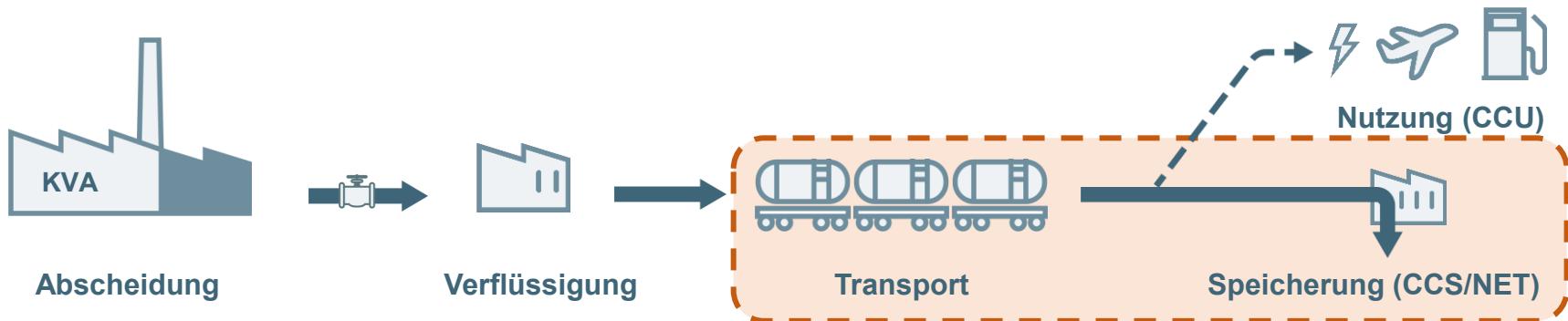
- Produktion von flüssigen oder gasförmigen Brenn- und Treibstoffen, Chemikalien, Kunststoffen,...
- Herstellung von Wasserstoff (Elektrolyse), dann Reaktion mit CO<sub>2</sub> zu Kohlenwasserstoffen
- grosse aktuelle **Forschungsprojekte** dazu:  
<https://www.sweet-refuel.ch/>  
<https://flagship-greenhub.ch/>



Thermodynamik und Massenströme beachten: **viel Strom nötig**



# Logistik und Speicherung



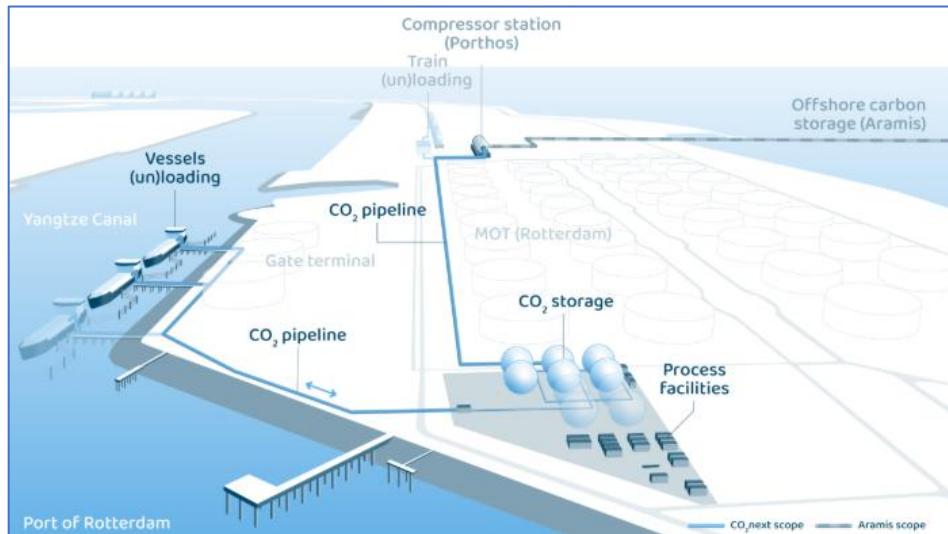
# Ist der lange Transport für die Speicherung sinnvoll?

- **Technisch** ist der Transport mit dem Zug **machbar**  
Bahnkesselwagen für CO<sub>2</sub> sind seit Jahrzehnten im Einsatz, auch in der Schweiz (z.B. Lonza)
- **Kosten** für Zugtransport sind **hoch**:\*  
≈ 100 CHF / Tonne CO<sub>2</sub>
- **Transportdistanz** ist **nichts Aussergewöhnliches**  
die Ausgangsstoffe (Erdöl) und die daraus hergestellten Produkte haben meist schon einen deutlich längeren Weg hinter sich
- **ökologischer Impact** ist **moderat**: ca. 4-9% des gespeicherten CO<sub>2</sub> (je nach Lagerort)
- **Langfristig** sollen effizientere **Pipelines** eingesetzt werden → **Pionierprojekte** mit Bahntransport **wichtig**, um Investitionen zu ermöglichen



# Im Aufbau (ohne UK): Hubs

## CO2next



## Where

The terminal is planned for the **Maasvlakte** in Rotterdam, Netherlands, along the **Yangtze Canal**. This strategic location offers excellent accessibility by ship, both by river and by sea, and is in close proximity to sea pipelines leading to the depleted gas fields. In the future it will probably also be possible to reach the terminal by train.



