

Bericht 2023

zur Vereinbarung zwischen UVEK und VBSA betreffend der Reduktion der fossilen CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung und Umsetzung von Technologien zur Abscheidung, Speicherung und Nutzung von CO₂ in Schweizer Kehrichtverwertungsanlagen.



Erstellt vom Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (VBSA) zuhänden von Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Energie (BFE)

05.07.2024

Inhalt

Treibhausgas-Emissionen der Abfallentsorgung.....	3
CO ₂ - Emissionen aus Kehrichtverwertungsanlagen (KVA).....	3
Fossile CO ₂ -Emissionen aus KVA.....	4
Netto-CO ₂ Emissionen aus KVA	6
Produktion von Strom	7
Produktion von Wärme	8
Rückgewinnung von Metallen aus Schlacke und Filterasche	9
Netto-Emissionen: Bewertung der Entwicklung.....	10
Vereinbarung 2022	11
Zwischenziel 2023.....	11
VBSA-Klimafonds 2023	15
Anhang 1: Zusammenstellung aller im Bericht dargestellten Daten	16

Treibhausgas-Emissionen der Abfallentsorgung

Die Entsorgung von Abfällen verursacht Emissionen von Kohlendioxid CO₂, Methan CH₄ und Lachgas N₂O. CO₂ entsteht bei der Verbrennung von Abfällen, CH₄ entsteht beim anaeroben Abbau von kohlenstoffhaltigen Abfällen auf Deponien und in Kompostier- und Vergärungsanlagen. N₂O entsteht hauptsächlich bei der Behandlung von Abwasser sowie der Trocknung und Verbrennung von Klärschlamm.

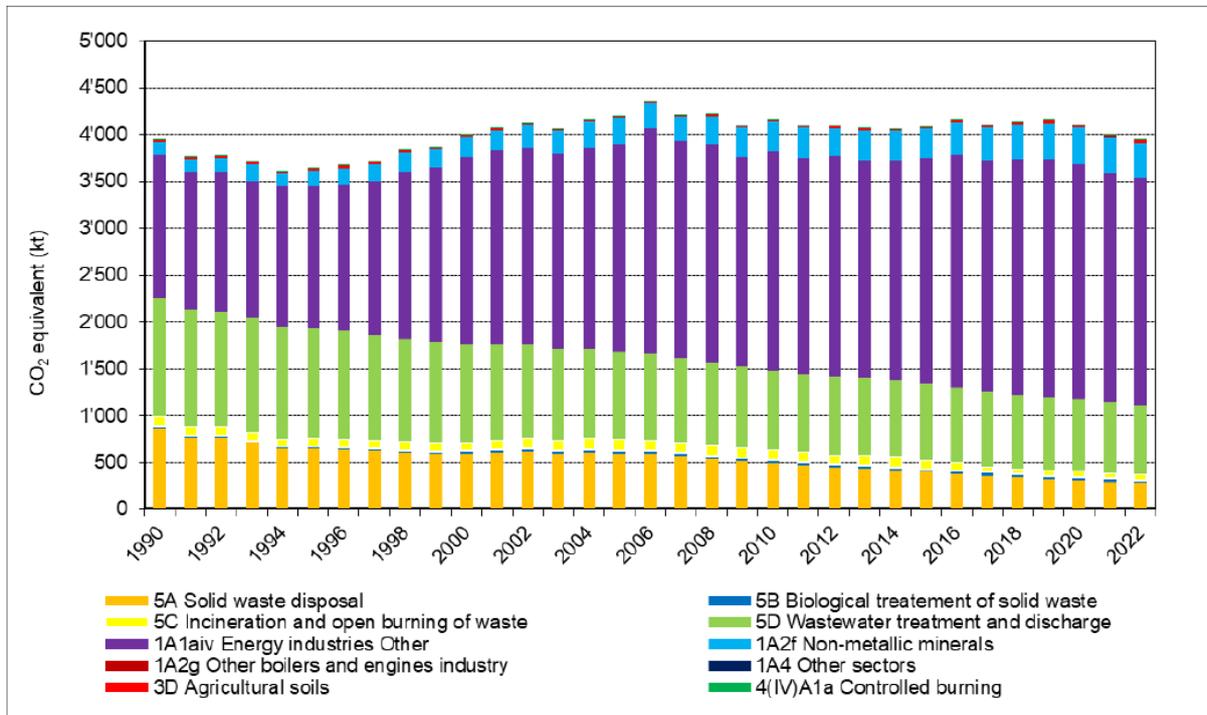


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen der Abfallentsorgung in tausend Tonnen CO₂-eq. Quelle: Fig.7- 3, National Inventory Report of Switzerland submission 2024). Die Treibhausgasemissionen der Abfallentsorgung betragen insgesamt 2.85 Mio.t CO₂-eq in 2022. Davon stammen 2.38758 Mio.t CO₂ aus der Verbrennung von Abfällen in KVA und Sonderabfallverbrennungsanlagen (1A1 Energy Industries, Daten aus 1. A. 1. A. iv, Table 1A(a), Submission 2023).

Die Treibhausgasemissionen aus der gesamten Abfallentsorgung (inkl. Deponien, Zementwerke und Kläranlagen) machen in etwa 8.8 % der gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz aus. Die Treibhausgasemissionen nur aus der Abfallverbrennung (KVA, Zementwerke, Sonderabfallverbrennung) machen zusammen circa. 6.8% aus.

CO₂- Emissionen aus Kehrrechtverwertungsanlagen (KVA)

Die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Abfällen in KVA betragen gemäss Abbildung 1 ca. 2.1 Mio. Tonnen. In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie und warum diese Emissionen entstehen.

Das schweizerische Umweltschutzgesetz (USG) schreibt vor, dass Abfälle für die Ablagerung so behandelt werden müssen, dass sie möglichst wenig organisch gebundenen Kohlenstoff enthalten (USG Art. 30c Abs.1). Organisch gebundener Kohlenstoff ist auf Deponien unerwünscht, weil er dort zur Bildung von Methan (CH₄) führt, einem Gas welches 28-mal¹ stärker klimawirksam ist als CO₂. Diese gesetzliche Bestimmung wird in der entsprechenden Ausführungsverordnung (Abfallverordnung, VVEA) mit einem Deponieverbot für Abfälle, die mehr als 2 Gewichtsprozent organischen Kohlenstoffes enthalten, umgesetzt (Anhang 5 Ziff. 5.2 VVEA).

¹ IPCC GHG Protocol, AR5 (Fifth Assessment Report), Global Warming Potential Values for 100-year horizon

Es gibt aber viele Abfälle, die weit mehr als zwei Gewichtsprozent Kohlenstoff enthalten: Siedlungsabfälle enthalten beispielsweise ca. dreissig Gewichtsprozent organischen Kohlenstoff, Klärschlamm und brennbare Bauabfälle (vorwiegend Altholz) noch mehr. Diese kohlenstoffreichen Abfälle dürfen nicht auf Deponien abgelagert werden. Es braucht zuerst eine Senkung ihres Kohlenstoffgehaltes.

Die einzige Möglichkeit, den Kohlenstoffgehalt des Abfalls zu senken, ist die Verbrennung, d.h. die Oxidierung des Kohlenstoffes (C) zum gasförmigen Kohlenstoffdioxid CO₂. Diese Tatsache widerspiegelt sich in Artikel 10 der Abfallverordnung, der eine Pflicht zur thermischen Behandlung für brennbare Abfälle vorschreibt. Den im Abfall enthaltenen Kohlenstoff in CO₂ umzuwandeln ist daher eine gesetzliche Pflicht. Die CO₂-Emissionen aus der thermischen Behandlung von Abfällen entstehen somit nicht als Konsequenz einer frei steuerbaren wirtschaftlichen Aktivität, sondern aus der Wahrnehmung eines gesetzlich vorgeschriebenen Entsorgungsauftrags.

Die KVA-Betreiber haben die Pflicht, die angelieferten Abfälle gesetzkonform zu behandeln. Sie müssen diese möglichst vollständig verbrennen, damit die Rückstände (Schlacke) höchstens zwei Gewichtsprozent unverbrannte Anteile, gemessen als gesamter organischer Kohlenstoff, enthalten (Art. 32 Abs.2 Bst. e VVEA). In anderen Worten, die KVA-Betreiber sind gesetzlich verpflichtet, den im Abfall enthaltenen Kohlenstoff möglichst vollständig in CO₂ umzuwandeln. Sie müssen in diesem Sinne die CO₂-Emissionen der KVA maximieren, um spätere, viel klimaschädlichere CH₄-Emissionen aus Deponien zu vermeiden.

Die CO₂-Emissionen, die bei der Verbrennung einer Tonne Abfall entstehen, hängen ausschliesslich vom Kohlenstoffgehalt des angelieferten Abfalls ab. Dieser Parameter kann nicht routinemässig gemessen und kann vom KVA-Betreiber nicht beeinflusst werden. Damit bleibt festzuhalten, dass der Betreiber einer KVA keinen direkten Einfluss auf die CO₂-Emissionen seiner Anlage hat.

Fossile CO₂-Emissionen aus KVA

Die CO₂-Emissionen werden in zwei Kategorien unterteilt: fossil, wenn der Kohlenstoff fossilen Ursprungs ist (Erdöl, Kohle, Erdgas) und biogen, wenn der Kohlenstoff pflanzlichen Ursprungs ist (Holz, Papier, Kautschuk, Baumwolle, usw.). Emissionen, welche durch die Verbrennung von biogenem Kohlenstoff entstehen, gelten als klimaneutral. Massgebend für die Treibhausgasbilanz ist nur der fossile Anteil der Emissionen.

Abfall ist ein heterogenes Gemisch, das sowohl fossilen als auch biogenen Kohlenstoff enthält. Der Anteil an fossilem Kohlenstoff in einem Gemisch kann mit einer Messung des Kohlenstoff-Isotops ¹⁴C ermittelt werden. Messungen der KVA-Abgase mit dieser Methode haben ergeben, dass der Anteil an fossilem C im Abfall bei 48 % liegt. Damit sind nur 48 % der CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung klimarelevant. Neuere Messungen zeigen einen Trend zu einem niedrigeren Gehalt an fossilem Kohlenstoff, möglicherweise aufgrund der zunehmenden Substitution von Plastik durch Karton in Verpackungsmaterialien und des steigenden Anteils von Holz im Bauwesen.

