

ZAR CO₂ Kompetenzzentrum KVA Linth



kva linth
energie + recycling

VBSA-Klimafonds-Event 2025

St. Ursanne

12.12.2025

Einführung (WF)

Technische Erkenntnisse Arbeitspakete

Umwelt, Gesundheit, Bewilligung Aminwäsche (SR)

Abscheidung (DM)

Verwendung (DM)

Logistik & Speicherung (CS)

Lebenszyklusanalyse (CS)

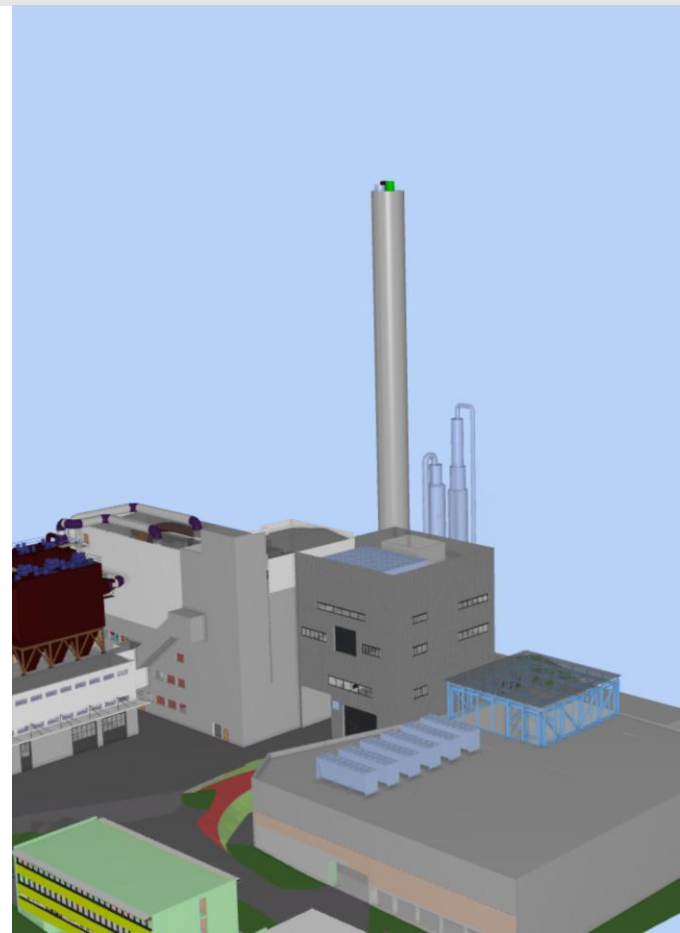
Zwischen-Fragerunde

Projekt CCS Linth (WF)

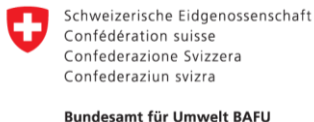
Finanzierung (WF)

Einordnung und Ausblick (WF)

Diskussion



Finanzierung 2022-2025 (3.8 Mio CHF):



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 CO₂ Kompetenzzentrum



Stefan Ringmann

Leiter Technik / Verfahren KVA
Linth
Wiss. MA Kompetenzzentrum



Dr. Cinia Schriber

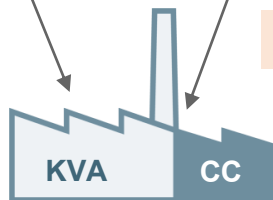
Projektleiterin CO₂
Kompetenzzentrum

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

2.3 Optimierung AGR

4.1 Wärmeintegration

2.3 Verfahrensmonitoring



Abscheidung

2.2 Umweltmonitoring

→ Die Arbeitspakete sind abgeschlossen,
der Abschlussbericht ist in Arbeit

Transport

6 internationale Logistik

5 Vorprojekt

7 Rechtliches / Bewilligung

8 Finanzierung

9 Kommunikation

4.2 Verwendung

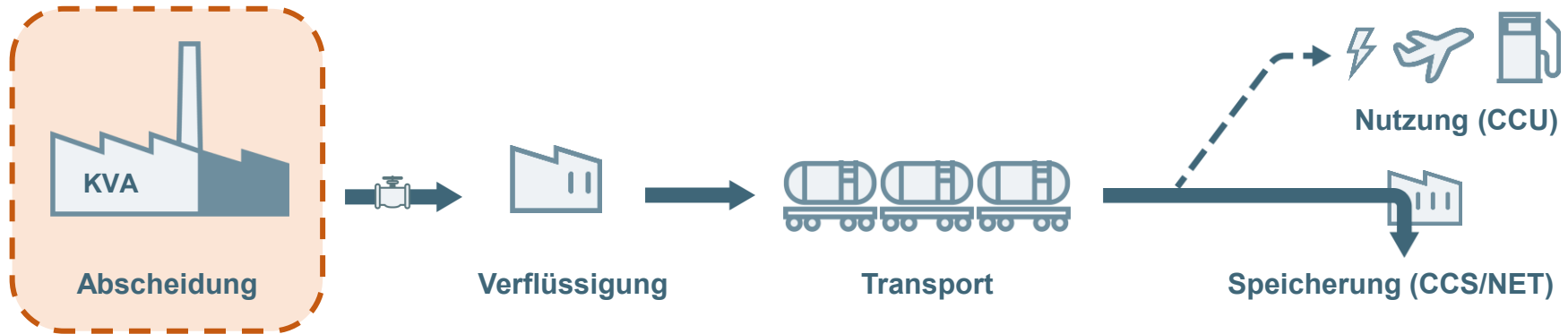


Nutzung (CCU)

Speicherung (CCS/NET)

4.3 Lagerung

Umwelt / Gesundheit Aminwäsche



ausreichend geklärt
offene Fragen
noch nicht geklärt

Zum Beispiel:

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

Emissionsgrenzwerte

5 mg/Nm³ (LRV)

Keine Grenzwerte im
Kontext CC definiert

Emissionsmonitoring

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.)

Emissionsprognose
Garantien Lieferant

Abfälle / Abwasser

KVA mit Aminwäsche
zur CO₂-Abscheidung

GSchV, Handling /
QM Waschflüssigkeit

Boden

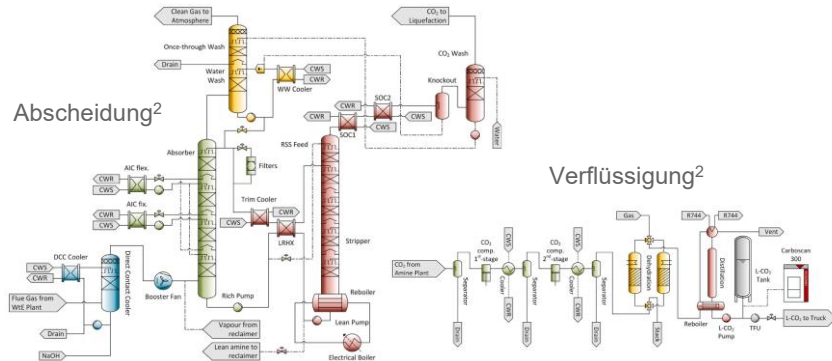
Wasser

- ZAR war Projektpartner im Projekt ACCEPT



- **Aminwäsche-Pilotanlage** in der KVA ARC in Kopenhagen
- **Online- und Offline-Abgasanalytik, Monitoring Solvent**
- **Hauptresultate** (für MEA kürzlich publiziert¹)
 - sehr hohe Emissionen gemessen bei allen Kampagnen (Amine, Nitrosamine bei CESAR-1, Ammoniak bei MEA ohne saure Nachwäsche). **MEA-Emissionen** im Mittel **35 mg/Nm³**
 - hoher MEA-Verbrauch
 - Grund für die hohen Emissionen nicht klar - Hypothese: feine Partikel/Aerosole (SO₃?) im Abgas unterliegen Wachstum im Absorber. Ähnliches Phänomen auch bei Pilotierung Twence² und weiteren Anlagen beobachtet

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



Abscheidung²



Reclaimer²

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

² Skylogianni, GHGT-17 conference, Oct 2024, Calgary

MEA-Pilotversuch ARC Kopenhagen¹

Parameter	Unit	1 st Measurement	2 nd 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 ³ , dry	42	29 !
[...]			
TONO	mmol/Nm ³ , dry	0.0014 ?	<0.0007
NDELA	mg/Nm ³ , dry	<0.00009	<0.00005
NDMA	mg/Nm ³ , dry	<0.0002	<0.0001
NMOR	mg/Nm ³ , dry	<0.0002	<0.0001
NMEA	mg/Nm ³ , dry	<0.00009	<0.00005
NPYR	mg/Nm ³ , dry	<0.00009	<0.00005
NDEA	mg/Nm ³ , dry	<0.00009	<0.00005
NPIP	mg/Nm ³ , dry	<0.00009	<0.00005
NDPA	mg/Nm ³ , dry	<0.00009	<0.00005
NDBA	mg/Nm ³ , dry	<0.00009	<0.00005
Nitroso-HeGly	mg/Nm ³ , dry	0.00032	<0.0001

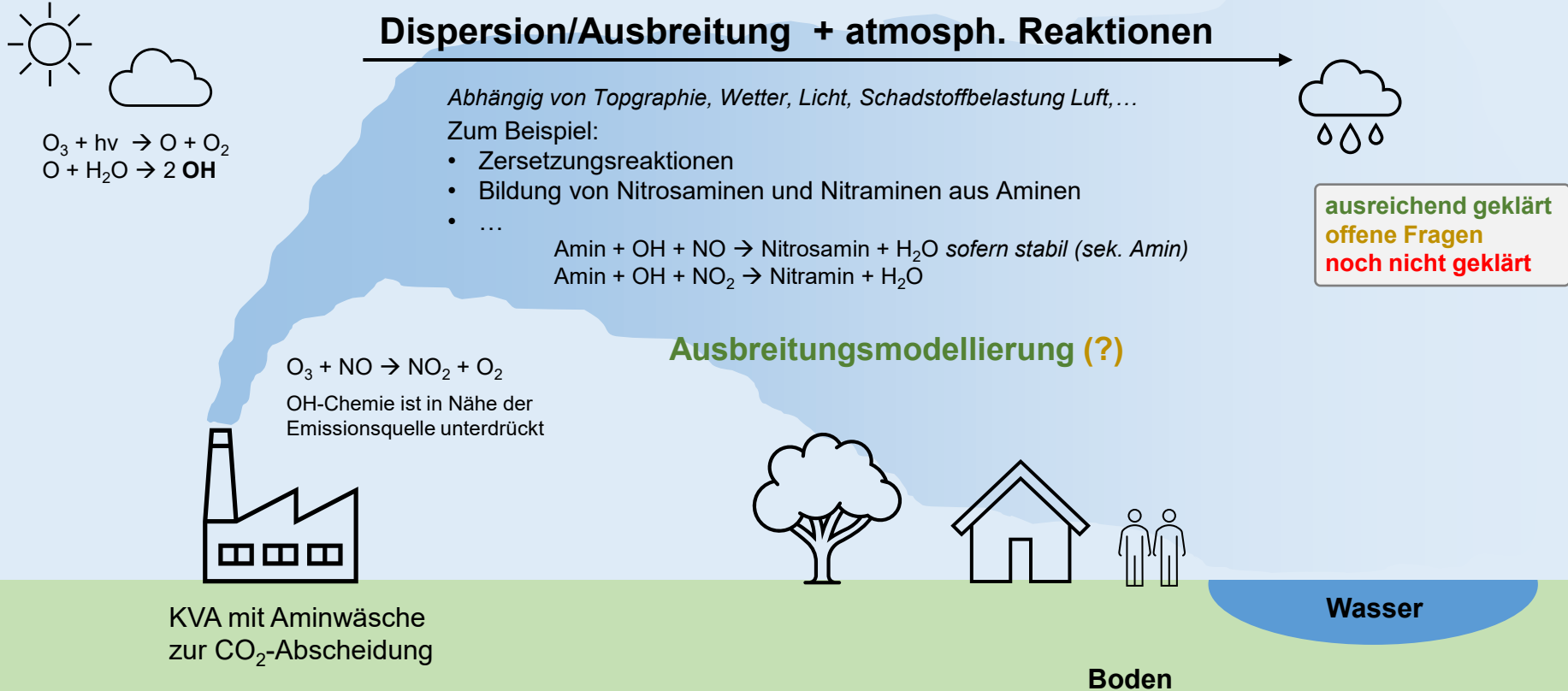
¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894725083044>

Abluftmessungen (Vakuumpumpe) KVA Linth²

05.08.2025	Nitrosamine, nach Vakuumpumpe (FLUWA)	abs. Menge	Konzentration
Kürzel	Verbindung	µg	µg/m ³ n.t.
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

² 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 tiefere BG, sind aber nicht akkreditiert.