# Im Aufbau (ohne UK): Hubs und Speicherstätten

## Northern Lights



Northern Lights JV has  
successfully stored first CO<sub>2</sub>  
August 25, 2025



Northern Lights JV receives  
confirmation of completion  
October 30, 2025

Speicherstätte ●  
Hub ●



- Erste **kommerzielle** Speicherstätte für CO<sub>2</sub>
- Erste CO<sub>2</sub>-Injektionen im August 2025
- Seit Oktober 2025 **offiziell in Betrieb**

Montag, 24. November 2025

## Schweiz

7

Neue Zürcher Zeitung

## Der Kehrichtsack könnte bald viel teurer werden

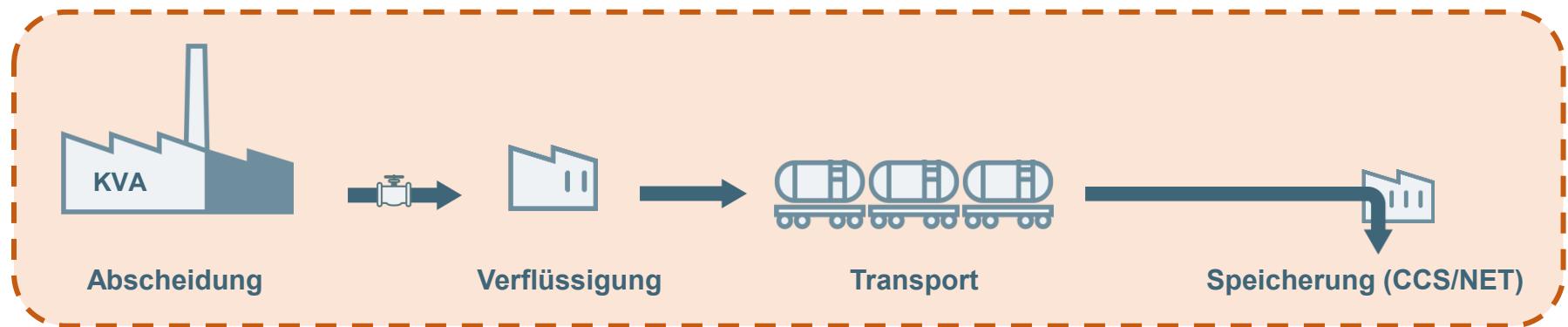
*Die Abfallverwerter planen, ab 2030 Müll emissionsfrei zu verbrennen – finanziert soll das eine neue nationale Klimagebühr*

[...] der FDP-Nationalrat Christian Wasserfallen äussert sich skeptisch. «Ich bezweifle stark, dass es Sinn ergibt, CO<sub>2</sub> über Tausende Kilometer mit Dieselschiffen zu transportieren und es dann unter der Nordsee in den Boden zu pressen.» [...]

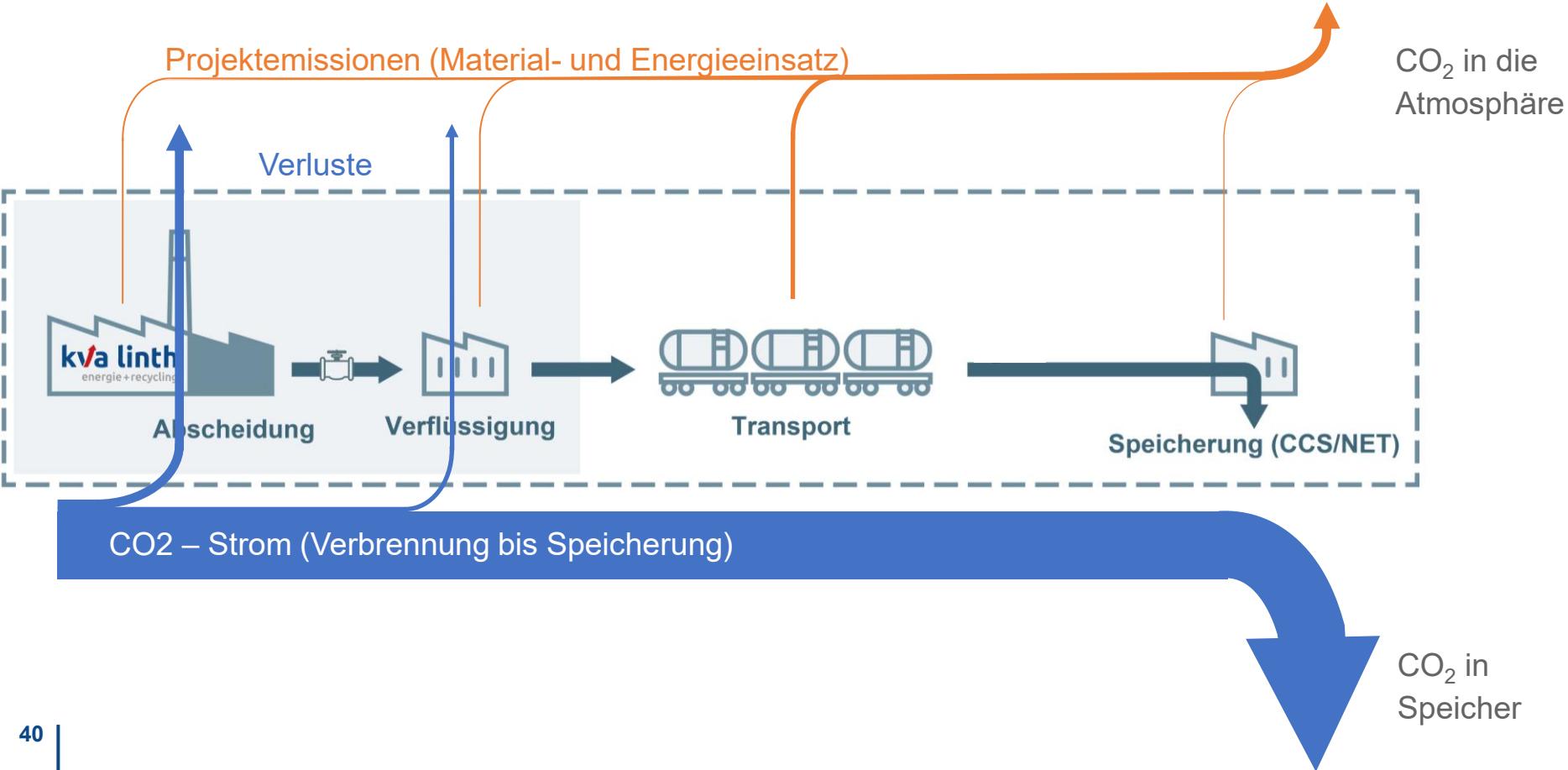
→ wir haben im Rahmen einer detaillierten **Lebenszyklusanalyse** durch die ETH Zürich **wissenschaftlich** abklären lassen, ob die Speicherung von CO<sub>2</sub> der KVA Linth aus klimatischer Sicht Sinn ergibt.