Es ist sehr umständlich, den gesamten Kohlenstoffgehalt im angelieferten Abfall zu messen. Da aber die Oxydation von C zu CO₂ Energie freisetzt, besteht eine empirische Korrelation zwischen dem Heizwert des Abfalls und seinem Kohlenstoffgehalt. Diese Korrelation lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$C_{Total} \left[\frac{g}{kg} \right] = 264 + \left(H_u \left[\frac{MJ}{kg} \right] - 10 \right) \times \frac{98}{5} \quad (1)$$

Mit

- C_{Total} : Der Gehalt an organischem Kohlenstoff (fossil und biogen) des Abfalls in g C pro kg Abfall.
- H_u : der Heizwert des Abfalls in MJ pro kg, hergeleitet aus der gemessenen Dampfproduktion im Kessel der KVA.

Der Heizwert H_u von Abfall variiert zwischen 11 und 12 MJ pro kg (vgl. Abbildung 2). Setzt man diese Werte in der obigen Formel ein, ergeben sich Werte zwischen 283.6 und 303.2 g C pro kg für den gesamten Gehalt an organischen Kohlenstoff im Abfall.

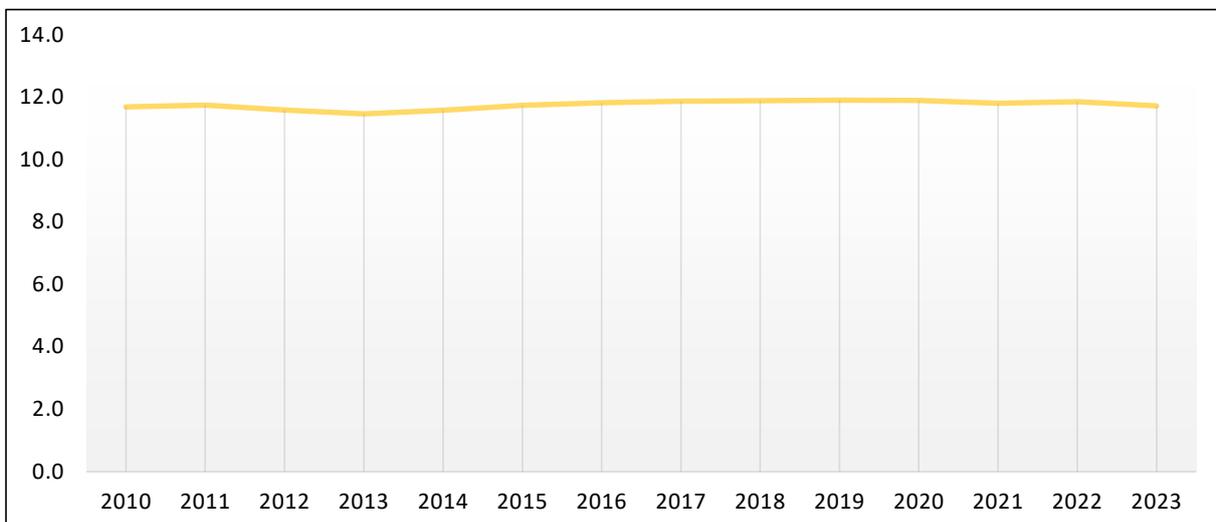


Abbildung 2: Heizwert H_u in MJ pro Kilo Abfall, Jahresmittelwert gewichtet nach Abfallmenge über alle KVA. Die numerischen Werte der dargestellten Daten sind in Anhang 1 zusammengestellt.

Wie oben erwähnt sind nur 48% des gesamten Kohlenstoffs fossilen Ursprungs

$$C_{fossil} \left[\frac{g}{kg} \right] = 0.48 \times C_{Total} \left[\frac{g}{kg} \right] \quad (2)$$

Geht man von einer vollständigen Umwandlung des fossilen C in CO₂ aus (was mit einer Zunahme des Molekulargewichtes von 12 auf 44 verbunden ist), kann man nun den Emissionsfaktor für fossiles CO₂ aus der Abfallverbrennung berechnen

$$EF_{CO_2, fossil} \left[\frac{g}{kg} \right] = \left(0.48 \times C_{Total} \left[\frac{g}{kg} \right] \right) \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

Liegt der Heizwert zwischen 11 und 12 MJ pro kg, ergeben sich Emissionsfaktoren zwischen 499 und 534 g fossiles CO₂ pro kg Abfall. Bei einer verbrannten Abfallmenge von 4 Millionen Tonnen entstehen demnach ca. 2.1 Millionen Tonnen fossiles CO₂. Diese Brutto-Emissionen an fossilem CO₂ werden aus dem Produkt von Emissionsfaktor und verbrannte Abfallmenge errechnet.

$$EF_{CO_{2,fossil}} \times M_v = EM^{Brutto} CO_{2,fossil} \equiv EM^B \tag{4}$$

Mit:

- M_v: In den Schweizer KVA verbrannte Abfallmenge, in Tonnen Abfall pro Jahr (Abbildung 3)
- EM^B: Die Brutto-Emissionen der Schweizer KVA, in Tonnen fossiles CO₂ pro Jahr (Abbildung 7, orange Kurve)

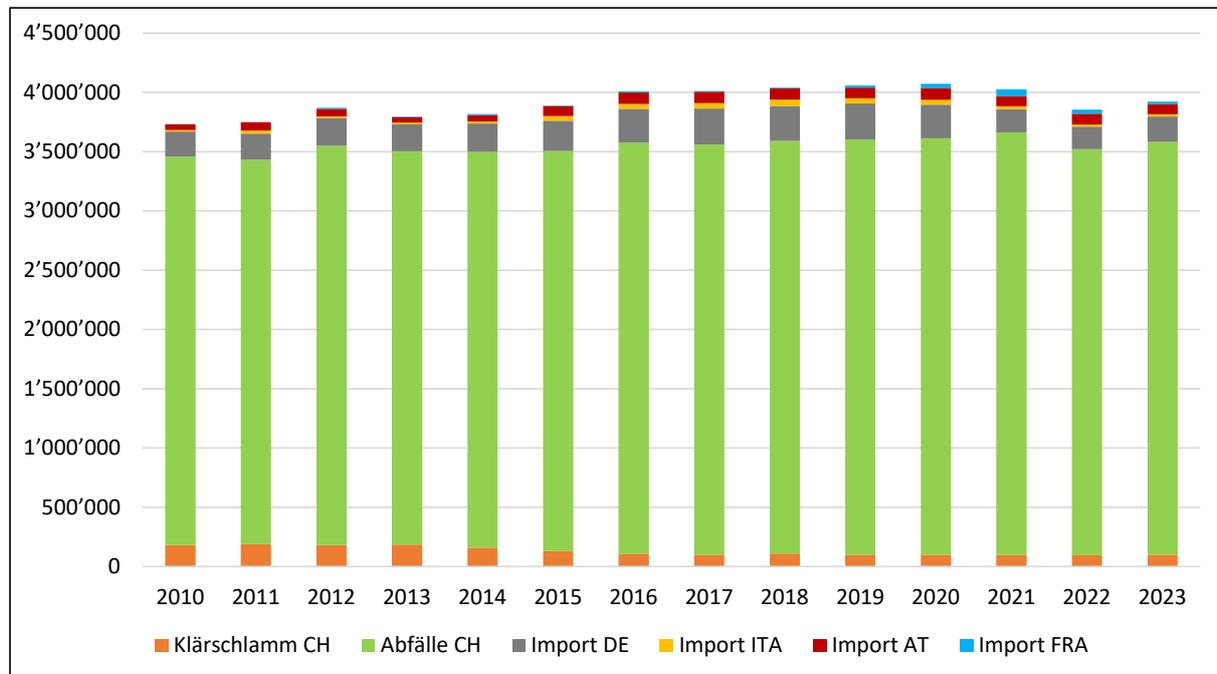


Abbildung 3: In den Schweizern KVA Verbrannte Abfallmenge M_v in Tonnen pro Jahr. Die numerischen Werte der dargestellten Daten sind in Anhang 1 zusammengestellt.

Netto-CO₂ Emissionen aus KVA

KVA-Betreiber können in zwei Dimensionen zur Reduktion der CO₂-Emissionen beitragen:

- Substitution von CO₂-Emissionen bei Dritten
- Vermeidung von klimawirksamen Emissionen mittels CO₂-Abscheidung und dauerhafter Speicherung

Ausserdem können KVA-Betreiber mittels CO₂-Abscheidung und dauerhafter Speicherung die atmosphärische CO₂-Konzentration vermindern, wenn das CO₂ aus der Verbrennung vom biogenen Anteil des Abfalls entsteht.

Während die KVA-Betreiber ihre Substitutionsleistung (a) kontinuierlich verbessern, bereiten sie sich gleichzeitig auf die Einführung von CCS vor, wie in weiteren Abschnitten gezeigt wird.

Die Produktion von Wärme und Strom in den KVA und die Rückgewinnung von Metallen aus Verbrennungsrückstände (Schlacke und Filterasche) führen zu indirekten CO₂-Einsparungen durch Substitution von Primärenergie und primären Rohstoffen bei Dritten.

Die Netto-CO₂-Emissionen pro KVA ergeben sich folglich aus der Differenz zwischen den Brutto fossilen CO₂-Emissionen, den mit einem entsprechenden Emissionsfaktor gewichteten Elektrizitäts- und Wärmelieferungen an Dritte und den indirekten Einsparungen aus der Metallrückgewinnung

$$EM^{Netto} CO_{2,fossil} = EM^B - EF_{ele} \times E_{ele} - EF_w \times E_{w,korr} - MRW_{met} \tag{5}$$

Produktion von Strom

Sämtliche Schweizer KVA sind mit einer Dampfturbine ausgerüstet und produzieren Strom aus der Wärmeenergie, die bei der Verbrennung des Abfalls freigesetzt wird. Die gesamte jährliche Stromproduktion aller Schweizer KVA ist in Abbildung 4 dargestellt.