- **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 NO_x und $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} 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

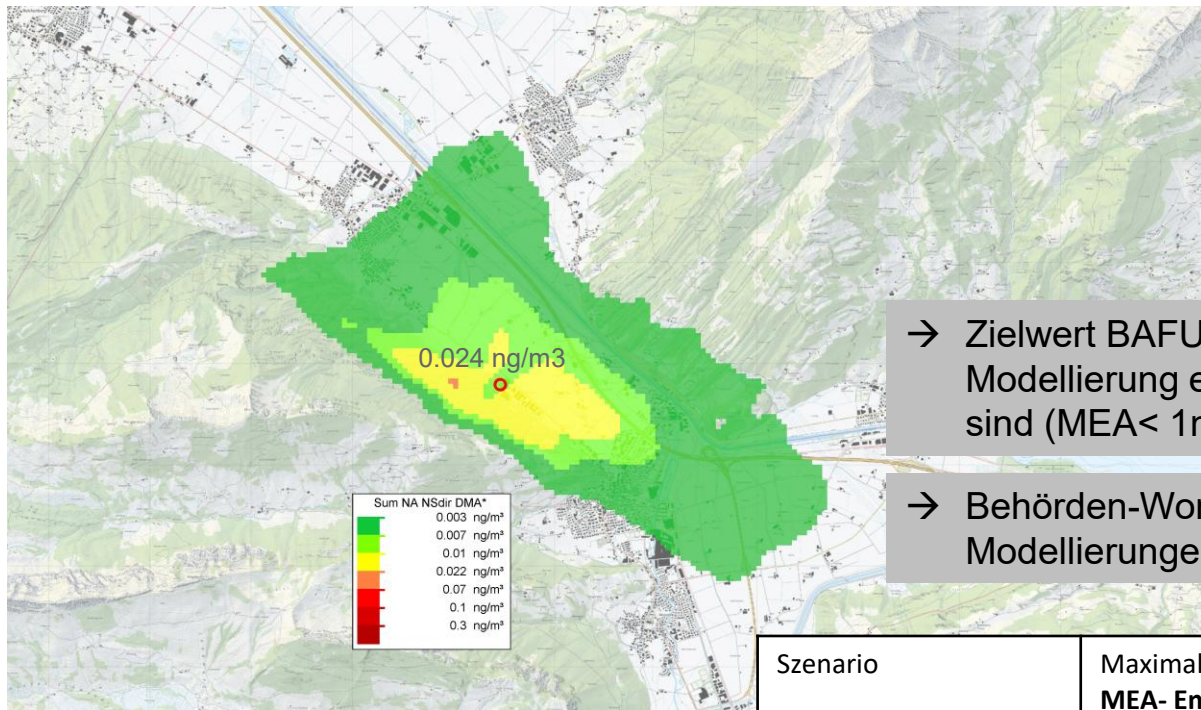


Expert Review by
Prof. Emeritus Claus J. Nielsen and Prof. Dr. Armin Wisthaler

1. Introduction

We, the undersigned experts, have conducted an in-depth evaluation of the study titled "Entwicklung eines Modells zur Dispersionsmodellierung von Aminin und deren Zersetzungsprodukten aus der 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 CO_2 capture.



Summe Nitramine + Nitrosamine
Jahresmittelwert für 1 mg/Nm³ MEA-
Emissionen

Auch zeitliche Verläufe an definierten
Rezeptorpunkten rechenbar

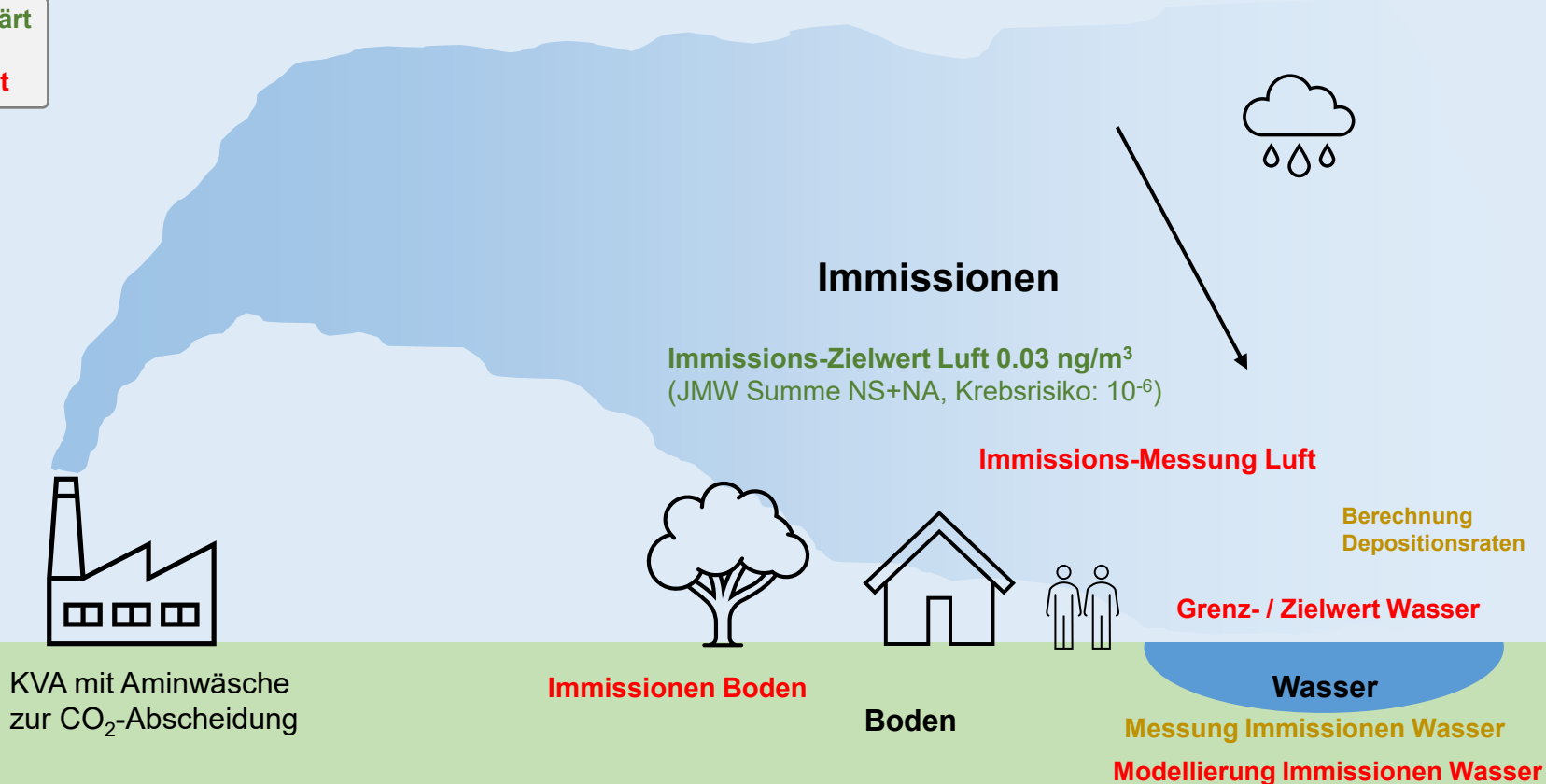
→ Zielwert BAFU (0.03 ng/m³) wird gemäss
Modellierung eingehalten, wenn die Emissionen tief
sind (MEA < 1 mg/Nm³)

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

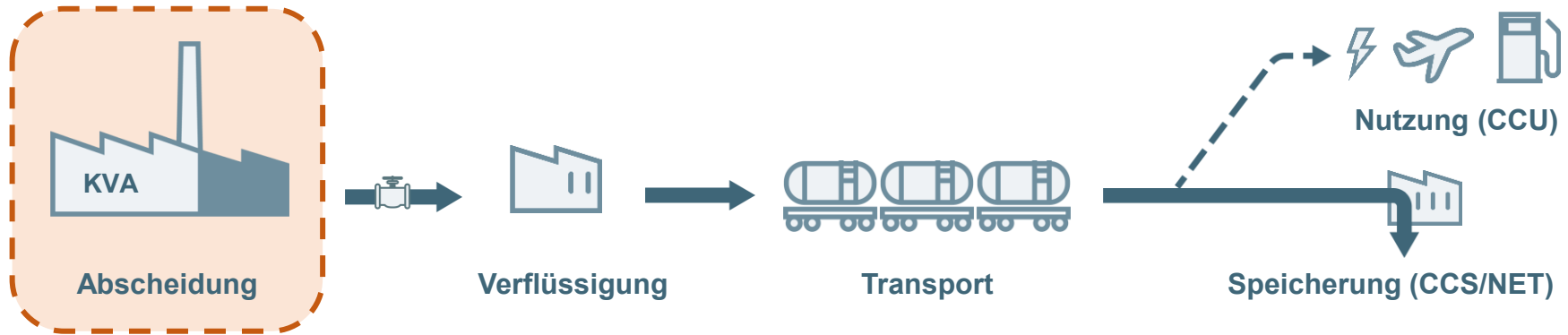
vorläufige Ergebnisse

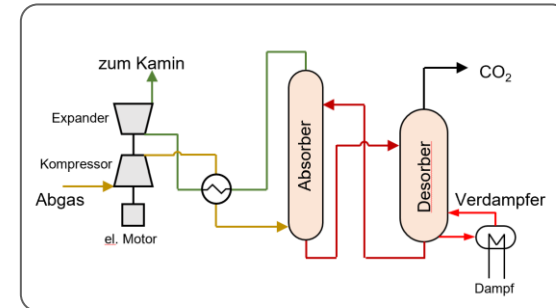
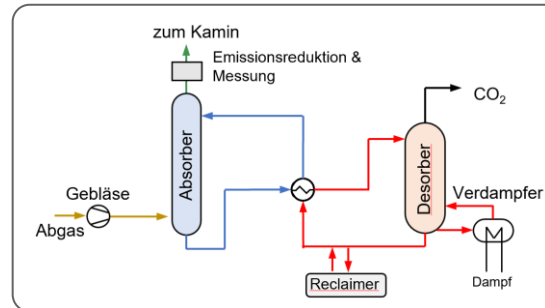
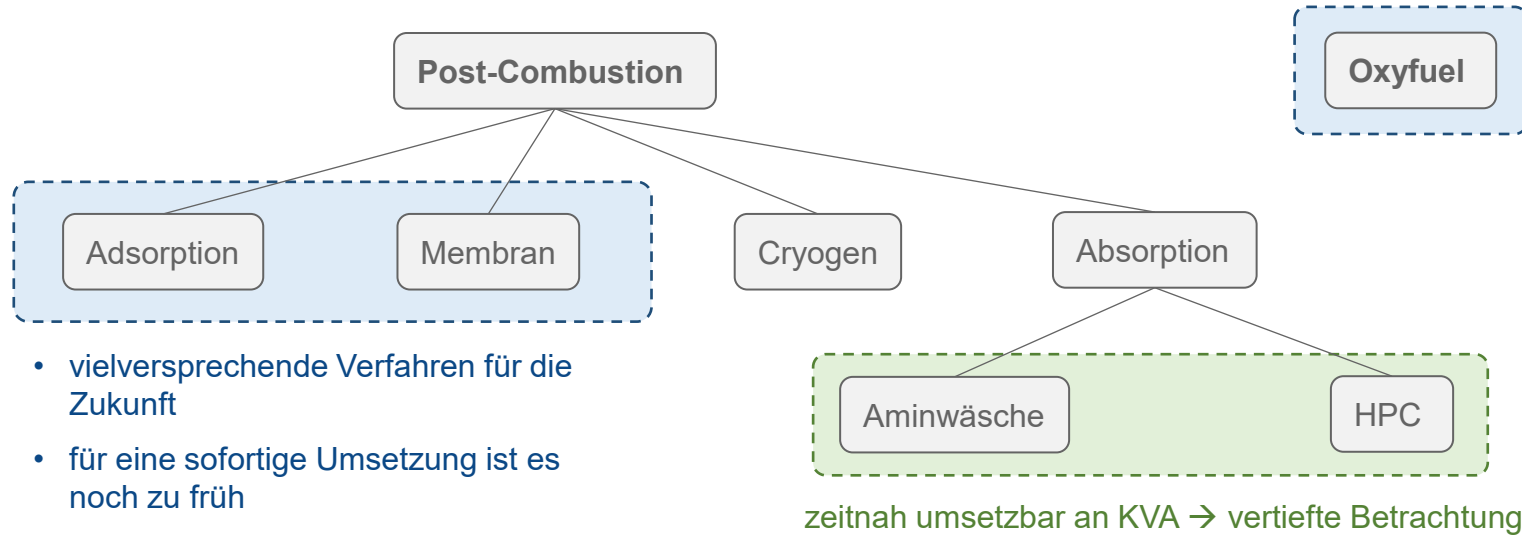
Szenario	Maximaler JMW bei MEA- Emissionen 1 mg/Nm ³	Maximaler JMW bei MEA- Emissionen 5 mg/Nm ³
Nitramine aus MEA	0.0081 ng/m ³	0.041 ng/m ³
Nitrosamine direkt	0.016 ng/m ³	0.016 ng/m ³
NA+NDdir+DMA*	0.024 ng/m³	0.057 ng/m³

ausreichend geklärt
offene Fragen
noch nicht geklärt



Verfahrensmonitoring





1) Technologische Reife / Referenzen

15 %

2) Investitionskosten (CAPEX)

Kosten 24 %

3) Betriebskosten (OPEX)

4) Umwelt- und Bevölkerungsschutz

Umwelt + Gesundheit
Bewilligung 32 %

5) Mitarbeiterschutz

6) Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz

7) Fernwärmeabgabe (ohne Kosten)

8) Stromabgabe (ohne Kosten)

Energie / Integration KVA 11 %

9) Platzbedarf

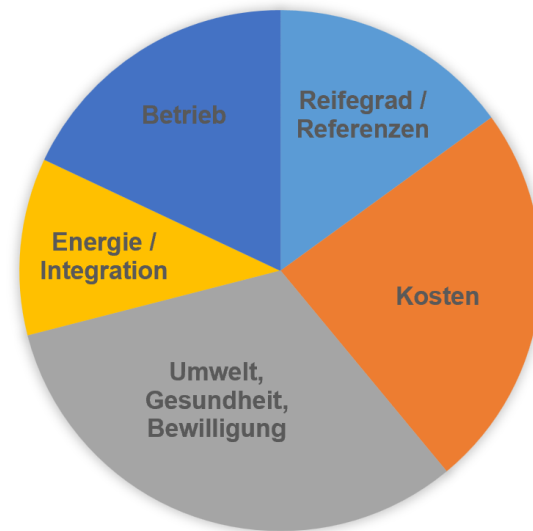
10) Art des Betriebs

11) Betriebsmittel (Solvent, H₂O,...)

