

# Beitrag der Abfallwirtschaft zur künftigen Klimapolitik der Schweiz - Diskussionsgrundlage zum Konzept «Carbon Hub»

---

## Ausgangslage

Die Schweiz hat das Pariser Klimaabkommen ratifiziert und sich dadurch zu einer drastischen Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Inland verpflichtet. Um diese sehr anspruchsvollen Klimaziele zu erreichen wird laut IPCC ein Teil des CO<sub>2</sub> am Ende wieder aus der Luft gefiltert (Direct Air Capture)<sup>1</sup> und anschliessend in geologischen Formationen gespeichert werden müssen. Demzufolge ist es sowohl ökologisch wie auch ökonomisch sinnvoll, das CO<sub>2</sub> gar nicht erst in die Atmosphäre entweichen zu lassen, sondern direkt dort abzufangen, wo es konzentriert anfällt.

Die Schweizer KVA stossen jährlich etwa 4.2 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> aus, davon 2.1 Mio. Tonnen fossiles CO<sub>2</sub>. Das sind in etwa 4.5% der gesamten Emissionen im Inland von 47.24 Mio. t CO<sub>2-eq</sub> (2017). Eine Abnahme der verbrannten Abfallmenge zeichnet sich nicht ab und die Freisetzung von fossilem CO<sub>2</sub> aus der Abfallverbrennung wird demnach nicht abnehmen.

Es gibt zwei Wege, wie die Schweizer KVA wirksam zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Inland beitragen können:

### 1. Der indirekte Weg: Abwärme aus KVA substituiert fossile Energieträger

Dieser Ansatz wurde in der geltenden CO<sub>2</sub>-Zielvereinbarung zwischen dem VBSA und dem UVEK umgesetzt. Die Nutzung von 4.45 MWh Abwärme ausserhalb der KVA bewirkt gemäss Vereinbarung eine Emissionsreduktion von einer Tonne CO<sub>2</sub>. Die 30 KVA produzieren über 3.7 Mio. MWh Wärme und kompensieren dadurch etwa 830'000t CO<sub>2</sub>. Durch die Produktion von Elektrizität erzielen die KVA weitere indirekte Emissionsreduktionen von 33'000t CO<sub>2</sub>. Zählt man die Rückgewinnung von Metallen aus Verbrennungsrückständen noch dazu, sind es weitere 240'000t CO<sub>2</sub>. Durch Wärmenutzung und Metallrückgewinnung werden insgesamt etwa 1.1 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden.

### 2. Der direkte Weg: CO<sub>2</sub> wird aus KVA-Abgas abgeschieden (Carbon Capture)

Der direkte Weg (Carbon Capture) wurde bisher nicht verfolgt. Im Rahmen der Vorarbeiten zu einer neuen Zielvereinbarung für die Periode post - 2020 hat sich die Frage gestellt, ob Carbon Capture einen relevanten Beitrag zur Minderung der KVA-Emissionen leisten könnte. Als relevant wird hier eine Emissionsreduktion > 1 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> betrachtet. Der VBSA hat das Sustainability in Business Lab (sus.lab) der ETHZ beauftragt, diese Frage abzuklären.

## Erkenntnisse aus dem sus.lab-Auftrag

Carbon Capture ist für KVA grundsätzlich anwendbar. Die Technologie ist relativ energieintensiv, mit einem Verbrauch von **1 MWh<sub>therm.</sub> + 0.1MWh<sub>el.</sub> pro Tonne abgeschiedenem CO<sub>2</sub>**.

Die Kosten, inklusive den Opportunitätskosten für die nicht-verkaufte Energie, liegen bei **ca. 70 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub>**.

Die sus.lab-Studie hat gezeigt, dass die grösste Herausforderung bei der sinnvollen Verwendung des abgeschiedenen CO<sub>2</sub> liegt. CO<sub>2</sub> ist eine sehr stabile Form von Kohlenstoff. Die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff für chemische Synthese, wie zum Beispiel Power-to-Gas, ist darum mit einem riesigen Energieaufwand verbunden. Die endgültige Lagerung in geologischen Speichern (leere Gasfelder, geeignete Gesteinsformationen) hat sich demzufolge als einzige, realistische Lösung für die Zielgrösse von > 1 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr herausgestellt.