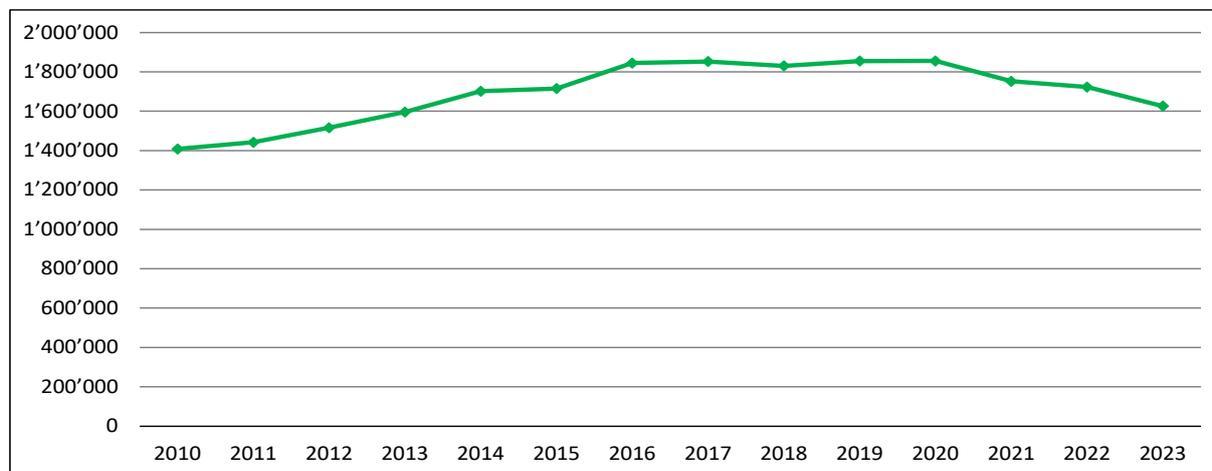


Abbildung 4: Stromproduktion aus KVA, in MWh. Die 29 Schweizer KVA produzieren seit Jahren mehr als 1.6 TWh Strom pro Jahr. Die numerischen Werte der dargestellten Daten sind in Anhang 1 zusammengestellt. Aufgrund mehrerer Havarien an den Dampfturbinen, aber vor allem wegen der vollständigen Einstellung der Stromproduktion der Satom im Jahr 2023, ist die Stromproduktion seit 2020 rückläufig.

Die Stromproduktion aus KVA führt zu CO₂-Emissionsverminderungen, in dem der von den KVA bereitgestellten Strom nicht anderweitig beschaffen werden muss. Der vereinbarte Emissionsfaktor für substituierten Strom beträgt:

$$EF_{\text{ele}} = 29.6 \text{ kg CO}_2 / \text{MWh}$$

Die entsprechende CO₂-Menge wird gemäss Gleichung (5) von den Brutto-Emissionen abgezogen. Bei einer jährlichen Stromproduktion von 1.6 TWh ergibt sich eine jährliche Substitution von 47'360 t CO₂-eq. Der jährliche Abzug ist in Abbildung 6 dargestellt.

Produktion von Wärme

Sämtliche Schweizer KVA speisen Wärme in Fernwärmenetze ein. Viele produzieren auch Prozesswärme in der Form von Dampf für die Industrie. Der jährliche Wärmeabsatz (Heisswasser und Dampf) ist auf Abbildung 5 dargestellt, mit und ohne Witterungskorrektur.

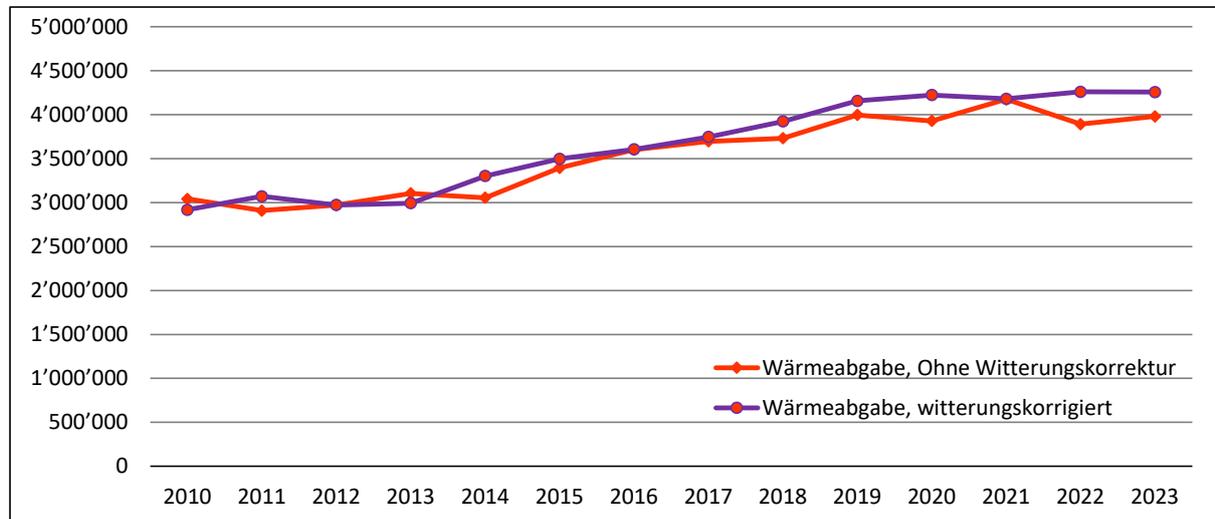


Abbildung 5: Wärmeabsatz der KVA in MWh, ohne und mit Witterungskorrektur. Die 29 Schweizer KVA produzieren seit Jahren mehr als 3.5 TWh Wärme für Fernwärmenetze oder Industrieprozess pro Jahr. Die numerischen Werte der dargestellten Daten sind in Anhang 1 zusammengestellt. Im Jahr 2023 konnte der Rückgang der Dampflieferungen an Industriekunden durch den weiteren Ausbau der Fernwärmenetze kompensiert werden.

Die Nachfrage für Wärme in Fernwärmenetze hängt von der Witterung ab. Um den Einfluss der Witterung zu kompensieren, wird der Wärmeabsatz E_w gemäss folgender Gleichung korrigiert:

$$E_{w,korr} = \left(\frac{40\%}{FWB} + (1 - 40\%) \right) \times E_w \tag{6}$$

mit 40% der Anteil witterungsabhängige Wärme, und FWB der jährlich vom BAFU gerechnete Korrekturfaktor für die Witterung ².

Die externe Nutzung der KVA-Abwärme führt zu CO₂ -Emissionsverminderungen, in dem diese Wärme nicht mit fossilem Brennstoff erzeugt werden muss. Der vereinbarte Emissionsfaktor für substituierte Wärme beträgt

$$EF_w = 224.3 \text{ kg CO}_2 / \text{MWh}$$

Die resultierende witterungsbereinigte Emissionsverminderung betrug in 2023 935'275 t CO₂-eq. Die jährliche Entwicklung des Abzugs ist in Abbildung 6 dargestellt.

² Vgl. Kapitel 1.3 «Witterungsbereinigung» in «Emissionen von Treibhausgasen nach CO₂ -Gesetz und Übereinkommen von Paris», BAFU, April 2024. Bei den 40% witterungsabhängiger Wärme handelt es sich um einen geschätzten Durchschnitt über alle KVA. Der Anteil witterungsabhängige Wärmelieferung kann von KVA zu KVA stark variieren. Er ist zum Beispiel kleiner bei Anlagen, die hauptsächlich Prozessdampf für die Industrie bereitstellen.

Rückgewinnung von Metallen aus Schlacke und Filterasche

Die Metallrückgewinnung aus den Verbrennungsrückständen führt zu indirekten Emissionsverminderungen, indem die anderweitige Gewinnung und Herstellung der Metalle ersetzt wird.

$$MRW_{met} = EF_{met} \times M_{met} \tag{6}$$

Mit

- M_{met} [t]: Die Menge Metalle, die jährlich aus den Verbrennungsrückständen (Schlacke und Filterasche) rückgewonnen wird.
- EF_{met} [t CO₂ pro t Metalle]: der metallspezifische Emissionsfaktor (vgl. Tabelle auf nächste Seite).

Ein CO₂ -Abzug wird für die Rückgewinnung folgender Metalle gewährt: Eisen (Fe), Aluminium (Al), Kupfer (Cu), Stahl rostfrei, Zink (Zn), Blei (Pb), Gold (Au), Silber (Ag). Die vereinbarte Emissionsfaktoren für jeden Metall sind in folgender Tabelle aufgelistet.

	EF_{met} (t CO₂ pro t Metalle)
Eisen (Fe)	1.51
Aluminium (Al)	8.69
Kupfer (Cu)	1.35
Stahl rostfrei	4.15
Zink (Zn)	2.44
Blei (Pb)	1.39
Gold (Au)	1'0813.9
Silber (Ag)	469.4

Der resultierende CO₂ -Abzug ist zusammen mit den Abzügen für Wärme- und Stromabsatz auf Abbildung 6 dargestellt.