Betrieb 18 %

12) Flexibilität / Teillastverhalten

13) Abscheidegrad



die Betrachtungen gelten für die Aminwäsche mit MEA und HPC ohne Additive und sind spezifisch für die 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, H₂O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

Amin

- **>>100 Anlagen** Petrochemie/Industrie (z.B. 'natural gas sweetening')
- **Transfer andere Anwendungen → KVA:** Herausforderung: empfindlich auf O₂ 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

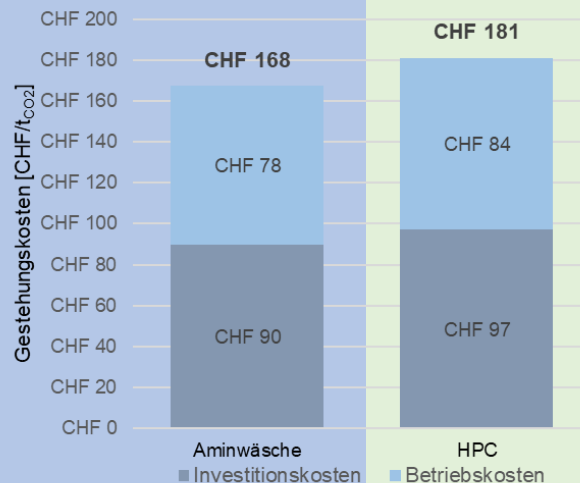
- **>>100 Anlagen** Petrochemie/Industrie (z.B. Ammoniakproduktion)
- **Transfer andere Anwendungen → KVA:** chemisch einfacher, da unempfindlich auf O₂; Schadstoffe weniger kritisch, anorganisch. Aber: zusätzliche Verdichtung nötig.
- **Anwendungen Rauchgase:** keine aktuellen Industrieanlagen, nur 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, H₂O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

Amin

HPC



Preisstand Q4 2024, ohne MwSt., kalkulatorischer Zinssatz 4.6 %
Abschreibedauer 25 Jahre
Abscheidung bis und mit Bahnverlad – ohne Transport und Speicherung

Gestehungskosten bei HPC-Verfahren ca. 10-15 CHF/t_{CO2} 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, H₂O,...)
- 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 krebserregenden 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

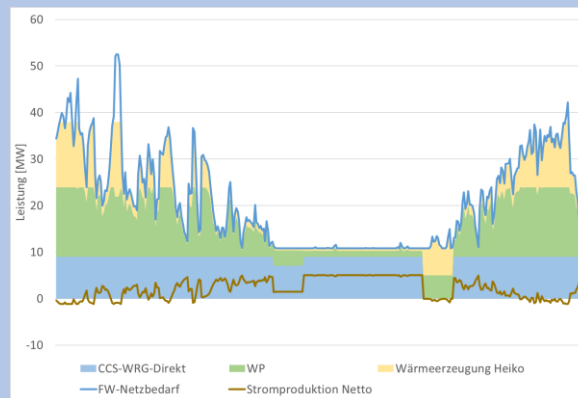
(gilt ohne Additive!)

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, H₂O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

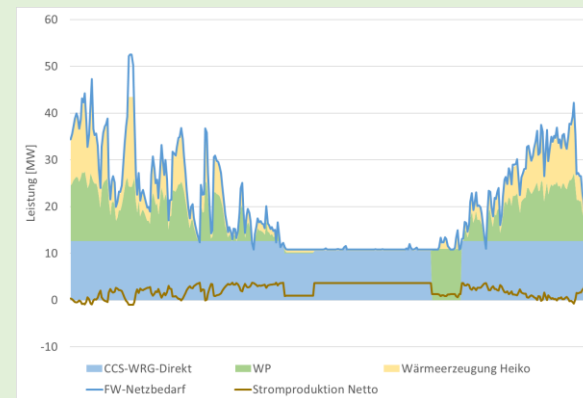
Amin

- **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)



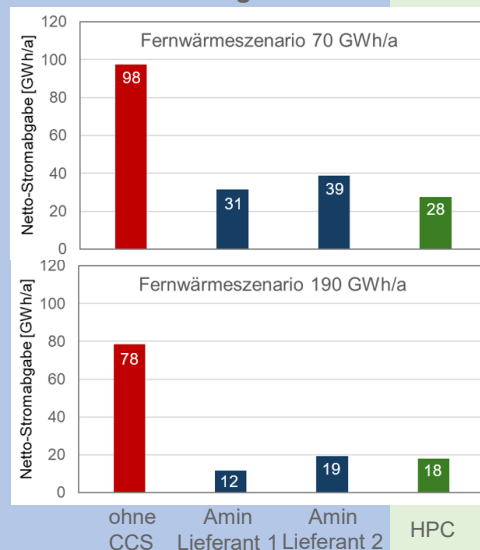
HPC minimal im Vorteil: mehr Wärmeauskoppelung ohne Wärmepumpen möglich.
Wärmepumpen (AWP) sinnvoller nutzbar für Niedertemperatur-Wärme (auch ohne CC).
Maximale Auskoppelung im Vollausbau ähnlich.

- 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, H₂O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

Amin

HPC

Netto-Stromabgabe über ein Jahr



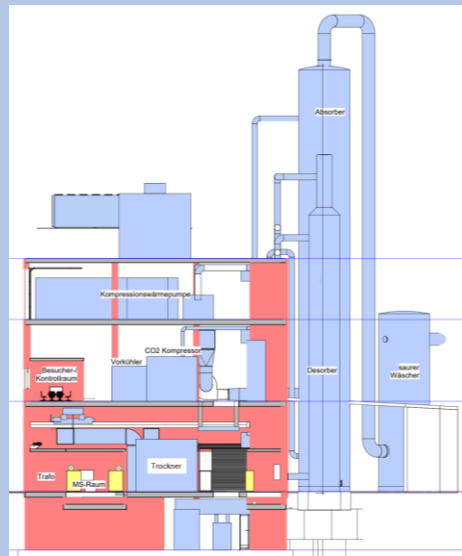
Aminwäsche leicht im Vorteil bei kleinem Fernwärmenetz: ca. 3-9 GWh_{el}/Jahr höherer Stromverkauf (10 GWh_{el}/Jahr Unterschied entsprechen im CH-Strommix (ecoinvent v3.8) etwa 400 t_{CO2}-eq oder 0.3% des abgeschiedenen CO₂)

bei grösserem Fernwärmeausbau identischer Stromverkauf erwartet

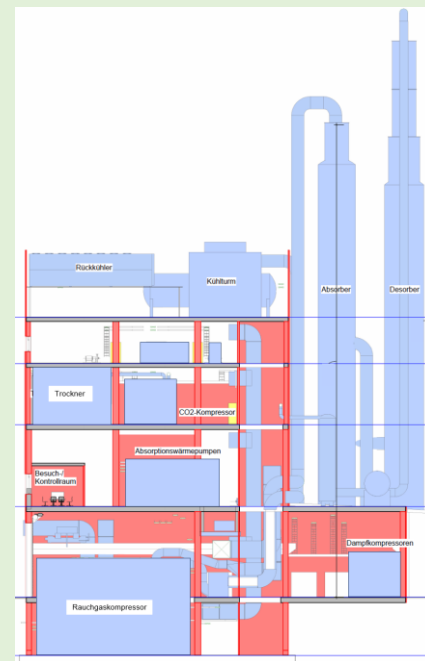
→ Aminwäsche minimal im Vorteil

- 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)

- 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, H₂O,...)
- 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, H₂O,..)**
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad

Amin

- **Verbrauch MEA:** ca. 1-2 kg_{MEA}/t_{CO₂}
- Marktvolumen heute ca. 0.9 Mio. t/Jahr
- fossiler Ursprung
- **Kosten MEA:** ca. CHF 2 pro Tonne abgeschiedenes CO₂ → moderate bis tiefe Sensitivität auf Preisschwankungen MEA
- **Wasserverbrauch** für Rückkühlung ca. doppelt so hoch wie HPC
 - 60'000 m³/a Hybridkühler oder
 - 235'000 m³/a Kühltürme
- **Reclaimer-Abfälle:** Stand heute als Sonderabfall

HPC

- **Verbrauch K₂CO₃:** ca. 0.05-0.15 kg_{K₂CO₃}/t_{CO₂}
- Marktvolumen heute ca. 2 Mio. t/Jahr
- aus Abbau von Kalisalz
- **Kosten K₂CO₃:** ca. CHF 0.2 pro Tonne abgeschiedenes CO₂ → sehr tiefe Sensitivität auf Preisschwankungen K₂CO₃
- **Wasserverbrauch** für Rückkühlung
 - 30'000 m³/a Hybridkühler oder
 - 125'000 m³/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, H₂O,...)
- 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 Comander (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, H₂O,...)
- 12) Flexibilität / Teillastverhalten
- 13) Abscheidegrad**

Amin

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

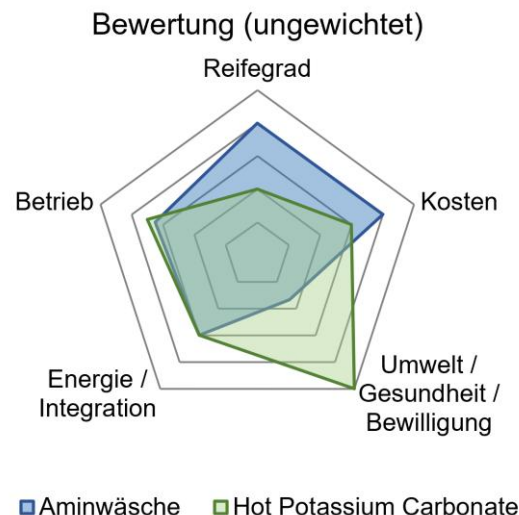
HPC

- **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 CO₂-Menge über das Jahr bei der Aminwäsche evtl. etwas höher → leichter Vorteil

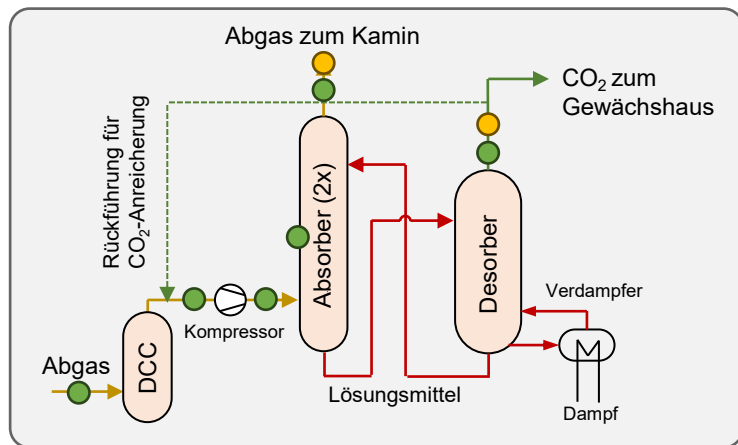
Verfahrensbeurteilung KVA Linth Stand heute

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
Mitarbeiterschutz	10		2	5
Bewilligungsfähigkeit / Akzeptanz	10		1	5
Fernwärmeabgabe (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
Gesamtbewertung			298	359



- 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 CO₂-Sensoren
- Gas-Entnahmestellen mit automatischer Messstellenumschaltung und kontinuierlicher Gasanalyse FTIR + O₂-Sensor

- Lieferant / Lizenzgeber: Sulzer / CATAcarb
- Abgasstrom: 1'000 Nm³/h
- CO₂-Konz. Abgas KVA: 8.8 Vol-% feucht
- Abscheidegrad: ~90 %
- CO₂ für Gewächshaus: ~800 t/a
- Lösungsmittel: K₂CO₃ + Wasser
- Additive (optional): z.B. CATAcarb
- LxBxH: 3 x 3 x 19 m³ + Verdichter
- Integriert in KVA-Leitsystem
- Meilensteine:

Dez 25
Engineering

Aug 26
Fertigung

Okt 26
Montage

Nov 26
IBN

bis 2030
Pilotierung

Finanzierung durch KEZO, Kt. Zürich und Sulzer. Das CO₂-Kompetenzzentrum begleitet das Projekt eng.
Prof. Thes Bähler (Uni Stockholm) als Berater.