# Lebenszyklusanalyse CCS Linth

ETH Zürich, Prof. André Bardow / Julian Nöhl



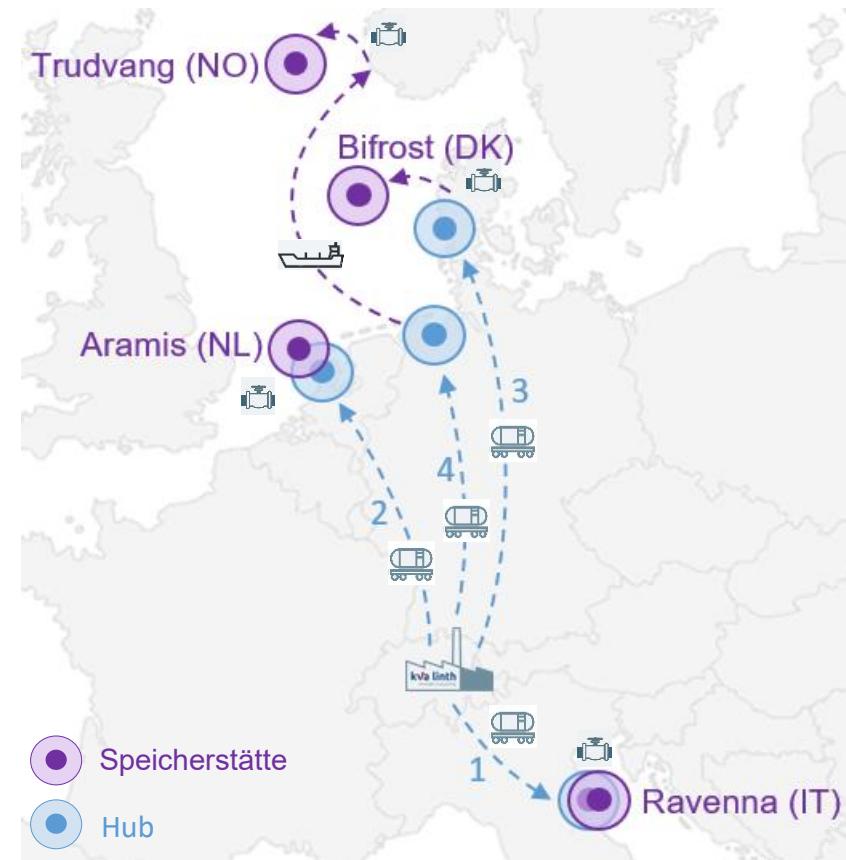
# Was hat das Projekt für einen Klimanutzen?



# Die Treibhausgasemissionen des Projekts

ETH Zürich, Prof. André Bardow / Julian Nöhl

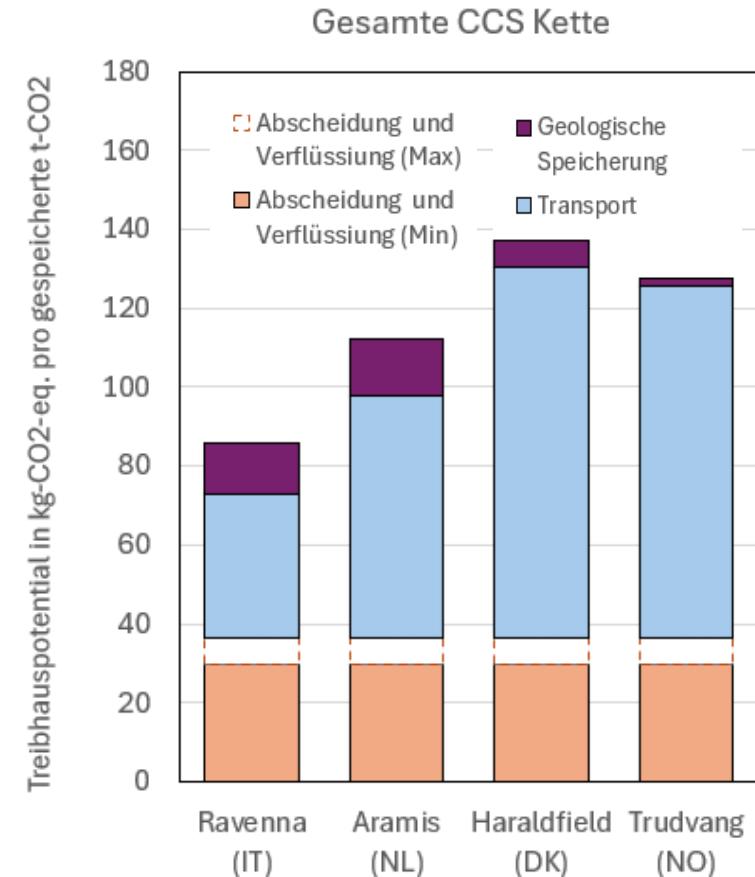
- Es werden alle **Klimaauswirkungen**, die das Projekt verursacht, berücksichtigt (graue Energie durch den Bau, Energieeinsatz für den Betrieb / Transport, Herstellung der Betriebsmittel usw.)
- **Vier Speicheroptionen** mit verschiedenen langen Entfernungen betrachtet.
  - Ravenna (IT), rund 670 km
  - Aramis (NL), rund 1120 km
  - Bifrost (DK), rund 1600 km
  - Trudvang (NO), rund 1830 km



# Die Treibhausgasemissionen des Projekts

ETH Zürich, Prof. André Bardow / Julian Nöhl

- Das Projekt verursacht CO<sub>2,eq</sub>-Emissionen im Umfang von **7.9-13.6 % des gespeicherten CO<sub>2</sub>**. Der Wert hängt vom gewählten Speicherort ab.
- ein **grosser Anteil** davon (ca. 4-9% des gespeicherten CO<sub>2</sub>) wird durch den **Transport** verursacht
- In Zukunft wird die Umwelteffizienz weiter steigen, v.A. durch:
  - CO<sub>2</sub>-Pipelines** für den Transport
  - sinkende CO<sub>2</sub>-Intensität des **Strommixes** der involvierten Länder (Italien, Deutschland, Dänemark usw.)