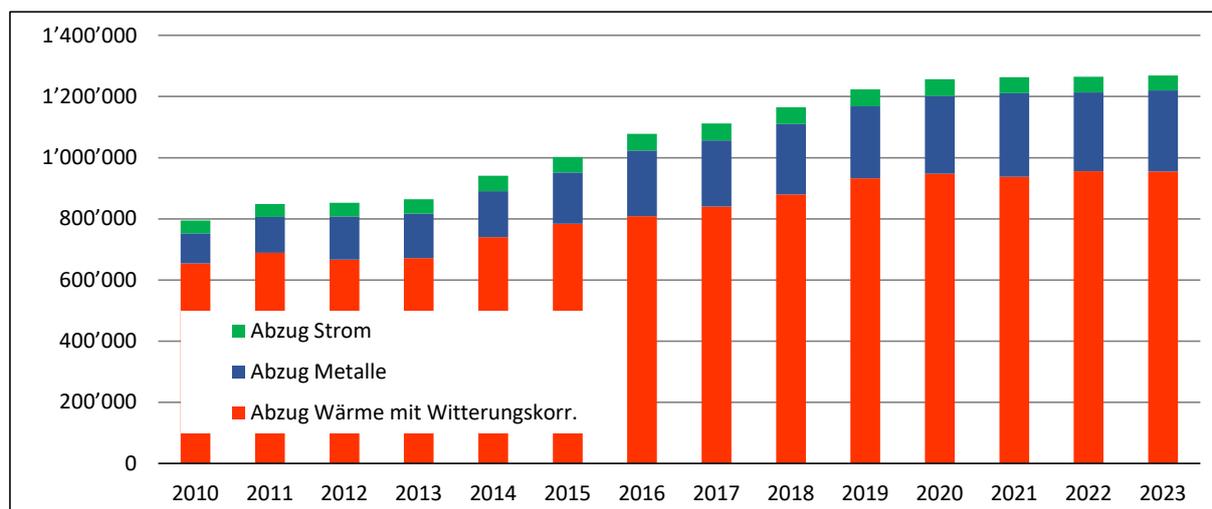


Abbildung 6: CO₂ -Abzüge aus der Produktion von Wärme und Strom sowie aus der Rückgewinnung von Metallen gemäss Gleichung (5), in Tonnen CO₂ pro Jahr. Die numerischen Werte der dargestellten Daten sind in Anhang 1 zusammengestellt.

Alle Terme von Gleichung (5) sind jetzt bestimmt, und die Netto-CO₂ -Emissionen können berechnet werden. Das Ergebnis ist auf Abbildung 7 dargestellt (blaue Kurve).

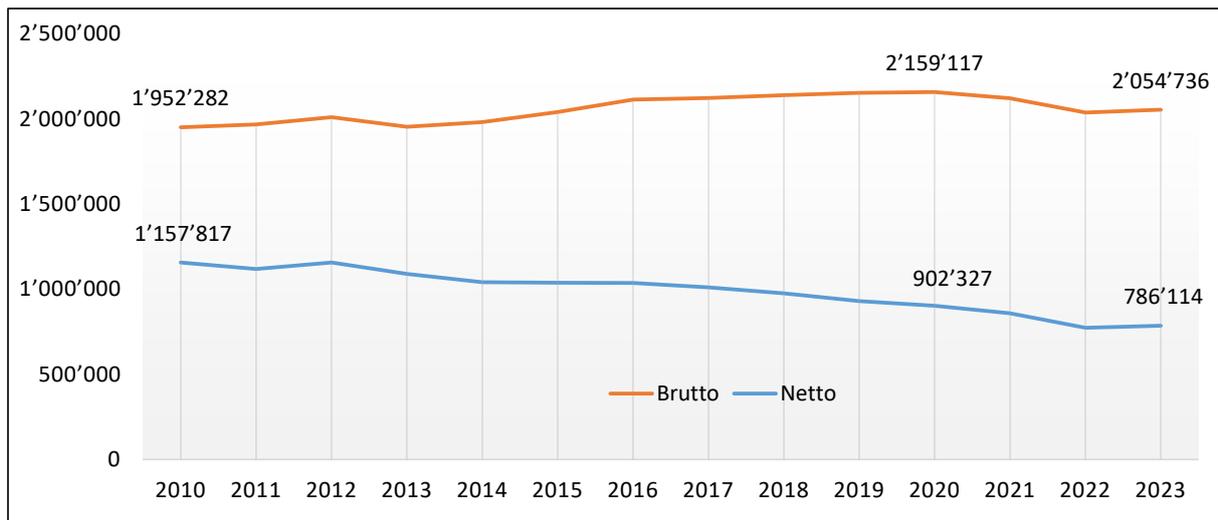


Abbildung 7: Brutto-CO₂-Emissionen EM^B sowie Netto-Emissionen EM^{Netto}CO_{2,fossil} gemäss Gleichung (5), in Tonnen CO₂. Zwischen 2010 und 2020 haben die Netto-Emissionen um 255'490t abgenommen. Die Abnahme der Netto-Emissionen setzt sich fort. Die Brutto-Emissionen sind proportional zu verwerteten Abfallmengen und entwickeln sich entsprechend. Die numerischen Werte der dargestellten Daten sind in Anhang 1 zusammengestellt.

Netto-Emissionen: Bewertung der Entwicklung

In der Vereinbarung von 2014 hatten sich die KVA verpflichtet, ihre Netto-CO₂-Emissionen bis 2020 gegenüber dem Jahr 2010 um 200'000 Tonnen sowie über den gesamten Zeitraum 2010–2020 um eine Million Tonnen zu reduzieren.

Mit Medienmitteilung³ vom 16. März 2022 stellte der Bund fest, dass die 2014 festgelegten Verminderungsziele unter Berücksichtigung der Witterung erreicht wurden.

Wie aus Abbildung 7 ersichtlich, haben die Netto-Emissionen zwischen 2020 und 2022 stark abgenommen, sind aber 2023 wieder leicht angestiegen. Dies ist in erster Linie auf die Abnahme der verbrannten Abfallmenge im Jahre 2022 zurückzuführen (vgl. Abbildung 3). Nach dem starken Rückgang in 2022 ist aber die Abfallmenge 2023 wieder angestiegen. Insbesondere hat die Abfallmenge aus der Schweiz (Abfall CH auf Abbildung 3) gegenüber 2022 um 60'000t zugenommen (nach einem Rückgang von 138'000t in 2022). Gegenüber 2022 sind deswegen die Netto-Emissionen wieder leicht angestiegen (+ 13'000t).

Die zukünftige Entwicklung der Bruttoemissionen hängt in erster Linie von der Menge des behandelten Abfalls ab. Aufgrund des Bevölkerungswachstums dürfte diese eher steigen. Eine ungünstige Entwicklung der Wirtschaft könnte aber der Effekt des Bevölkerungswachstums kompensieren.

Was die Entwicklung der CO₂-Abzüge betrifft, setzt sich die Ausbauphase der Fernwärmenetze fort, so dass der Abzug für den Wärmeabsatz voraussichtlich weiter steigen wird. Dagegen scheint die Stromerzeugung ein Plateau erreicht zu haben. Ein Anstieg des Strom-Abzuges ist deshalb nicht zu erwarten. Beim Abzug für Metallrückgewinnung besteht noch ein gewisses Potenzial, insbesondere bei der Sortierung von Nichteisenmetallen wie Zink, Kupfer, Silber und Gold. Angetrieben durch eine intakte Innovationsdynamik, dürfte der Abzug für die Rückgewinnung von Metallen weiter steigen. Dieser Anstieg wird natürlich durch die Menge des behandelten Abfalls begrenzt: Wenn die KVA weniger Abfall behandeln, werden natürlich auch weniger Metalle zurückgewonnen.

³ CO₂-Emissionen: Vereinbarung zwischen Bund und Kehrrechtverbrennungsanlagen, Medienmitteilung des UVEK vom 16.03.2022, <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/uvek/medien/medienmitteilungen.msg-id-87605.html>

Vereinbarung 2022

Der Bund und die Schweizer Betreiber von Kehrrechtverbrennungsanlagen haben 2022 die Vereinbarung zur Reduktion der CO₂-Emissionen der Branche erneuert. Die Vereinbarung wurde erneut zwischen dem Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) und dem Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (VBSA) abgeschlossen. Diese neue Vereinbarung löst jene aus dem Jahr 2014 ab, die Ende 2021 auslief.

Die Vereinbarung 2022 verpflichtet die KVA-Betreiber dazu, bis 2030 mindestens eine Anlage zur CO₂-Abscheidung in Betrieb zu nehmen. Die Anlage soll eine minimale Nennkapazität von jährlich 100 000 Tonnen CO₂ aufweisen und so viel CO₂ abscheiden, wie es die Transport-, Speicherungs- und Nutzungsbedingungen zulassen. Gleichzeitig müssen die KVA-Betreiber die Grundlagen dafür legen, dass die CO₂-Abscheidung und Speicherung mittel- bis längerfristig im grossen Massstab eingesetzt werden kann. Die Vereinbarung gibt dafür jährliche Zwischenziele vor.

Mit der Vereinbarung 2022 verpflichtet sich der VBSA, für die Dauer der Vereinbarung - voraussichtlich 10 Jahre - im Durchschnitt eine Million Franken pro Jahr in die Entwicklung von Technologien und Systemen zur Abscheidung, Speicherung und Nutzung von CO₂ zu investieren.

Zwischenziel 2023

Das für das Jahr 2023 vereinbarte Zwischenziel lautet:

„Umfassende Prüfung des Potenzials für die Umsetzung von Abscheidung, Speicherung und Nutzung von CO₂ bei jeder Schweizer KVA und des damit verbundenen Investitionsbedarfs. Bei dieser Prüfung werden insbesondere die aktuelle Energienutzung der jeweiligen KVA, die Möglichkeiten zur Speicherung, Nutzung und zum Abtransport des CO₂ sowie mögliche Partnerschaften mit Transport- und Speicherdienstleistern berücksichtigt.“

Der VBSA hat die Firma Ramboll mit der Durchführung der umfassenden Prüfung beauftragt. Ramboll hat dazu jede 29 Schweizer KVA nach der 2022 erarbeiteten Methodik untersucht. Es fand bei jeder Anlage eine Standortbesichtigung statt und es wurde ein strukturiertes Interview der Geschäftsleitung durchgeführt. Die Ergebnisse wurden ausgewertet und sind auf eine Heat Map (Abbildung 8) dargestellt. Der Bericht zur Studie ist diesem Bericht als Anhang 2 beigelegt.

Bei jeder Anlage wurden 23 Kriterien in 5 verschiedenen Kategorien zur Bereitschaft für CCS evaluiert. Die vollständig erfüllten Kriterien sind in der Heat Map in dunklem Grün, die angemessen erfüllten in hellem Grün und jene welche nur mit einem erheblichen Zusatzaufwand erfüllbar sind in Gelb dargestellt.