---

<sup>1</sup> [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr\\_181008\\_P48\\_spm\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_en.pdf)

## Lösungsansatz: KVA als Carbon Hub?

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem sus.lab-Auftrag haben wir eine Vision entwickelt, die wir nun zur Diskussion stellen möchten:

In unserer Vision für das Jahr 2050 ersetzen wir fossile Heizungen durch Fernwärme, Wärmepumpen oder Solarthermie. Der Strassenverkehr wird elektrifiziert oder mit Wasserstoff betrieben. Dennoch bleiben einige Standorte und Anwendungen übrig, wo Kohlenstoff weiterhin zu CO<sub>2</sub> oxidiert werden muss. Diese «Hard-to-decarbonize-Wirtschaftszweige» sind unter anderem KVA, Zementwerke, Produktionsanlagen der chemischen Industrie, Stahlwerke und grosse Holzkraftwerke.

Diese wenigen Standorte, wo Energie aus der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen (Brennstoffen weiterhin gewonnen wird, werden als **Carbon Hubs** identifiziert.

**Carbon Hubs** weisen drei wesentliche Merkmale auf:

1. **Sie produzieren CO<sub>2</sub> in grossen Mengen** in industriellen Prozessen, welche sehr schwierig zu dekarbonisieren sind.
2. **Sie scheiden 90% des produzierten CO<sub>2</sub> direkt an der Quelle ab**, indem das bei der Verbrennung freigesetzte CO<sub>2</sub> mit einem «Filter» abgefangen wird.
3. **Sie speisen die abgefangenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in ein kontinentales Leitungsnetz ein**, das zu einem geologischen CO<sub>2</sub>-Speicher führt.

Die am CO<sub>2</sub>-Netz angeschlossene geologische CO<sub>2</sub>-Speichern könnten z.B. leere Gasfelder oder geeignete Gesteinsformationen sein. Auch Produktionsanlagen für synthetischen Treibstoff könnten CO<sub>2</sub> aus dem CO<sub>2</sub>-Netz beziehen.

**Mit dem Konzept «Carbon Hub» könnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus KVA und weiteren grossen industriellen Quellen auf Null reduziert werden, oder sogar negativ werden. Industrie und Abfallentsorgung würden zwar weiterhin CO<sub>2</sub> produzieren, aber kein fossiles CO<sub>2</sub> mehr emittieren. Grosse Quellen von biogenem CO<sub>2</sub> könnten auch als Carbon Hub betrieben werden und dadurch negative Emissionen ermöglichen.**

## Die nächsten Schritte

Der VBASA könnte das oben geschilderte Konzept in die klimapolitische Diskussion einbringen und, als Vertreter von ca. 40 potentiellen Carbon Hubs, glaubwürdig vertreten.

Der VBASA könnte sich ausserdem für die Entwicklung der zwei erforderlichen technischen Elemente CO<sub>2</sub>-Abscheidung und CO<sub>2</sub>-Netz aktiv einsetzen, zum Beispiel in dem er folgende konkrete Schritte einleitet:

- Die zeitnahe **Realisierung einer CO<sub>2</sub>-Abscheidung im industriellen Massstab** in einer Schweizer KVA, als Leuchtturmprojekt einerseits, und andererseits damit wertvolle Erfahrung unter realen Betriebskonditionen gesammelt werden kann.
- Die **Ausarbeitung eines Logistik-Konzepts für den Transport von CO<sub>2</sub> über längere Distanzen**.