Montag, 24. November 2025

## Schweiz

7

Neue Zürcher Zeitung

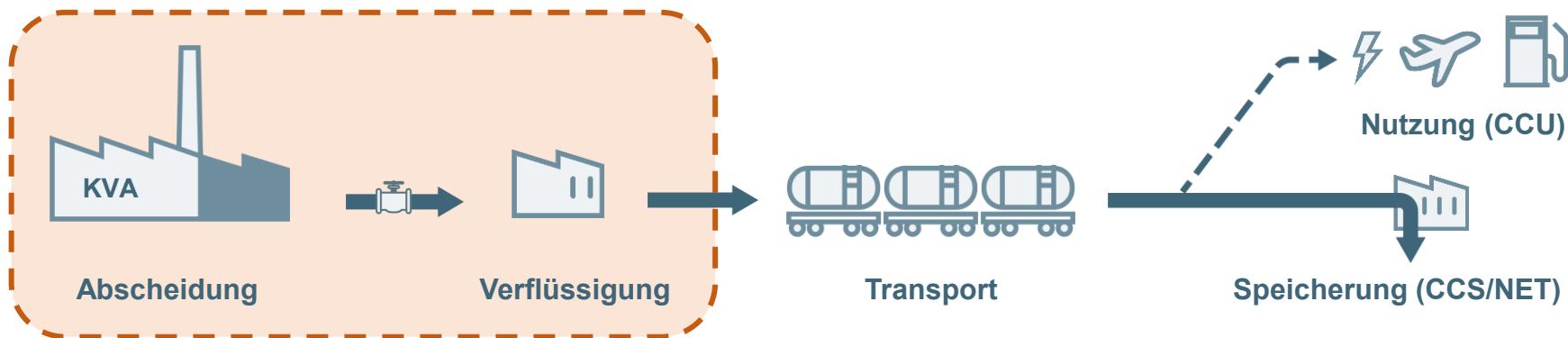
## Der Kehrichtsack könnte bald viel teurer werden

*Die Abfallverwerter planen, ab 2030 Müll emissionsfrei zu verbrennen – finanziert soll das eine neue nationale Klimagebühr*

[...] der FDP-Nationalrat Christian Wasserfallen äussert sich skeptisch. «Ich bezweifle stark, dass es Sinn ergibt, CO<sub>2</sub> über Tausende Kilometer mit Dieselschiffen zu transportieren und es dann unter der Nordsee in den Boden zu verpressen.» [...]

→ aus Klimasicht ist das Projekt äusserst sinnvoll. Der Energie- und Materialeinsatz schmälert den Klimanutzen nur um **rund 10%**.

# Projekt CCS Linth



# Vorprojekt

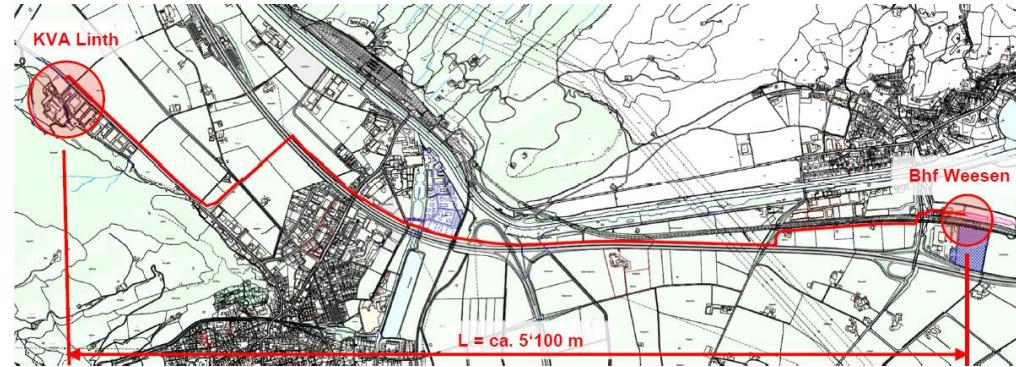
Standort KVA Linth



Abscheidung  
Verdichtung  
Trocknung  
Wärmeintegration  
Rückkühlung

- Kapazität: 130'000 t<sub>CO<sub>2</sub></sub>/Jahr
- Planer: Ramboll u. tbf + Partner
- HPC ohne Additive und Aminwäsche mit MEA, je zwei Lieferanten