Die Anlagen wurden in der Heat-Map in Bestandsanlagen und Anlagen in der Planungsphase aufgeteilt. Die Bestandsanlagen sind die Ofenlinien, die nach dem Jahr 2000 in Betrieb genommen wurden und für die es noch keine Erneuerungsprojekte gibt. Die Anlagen in der Planungsphase sind die künftigen Anlagen, wie sie jetzt in der Planungsphase angedacht sind und frühestens 2030 in Betrieb genommen werden. Es stellt sich heraus, dass eine Mehrheit der KVAs (18 Anlagen) vor dem nächsten Investitionszyklus steht und die Planungsarbeiten für die Ersatzanlage mindestens angefangen hat. In diesen Fällen wurden die vorgesehenen Konzepte der Ersatzanlage evaluiert, und nicht die «alte» Anlage, wie sie heute (vor der geplanten Erneuerung) steht. Es ist anzumerken, dass nur 4 der 18 Anlagen in der Planungsphase vor 2035 in Betrieb genommen werden.

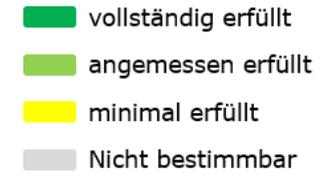
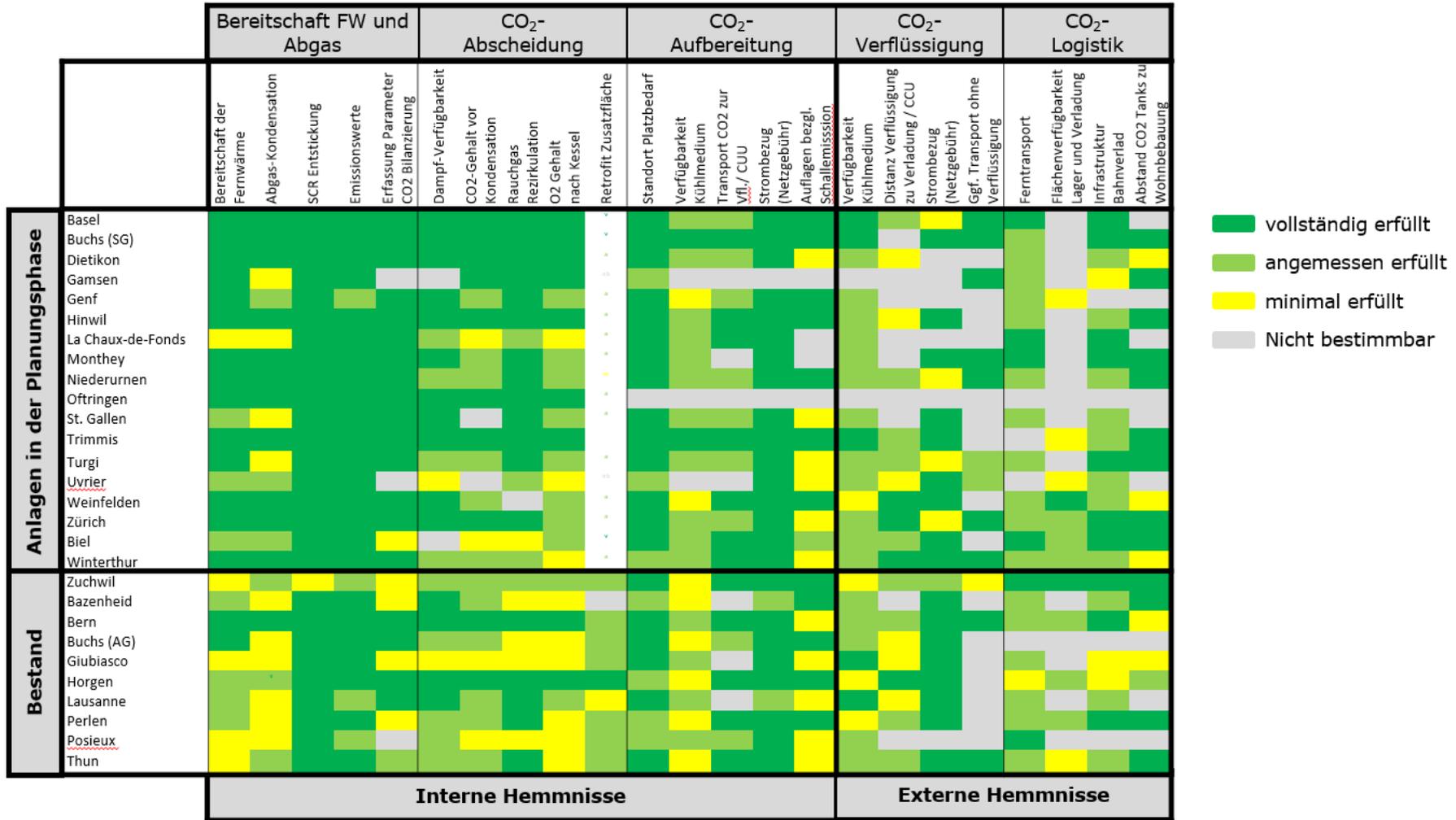


Abbildung 8: Heat Map der aktuellen Stand der technischen Bereitschaft für die Einführung von CCS in verschiedenen Kategorien. Die Bestandsanlagen sind die Ofenlinien, die nach 2000 in Betrieb genommen wurden und für die es noch keine Pläne für eine Erneuerung gibt. Die Erneuerte Anlagen sind die Ofenlinien, die jetzt in der Planungsphase sind und frühestens 2030 in Betrieb genommen werden. Die Interne Hemmnisse sind die Hemmnisse, auf die der KVA-Betreiber einen direkten Einfluss hat. Auf die indirekten Hemmnisse hat der Betreiber höchstens einen indirekten Einfluss. Retrofit kommt nur für Bestandsanlagen in Frage. Die Anlagen in der Planungsphasen werden von Anfang an mit Carbon Capture geplant, d.h. alle Kriterien werden am Ende der Planung als «vollständig erfüllt» eingestuft sein müssen.

Die wichtigsten Erkenntnisse der Ramboll-Studie sind folgende:

Es ist in der Regel nicht sinnvoll, eine bestehende Ofenlinie mit einer CO₂-Abscheidung nachzurüsten: Die technischen Änderungen sind zu umfangreich, die Kosten sind viel zu hoch und die verbleibende Lebensdauer der Ofenlinie ist in der Regel zu kurz, um eine vernünftige Abschreibung zu ermöglichen. Die KVA Horgen bildet hier eine Ausnahme: Dank ihrer geringen Kapazität und modernem Konzept⁴ hätte die KVA Horgen die nötige Flexibilität, um ihre einzige bestehende Linie mit einer CO₂-Abscheidung auszustatten. Das Detail-Engineering für eine Abscheidungsanlage mit einer Jahreskapazität von ca. 40'000t CO₂ wurde 2023 durchgeführt und vom VBSA-Klimafonds mitfinanziert (Abbildung 8).

Bei den 18 Anlagen, die sich in der Planungsphase für eine neue Linie befinden, ist es zwingend erforderlich, die CO₂-Abscheidung rechtzeitig in die Planung einzubeziehen. Wie auf der Heat Map zu sehen ist, war dies bei der Ramboll-Studie im Jahr 2023 noch nicht der Fall, aber gerade diese Studie hat die Betreiber auf mögliche Lücken in ihrer Planung aufmerksam gemacht. Wenn diese Projekte in die Realisierungsphase eintreten, müssen alle Kriterien «vollständig erfüllt» und alle Felder dunkelgrün sein.

Weiter hat die Ramboll-Studie gezeigt, dass es wichtig ist, zwischen internen und externen Faktoren (oder Hemmnisse) zu unterscheiden. Interne Faktoren sind solche, auf die der Betreiber einen entscheidenden Einfluss hat. Wichtige interne Faktoren, die für die Installierung einer CO₂-Abscheidung günstig sind, sind:

- Rauchgaskondensation
- Rauchgasrezirkulation
- Katalytische Entstickung
- Auslegung des Fernwärmenetzes (Grösse, Vorlauf- und Rücklauftemperaturen)

Die Auslegung des Fernwärmenetzes hat einen grossen Einfluss auf die energetische Integration der CO₂-Abscheidung. Die CO₂-Abscheidung (insbesondere das Amin-Verfahren) ist ein sehr energieintensives Prozess. Bei grossen Fernwärmenetze mit verhältnismässig tiefen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen lässt sich jedoch eine CO₂-Abscheidung nach dem Amin-Verfahren sehr gut integrieren, ohne Einbussen bei der Wärmeeinspeisung ins Fernwärmenetz. Ein solcher energieoptimierten Betrieb ist also möglich, erfordert aber zusätzliche Investitionen in Grosswärmepumpen.

Externe Faktoren sind solche, auf die der Betreiber wenig, bis gar keinen Einfluss hat, wie zum Beispiel:

- Investitionszyklus der Anlage (Erneuerung / Neubau gerade abgeschlossen, Erneuerung in der Planung, Erneuerung erst in > 15 Jahren)
- Anschlussmöglichkeit an einer Logistik-Infrastruktur für den Abtransport des CO₂.

Insbesondere die logistischen Schwierigkeiten, die mit dem Abtransport von CO₂ verbunden sind, wurden in der Studie deutlich gezeigt: Solange es keine Pipeline gibt, wird CO₂ diskontinuierlich auf LKW, Züge oder Schiffe transportiert werden müssen. Der diskontinuierliche Transport hat zwei unmittelbare Konsequenzen: (1) CO₂ muss verflüssigt werden und (2) es müssen grosse CO₂-Mengen

⁴ Hohe CO₂-Konzentration, Nasswäscher, SCR

zwischenlagert werden. Der Transport per LKW ist sehr personalintensiv und für Jahresmengen grösser als 50'000t zu teuer. Auch aufgrund der Umweltbilanz eines LKW Transportes sollte diese Option für grössere Mengen ausgeschlossen werden. Der Transport per Schiff ist nur ab Basel möglich. Der Transport in Bahnkesselwagen erfordert einen Anschluss an einen Umschlagbahnhof. Der Platzbedarf für den CO₂-Umschlag an einem solchen Umschlagbahnhof ist sehr gross: Der Standort muss die Beladung von 300m lange Blockzüge erlauben, aber auch die Verflüssigungsanlage sowie mehrere tausend Tonnen Zwischenlagerkapazität für das Gefahrgut CO₂ umfassen. Es erweist sich als sehr schwierig, geeignete Bahnstandorte zu finden, die durch eine CO₂-Gastransportleitung mit der nächsten KVA verbunden werden könnten. Die Planung, die Einrichtung und der Betrieb solcher CO₂- Umschlagbahnhöfe liegen weitgehend ausserhalb des Einflussbereichs des Betreibers einer KVA.