**Wir freuen uns auf Ihre Rückmeldungen zum Konzept «Carbon Hub» und die Rolle des VBASA. Bitte kontaktieren Sie uns unter [quartier@vbsa.ch](mailto:quartier@vbsa.ch) oder [contact\\_suslab@ethz.ch](mailto:contact_suslab@ethz.ch)**

---

Fragen und Antworten zum Konzept Carbon Hub

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>Rolle des VBSA</b> .....	4
Was ist der VBSA?.....	4
Warum masst sich der VBSA an, klimapolitische Konzepte zu erarbeiten? .....	4
<b>Wie sinnvoll ist Carbon Capture bei KVA?</b> .....	4
Gibt es keine kostengünstigeren Wege, um CO <sub>2</sub> zu vermeiden bzw. zu kompensieren z.B., Sanierungen von Gebäuden, Elektromobilität, aber auch Aufforstung etc.? .....	4
Sollten wir nicht eher daran arbeiten, die Mengen zu reduzieren, die in KVAs verbrannt werden, und mehr Plastik recyceln? .....	4
Könnten wir nicht die verbrannte Menge reduzieren, in dem wir mehr biologische Abfälle aussortieren und z.B., in Biogas Anlagen zu Methan verarbeiten? .....	4
Könnte man nicht CO <sub>2</sub> als Rohstoff einsetzen, z.B. für die Synthese von Methan (Power-to-Gas)?.....	5
Macht die CO <sub>2</sub> Speicherung von einer Lebenszyklusperspektive überhaupt Sinn, wenn wir dazu neue Infrastruktur wie Pipelines bauen müssen? .....	5
<b>Machbarkeit</b> .....	5
Gibt es realistische Möglichkeit für die dauerhafte Lagerung von CO <sub>2</sub> ? .....	5
Gibt es genügend grosse Speicher? .....	5
Ist die Technologie erprobt?.....	5
Ist die CO <sub>2</sub> Speicherung sicher? Was passiert, wenn das CO <sub>2</sub> wieder entweicht? .....	6
Gibt es Möglichkeiten zur CO <sub>2</sub> Speicherung in der Schweiz? .....	6
<b>Kosten</b> .....	6
Wieviel kostet die Abscheidung einer Tonne CO <sub>2</sub> aus dem Reingas eines Carbon Hub? .....	6
Wieviel kostet die dauerhafte Lagerung einer Tonne CO <sub>2</sub> ?.....	7
<b>Technische Fragen</b> .....	7
Wie hoch ist die CO <sub>2</sub> -Konzentration im Reingas eines «Carbon Hub»? .....	7
Wie hoch ist der Energiebedarf für die Abscheidung einer Tonne CO <sub>2</sub> aus dem Reingas eines Carbon Hub?....	7
Ist eine Pipeline (das CO <sub>2</sub> -Netz), die einzige Möglichkeit, das CO <sub>2</sub> zu transportieren? .....	7

## Rolle des VBSA

### Wer ist der VBSA?

Der VBSA ist der Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen. Zu seinen Mitgliedern zählt er Abfallverbrennungsanlagen, aber auch Deponien, Sortieranlagen und Vergärungsanlagen. Unter den VBSA-Mitgliedern sind in erster Linie die 30 Abfallverbrennungsanlagen die grössten CO<sub>2</sub>-Emittenten, die Verbrennungsanlagen für Sonderabfällen sowie die Klärschlamm-Verbrennungsanlagen.

### Warum masst sich der VBSA an, klimapolitische Konzepte zu erarbeiten?

Der VBSA zählt ca. 40 potentielle künftige «Carbon Hubs» zu seinen Mitgliedern, die gemeinsam über vier Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> (davon die Hälfte fossil) ausstossen.

## Wie sinnvoll ist Carbon Capture bei KVA?

### Gibt es keine kostengünstigeren Wege, um CO<sub>2</sub> zu vermeiden bzw. zu kompensieren z.B., Sanierungen von Gebäuden, Elektromobilität, oder Aufforstungen etc.?