CO<sub>2</sub> Leitung KVA-Bahnhof Weesen



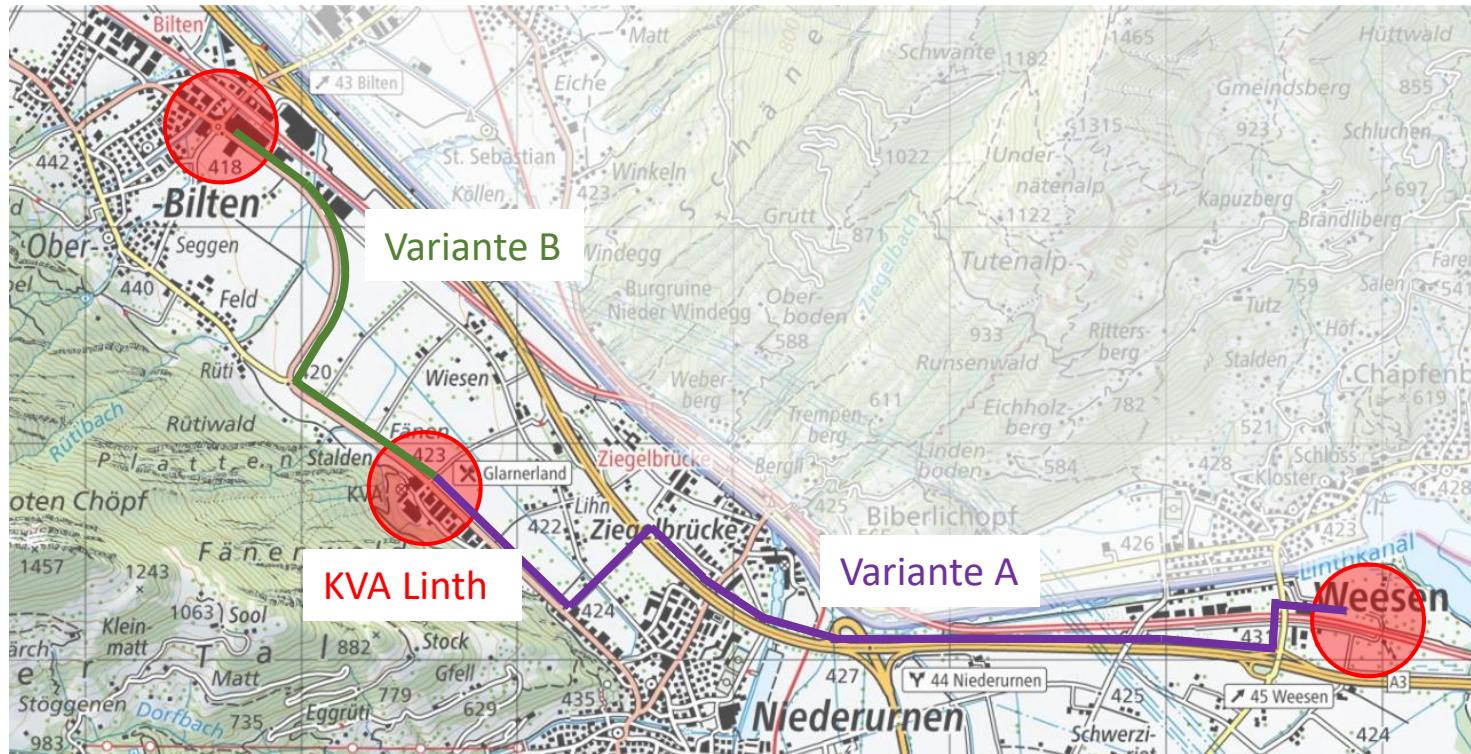
Bahnhofsareal Weesen



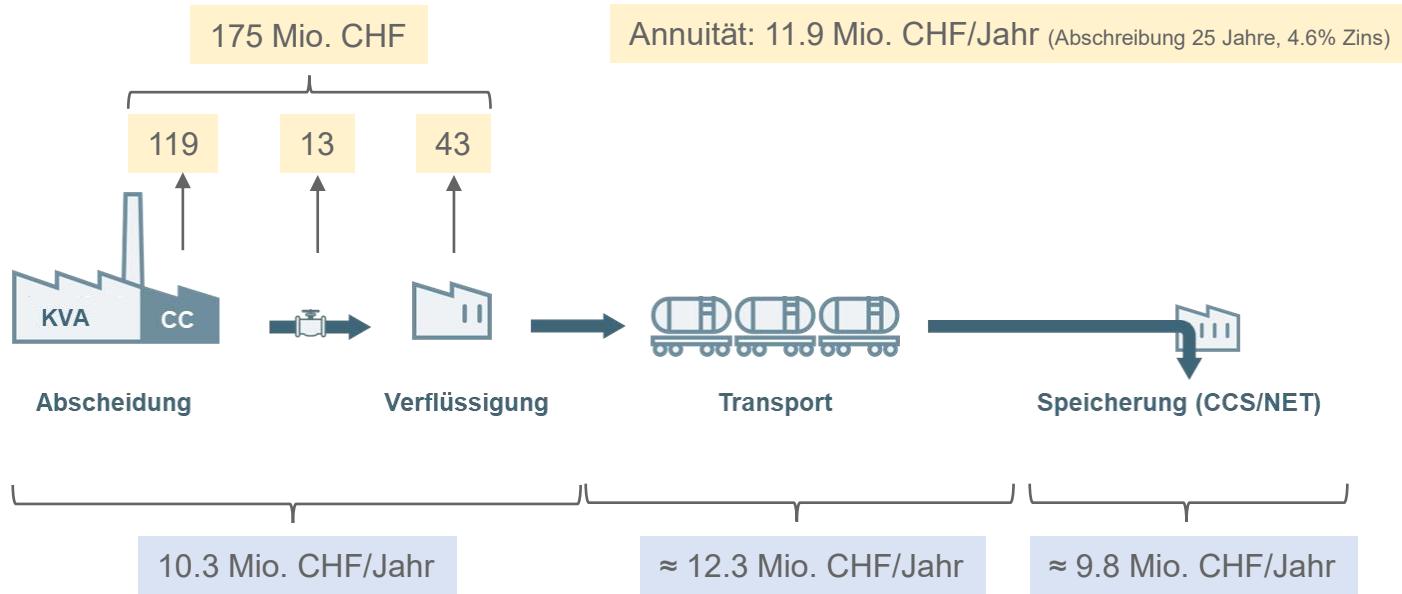
Verflüssigung  
Reinigung  
Zwischenspeicher