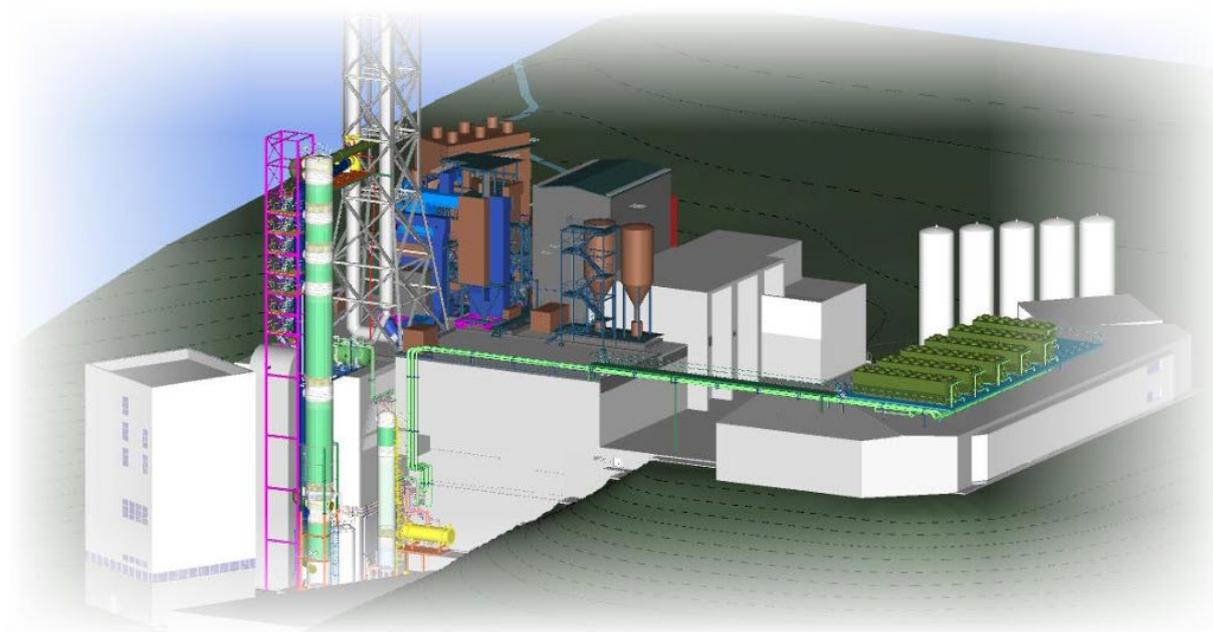


Abbildung 9: Titelbild des Berichtes „Detail-Engineering CO₂-Abscheidung und Behandlung“ vom 08.11.2023, Hitachi Zosen Inova AG im Auftrag von Entsorgung Zimmerberg, verfügbar auf www.vbsa-co2.ch/2023.html. Bei der KVA Horgen wäre die CO₂-Logistik mit LKW vorstellbar.

Von den 18 Anlagen in der Planungsphase, die in der Heat Map in .Abbildung 8. dargestellt sind, werden voraussichtlich nur 4 vor 2035 in Betrieb gehen:.

	Kapazität (t CO ₂)	Technologie	Investitionsbedarf (Schätzung) Mio. CHF
KVA Horgen	40'000	Aminwäsche	25
KVA Linth	100'000	Aminwäsche oder Hot Potassium Carbonate	150
Satom	215'000	offen	Noch ausstehend
KHKW Hagenholz	365'000	Aminwäsche	386

Eine Schätzung des Investitionsbedarfs für alle andere Abscheidungsanlagen, die erst nach 2032 gebaut werden können, ist aus unserer Sicht noch nicht möglich, vor Allem weil die Abscheide-Technologie (Aminwäsche, Hot Potassium Carbonate oder eventuell Membrane) noch nicht feststeht. Auch ist die technologische Entwicklung sehr dynamisch und könnte zu Preissenkungen führen. Auf der anderen Seite ist die Nachfrage nach Abscheide-Anlagen und sonstigen CO₂-Technologien

(Verflüssigungsanlagen, Kryotanks) geradezu am Explodieren, was kurzfristig zu Preissteigerungen führen wird.

VBSA-Klimafonds 2023

2022 hat der VBSA einen zweckgebundenen Fonds, den VBSA-Klimafonds, geschaffen. Der VBSA-Klimafonds wird von allen KVA gespeist, in der Form eines ausserordentlichen Mitgliederbeitrag für KVA-Betreiber. Der VBSA-Vorstand stellt jährlich den Antrag zur Erhebung des ausserordentlichen Mitgliederbeitrags vor der Generalversammlung. Dabei legt er die Höhe des ausserordentlichen Beitrags so, dass die Summe der jährlich erhobenen ausserordentlichen Beiträge im Bereich von CHF 1 Mio (+/- 10%) liegt. Diese Summe fliesst vollumfänglich dem VBSA-Klimafonds zu.

Für das Jahr 2023 wurde der ausserordentliche Mitgliederbeitrag für die KVA-Mitglieder von CHF 0.275 pro Tonne verbrannter Abfall von der Generalversammlung beschlossen.

Der VBSA investiert die Beträge des VBSA-Klimafonds in die Erreichung der Vereinbarungsziele. Die Richtlinien zur Verwendung des VBSA-Klimafonds legen das Entscheidungsverfahren über Finanzierungsanträge fest.

Die Richtlinien zur Verwendung des VBSA-Klimafonds sowie eine aktuelle Auflistung der finanzierten Projekte sind auf die Internetseite www.vbsa-co2.ch ersichtlich.

Die wichtigsten Projekte, die 2023 durch den VBSA-Klimafonds mitfinanziert wurden, sind:

Projektbezeichnung	Beitrag VBSA-Klimafonds
CO₂ Kompetenzzentrum ZAR (2/3)	CHF 400'000.-
DemoUpCarma ETHZ (2/2)	CHF 155'000.-
Horgen CCS Phase 2	CHF 50'000.-
Durchführung Standortbewertung	CHF 161'900.-
Diverse Aufträge < 50'000.-, insgesamt	CHF.105'396.-

Weitere Informationen zu den (mit)finanzierten Projekten, inklusiv eine auditierte Buchhaltung des VBSA-Klimafonds, sind auf die Internetseite des Fonds www.vbsa-co2.ch zu finden.

Anhang 1: Zusammenstellung aller im Bericht dargestellten Daten

Die zum Bericht gehörenden Excel-Datei enthält auch anlagespezifische Daten.

Bezeichnung	Einheit	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Heizwert Hu von Abfällen in KVA	MJ pro kg Abfall	11.69	11.75	11.59	11.47	11.59	11.74	11.82	11.88	11.89	11.91	11.90	11.81	11.86	11.72
In den CH-KVA verbrannte Abfallmenge (gesamt)	t Abfall	3'732'303	3'748'128	3'869'788	3'794'613	3'816'753	3'889'161	4'010'006	4'011'025	4'041'685	4'059'376	4'071'644	4'026'665	3'854'935	3'920'802
Davon Klärschlamm (Entwässert)	t Abfall (Klärschlamm)	181'883	189'378	181'530	185'512	158'153	131'076	105'119	98'772	109'295	99'109	99'034	99'036	96'729	97'297
Davon Abfälle aus der Schweiz (ohne Klärschlamm)	t Abfall (CH)	3'276'739	3'242'971	3'368'380	3'318'502	3'341'384	3'374'718	3'470'786	3'461'748	3'481'760	3'501'751	3'513'414	3'562'561	3'424'662	3'484'402
Davon importierte Abfälle	t Abfall (Import)	273'681	315'779	319'878	290'599	317'216	383'367	434'101	450'506	450'630	458'516	459'196	365'068	333'544	339'102
Brutto CO ₂ -Emissionen aller CH-KVA	t fossiles CO ₂	1'952'282	1'967'945	2'010'490	1'955'286	1'982'297	2'040'917	2'115'023	2'123'146	2'141'049	2'153'681	2'159'117	2'122'618	2'038'709	2'054'736
Stromabsatz aller CH-KVA	MWh	1'408'184	1'442'379	1'516'543	1'596'455	1'702'041	1'715'470	1'845'190	1'852'441	1'830'591	1'854'717	1'855'487	1'752'443	1'722'783	1'626'370
Abzug: Emissionsminderung dank Stromabsatz	t CO ₂ -Equivalent	41'682	42'694	44'890	47'255	50'380	50'778	54'618	54'832	54'185	54'900	54'922	51'872	50'994	48'141
Wärmeabsatz aller CH-KVA	MWh	3'041'209	2'909'827	2'971'711	3'105'197	3'055'045	3'395'094	3'600'256	3'696'118	3'731'847	3'996'991	3'929'309	4'175'137	3'892'572	3'980'468
FWB: Witterungskorrektur-Faktor gemäss BAFU	(-)	1.112	0.878	0.999	1.099	0.832	0.930	0.996	0.967	0.886	0.909	0.842	0.997	0.809	0.852
Abzug: Emissionsminderung dank Wärmeabsatz	t CO ₂ -Equivalent	654'661	688'950	666'822	671'399	740'593	784'447	808'835	840'356	880'134	932'426	947'497	937'610	955'558	954'855
Menge rückgewonnene Eisenschrott	t pro Jahr	47'231	47'102	55'572	54'199	54'797	56'471	60'007	57'249	58'034	59'894	62'323	61'867	59'292	58'529
Menge rückgewonnene Nicht-Eisenmetalle	t pro Jahr	5'460	9'327	11'556	12'985	13'776	16'722	17'736	19'737	21'362	21'125	22'978	26'276	24'973	26'293
Abzug: Emissionsminderung dank Metall-Rückgewinnung	t CO ₂ -Equivalent	98'121	117'023	140'840	145'735	150'113	166'954	214'439	216'478	230'411	235'821	254'371	273'894	258'261	265'626
Netto CO ₂ -Emission, witterungskorrigiert	t CO ₂ -Equivalent	1'157'817	1'119'278	1'157'938	1'090'896	1'041'210	1'038'738	1'037'131	1'011'480	976'318	930'535	902'327	859'241	773'895	786'114