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_{CO2}/Jahr**
- Besuch Kompetenzzentrum MTR-Demoanlage (Membran) und Firma Svante (Adsorption)
- Pilotierung Andritz an KVA (Membran)

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

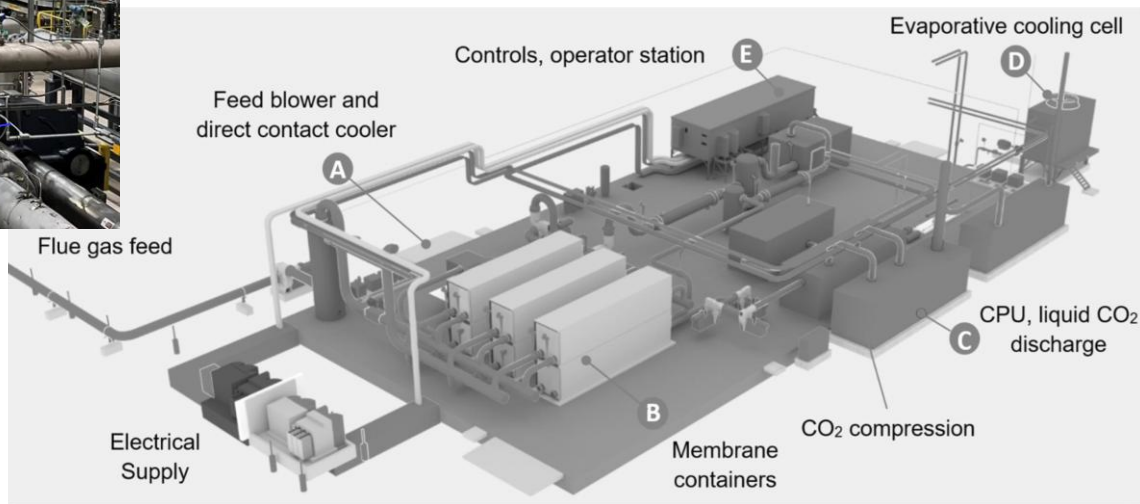
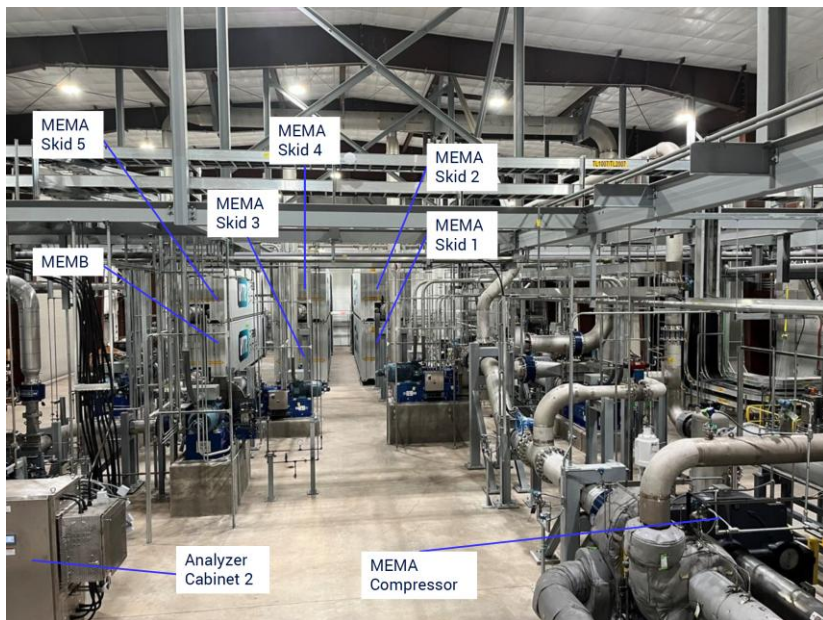
→ was noch fehlt: **Langzeit-Pilotierung** (>2 Jahre) **an KVA-Abgas**, um die Stabilität und Performance der Membranen bzw. Adsorber zu demonstrieren.



Rohbau Gebäude Membran-Pilotanlage MTR
50 kt_{CO2}/Jahr

https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/24CM/24CM_PSCC_5_Freeman.pdf

MTR Membran-Pilotanlage Kohlekraftwerk

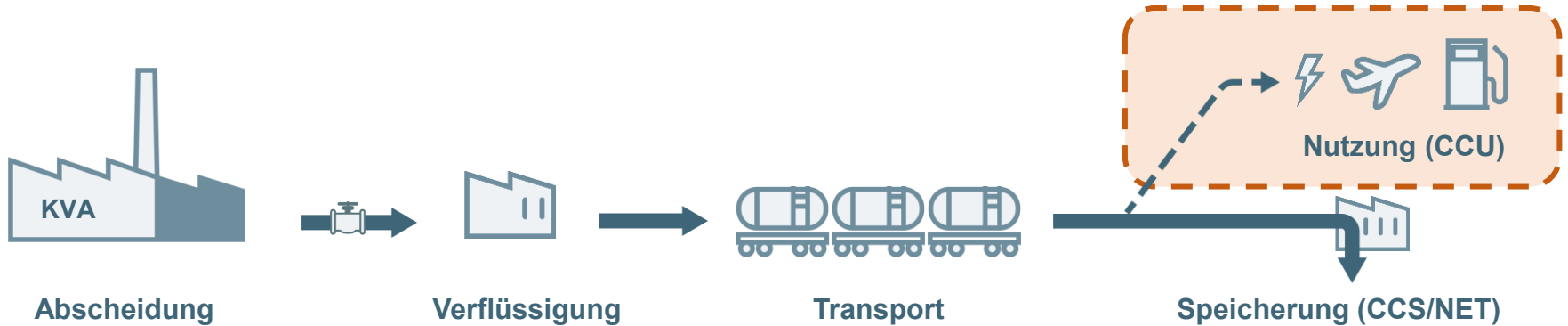


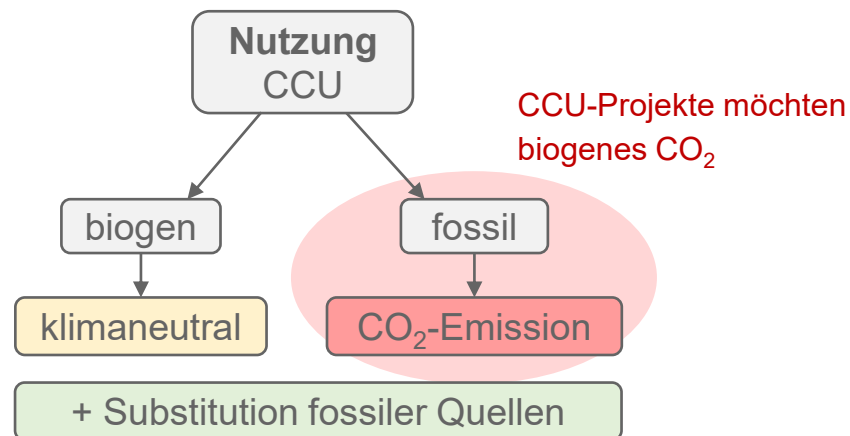
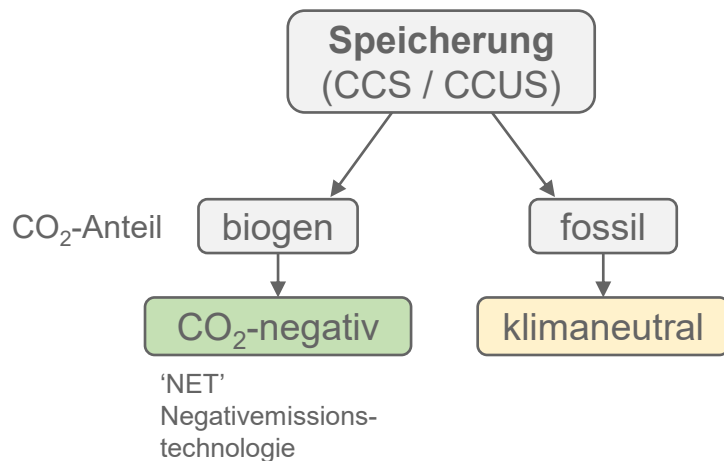
weitere Bilder + Infos:

https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/24CM/24CM_PSCC_5_Freeman.pdf

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5070818

Verwendung





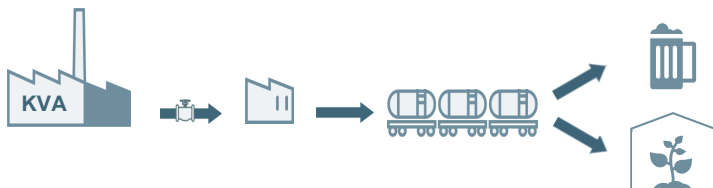
Klimastrategie BAFU plant mit CCS

«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, ...

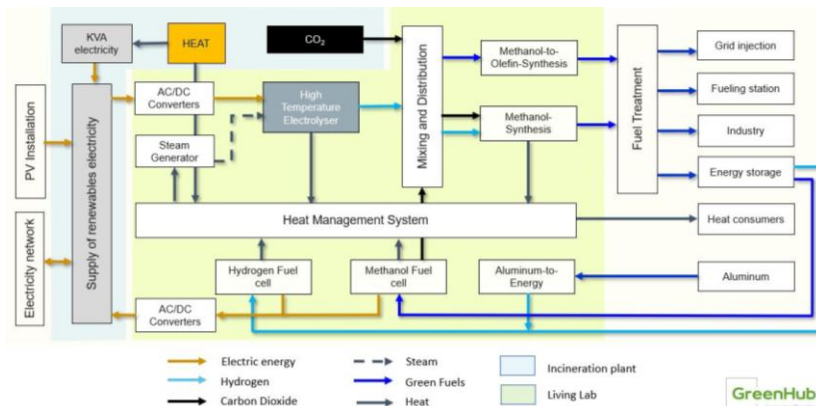
- **Quellen heute:** Wasserstoff-Cracken, Ethylenoxid, natürliche Quellen, Biogas-Anlagen, Ammoniakproduktion
- **Marktvolumen** Schweiz: < 100'000 t/a
- schwankende **Brennstoffzusammensetzung** (Abfall) wird **kritisch** gesehen (Lebensmittel)



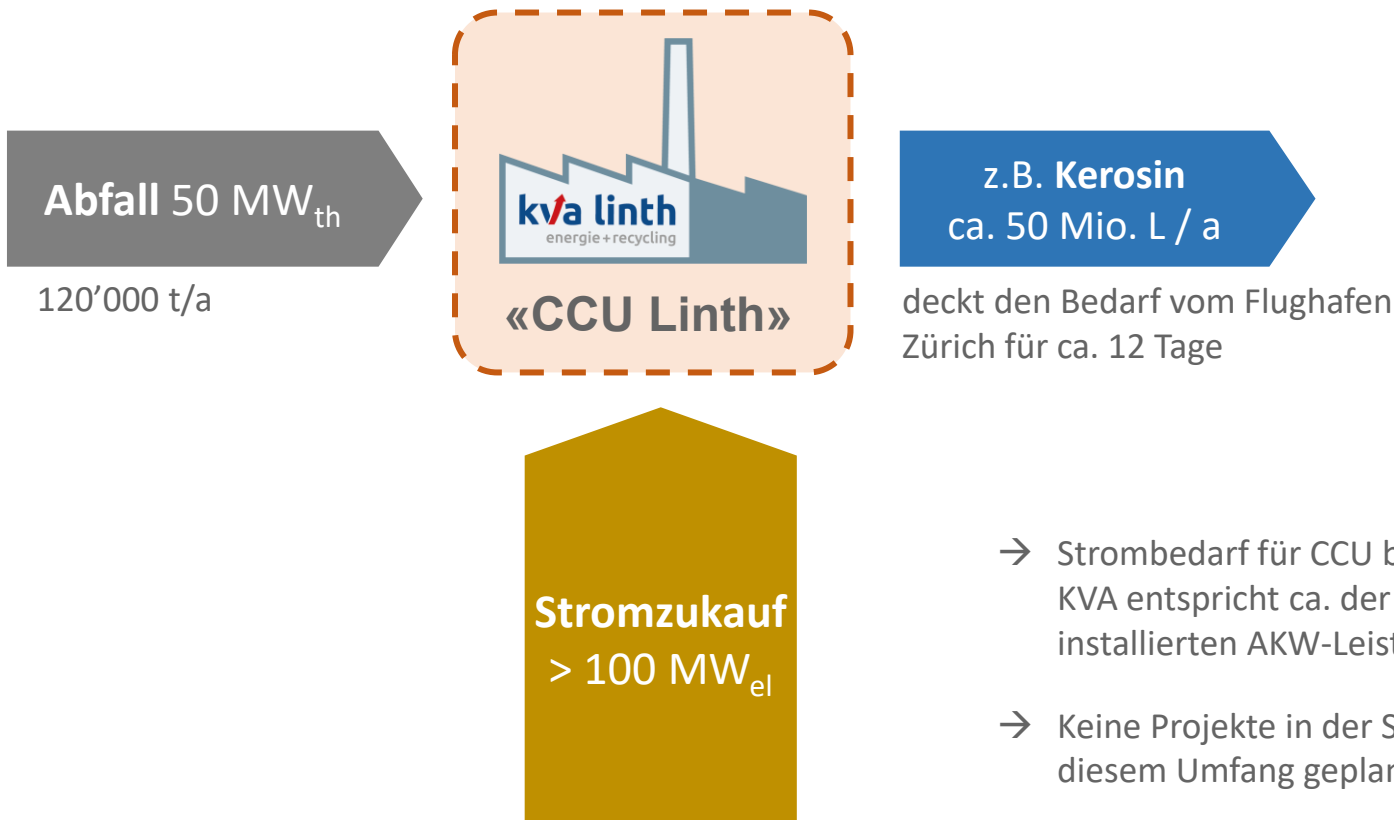
→ nur für Teilmengen / kleine Emittenten