Verlad auf  
Bahnkesselwagen

# Prüfung zusätzliche Option Verladestandort

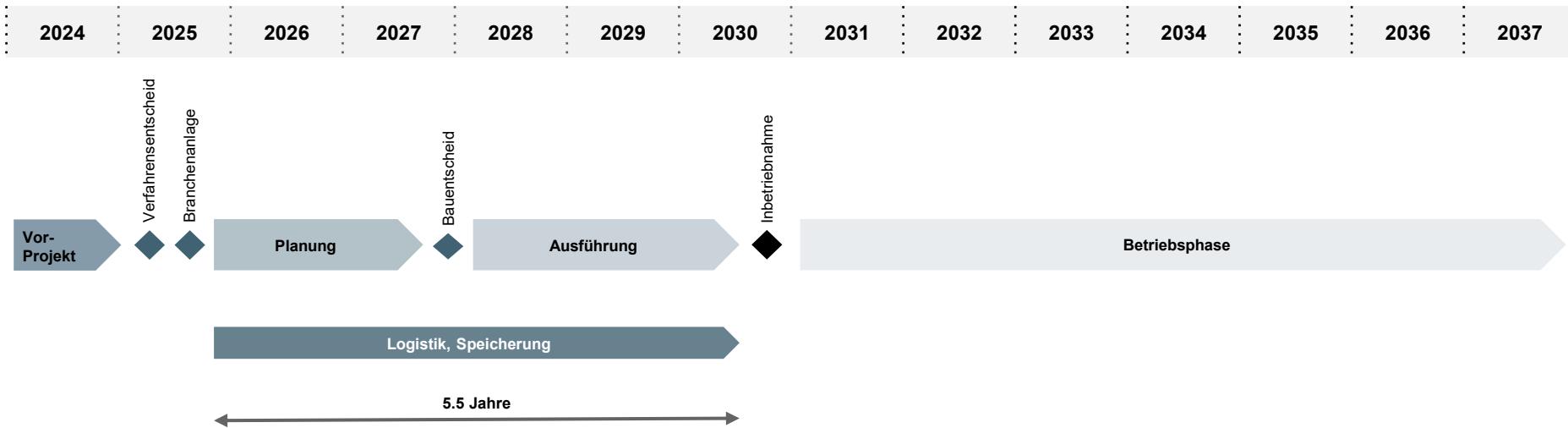


CAPEX

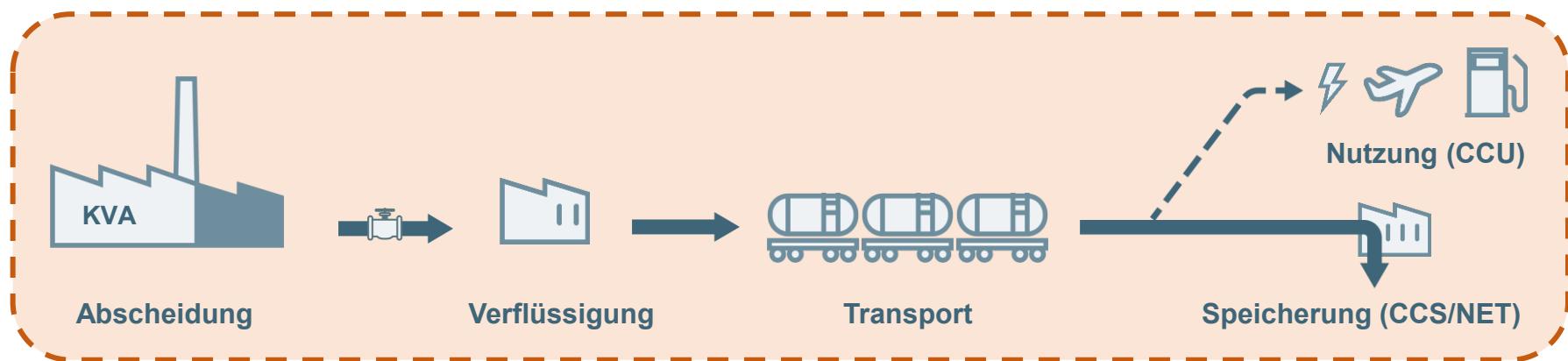


**Gestehungskosten gesamt: rund 360 CHF/t<sub>CO<sub>2</sub></sub> physisch gespeichert**  
grössere Unsicherheiten bei Transport und Speicherung

