

cem+
suisse

Carbon Capture:
der Weg zu
klimaneutralem
Zement

18t

Inhalt

Zement: Zentrales Element für eine moderne Gesellschaft	5
Woher kommen die CO ₂ -Emissionen?	6
Die Schweizer Zementindustrie hat einen Plan: Roadmap 2050	7
Carbon Capture and Storage (CCS)	10
Carbon Capture and Utilization (CCU)	12
Mögliche Umsetzung in der Zementindustrie bis 2030 und bis 2050	14
Fazit	18

Ein Überblick

Ohne Zement und Beton geht in unserer entwickelten Gesellschaft nichts. Zement ist der Bestandteil, der dem Beton seine wesentlichen Eigenschaften verleiht: Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Robustheit. Und Beton ist als Multitalent der Baustoff unserer Zeit schlechthin und das Fundament unserer Welt. In welchen Lebensbereich der modernen Gesellschaft man auch blickt: Überall leistet Beton unverzichtbare Dienste.

Eine Zukunft ohne Zement ist nicht denkbar – eine Zukunft mit CO₂-neutralem Zement jedoch erreichbar. Technologien wie Carbon Capture and Storage (CCS) und Carbon Capture and Utilization (CCU) spielen dabei eine

wesentliche Rolle. Sie ermöglichen nicht nur die Dekarbonisierung der Zementindustrie, sondern können auch zur Energiesicherheit beitragen. Diese Publikation zeigt, wie die ambitionierten Netto-Null-Ziele umgesetzt werden können. Die Zementindustrie ist bei der Erreichung der Ziele auf die Mithilfe von Politik und Gesellschaft angewiesen. Netto Null ist möglich, aber es braucht dazu Rahmenbedingungen, die nur die Politik setzen kann. Bevor technische Herausforderungen angegangen werden, sind für die Zementindustrie also international wettbewerbsfähige Rahmenbedingungen elementar, um die nötige Planungssicherheit für diese langjährigen und kostenintensiven Projekte zu schaffen.





Zement: Zentrales Element für eine moderne Gesellschaft

Zement verleiht dem Beton seine wesentlichen Eigenschaften Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Robustheit. Das Bindemittel besteht in erster Linie aus Kalkstein, Ton oder Mergel. Brennt man diese Gesteine bei hohen Temperaturen, entsteht Klinker. Dieses Vorprodukt ist ein Hauptbestandteil oder gar der wichtigste Bestandteil von Zement. Mischt man den fertigen Zement mit Wasser, setzt eine chemische Reaktion ein, die zur Verfestigung und Aushärtung des Stoffes führt. Gemischt mit Sand und Kies entsteht Beton, der wohl wichtigste Baustoff unserer Zeit. Besonders an diesem Baustoff sind vor allem die Vielfältigkeit seiner Anwendungsmöglichkeiten sowie seine vielseitigen Eigenschaften:

- **Beton ist dauerhaft**
- **Beton ist belastbar**
- **Beton widersteht Druck und Feuchtigkeit**
- **Beton schafft effiziente und flexible Tragstrukturen**
- **Beton ist nicht brennbar**
- **Beton ist vollständig rezyklierbar**

Auch eine nachhaltige Zukunft ist ohne Zement und Beton undenkbar. Sowohl die Klimastrategie des Bundes zu Netto-Null 2050 als auch ein 2020 erschienener Bericht über die Rohstoffversorgung in der Schweiz gehen von einem stabilen Zementverbrauch für die Zukunft aus. Denn auch in einer dekarbonisierten Welt braucht es weiterhin den vielseitigen Baustoff und seine zahlreichen Anwendungen. Zement und Beton ermöglichen:

- **Die Erstellung von solider und dauerhafter Infrastruktur (Wasserversorgung, Verkehr, etc.)**
- **Energie-effizienten Wohnraum für eine stetig wachsende Bevölkerung**
- **Verdichtetes Bauen für den Erhalt von Landwirtschaft und Naturräumen**
- **Transportinfrastruktur für Schiene und Strasse**
- **Nachhaltige Energiegewinnung (beispielsweise Wasserkraft)**
- **Schutz vor Naturgefahren**

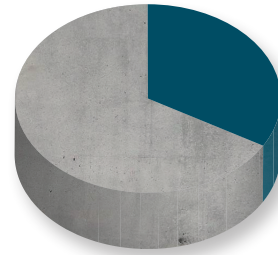
Woher kommen die CO₂-Emissionen?