In der Tat ist CO<sub>2</sub> Speicherung eine eher teure Technologie – und wir sollten auf jeden Fall alle anderen Möglichkeiten ebenfalls nutzen, um CO<sub>2</sub>-Emissionen zu vermeiden oder zu kompensieren. Um allerdings die Klimaziele zu erreichen wird laut IPCC in praktisch allen Szenarien sogar ein Teil des CO<sub>2</sub> am Ende wieder aus der Luft gefiltert werden müssen (zum Beispiel durch Direct Air Capture)<sup>2</sup> – und dann ebenfalls in geologischen Formationen gespeichert/gebunden werden. Gegenüber dieser Lösung ist es sowohl ökologisch wie ökonomisch sinnvoll, das CO<sub>2</sub> gar nicht erst in die Atmosphäre entweichen zu lassen, sondern direkt bei den grossen Punktuellen abzufangen (Die Abscheidung aus einer KVA ist ca. 2-3 mal energieeffizienter als die Abscheidung aus der Luft).

### Sollten wir nicht eher daran arbeiten, die Mengen zu reduzieren, die in KVA verbrannt werden, und mehr Plastik recyceln?

Dies sollte auf jeden Fall Teil der Lösung sein und hat Potential, die Abfallmengen stabil zu halten oder sogar geringfügig zu reduzieren. Eine Prognos Studie aus dem Jahr 2017 («Siedlungsabfallaufkommen Schweiz 2050») hat dazu verschiedene Szenarien dargestellt. Im «Weiter wie bisher-Szenario» würde die zu verbrennende Abfallmengen um 36% ansteigen, getrieben durch Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum – und selbst eine sehr ambitionierte Kreislaufwirtschaftsstrategie würde die Abfallmenge nur um 10% senken.

Weiter ist zu vermerken, dass Plastik nicht beliebig viel Recycling-Zyklen durchlaufen kann. Recycling kann die Nutzungsdauer von Plastik erheblich erhöhen, aber am Schluss muss Plastik doch verbrannt werden. Ausserdem gibt die Industrie keinerlei Anzeichen, die produzierte Plastikmenge reduzieren zu wollen. Im Gegenteil: Die Produktion von Plastik wird noch kräftig ansteigen<sup>3</sup>.

### Könnten wir nicht die verbrannte Menge reduzieren, in dem wir mehr biologische Abfälle aussortieren und z.B., in Biogas Anlagen zu Methan verarbeiten?

Biogene Abfälle sollten aussortiert werden, vor allem, weil sie die Lagerfähigkeit von Siedlungsabfällen stark beeinträchtigen, und weil wertvolle Nährstoffe und Strukturmaterialien für unsere Böden in der Verbrennung verloren gehen. Aber eine weitere Steigerung der Aussortierung von biogenen Abfällen ist heute kaum noch möglich. Einschränkend ist dabei vor allem die Zunahme von Fremdstoffen (Plastik), die mit jeder Steigerung der separat erfassten Menge einhergeht.

<sup>2</sup> Pressemitteilung zum 1.5 Grad Report, Oct 2018 - [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr\\_181008\\_P48\\_spm\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_en.pdf), Reports siehe <https://www.ipcc.ch/sr15/>

<sup>3</sup> The Future of Petrochemicals: Towards more sustainable plastics and fertilisers, Methodological annex, Figure A.1 S. 7, OECD/IEA 2018

## Könnte man nicht CO<sub>2</sub> als Rohstoff einsetzen, zum Beispiel für die Synthese von Methan (Power-to-Gas)?

Dies ist möglich und wird auch in verschiedenen Pilotanlagen erprobt. Allerdings gibt es dabei drei fundamentale Einschränkungen:

1. Um die chemische Reaktion  $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  durchführen zu können, muss zuerst Wasserstoff H<sub>2</sub> produziert werden. Die Produktion von Wasserstoff durch Elektrolyse ist sehr energieintensiv. Um eine Million Tonnen CO<sub>2</sub> in Methan CH<sub>4</sub> zu konvertieren, braucht es über 180'000 Tonnen H<sub>2</sub> bzw. 9 TWh Elektrizität für die Elektrolyse<sup>4</sup>. Das entspricht 16% des aktuellen Stromverbrauchs der Schweiz<sup>5</sup>. Damit Power-to-Gas klimapolitisch vertretbar ist, müsste diese Elektrizität aus erneuerbaren Quellen kommen.
2. Wenn Wasserstoff produziert wird, ist es naheliegend, diese wo möglich auch direkt als Wasserstoff zu nutzen, zum Beispiel in einer Brennstoffzelle.
3. Wenn das Methan, das man durch Power-to-gas produziert hat, verbrannt wird, entweicht wieder CO<sub>2</sub>. Power-to-Gas ist in dem Sinne keine CO<sub>2</sub>-Senke, sondern nur eine kurzzeitige Speicherung.

## Macht die CO<sub>2</sub>-Speicherung von einer Lebenszyklusperspektive überhaupt Sinn, wenn wir dazu neue Infrastruktur wie Pipelines bauen müssen?

Eine volle Lebenszyklusanalyse wurde zum Beispiel für Zement durchgeführt, und ergab CO<sub>2</sub> Reduktionen von bis zu 78% (200 km Pipeline Transport und 1000 Tiefe der Lagerung)<sup>6</sup>. Mit biogenen Stoffen, z.B. Holz können «negative Emissionen» gezeigt werden.

## Technische Machbarkeit

### Gibt es realistische Möglichkeit für die dauerhafte Lagerung von CO<sub>2</sub>?

Ja, die aktuell in Europa am weitest fortgeschrittenen Optionen liegen in der Nordsee, leere Erdgaslagerstätten können dort als Speicher genutzt werden. In Norwegen arbeitet das Industriekonsortium «Northernlights»<sup>7</sup> aus Equinor (ehemalige Statoil), Shell und Total an einer ersten Anlage, in der CO<sub>2</sub> aus einer Osloer KVA und einer Zementfabrik gespeichert werden sollen.

Im Weiteren plant Norwegen, diese Lagerstätten für europäische Emittenten ab ca. 2024 zu öffnen (vorläufiger Zeitplan). Das norwegische Parlament wird eine Investitionsentscheidung für das Projekt im Jahr 2020/2021 treffen, so dass ab ca. 2023/2024 Kapazitäten von ca. 5 Mio. Tonnen zur Verfügung gestellt werden könnten. Die Zeitliste für grössere Kapazitäten hängt dann vom Interesse anderer Länder bzw., der Industrie ab. In den Niederlanden gibt es ähnliche Bemühungen, so wird z.B. im Rahmen des Porthos Projekts<sup>8</sup> im Jahr 2020 eine Investitionsentscheidung für die Bereitstellung einer Kapazität von 2-5 Mio. Tonnen pro Jahr in ehemaligen Gaslagerstätten unter der Nordsee erwartet.

### Gibt es genügend grosse Speicher?

Eine Abschätzung für Norwegen hat zum Beispiel eine verfügbare Speicherkapazität Offshore von 70 Gigatonnen ergeben, das entspricht ca. 20 Jahren der EU28 Emissionen auf heutigem Stand.

### Ist die Technologie erprobt?

Weltweit gibt es mehr als 20 grosstechnische Anlagen (existierend oder geplant) mit mehr als 400'000 Tonnen Kapazität<sup>9</sup>.

<sup>4</sup> Die Elektrolyse in industriellen Massstab verbraucht ca 50kWh pro kg H<sub>2</sub>

<sup>5</sup> Der Stromverbrauch der Schweiz lag 2017 bei 57.6 TWh (BFE 2019).