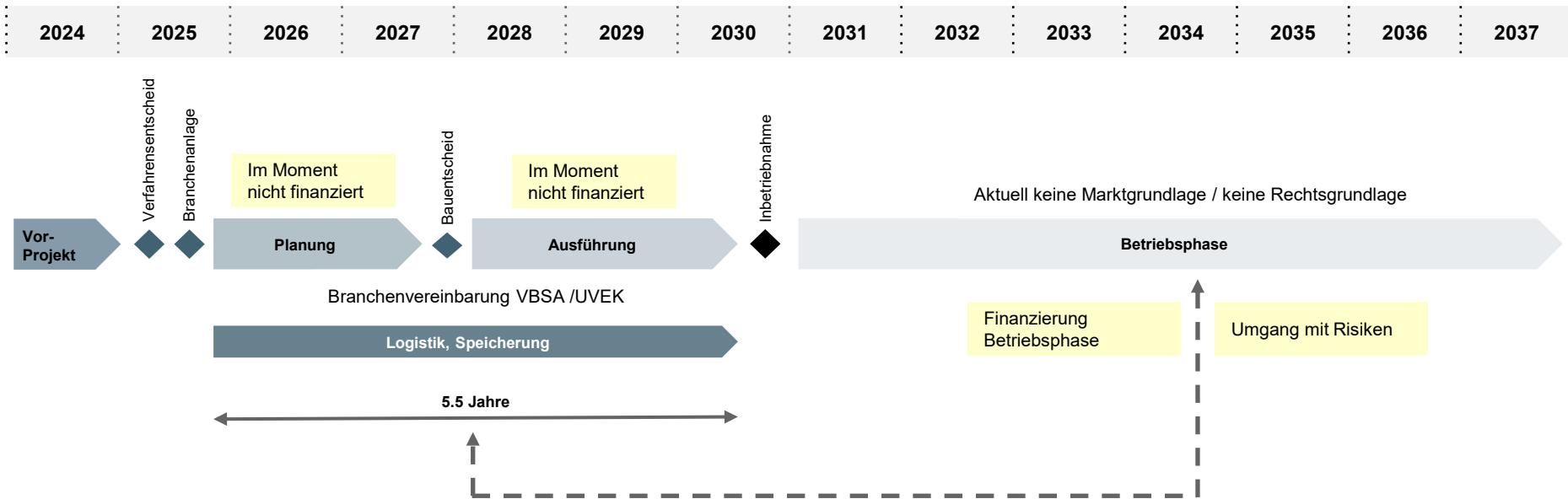
# Zeitschiene gemäss Vorprojekt



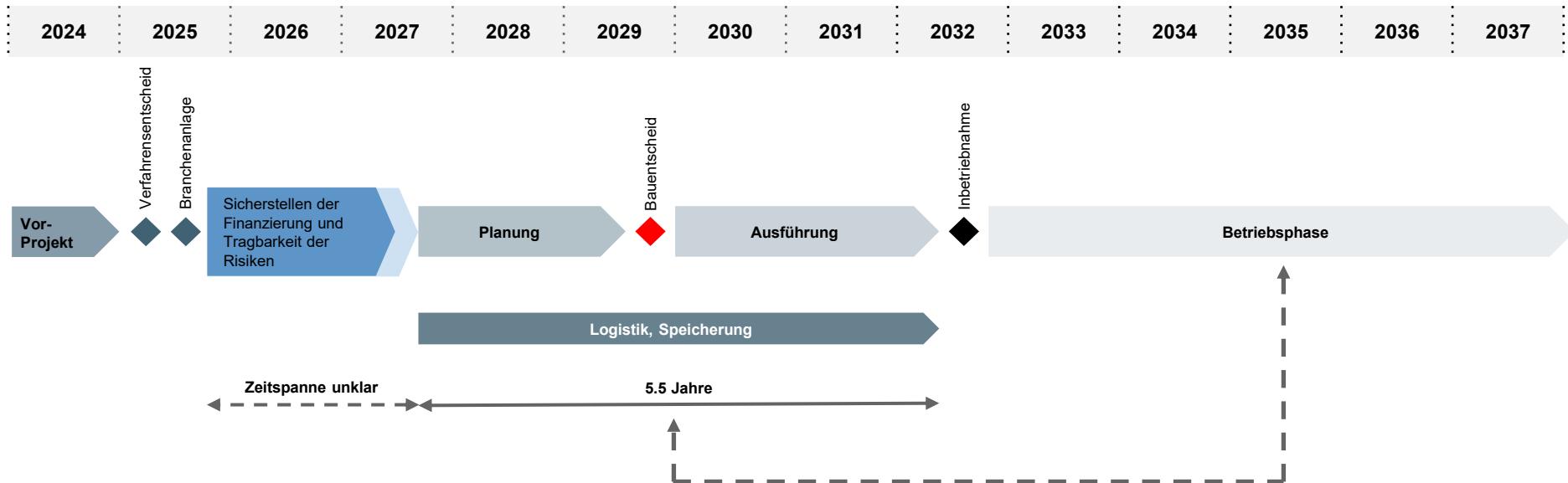
# Finanzierung, Einordnung, Ausblick



# Termine und Herausforderungen



# Termine und Herausforderungen



- Finanzierung Planung offen
- Bauentscheid und Vertragsabschlüsse (Logistik, Speicherung) erst möglich, wenn Finanzierung Betrieb sichergestellt

# Entwicklung Finanzierungslösung ist komplex

Stakeholder

Verband

Kantone  
/ Städte

Betreiber

Politik

Preis-  
überwacher

Bund

WEKO

Volk

Erstanlage vs. Rollout?

biogen vs. fossil?

Marktkehricht vs.  
Siedlungsabfall

zu definieren

Entwicklung Finanzierungslösung

Genehmigungs-  
Prozesse  
Betreiber

Anforderungen

CAPEX und OPEX

verursachergerecht

keine Marktverzerrung

Planbarkeit  
Verbrennungsgebühren

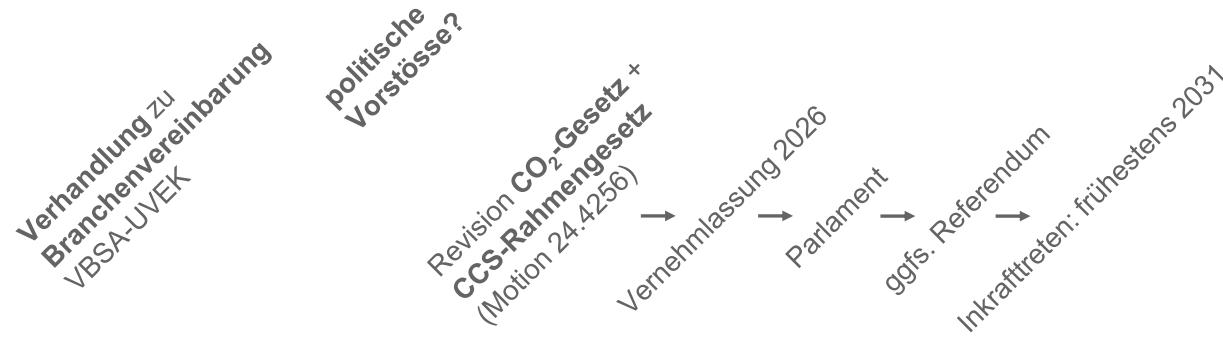
Risiken abgesichert

Mittelflüsse rechtzeitig

Gesetzliche Grundlage

## Entwicklung Rahmenbedingungen Finanzierung

VBSA, Bund,  
Politik



## CCS Linth on hold

**Planung schwierig:** unklar, wann Rahmenbedingungen stehen – aber **wir machen weiter!**

**ZAR CO<sub>2</sub>  
Kompetenz-  
zentrum**

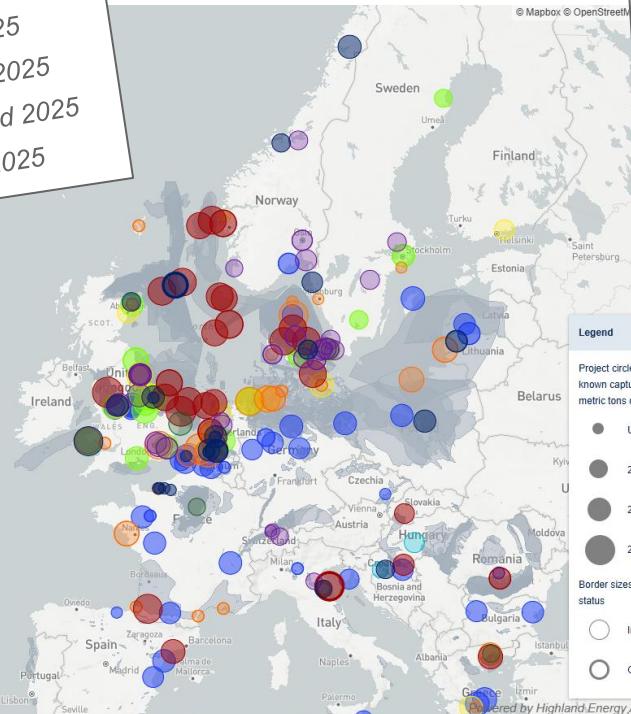
- **Pilotanlage HPC KEZO**
- **Know-How von Projekten im Ausland**
- **Unterstützung Projekte Schweiz**
- **Weiterbearbeitung einzelner Themen (v. a. zu Logistik, Umwelt, Abscheidung)**