Verwendung für Power-to-X:

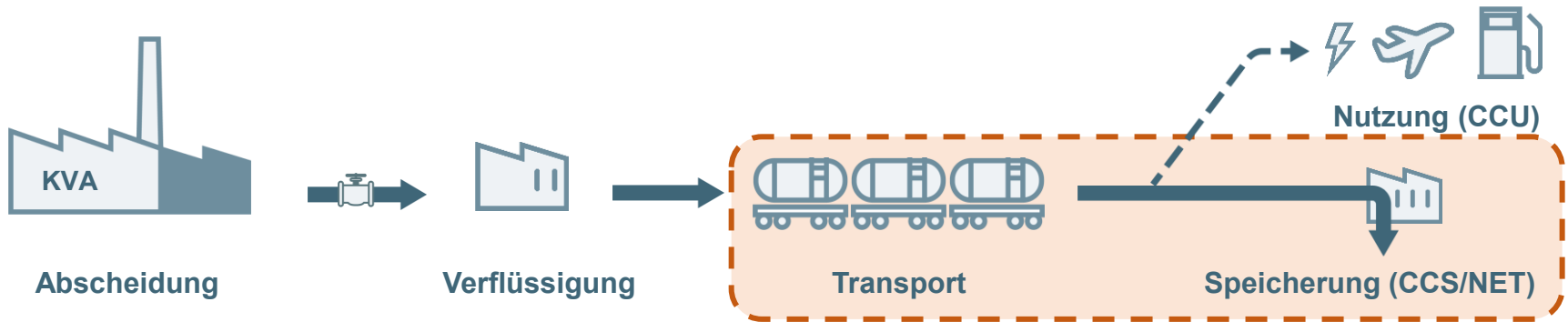
- Produktion von flüssigen oder gasförmigen Brenn- und Treibstoffen, Chemikalien, Kunststoffen,...
- Herstellung von Wasserstoff (Elektrolyse), dann Reaktion mit CO₂ zu Kohlenwasserstoffen
- grosse **aktuelle Forschungsprojekte** dazu:
<https://www.sweet-refuel.ch/>
<https://flagship-greenhub.ch/>



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



Logistik und Speicherung



Ist der lange Transport für die Speicherung sinnvoll?

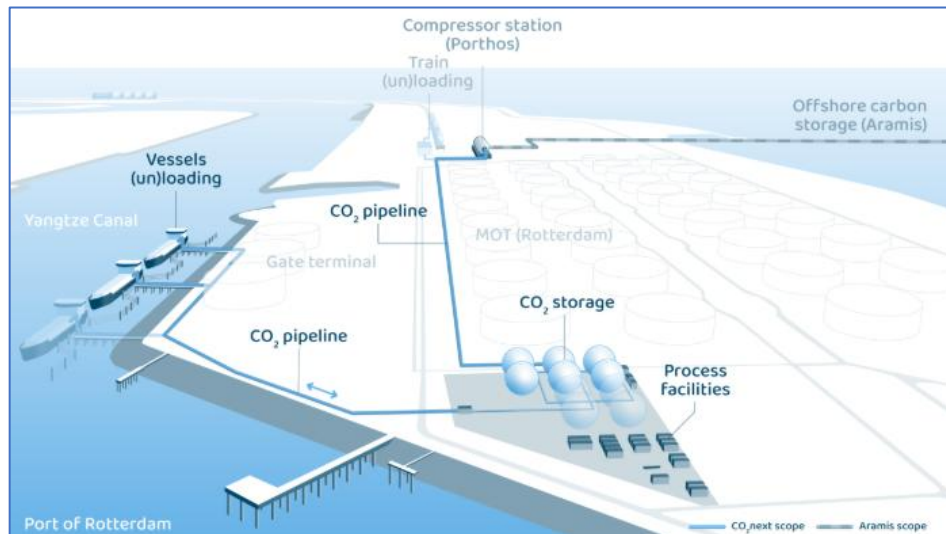
- **Technisch** ist der Transport mit dem Zug **machbar**
Bahnkesselwagen für CO₂ sind seit Jahrzehnten im Einsatz, auch in der Schweiz (z.B. Lonza)
- **Kosten** für Zugtransport sind **hoch**:*
≈ 100 CHF / Tonne CO₂
- **Transportdistanz ist nichts Aussergewöhnliches**
die Ausgangsstoffe (Erdöl) und die daraus hergestellten Produkte haben meist schon einen deutlich längeren Weg hinter sich
- **ökologischer Impact ist moderat**: ca. 4-9% des gespeicherten CO₂ (je nach Lagerort)
- **Langfristig** sollen effizientere **Pipelines** eingesetzt werden → **Pionierprojekte** mit Bahntransport **wichtig**, um Investitionen zu ermöglichen

mögliche Reise eines Kohlenstoffatoms



Im Aufbau (ohne UK): Hubs

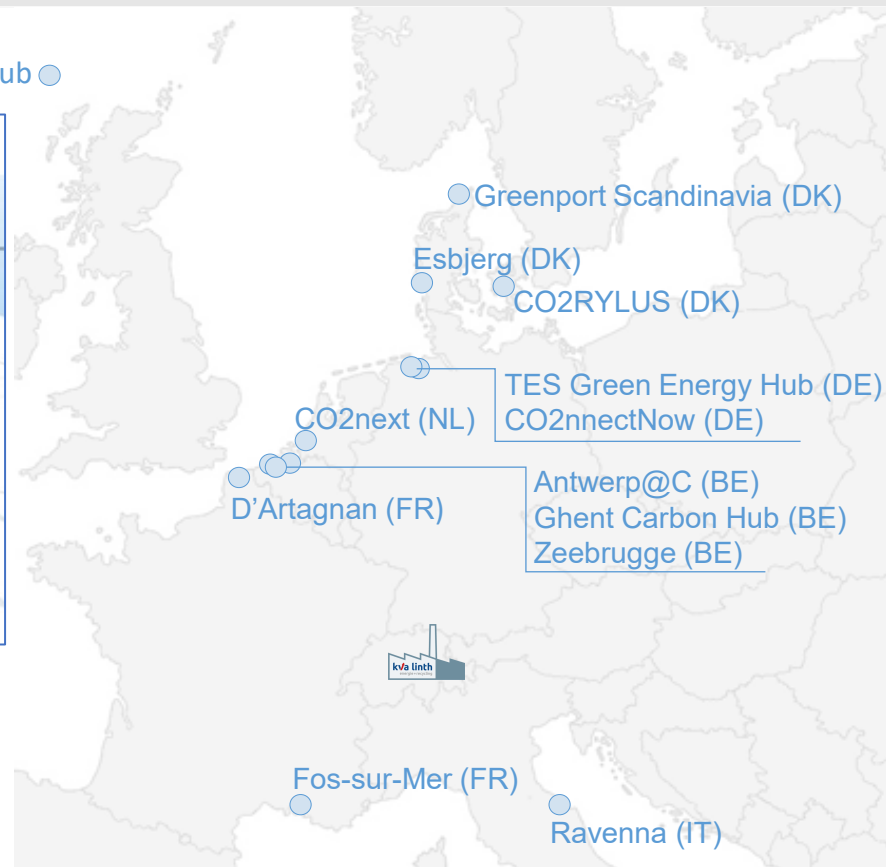
CO2next



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.

Hub ●



Im Aufbau (ohne UK): Hubs und Speicherstätten

Northern Lights



Northern Lights JV has
successfully stored first CO₂

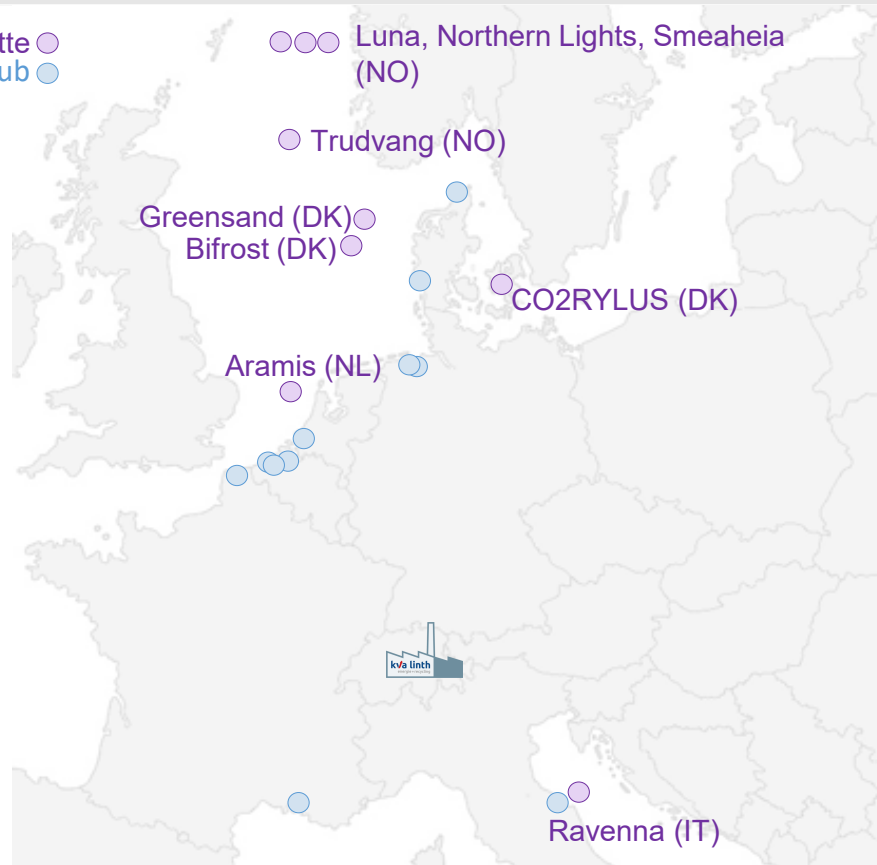
August 25, 2025



Northern Lights JV receives
confirmation of completion

October 30, 2025

Speicherstätte ●
Hub ●



- Erste **kommerzielle** Speicherstätte für CO₂
- Erste CO₂-Injektionen im August 2025
- Seit Oktober 2025 **offiziell in Betrieb**

Montag, 24. November 2025

Schweiz

Neue Zürcher Zeitung

7

Der Kehrichtsack könnte bald viel teurer werden

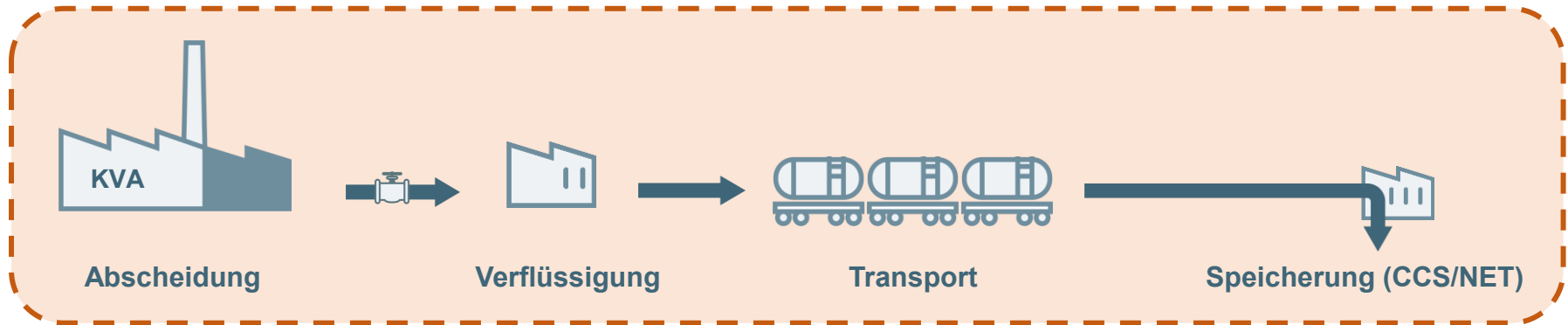
Die Abfallverwerter planen, ab 2030 Müll emissionsfrei zu verbrennen – finanzieren soll das eine neue nationale Klimagebühr

[...] der FDP-Nationalrat Christian Wasserfallen äussert sich skeptisch. «Ich bezweifle stark, dass es Sinn ergibt, CO₂ über Tausende Kilometer mit Dieselschiffen zu transportieren und es dann unter der Nordsee in den Boden zu verpressen.» [...]