Der wichtigste Bestandteil von Zement ist Klinker, der die Bindereaktion im Beton zusammen mit Wasser in Gang setzt. Die Klinkerproduktion selbst ist sehr energieintensiv. Neben den CO₂-Emissionen aus Brennstoffen verursacht sie den grössten Anteil der CO₂-Emissionen der Zementindustrie – die CO₂-Prozessemissionen, die bei der Kalzinierung, d.h. der Umwandlung von Kalkstein (CaCO₃) zu gebranntem Kalk (CaO) entstehen. Das CO₂ aus dem Kalkstein wird so in die Atmosphäre freigesetzt. Diese Emissionen werden als geogene Emissionen bezeichnet.

Diese geogenen Emissionen lassen sich nicht durch Effizienzsteigerungen des Brennvorgangs oder den Einsatz von alternativen oder biogenen Brennstoffen senken. Sie sind unmittelbar mit der Herstellung von Zementklinker verbunden. Die geogenen Emissionen machen rund zwei Drittel der CO₂-Emissionen pro Tonne Zement aus¹.

¹) resp. pro Tonne Klinker, gleichbleibender Klinkerfaktor angenommen

Herkunft der Emissionen

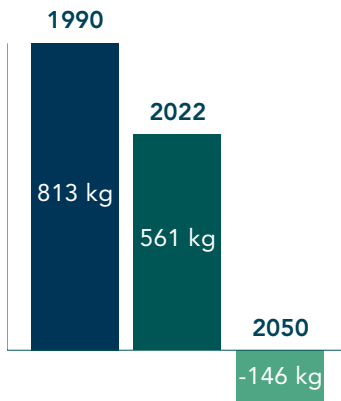


- Geogene Emissionen resp. Prozessemissionen
- Restliche Emissionen (bspw. Emissionen von Brennstoffen, Transport und Elektrizität)



Die Schweizer Zementindustrie hat einen Plan: Roadmap 2050

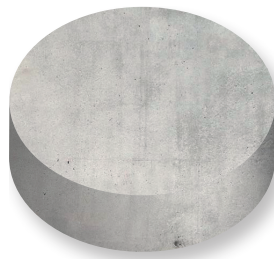
CO₂ pro Tonne Zement



Bisherige Leistungen der Branche

Die Zementindustrie bekennt sich zu den Schweizer Klimaschutzzielen sowie zur CO₂-Neutralität bis zum Jahr 2050. Ohne die Reduktionen der Zementindustrie hätte die Schweiz bereits die Kyoto-Ziele nicht erreicht. Und auch bezüglich der aktuellen, nationalen Ziele ist die Zementindustrie vorne dabei: Seit 1990 konnte sie ihre CO₂-Emissionen insgesamt um rund 40 Prozent senken – pro Tonne Zement sind dies rund 30 Prozent (Stand: 2022).

Emissionen 1990



● 4 164 160 t CO₂

Emissionen 2022



● 2 410 065 t CO₂

Wie konnte das gelingen?

Klinkerreduzierte Zemente

Besonders die Reduktion des Klinkeranteils im Zement stellt einen wichtigen Hebel für die Reduktion von Emissionen dar, da hierdurch die Emissionen der Zementherstellung gesamthaft verringert werden. In der Schweiz werden bereits heute fast ausschliesslich klinkerreduzierte Zemente eingesetzt.

Alternative Brennstoffe

Als Brennstoffe kommen in der Schweiz immer mehr alternative Materialien zum Zug. Die Zementindustrie verwertet viele Abfallfraktionen wie Altreifen, Lösungsmittel oder Klärschlamm stofflich und energetisch, ohne dass zu deponierende Rückstände übrigbleiben. So konnte die Menge an verwendeten primär-fossilen Brennstoffen deutlich verringert und somit die CO₂-Emissionen der Industrie reduziert werden. In der Schweiz ersetzte die Zementindustrie 2021 bereits 69,7 Prozent der benötigten Brennstoffenergie durch alternative Brennstoffe. Knapp 20 Prozent der verwendeten Brennstoffe sind dabei biogenen Ursprungs und gelten somit als CO₂-neutral.

Effizientere Prozesse

Die Schweizer Zementindustrie optimiert generell ihre Prozesse seit Jahrzehnten. Technische Installationen wie Vorwärmertürme, effizientere Klinkerkühler und weitere Optimierungen der Anlagen senkten den Energieverbrauch der Zementwerke über die letzten 30 Jahre deutlich. Weiter werden die Bremsenergie von Transportbändern oder die Abwärme konsequent genutzt – zusammen mit grossflächigen Solaranlagen können so Strom produziert und diverse Gemeinden mit Fernwärme versorgt werden. Wie andere innovative Industrien wird ausserdem auch die Zementindustrie kontinuierlich digitaler, was ebenfalls hilft, Prozesse zu optimieren.