# Blick ins Ausland

## CC-Projekte bei KVA in Europa, in Betrieb oder FID

- CCU AVR Duiven NL (60 kt/a) – in Betrieb seit 2019
- CCU Twence NL (100 kt/a) – in Betrieb seit 2025
- CCU Rakkestad NO (10 kt/a) – in Betrieb seit 2025
- CCS Oslo Celsio NO (360 kt/a) – Bauentscheid 2025
- CCS Encyclis UK (370 kt/a) – Bauentscheid 2025

sind wir Vorreiter? oder müssen wir eher aufpassen, dass wir den Anschluss nicht verpassen?



<https://stephenlee.github.io/catf-ccus/#/geomapmena>

## Beispiele Förderungen Projekte:

- NO:** Longship-Projekt als 'Kickstart'  
Beispiel: KVA Oslo Celsio Hafslund (350 kt/a)
- Staatl. Förderung 350 Mio. + Oslo 200 Mio. CHF

- SE:** Förderprogramm  
Beispiel: Stockholm Exergi (800 kt/a)
- Staatl. Unterstützung 1.6 Mrd. CHF
  - EU-Unterstützung 170 Mio. CHF

- DK:** grosse Fördertöpfe für CCS (3.5 Mrd.)  
Beispiel: Ørsted Kalundborg Projekt (430 kt/a)
- Staatl. Unterstützung ca. 1 Mrd. CHF

 **Die Bundesregierung**  
**In Kraft getreten**  
**Weg frei für die Speicherung von Kohlendioxid**  
 Zum Erreichen der Klimaziele und für den Industriestandort Deutschland ist es notwendig, in einigen Bereichen die Speicherung von CO<sub>2</sub> im Boden zu erlauben. Die Novelle des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes ist am 28. November 2025 in Kraft getreten.  
 Freitag, 28. November 2025  
 © 2 Min. Lesedauer

# Auch die Schweiz ist aktiv

## 24.3958 INTERPELLATION

Solidarische Finanzierung von Carbon Capture auf Kehrichtverbrennungsanlagen

Eingereicht von:



GIROD BASTIEN  
Grüne Fraktion  
GRÜNE Schweiz

Übernommen von:

TREDE ALINE

Einreichungsdatum:

23.09.2024

Eingereicht im:

Nationalrat

Stand der Beratungen:

Stellt sich

## 24.4256 MOTION

Nationale Regelung zu Abscheidung, Transport und Speicherung von CO2

Eingereicht von:

KOMMISSION FÜR UMWELT, RAUMPLANUNG UND ENERGIE  
STÄNDERAT

Berichterstattung:

DE MONTMOLLIN SIMONE, MÜLLER DAMIAN,  
MÜLLER-ALTERMATT S

Einreichungsdatum:

11.10.2024

Eingereicht im:

Ständerat

Stand der Beratungen:

Überwiesen an den Bun

Medienmitteilung | Veröffentlicht am 3. September 2025

## Schweiz unterschreibt Vereinbarungen mit Dänemark zur Speicherung von CO2

Bern, 03.09.2025 — Die Schweiz hat mit Dänemark am 3. September 2025 zwei Vereinbarungen unterzeichnet, die den Export und die dauerhafte Speicherung von Schweizer CO2 in Dänemark ermöglichen. Zudem dienen sie als Basis für eine weitergehende Zusammenarbeit im Bereich der Negativemissionstechnologien. Dänemark ist nach Norwegen das zweite Partnerland der Schweiz für die CO2-Speicherung. Der Bundesrat hatte diese Vereinbarungen zwischen der Schweiz und Dänemark bereits am 27. August 2025 genehmigt.

Veröffentlicht am 22. November 2023

## Der Bundesrat schafft die Grundlage für den Export von CO2 zur Speicherung im Meeresboden

Bern, 22.11.2023 — Der Bundesrat hat an seiner Sitzung vom 22. November 2023 beschlossen, die Änderung von 2009 des Londoner Protokolls zu ratifizieren. Ab 2024 ist es möglich, CO2-Speicherung im Meeresboden ins Ausland zu exportieren.

Medienmitteilung | Veröffentlicht am 17. Juni 2025

## Bundesrat Rösti unterschreibt Abkommen mit Norwegen zur Speicherung von CO2

Bern, 17.06.2025 — Im Rahmen seines Arbeitsbesuchs in Norwegen vom 16. und 17. Juni 2025 hat Bundesrat Albert Rösti mit dem norwegischen Energiminister Terje Aasland ein Abkommen zur Speicherung von CO2 unterzeichnet. Damit kann Schweizer CO2 in Norwegen gespeichert werden. Auch können Negativemissionen zwischen den zwei Ländern staatlich anerkannt werden. Es handelt sich um ein Klimabündnis, das die Klimaübereinkommen von Paris und die Zielvorgabe der Schweiz für 2050 unterstützen.

Medienmitteilung | Veröffentlicht am 12. September 2025

## 25.4142 INTERPELLATION

Gebührenexplosion bei Abfallsäcken durch CO2-Abscheidung in KVA

Eingereicht von:



BÜRGI ROMAN  
Fraktion der Schweizerischen Volkspartei  
Schweizerische Volkspartei

Einreichungsdatum:

24.09.2025

Eingereicht im:

Nationalrat

Stand der Beratungen:

Stellungnahme zum Vorste

## 25.1041 ANFRAGE

Carbon Capture and Storage (CCS)-Potenzial ist kleiner als gedacht. Kein Joker für die Schweizer Klimapolitik

Eingereicht von:



SCHLATTER MARIONNA  
Grüne Fraktion  
GRÜNE Schweiz

Einreichungsdatum:

24.09.2025

Eingereicht im:

Nationalrat

Stand der Beratungen:

Erledigt

Besten Dank für die Aufmerksamkeit!