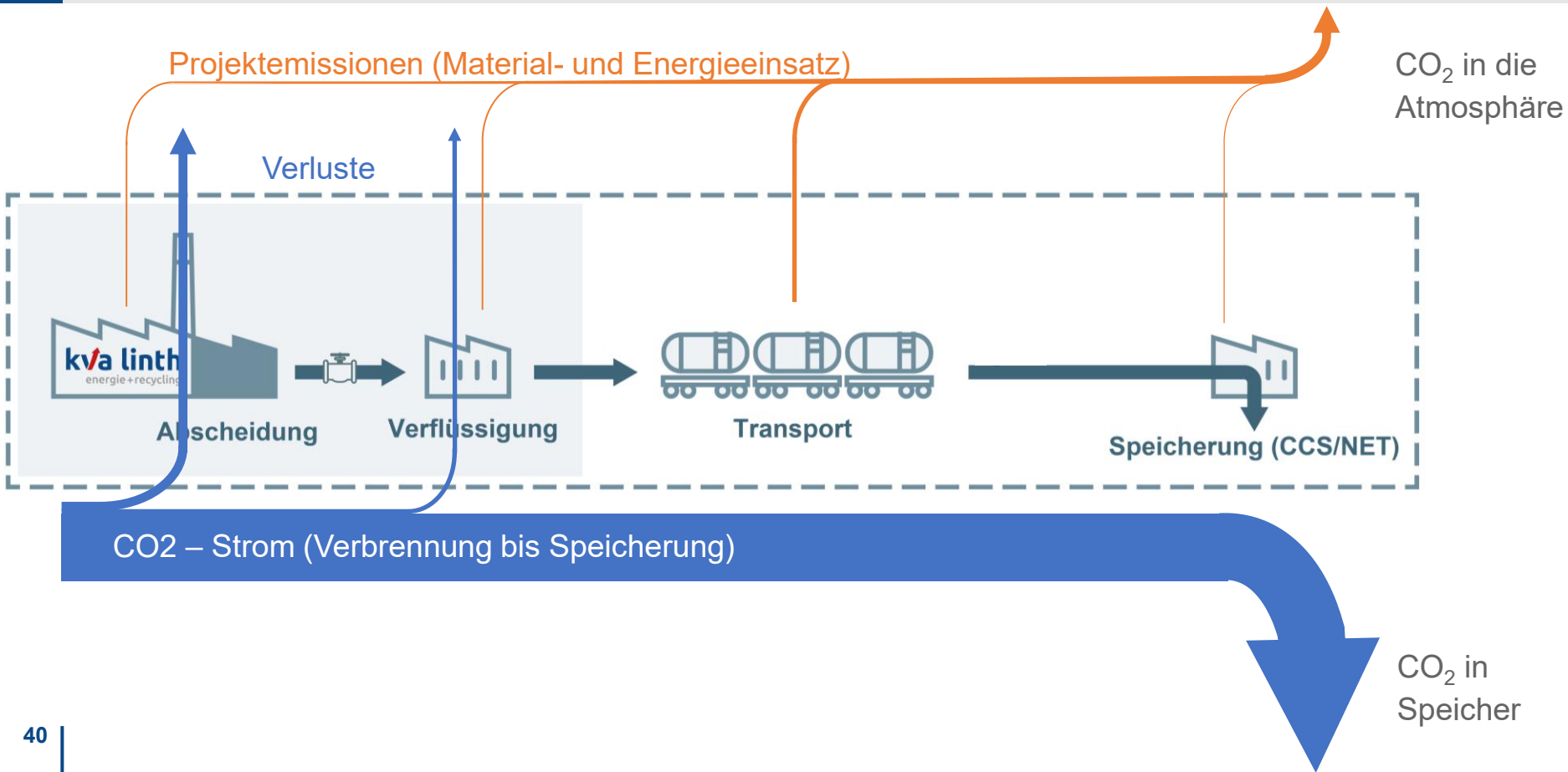
→ wir haben im Rahmen einer detaillierten **Lebenszyklusanalyse** durch die ETH Zürich **wissenschaftlich** abklären lassen, ob die Speicherung von CO₂ der KVA Linth aus klimatischer Sicht Sinn ergibt.

Lebenszyklusanalyse CCS Linth

ETH Zürich, Prof. André Bardow / Julian Nöhl



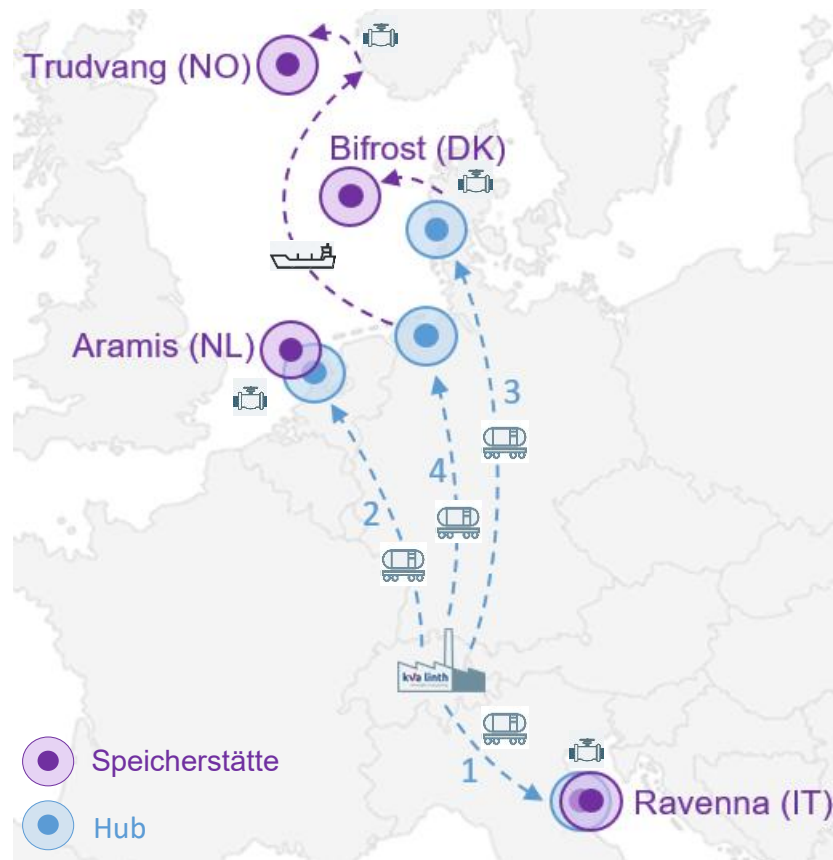
Was hat das Projekt für einen Klimanutzen?



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

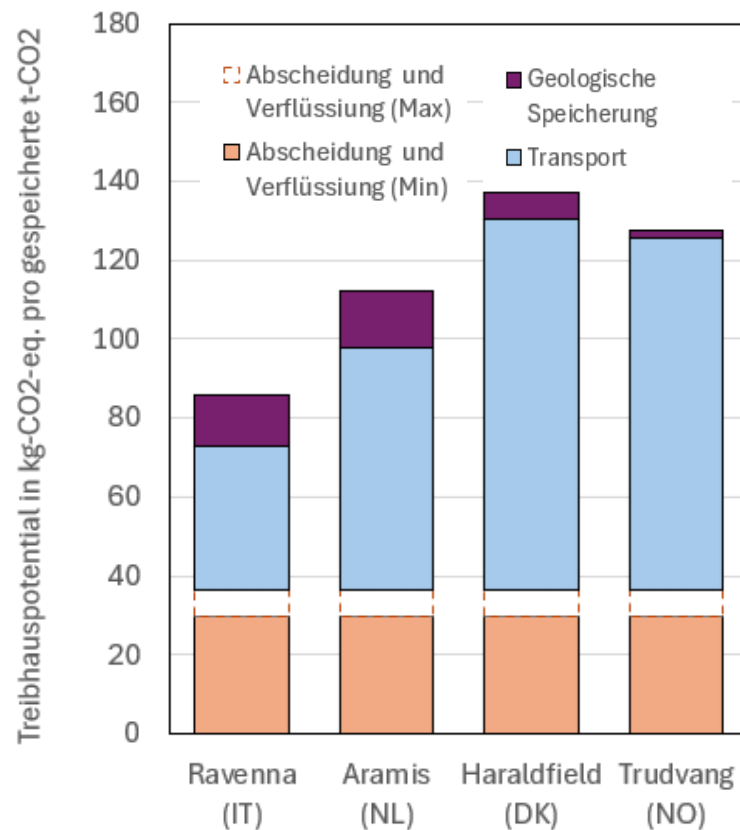


Die Treibhausgasemissionen des Projekts

ETH Zürich, Prof. André Bardow / Julian Nöhl

- Das Projekt verursacht $\text{CO}_{2,\text{eq}}$ -Emissionen im Umfang von **7.9-13.6 % des gespeicherten CO_2** . Der Wert hängt vom gewählten Speicherort ab.
- ein **grosser Anteil** davon (ca. 4-9% des gespeicherten CO_2) wird durch den **Transport** verursacht
- In Zukunft wird die Umwelteffizienz weiter steigen, v.A. durch:
 - **CO_2 -Pipelines** für den Transport
 - sinkende CO_2 -Intensität des **Strommixes** der involvierten Länder (Italien, Deutschland, Dänemark usw.)

Gesamte CCS Kette



Montag, 24. November 2025

Schweiz

Neue Zürcher Zeitung

7

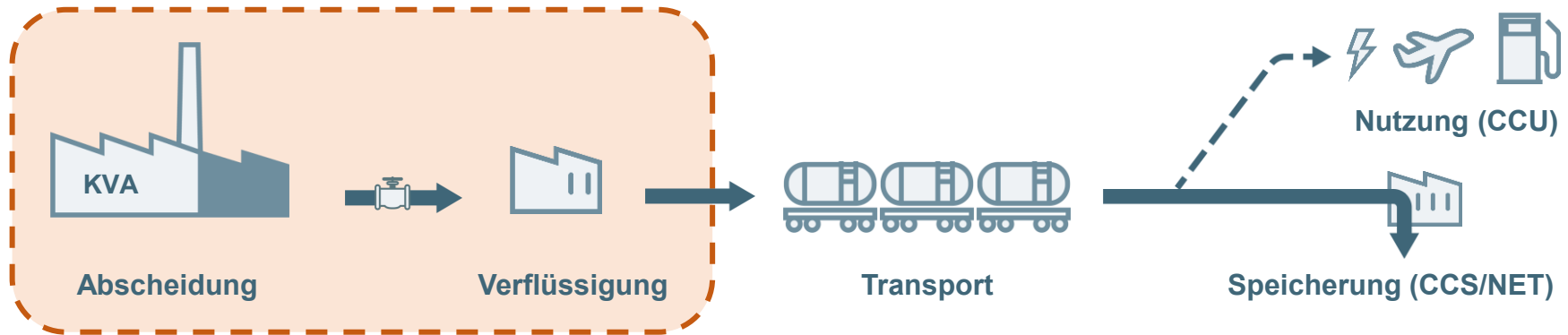
Der Kehrichtsack könnte bald viel teurer werden

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

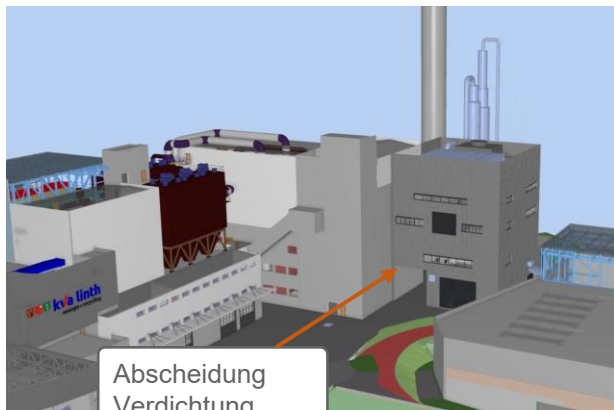
[...] der FDP-Nationalrat Christian Wasserfallen äussert sich skeptisch. «Ich bezweifle stark, dass es Sinn ergibt, CO₂ über Tausende Kilometer mit Dieselschiffen zu transportieren und es dann unter der Nordsee in den Boden zu verpressen.» [...]