Was nun noch fehlt

Die Schweizer Zementindustrie wird den bisherigen erfolgreichen Weg zur Reduktion von CO₂-Emissionen auch in den kommenden Jahrzehnten fortsetzen. Sie hat im Mai 2021 ihren Plan «Roadmap 2050: klimaneutraler Zement als Ziel» veröffentlicht. Bis zum Jahr 2050 sollen die bisherigen Erfolge konsequent weitergeführt und die Möglichkeiten ausgereizt werden.

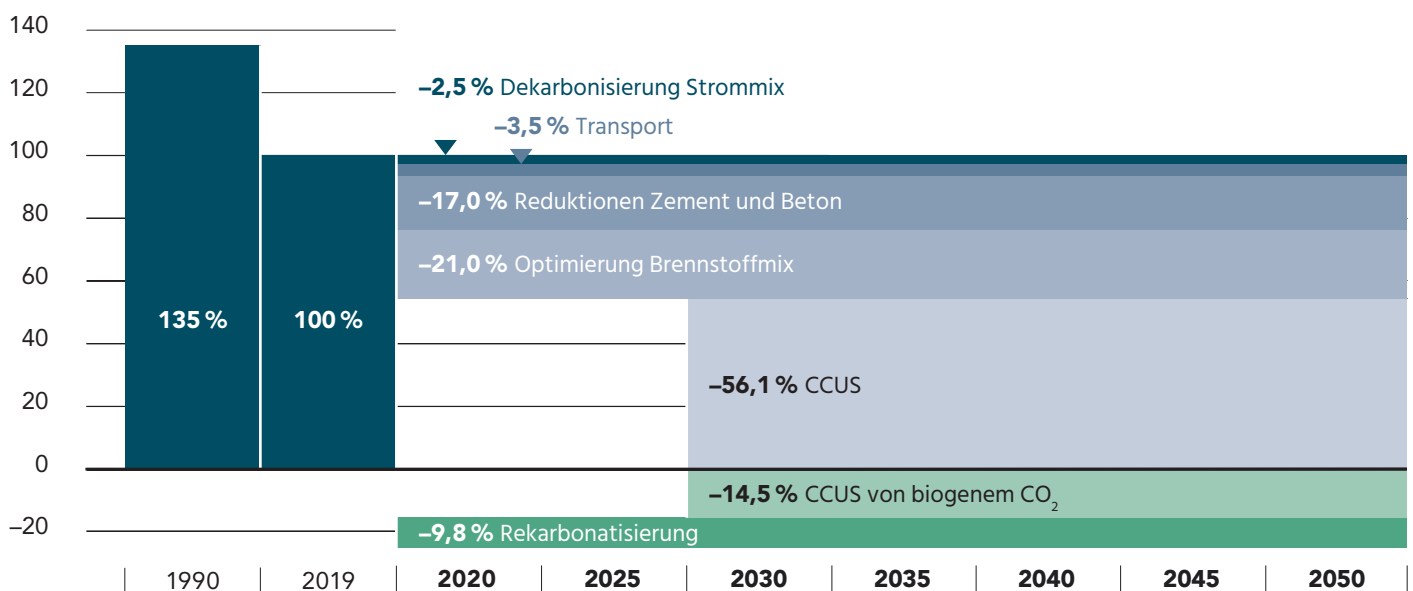
Ein Grossteil der Emissionen – eben die geogenen Emissionen – lassen sich jedoch nicht durch konventionelle Verfahren verhindern. Damit ist für die Erreichung des Netto-Null-Ziels bei der Herstellung von Zement die Anwendung von Abscheidungstechnologien – also Carbon Capture and Storage (CCS) oder Carbon Capture and Utilization (CCU) – unabdingbar. Bei «Carbon Capture» wird mittels technischer Verfahren das CO₂ aus dem Abgasstrom am Hochkamin abgeschieden und kann anschliessend gespeichert oder verwertet werden. Im Gegensatz zu anderen Verfahren, welche das CO₂ aus der Luft filtern, ist die direkte Abscheidung an einer grossen Punktquelle (wie einem Zementwerk) aufgrund der hohen CO₂-Konzentration im Abgas technisch weniger anspruchsvoll und weniger energieintensiv.