Spezifische Kennwerte pro Tonne Abfall	Einheit	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Brutto-Emissionen pro Tonne Abfall	t CO ₂ pro Tonne Abfall	0.523	0.525	0.520	0.515	0.519	0.525	0.527	0.529	0.530	0.531	0.530	0.527	0.529	0.524
Stromabsatz pro Tonne Abfall	MWh pro Tonne Abfall	0.377	0.385	0.392	0.421	0.446	0.441	0.460	0.462	0.453	0.457	0.456	0.435	0.447	0.415
Wärmeabsatz pro Tonne Abfall	MWh pro Tonne Abfall	0.815	0.776	0.768	0.818	0.800	0.873	0.898	0.921	0.923	0.985	0.965	1.037	1.010	1.015
Metalle-Rückgewinnung pro Tonne Abfall	kg Metalle pro Tonne Abfall	14.12	15.06	17.35	17.71	17.97	18.82	19.39	19.19	19.64	19.96	20.95	21.89	21.86	21.63
Netto-Emissionen, witterungskorrigiert, pro Tonne Abfall	t CO ₂ pro Tonne Abfall	0.310	0.299	0.299	0.287	0.273	0.267	0.259	0.252	0.242	0.229	0.222	0.213	0.201	0.200

Anhang 2: Erhebung des Potenzials der Kehrrechtverwertungsanlagen der Schweiz Für den Einsatz der CO₂-Abscheidung (Carbon Capture), Ramboll, 12.02.2024

Erhebung des Potenzials der Kehrrechtverwertungsanlagen der Schweiz

Für den Einsatz der CO₂-Abscheidung (Carbon Capture)

Projektname	Bewertungsraster CCS
Projekt Nr.	VBS138
Empfänger	Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen Dr. Robin Quartier
Dokumententyp	Zwischenbericht
Version	0.1
Datum	12.02.2024
Erstellt von	Johann Lechthaler
Geprüft von	Andres Kronenberg

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	2
1. Ausgangslage	3
2. Methodik	3
3. Ergebnisse	4
3.1 Technische und infrastrukturelle Bereitschaft	4
3.2 Realisierungsrahmen	5
3.3 Zusammenfassende Botschaft	6
4. Anhänge	7

Abkürzungsverzeichnis

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
CAPEX	Capital Expenses
CCS	Carbon Capture and Storage
CCS ready	Bereitschaft zur Implementierung einer CC Technologie
EMI	Emissionen
HUB	Zentraler Knotenpunkt
KVA	Kehrlichtverwertungsanlagen
OPEX	Operational Expenses
StfV	Störfallverordnung
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VBSA	Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen

1. Ausgangslage

In der Klimastrategie der Schweiz ist das Ziel der Netto-Null-Emissionen bis 2050 festgeschrieben. Dieses ambitionierte Vorhaben birgt die Herausforderung, dass selbst bei einer Transformation zu erneuerbar beheizten Gebäuden, dekarbonisiertem Verkehr und nachhaltiger Elektrizitätserzeugung in anderen Sektoren schwer vermeidbare Emissionen von rund 12 Mio. t CO₂ anfallen. Eine Schlüsselkomponente zur Emissionsminderung ist die gezielte Abscheidung von CO₂, insbesondere aus Kehrriichtverwertungsanlagen (KVA). Dieser Ansatz sieht vor, 2 Mio. t fossiles CO₂ aus KVA und weitere 3 Mio. t aus Zementwerken und anderen Industrien mittels Carbon Capture and Storage (CCS) abzuscheiden.

Vor diesem Hintergrund steht auch die Entfernung von CO₂ im Fokus, die Abscheidung biogenen CO₂ in KVA sowie CCS bei Biomassekraftwerken (BECCS). Gemäss den Energieperspektiven 2050+ des Bundesamts für Energie sollen bis 2050 jährlich 7 Mio. t CO₂ durch CCS abgetrennt und gespeichert werden. Um diesen Weg zu beschleunigen, sieht die Branchenvereinbarung zwischen dem Bundesamt für Umwelt und dem Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (VBSA) vor, dass bereits bis 2030 eine erste CCS-Anlage mit einer Abscheideleistung von 100'000 t/a an einer KVA errichtet und betrieben wird. Die langfristige Strategie zielt darauf ab, die Abscheideleistung bis 2050 auf 3.6 Mio. t CO₂ pro Jahr zu erhöhen, was 90% der KVA-Emissionen entspricht.

2. Methodik

Diese richtungsweisende Massnahme wird in enger Zusammenarbeit zwischen dem VBSA und dem BAFU vorangetrieben. Gemäss der Branchenvereinbarung wird der Fortschritt zur Erfüllung der Massnahme durch das Erreichen von Zwischenzielen kontrolliert. Für das Zwischenziel 2023 wurde im Rahmen einer Potenzialanalyse aller Schweizer KVA neben den technischen Aspekten auch die individuelle Situation jeder KVA beleuchtet, um die Hemmnisse für eine Umsetzung der CCS-Technologie zu evaluieren und aufzuzeigen.

Aufgrund der unterschiedlichen Investitionszyklen wurden die KVA in der Schweiz unterteilt in solche, die die CCS-Bereitschaft (CCS ready) bereits in die Planung der Anlagenerneuerung integriert haben und in bestehende Anlagen, die zusätzliche Nachrüstungsmassnahmen erfordern. Zudem wurden die regulatorischen Rahmenbedingungen, die ausserhalb des Entscheidungs- und Ermessensspielraums der KVA liegen, als externe Bereitschaft zusammengefasst und die KVA entsprechend daraufhin überprüft.

Der Bericht fasst die wesentlichen Ergebnisse aus 27 Workshops mit spezifischen Einzelbetrachtungen und gemeinsamen Bestandsaufnahmen zusammen. Darüber hinaus wurden weitere CO₂-Emittenten und -Abnehmer identifiziert und damit Möglichkeiten für effiziente CO₂-HUBs aufgezeigt, die eine kombinierte CO₂-Verflüssigung und -Logistik ermöglichen. Dieser ganzheitliche Ansatz ist entscheidend, um das gemeinsame Ziel einer nachhaltigen CO₂-Abscheidung in Schweizer KVA zu erreichen.

3. Ergebnisse

3.1 Technische und infrastrukturelle Bereitschaft

Die Bereitschaft und der Realisierungsrahmen für Carbon Capture and Storage in Schweizer Kehrichtverwertungsanlagen gliedern sich in eine interne Bereitschaft, auf die die Betreiber Einfluss haben, und eine externe Bereitschaft, die ausserhalb des Einflussbereichs der Betreiber liegt.

Die interne Bereitschaft zur Umsetzung von CCS in Schweizer KVA zeigt einen deutlichen Fortschritt (siehe Abbildung 3-1). Im Rahmen der laufenden und anstehenden Erneuerungszyklen werden bereits 18 Anlagen mit dem Ziel der CC-Readiness geplant und umgebaut. Dies zeigt ein starkes Engagement der Betreiber, die kommende Anforderung der CO₂-Abscheidung proaktiv anzugehen und eine hohe technische Bereitschaft für die Integration von CCS-Technologien in neue und bestehende Anlagen zu gewährleisten. Die geplante Erneuerung von Anlagen impliziert eine Antizipation zukünftiger regulatorischer Anforderungen und eine entsprechende Vorbereitung auf technische Ausgestaltungen, um CCS effizient umsetzen zu können.

Für Anlagen, die im letzten Investitionszyklus noch nicht für die Integration von CCS-Technologien geplant wurden, ergibt sich hingegen ein zwingender Bedarf an Nachrüstungsmassnahmen. Bestehende Hemmnisse können hier durch die Förderung der technologischen Anpassungsbereitschaft der Anlagenbetreiber überwunden werden.

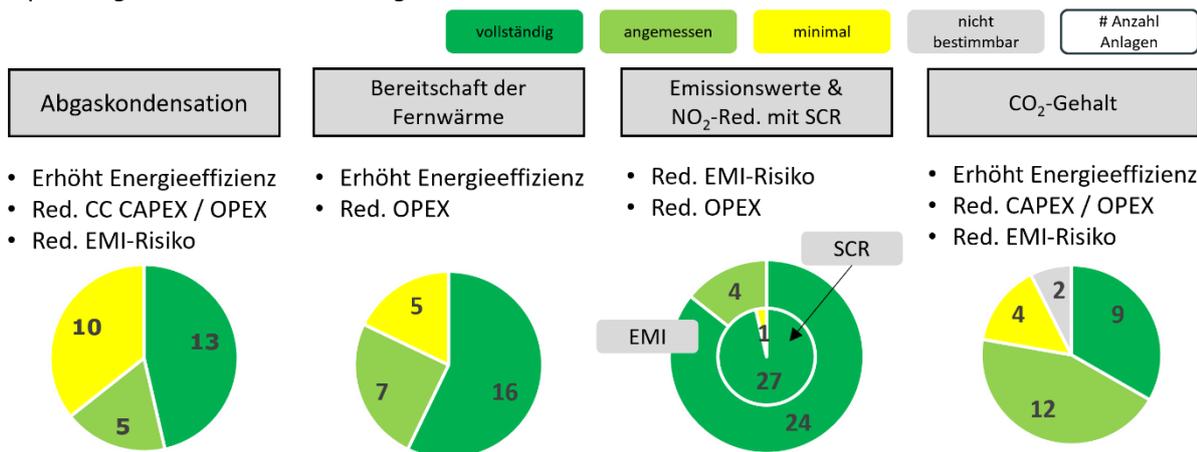


Abbildung 3-1: Massnahmenerfüllung für interne Bereitschaft für CCS.