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

Projekt CCS Linth

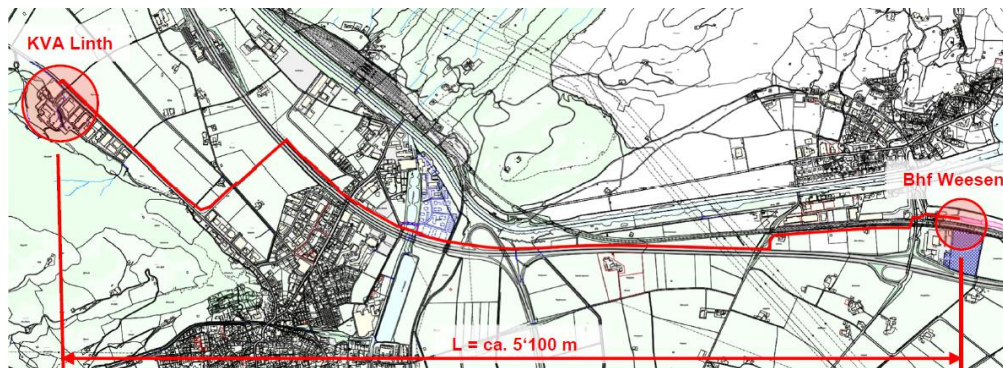


Standort KVA Linth



Abscheidung
Verdichtung
Trocknung
Wärmeintegration
Rückkühlung

CO₂ Leitung KVA-Bahnhof Weesen



Bahnhofsareal Weesen

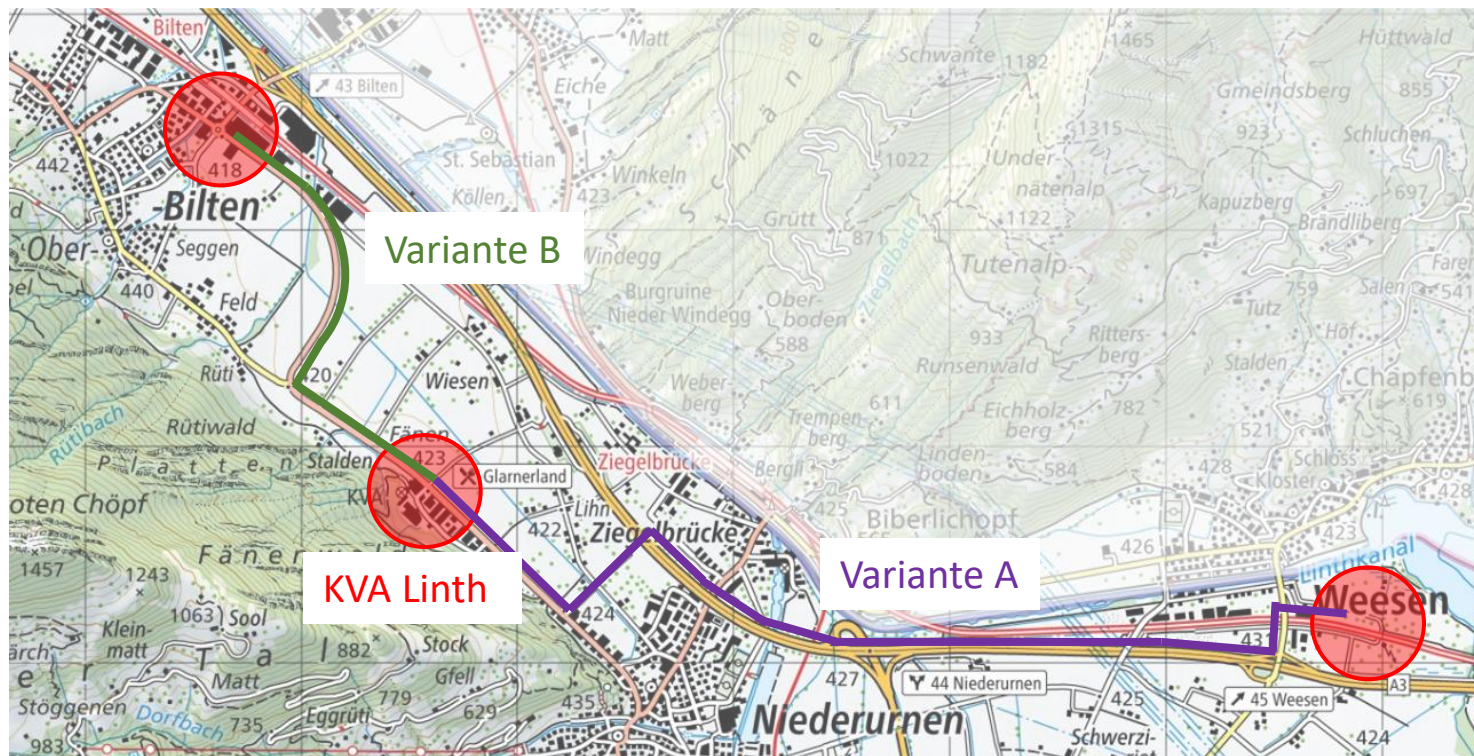


Verflüssigung
Reinigung
Zwischenspeicher

Verlad auf
Bahnkesselwagen

- Kapazität: 130'000 t_{CO₂}/Jahr
- Planer: Ramboll u. tbf + Partner
- HPC ohne Additive und Aminwäsche mit MEA, je zwei Lieferanten

Prüfung zusätzliche Option Verladestandort

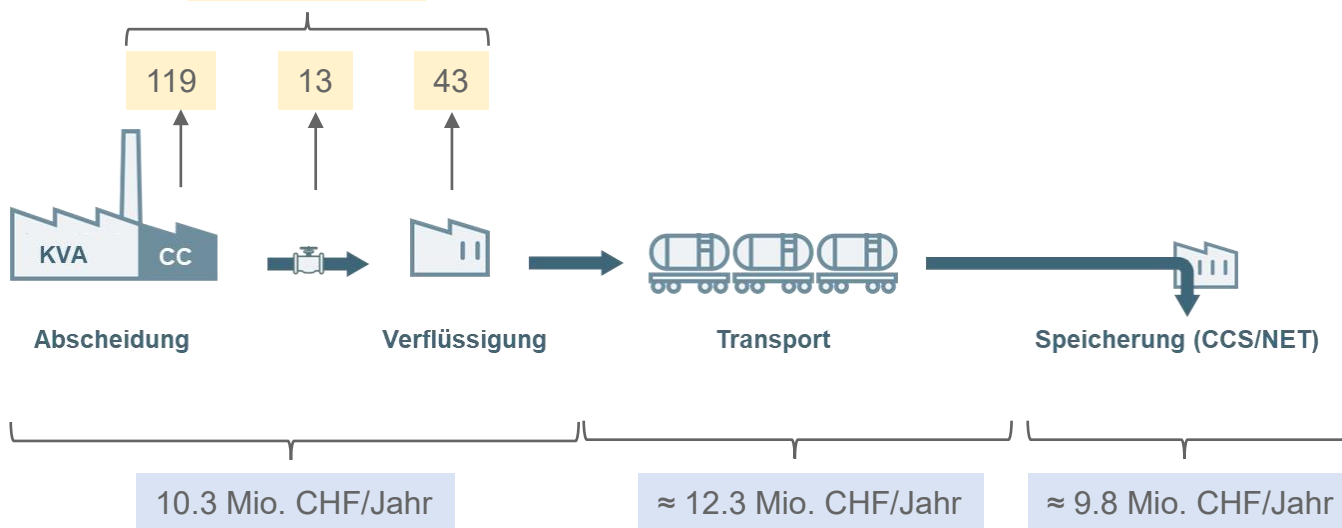


CCS Linth Kosten (Variante HPC)

CAPEX

175 Mio. CHF

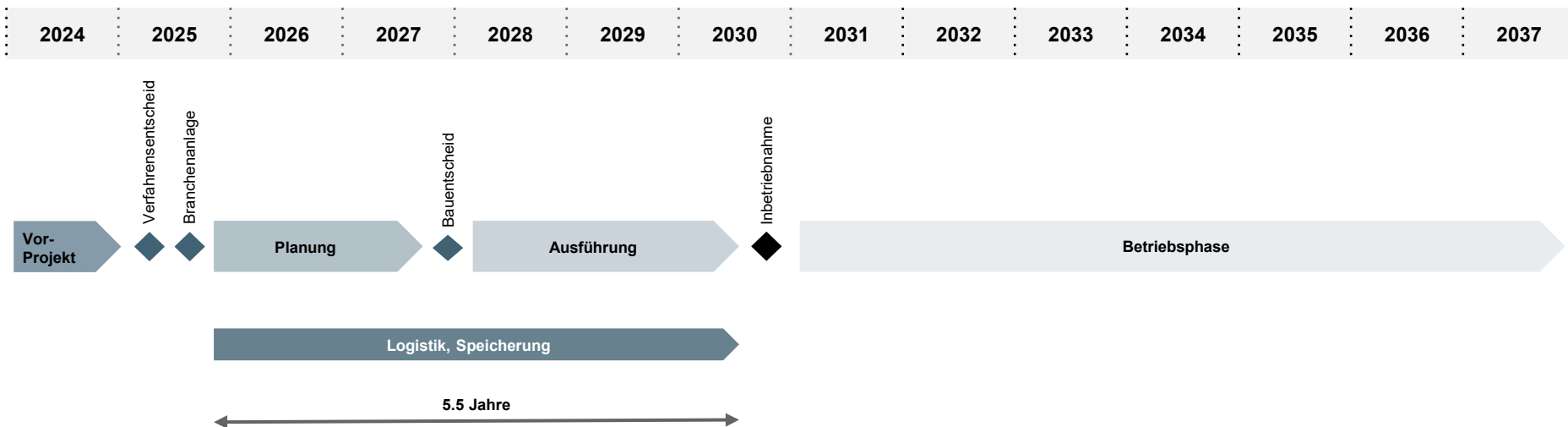
Annuität: 11.9 Mio. CHF/Jahr (Abschreibung 25 Jahre, 4.6% Zins)



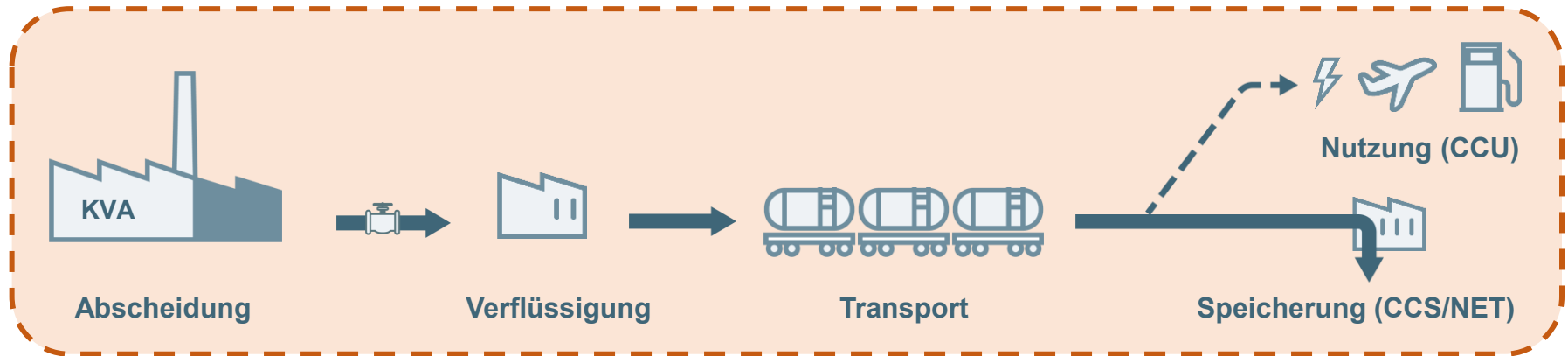
OPEX

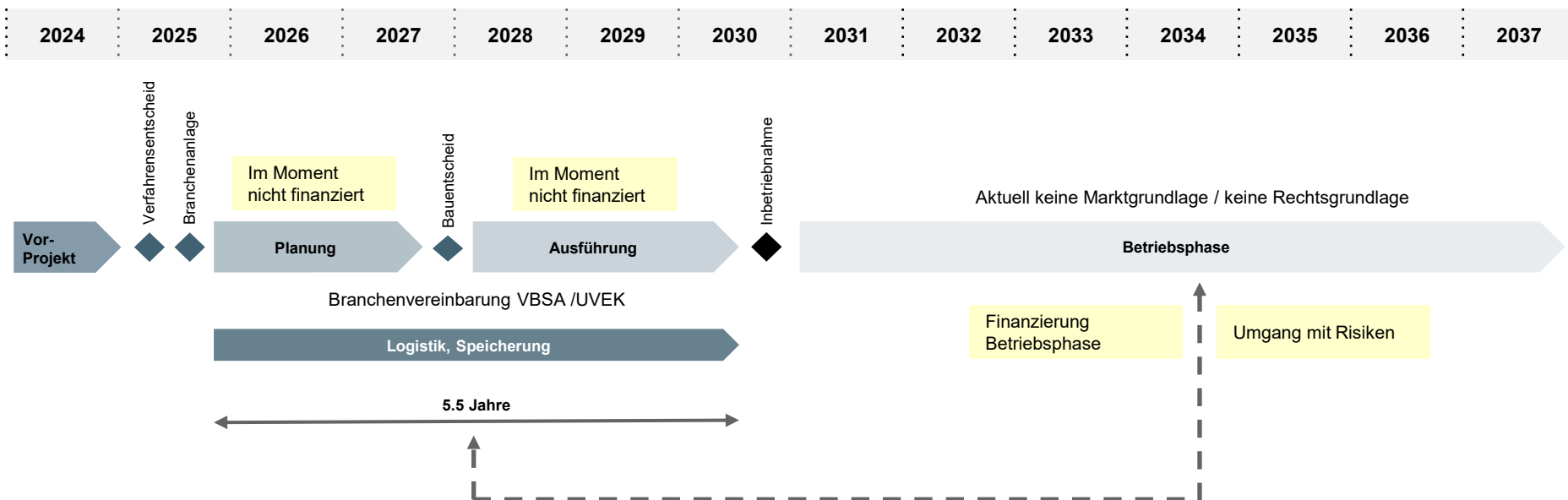
Gestehungskosten gesamt: rund **360 CHF/t_{CO2}** physisch gespeichert
grössere Unsicherheiten bei Transport und Speicherung