Insbesondere den biogenen Brennstoffen kommt in Zukunft eine grosse Bedeutung zu. Biomasse hat im Laufe der Zeit bereits CO₂ aus der Luft aufgenommen. Die thermische Verwertung ist damit CO₂-neutral. Sprich: die freigesetzten CO₂-Emissionen wurden der Atmosphäre in den vergangenen Jahrzehnten bereits entzogen. Eine Abscheidung und anschliessende dauerhafte

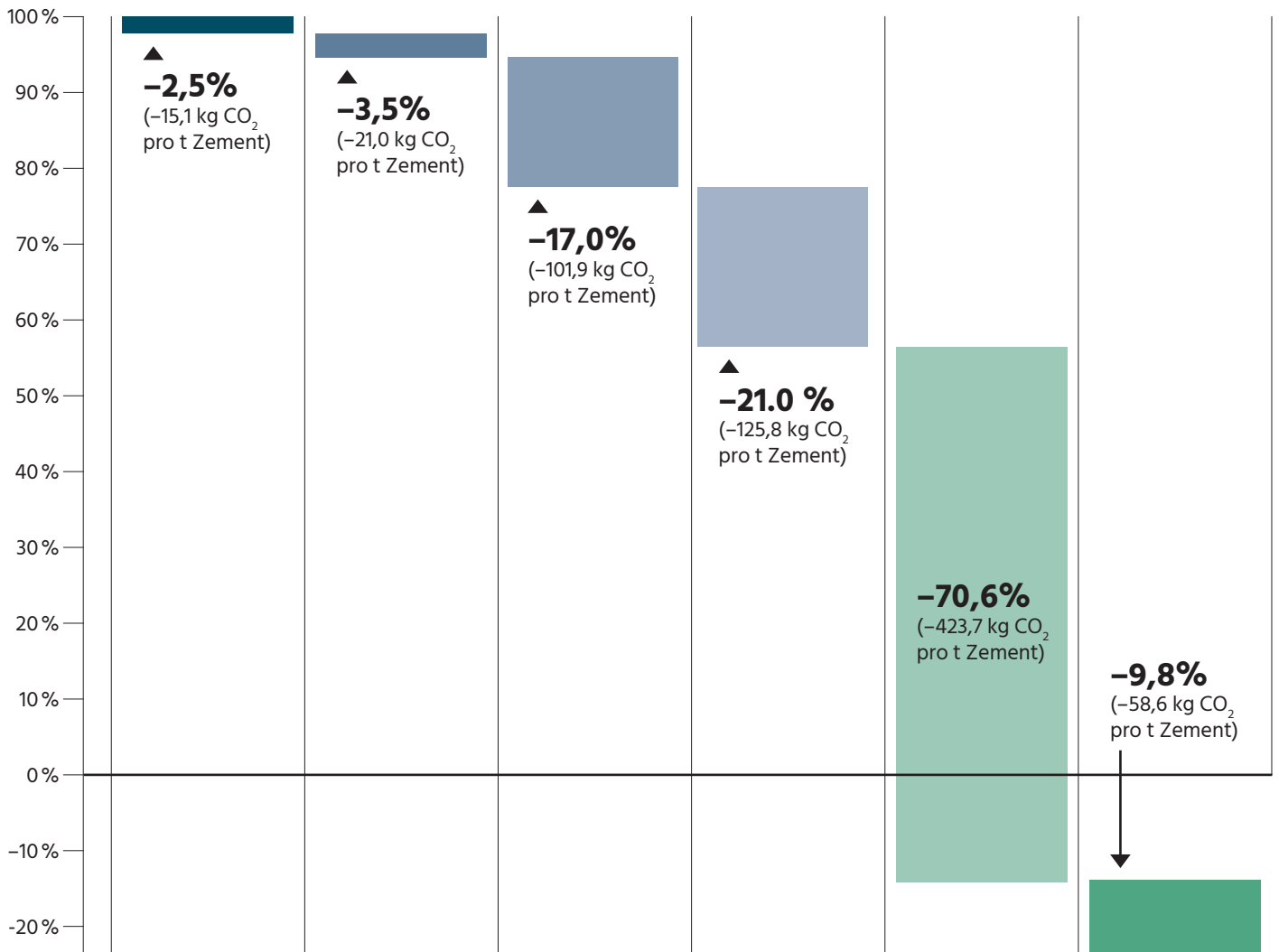
Bindung oder Speicherung des bei der Verwertung dieser Brennstoffe entstehenden CO₂ entfernt dieses dauerhaft aus der Atmosphäre. Damit entsteht ein grosses Potential für eine Senkenleistung der Zementindustrie.