<sup>6</sup> Life cycle assessment of carbon capture and storage in power generation and industry in Europe, Volkart et al., 2013

<sup>7</sup> <https://www.equinor.com/en/how-and-why/impact-assessments/northernlights.html>

<sup>8</sup> <https://rotterdamccus.nl/en/companies-register-interest-for-porthos-co2-storage-project/>

<sup>9</sup> <https://co2re.co/FacilityData#map>

## Ist die CO<sub>2</sub>-Speicherung sicher? Was passiert, wenn das CO<sub>2</sub> wieder entweicht?

Die Speicherung von CO<sub>2</sub> in geologischen Formationen wird seit mehreren Jahrzehnten weltweit getestet, zum Teil in der Ausbeutung von Öl und Gas, zum Teil spezifisch im Zusammenhang mit Carbon Capture und Storage. Daraus wurden regulatorische Rahmen und Industriestandards entwickelt, um diese sicher zu gestalten, zum Beispiel die EU Richtlinie zur geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> (so-called „CCS-Directive“) oder ISO/TC 265 - Carbon dioxide capture, transportation, and geological storage.

In Europa hat zum Beispiel Equinor<sup>10</sup> seit 1996 einen Langzeit Test über 20 Jahre im sogenannten Sleipner Projekt durchgeführt, in dem 15.5 Mt CO<sub>2</sub> (0.9 Mt pro Jahr) in «deep saline aquifers» 800- 1000 m unter dem Meeresboden injiziert wurden, und kein entweichendes CO<sub>2</sub> gefunden werden konnte.

Eine Studie<sup>11</sup> über 6 grosse CCS Projekte (Sleipner and Snøhvit, Norway; Aquistore and Quest, Canada, In Salah, Algeria, und das Illinois Industrial Carbon Capture and Storage (IICCS) project, USA) sowie weitere kleinere Projekte konnte in keiner der Anlagen bisher ein messbares Entweichen von CO<sub>2</sub> feststellen. Weitere Forschung zu Risikobetrachtungen und Langzeitspeicherung ist natürlich nötig.

## Gibt es Möglichkeiten zur CO<sub>2</sub> Speicherung in der Schweiz?

Geologische Tiefenspeicherung von CO<sub>2</sub> wird in der Schweiz<sup>12</sup> wahrscheinlich innerhalb der nächsten 10-20 Jahre nicht zur Verfügung stehen, da eine systematische Untersuchung des Untergrundes noch aussteht und potentielle Lagerstätten in einem Langzeittest untersucht werden müssten.

Langfristig gibt es allerdings Potential: Auch die Schweiz hat «deep saline aquifers» in der geeigneten Tiefe von 800-2500 m und kombiniert mit undurchlässigen Felsschichten. Allerdings fehlen aktuell noch Schlüsselinformationen, um die vielversprechendsten Stellen auswählen zu können, wie die genaue Lage geeigneter Formationen.

Aktuell wird in der Schweiz mit Hilfe öffentlicher Gelder die Charakterisierung der Geologie für geothermische Energiegewinnung gefördert, eventuell wäre es sinnvoll, diese Forschung mit einer Prüfung für Eignung für CO<sub>2</sub> Speicherung zu verbinden.

## Kosten

### Wieviel kostet die Abscheidung einer Tonne CO<sub>2</sub> aus dem Reingas eines Carbon Hub?

Die Kosten hängen stark vom Preis der verwendeten Energie ab, und starten bei ca. 20 CHF ohne thermische Energie pro Tonne CO<sub>2</sub>. Falls Aufreinigung und Verflüssigung benötigt werden, steigt der Preis auf ca. CHF 56 pro Tonne CO<sub>2</sub>.

Dazu kommen Opportunitätskosten für thermische Energie (die sonst z.B. zur Stromerzeugung verwendet werden könnte) von ca. 46 CHF pro abgeschiedener Tonne CO<sub>2</sub><sup>13</sup> bzw. 75 CHF, falls energieintensive Aufreinigung und Verflüssigung benötigt werden<sup>14</sup>.

Die totale Summe kann also zwischen 68 CHF und 131 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> liegen. Genau bestimmt werden können diese Zahlen dann, wenn eine konkrete Anlage geplant wird.