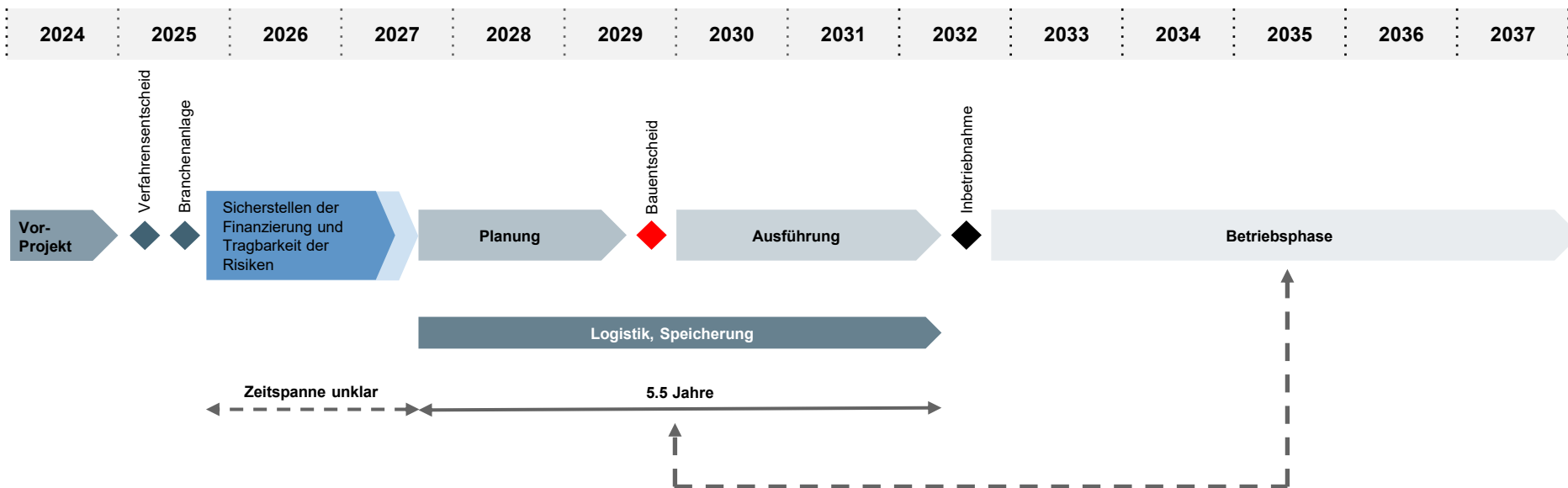
Zeitschiene gemäss Vorprojekt



Finanzierung, Einordnung, Ausblick







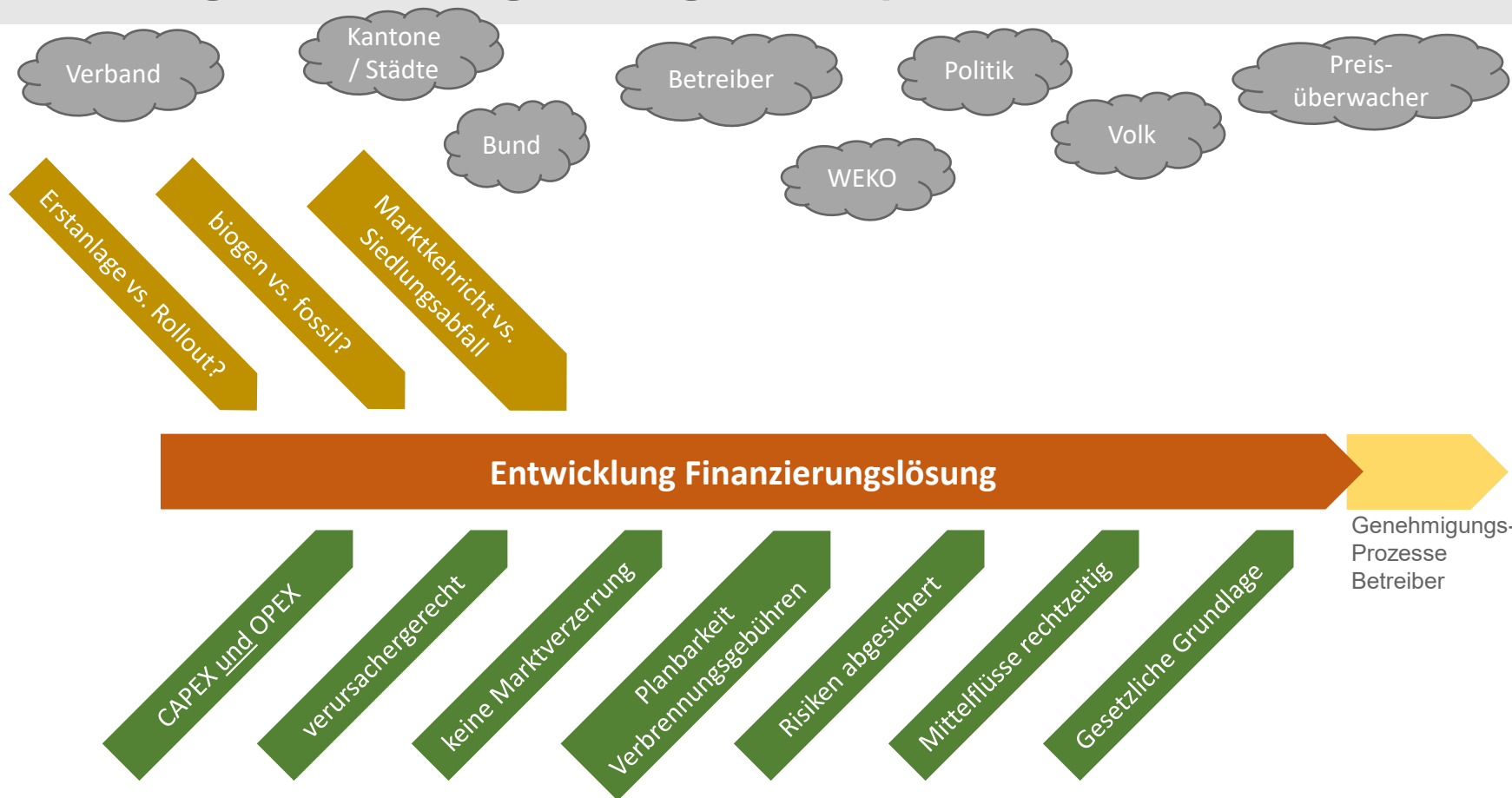
- Finanzierung Planung offen
- Bauentscheid und Vertragsabschlüsse (Logistik, Speicherung) erst möglich, wenn Finanzierung Betrieb sichergestellt

Entwicklung Finanzierungslösung ist komplex

Stakeholder

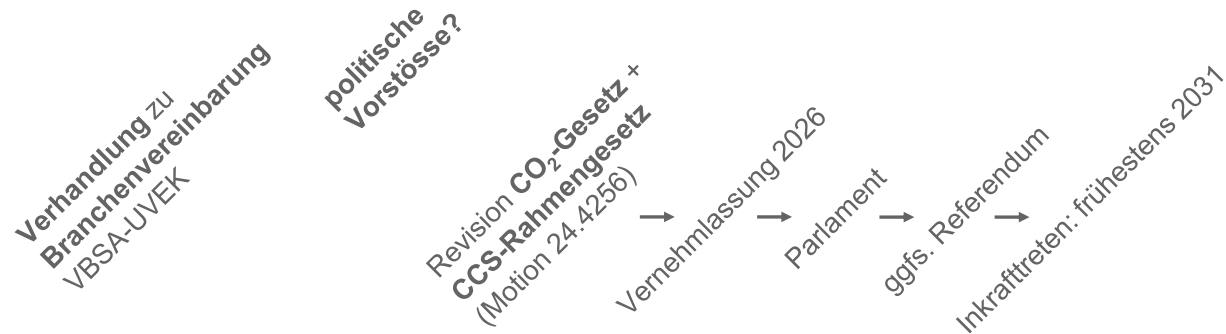
zu definieren

Anforderungen



Entwicklung Rahmenbedingungen Finanzierung

VBSA, Bund,
Politik



CCS Linth on hold

ZAR CO₂
Kompetenz-
zentrum

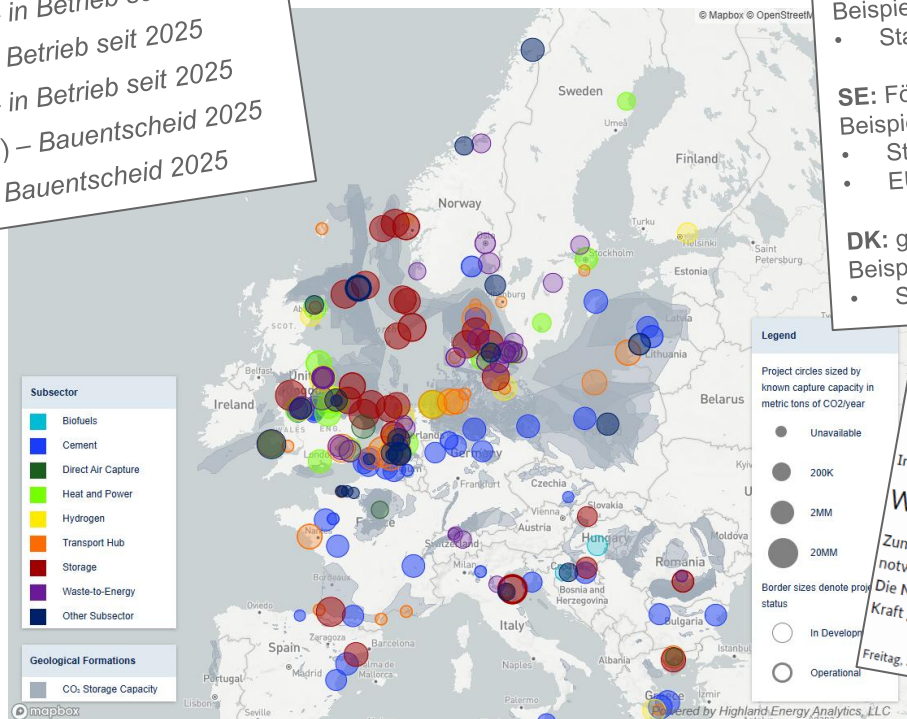
Planung schwierig: unklar, wann Rahmenbedingungen stehen – aber **wir machen weiter!**

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

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?



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




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 CO₂ 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 Kehrlichtverbrennungsanlagen	
Eingereicht von:	 GIROD BASTIEN Grüne Fraktion GRÜNE Schweiz
Übernommen von:	TREDE ALINE
Einreichungsdatum:	23.09.2024
Eingereicht im:	Nationalrat
Stand der Beratungen:	Stell...

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...

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 Energieminister 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 gehandelt werden. Es handelt sich um das erste Abkommen zwischen der Schweiz und Norwegen im Rahmen des Klimaabkommens von Paris.

Medienmitteilung | Veröffentlicht am 12. September 2025

Bundesrat befasste sich mit Klimapolitik nach 2030

Bern, 12.09.2025 – Der Bundesrat hat am 12. September 2025 zwei Aussprachen zur Ausgestaltung der Klimapolitik nach 2030 geführt. Zum einen hat er über die Revision des CO2-Gesetzes diskutiert, zum anderen über die rechtlichen Rahmenbedingungen der CO2-Entnahme und -Speicherung. Die Vorlage für das revidierte CO2-Gesetz soll neben Anreizen zur Verminderung von CO2-Emissionen vor allem auf ein zusätzliches Emissionshandelssystem setzen. Auf höhere oder neue Abgaben soll das Gesetz verzichten. Der Ausbau der CO2-Entnahme und -Speicherung soll mit einem Rahmengesetz beschleunigt werden, das die Regeln für die nötige Infrastruktur harmonisiert. Das UVEK wird beauftragt, bis Ende Juni 2026 eine Vorlage für das revidierte CO2-Gesetz ab 2030 sowie für das Rahmengesetz auszuarbeiten.

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.

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 Vorst...

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!