Klimaneutraler Zement

Reduktionen CO₂/t Zement von 2019 bis 2050



Elektrizität	Transport	Neue Zement-sorten und Beton	Brennstoffe	CCS/CCU	Rekarbonatisierung
<ul style="list-style-type: none"> • Dekarbonisierung des Stroms • Effizienzgewinn des bisherigen Prozesses • Elektrifizierung von weiteren Prozessen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dekarbonisierung des Transports • Verlagerung Transporte auf Schiene • Umstellung innerhalb der Fahrzeugflotte 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion Klinkerfaktor • Entsäuerte Rohmaterialien • Neue Formulierungen von Zement und Beton 	<ul style="list-style-type: none"> • Vollständiger Ersatz von primärfossilen Brennstoffen durch alternative Brennstoffe • Verwertung von rund 60% biogenen Brennstoffen 	<ul style="list-style-type: none"> • Abscheidung aller CO₂-Emissionen ab Kamin und Weiterverwertung respektive dauerhafte Speicherung • Bei langfristiger Speicherung oder dauerhafter Verwendung gilt dies als Senkung 	<ul style="list-style-type: none"> • Natürliche Rekarbonatisierung von 20% der geogenen Emissionen • Senkenleistung



Reduktion pro Tonne Zement 2050: bis zu 746 kg CO₂ (bezogen auf die Zementproduktion 2019)



Die vollständige Roadmap finden Sie hier

Carbon Capture and Storage (CCS)

CCS – Carbon Capture and Storage bezeichnet die Abscheidung und dauerhafte Speicherung des CO₂. Eine Nutzung von geologischen Speichern wie ausgeschöpften Gas- und Erdölvorkommen bietet sich an. Dabei wird komprimiertes, flüssiges CO₂ in diese Lagerstätten eingeführt, verbleibt dort und kann nicht wieder in die Atmosphäre gelangen.

Voraussetzungen

Energie

Die Abscheidung von CO₂ benötigt viel Energie (Strom und thermische Energie)¹. Zusätzliche Energie benötigen auch der Transport in flüssiger Form und die Einlagerung in die Lagerstätten. Diese Energie sollte möglichst erneuerbar sein, damit eine grösstmögliche Emissionsreduktion möglich ist.

Logistik

Die grossen Mengen an abgediehem CO₂ müssen in geeignete Lagerstätten im In- oder Ausland transportiert werden. Dies kann durch Strassen-, Schiff- oder Bahntransporte oder via Pipelines geschehen. Ein Pipelinennetz, das für solche Zwecke genutzt werden könnte, besteht aktuell noch nicht.

Lagerstätten

Geologische Speicher wie ausgeschöpfte Gas- und Erdölvorkommen sind weltweit vorhanden², ebenfalls wäre die Speicherung in Salzformationen möglich, welche weltweit ebenfalls reichlich vorkommen. In der Schweiz wird aktuell ebenfalls untersucht, wo man im Inland CO₂ speichern könnte. Geographisch befinden sich die geeignetsten Lagerstätten im Molassebecken des Schweizer Mittellandes.

Was fehlt für die Umsetzung?

Energie

Für eine Umsetzung müsste die Schweiz ihre Produktion von erneuerbarer Energie deutlich erhöhen, da bereits der aktuelle Schweizer Verbrauch an die Grenzen der Produktionsmenge stösst³.

Logistik

Transporte per Bahn und Schiff sind heute bereits möglich, sofern die dafür nötigen Kapazitäten zur Verfügung stehen. Für den effizienteren Transport via Pipeline fehlt jedoch die Infrastruktur.

Lagerstätten

Weltweit, auch in der Schweiz, werden aktuell Lagerstätten evaluiert. Es sind bereits einige Lagerstätten in Betrieb – eine breite, wirtschaftliche Verfügbarkeit ist jedoch noch nicht gegeben.

Rahmenbedingungen

Es fehlt Planungssicherheit, was die Anrechenbarkeit der Abscheidung von CO₂ betrifft. Ebenfalls bestehen derzeit keine konkreten Ansätze auf europäischer Ebene, wie die Logistik von CO₂ an die Lagerstätten geregelt werden muss. Eine Erstellung von Pipelines beispielsweise erfordert länderübergreifende Planung und Bewilligungen.

Vorteile

Bindung

Das CO₂ wird bei der Speicherung in geeignetem Gestein über Jahrtausende mineralisch gebunden und gilt somit als dauerhaft entsorgt.

CO₂-neutrale Zementproduktion

Dank der vollständigen Abscheidung und dauerhaften Lagerung von CO₂ wird die Produktion von Zement in der Schweiz vollständig CO₂-neutral.