Die externe Bereitschaft für CCS in der Schweiz hängt wesentlich von regulatorischen Rahmenbedingungen und infrastrukturellen Voraussetzungen ab (siehe Abbildung 3-2). Als wichtigste technische Hürde wird die CO₂-Logistik identifiziert, insbesondere die Transportmodalitäten per Bahn oder Pipeline. Die Entwicklung einer flächendeckenden CO₂-Logistik stellt sich als eine der vordringlichen Aufgaben aller Beteiligten dar, um langfristig eine effiziente Umsetzung der CCS-Technologie zu gewährleisten.

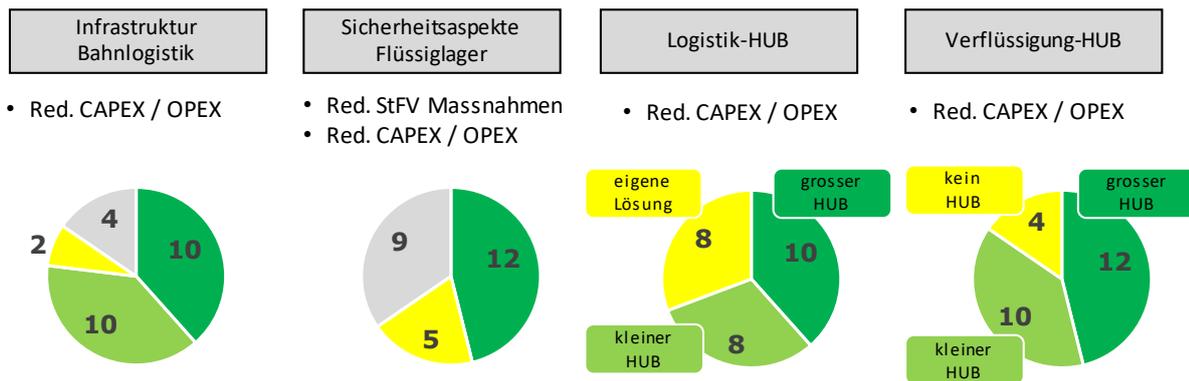


Abbildung 3-2: Massnamenerfüllung für externe Bereitschaft für CCS.

3.2 Realisierungsrahmen

Der Zeitplan für die Adaption von CCS durch die Schweizer KVA (siehe Abbildung 3-3) gliedert sich in drei Phasen:

Die Pionierphase (heute bis 2032), in der innovative Betreiber CCS in die Planung ihrer neuen Anlagen integrieren, zeigt eine positive Startphase der CCS-Implementierung mit ausreichenden Abscheideleistungen gemäss Zielvorgaben.

Für die Wachstumsphase (bis 2042) zeichnet sich eine breite Einführung von CC ab, die durch städtische und regionale klimapolitische Ziele gefördert wird.

In der Spätphase (nach 2042) ist dagegen eine Tendenz zur Erfüllung von Emissionsreduktionen erst zum spätest möglichen Zeitpunkt zu erkennen, da eine Vorverlegung nicht in den Investitionszyklus der Anlagen passt und regionale Ziele kein schnelleres Handeln erfordern. Im Vergleich zum Energieperspektivenbericht 2050+ zeigt sich, dass ab 2045 ohne verbindliche Vorgaben oder finanzielle Anreize die Ziele möglicherweise nicht erreicht werden.

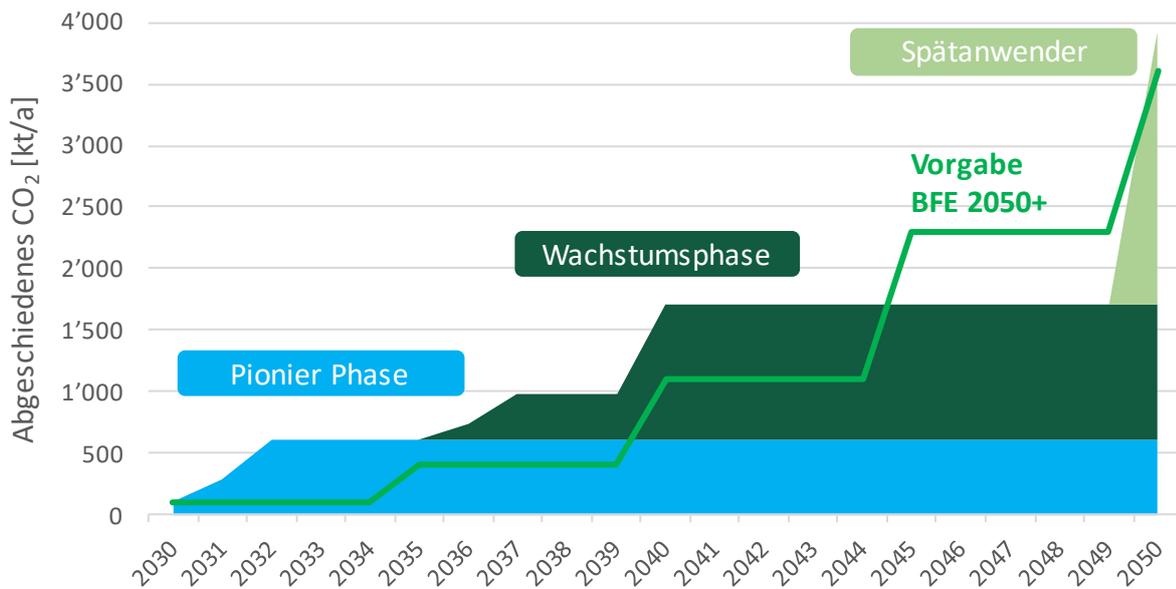


Abbildung 3-3: Ausbau der CO₂-Abscheidungskapazität im Vergleich zu Energieperspektiven 2050+.

3.3 Zusammenfassende Botschaft

Die KVA sind bereit: Die Bereitschaft der Schweizer KVA zur Umsetzung von CC-Technologien ist hoch. Die Branche ist engagiert und handlungsbereit, was sich nicht zuletzt darin zeigt, dass mehr als die Hälfte aller Anlagen entweder «CC-ready» neu geplant oder erneuert werden. Dies bedeutet, dass eine Integration der CC-Technologie zu einem späteren Zeitpunkt aus technischer Sicht möglich ist. Die Anlagen, die von Anfang an CC-ready konzipiert werden, weisen zudem eine hohe Energieeffizienz durch höhere Fernwärmeauskopplung auf. Für Bestandsanlagen, die heute noch nicht für die neuen CC-Technologien ausgelegt sind, können die technischen Hürden im nächsten Investitionszyklus überwunden werden. Diese zusätzlichen Massnahmen zur Modernisierung und Nachrüstung älterer Anlagen zeigen das Engagement der Branche, einen wesentlichen Beitrag zur CO₂-Reduktion zu leisten.

Fehlende Rahmenbedingungen: Ungeachtet der technischen Bereitschaft stehen die KVA vor erheblichen Herausforderungen, die überwiegend ausserhalb ihres Einflussbereichs liegen. So fehlen derzeit eine übergeordnete und effizient organisierte Logistik für den CO₂-Transport sowie vertragliche Regelungen für die langfristige und sichere Speicherung des abgeschiedenen CO₂. Ebenso mangelt es an einem klaren Konzept zur Finanzierung der notwendigen Investitionen (CAPEX) und resultierenden Betriebskosten (OPEX), was Fragen zur Ausgestaltung der Abgaben und Erlöse aufwirft.

Ein weiterer struktureller Engpass ist der derzeit lückenhafte regulatorische Rahmen für den Umgang mit potenziellen Emissionen aus dem Aminprozess, der CO₂-Speicherung und dem Transport. Ohne eine klare rechtliche Grundlage bleibt die Umsetzung der CC-Technologie aufwändig und unabwägbar.

Bereitschaft der Technologie: Auf technologischer Ebene sind noch einige Fragen offen. Besonderes Augenmerk gilt den Abbauprodukten und Emissionen, die beim Aminprozess resultieren können. Hier sind weitere Vorarbeiten und die Übernahme von Lessons Learned aus grosstechnischen Anlagen im Ausland notwendig, um die Umweltauswirkungen zu minimieren und den Prozess zu optimieren. Darüber hinaus werden der Einsatz und die Ergebnisse von HPC-Pilotanlagen im Ausland, die im Teilstrom des KVA-Abgases betrieben werden, als interessante Alternative mit Entwicklungsbedarf für Grossanlagen verfolgt.

Unterstützung der Pioniere: Ein wesentlicher Faktor für den erfolgreichen Einsatz von CC-Technologien ist die Unterstützung der so genannten «First Mover», also der Anlagenbetreiber, die die neuen Technologien als erste einführen. Diese Pioniere benötigen politische und branchenweite Unterstützung, um bestehende Hemmnisse abzubauen. Ihre Erfahrungen sind sowohl für die technische Weiterentwicklung als auch für das regulatorische Umfeld wertvoll. Die Erfolge der Pioniere können als Blaupause für die zukünftige Umsetzung in CC-ready Anlagen dienen und einen positiven Multiplikatoreffekt für die gesamte Branche erzeugen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die KVA-Branche in der Schweiz aktiv auf den Einsatz von Carbon Capture vorbereitet. Während die technische Machbarkeit bereits in greifbare Nähe gerückt ist, sind es vor allem externe Faktoren wie fehlende Rahmenbedingungen und die notwendige Unterstützung von Pionieren, die den Fortschritt der Umsetzung beeinflussen. Durch eine konstruktive Zusammenarbeit von Politik, Wirtschaft und Forschung können diese Hindernisse jedoch überwunden und ein wichtiger Schritt in Richtung nachhaltiger Abfallwirtschaft und Klimaschutz geleistet werden.

4. Anhänge

Präsentation «CC auf KVA - Ergebnisse der Standortbewertung» im Rahmen des VBSA-Klimafonds

Faktenblätter aus Workshops: Potenzialerhebung KVA (Vertraulich - Nur für die interne Dokumentation bestimmt)