---

<sup>10</sup> Previously called Statoil

<sup>11</sup> Alcalde, Juan et al. "Estimating geological CO<sub>2</sub> storage security to deliver on climate mitigation." Nature communications vol. 9,1 2201. 12 Jun. 2018, doi:10.1038/s41467-018-04423-1

<sup>12</sup> Based on current estimates, theoretical (unproven) storage capacity in Swiss deep porous geological formations may be up to 2.6 Gt of CO<sub>2</sub> (equivalent to storing app. 70 years' worth of Swiss CO<sub>2</sub> emissions)

<sup>13</sup> 0.8 MWh per t/CO<sub>2</sub> of thermal energy converted assuming 66% electric conversion efficiency and electricity sales price of rp 8.7/kWh

<sup>14</sup> 1.3 MWh per t/CO<sub>2</sub> of thermal energy converted assuming 66% electric conversion efficiency and electricity sales price of rp 8.7/kWh

Alle Kosten sind für eine Abscheidung von ca. 90% des ausgestossenen CO<sub>2</sub>. Eine Studie der Internationalen Energie Agentur (IEAGHG<sup>15</sup>) hat gezeigt, dass die CO<sub>2</sub>-Abscheidungsquote auf 99% erhöht werden könnte, mit Mehrkosten von ~8% pro Tonne.

### Wieviel kostet die dauerhafte Lagerung einer Tonne CO<sub>2</sub>?

Aktuelle grobe Kostenschätzungen liegen zum Beispiel für die gesamte Prozesskette in Norwegen und Transport aus der Schweiz<sup>16</sup> bei ca. 340 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> – dieser sehr hohe Preis gilt allerdings für Pilotanalgen, mit einer Erwartung, dass sich die Kosten über die nächsten 10 Jahre bereits auf ~110 CHF pro Tonne reduzieren. Dies würde einem Gesamtbetrag von 400 Mio. CHF in jährlichen Kosten für die Schweizer KVA entsprechen. In dieser Kostenschätzung wurden keine Einnahmen aus CO<sub>2</sub> Zertifikaten berücksichtigt, die allerdings in der Zukunft eine Rolle spielen könnten.

### Weitere technische Fragen

#### Wie hoch ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Reingas eines «Carbon Hub»?

Die Konzentration liegt bei ca. 10%. Dies bedeutet auch, dass die Abscheidung erheblich effizienter ist, als später CO<sub>2</sub> aus der Luft abzuscheiden, wo die Konzentration nur noch bei 0.04% liegt. (Abscheidung aus einer KVA ist ca 2-3 Mal energieeffizienter als aus der Luft).

#### Wie hoch ist der Energiebedarf für die Abscheidung einer Tonne CO<sub>2</sub> aus dem Reingas eines Carbon Hub?

Die Technologie ist relativ energieintensiv, mit einem Verbrauch von 1 MWh<sub>therm.</sub> + 0.1MWh<sub>el.</sub> pro Tonne abgediehem CO<sub>2</sub>.

#### Ist eine Pipeline (das CO<sub>2</sub>-Netz), die einzige Möglichkeit, CO<sub>2</sub> zu transportieren?

Transport auf der Schiene oder Schiffen ist ebenfalls möglich, jedoch sind Pipelines bei den erwarteten Mengen voraussichtlich erheblich kostengünstiger. Dazu laufen gerade detaillierte Studien in internationalen Forschungsprojekten (z.B., Elegancy<sup>17</sup>), an denen auch Forscher der ETH und am PSI beteiligt sind.

Falls Sie weitere Fragen haben – bitte senden Sie diese an [contact\\_suslab@ETHZ.ch](mailto:contact_suslab@ETHZ.ch), wir werden versuchen, sie zu beantworten und werden diese dann in unsere Liste einarbeiten.

<sup>15</sup> Technical report «Towards zero emissions CCS in power plants using higher capture rates or biomass» by the International Energy Agency Greenhouse Gas R&D Programme (IEAGHG), 2019

<sup>16</sup> Assuming transport by train/ship to Norway in the current price scenario and a hypothetical CO<sub>2</sub> pipeline to Norway in the scenario referring to the 10 years in the future

<sup>17</sup> <http://www.act-ccs.eu/elegancy>