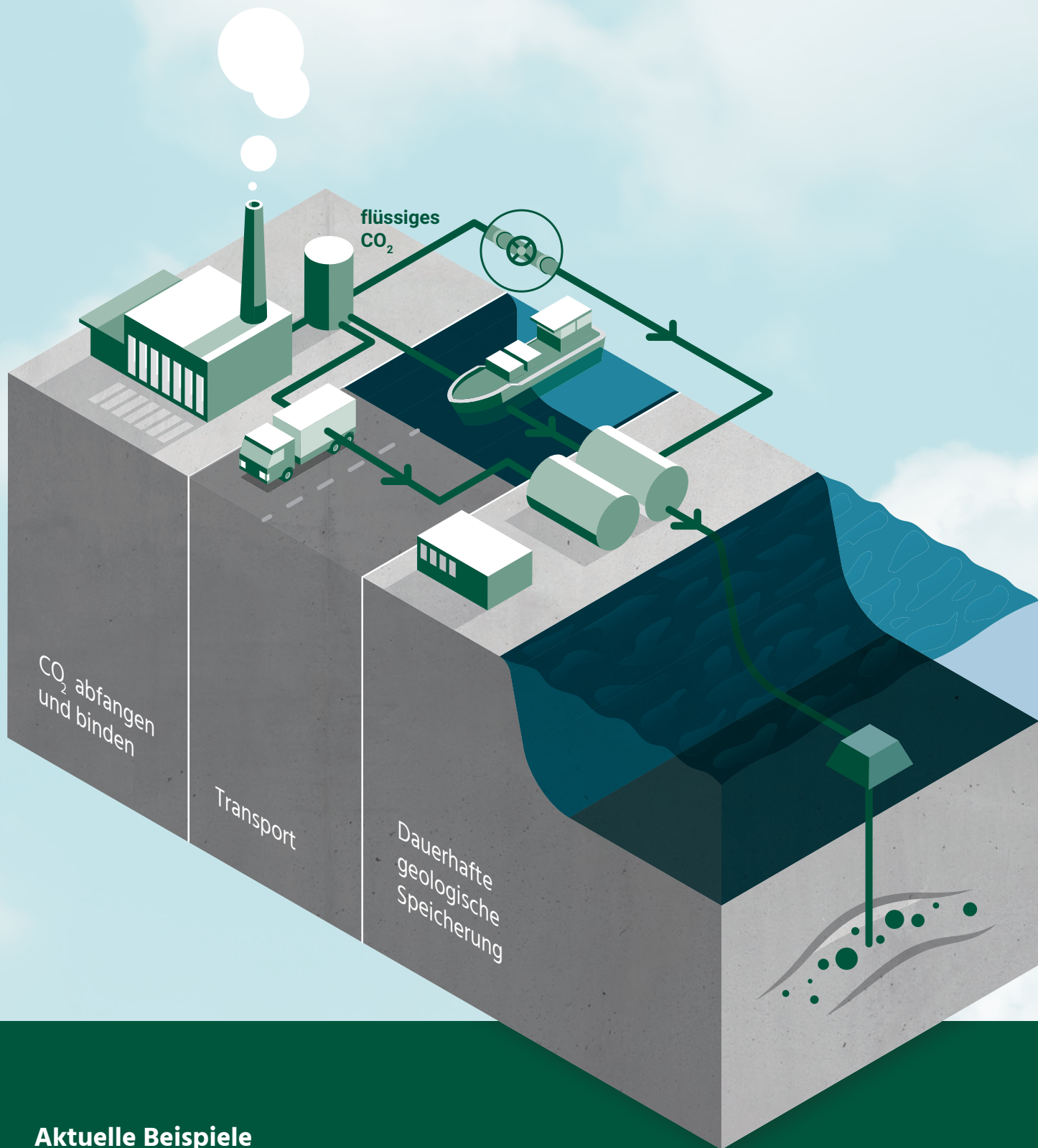
Nachteile

Hoher Energiebedarf

Die notwendige thermische und elektrische Energie muss zur Verfügung stehen und CO₂-neutral sein.

Verlust von Energie und Rohstoffen

In einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft kann CO₂ auch als Rohmaterial für industrielle Prozesse genutzt werden. Dieses wäre im Falle einer geologischen Speicherung nicht mehr direkt verfügbar.



Aktuelle Beispiele CCS-Prozess



Air Liquide / EQIOM
CRH Jura



Weitere Projekte aus
der Zementindustrie

Carbon Capture and Utilization (CCU)

CCU – also «Carbon Capture and Utilization» – bezeichnet den Vorgang, bei dem das CO₂ zu einem industriell verwertbaren Grundstoff umgewandelt oder erst später verwertet wird. Ziel beider dieser Varianten ist die Verwertung des Kohlendioxids, sprich des Kohlenstoffs, als Rohstoff.

Auch in Zukunft werden grosse Mengen an Treib- und Kunststoffen benötigt werden, wofür die benötigten Kohlenstoffpolymere bislang aus fossilen Quellen stammen, welche langfristig nicht mehr zur Verfügung stehen werden. Geht es darum, Energie kurzfristig zu speichern, ist es vorstellbar, Methan (oder andere Kohlenwasserstoffe) zu erzeugen, das in einer bestehenden Infrastruktur (z. B. Erdgasnetz) transportiert und genutzt werden kann. Neben der Reaktion zu Methan sind auch andere chemische Reaktionen vorstellbar, welche das CO₂ integrieren. Diese Moleküle können in der chemischen Industrie Verwendung finden.

Voraussetzungen

Energie und Wasserstoff

Die Abscheidung und Umwandlung von CO₂ benötigen grosse Mengen an nachhaltig produzierter Energie und «grünem» Wasserstoff. Letzterer zeichnet sich in der Herstellung ebenfalls durch die Verwendung grosser nachhaltig erzeugter Energiemengen aus⁴.

Absatz der Produkte

Es muss eine Nachfrage für die hergestellten Produkte bestehen. Der Absatz gewisser hergestellter Produkte ist limitiert und könnte die Nachfrage übersteigen. Es ist daher wichtig, vielseitig einsetzbare Stoffe mit CCU zu produzieren.

Was fehlt für die Umsetzung?

Energie

Für eine Umsetzung müsste die Schweiz ihre Produktion von erneuerbarer Energie deutlich erhöhen, da bereits der aktuelle Schweizer Verbrauch an die Grenzen der Produktionsmenge stösst.

Wirtschaftlichkeit der Produkte

Aufgrund der hohen Produktionskosten wären die hergestellten Produkte zurzeit nicht konkurrenzfähig zu konventionellen Produkten, die z. B. auf Basis von Erdgas hergestellt werden.

Rahmenbedingungen

Es fehlt heute an Planungssicherheit, was die Anrechenbarkeit der Abscheidung von CO₂ betrifft.

Vorteile

Ersatzstoff für Erdöl

Langfristig werden fossile Brenn- und Rohstoffe aus politischen Gründen nicht mehr zur Verfügung stehen. Ein Ersatz durch die Erzeugnisse des CCU-Prozesses kann diese Lücke füllen. Durch die Nutzung von Gasen oder Treibstoffen aus abgeschiedenem CO₂ entfallen die entsprechenden CO₂-Emissionen der bisher genutzten fossilen Energieträger.

Effizientes Verfahren

Anders als bei CCS lässt sich die bei CCU freiwerdende Energie durch die Bindung des Wasserstoffs an den Kohlenstoff nutzen. Diese thermische Energie lässt sich wiederum direkt für den Abscheidungsprozess des CO₂ nutzen, so dass weniger zusätzliche Brennstoffe eingesetzt werden müssen.

Infrastruktur und Lagerung

Die durch CCU entstehenden Produkte wie Octan, Methanol oder flüssige Treibstoffe sind vergleichsweise einfach zu transportieren und werden heute schon durch bestehende Logistik in grosser Masse gelagert und transportiert.

Versorgungssicherheit

Bei einer inländischen Produktion von Brenn- und Treibstoffen durch CCU kann ein Beitrag zur Versorgungssicherheit geleistet werden. Diese ist insbesondere bei der Landesverteidigung von grosser Bedeutung.

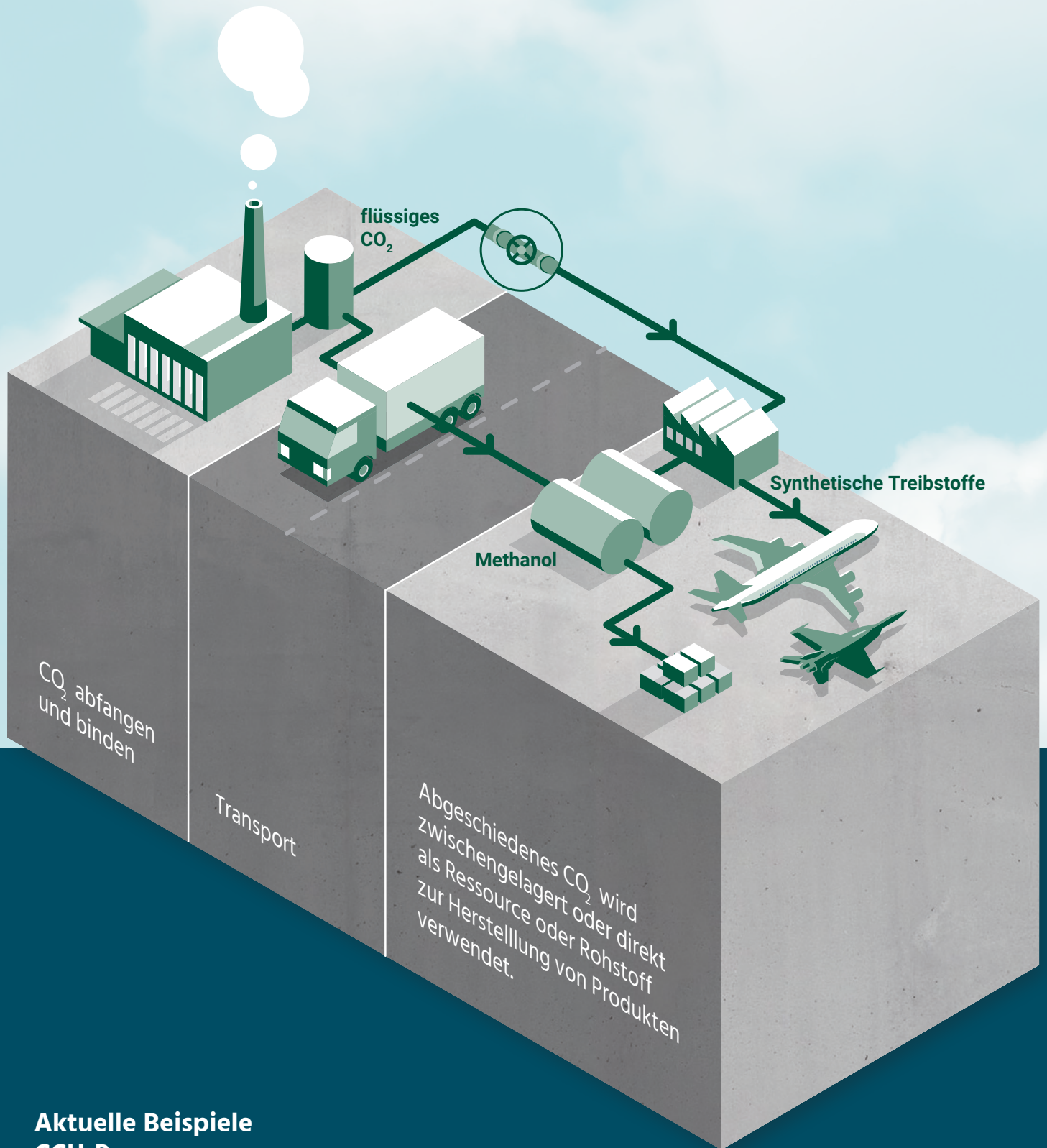
Nachteile

Teilweise kürzere Bindung des CO₂

Anders als bei CCS bleibt bei gewissen CCU-Anwendungen das CO₂ weniger langfristig gespeichert und wird nach einem erneuten Durchlaufen eines Kreislaufes möglicherweise wieder in die Atmosphäre entweichen.

Energiebedarf Wasserstoffherstellung

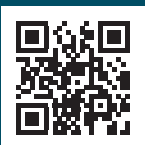
Die Prozesse benötigen grosse Mengen Wasserstoff, der mit erneuerbarer Energie hergestellt sein muss. Derzeit werden erst ca. 5% des Wasserstoffs mit erneuerbarer Energie hergestellt.



Aktuelle Beispiele CCU-Prozess



Westküste 100



Lägerdorf
(Teilprojekt
Westküste)
Holcim



Hynovi
VICAT (Vigier)

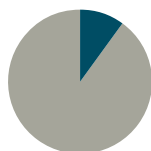
Mögliche Umsetzung in der Zementindustrie bis 2030

Die Zementindustrie engagiert sich weltweit in diversen Pilotprojekten, welche die konkrete Machbarkeit von CCS und CCU aufzeigen. Um die konkreten Anforderungen für die Schweiz darzulegen, möchten wir in den folgenden Szenarien mit Varianten die Ausgangslage und die Herausforderungen für CCS und CCU aufzeigen. Aktuelle Technologien und der Forschungsstand finden dabei Berücksichtigung.

Wir gehen von einem Beginn der Prozesse ab 2030 aus. Zu diesem Zeitpunkt nehmen wir eine anfängliche Abscheiderate von 10% des in der Zementindustrie anfallenden CO₂ an. In den kommenden Jahren wird die Abscheiderate dann laufend ausgebaut, bis im Jahr 2050 dann rund 90% des CO₂ abgeschieden wird.

Nebst einer Variante mit vollständiger Abscheidung, sehen wir 2030 und 2050 als Variante auch eine Kombination von CCS und CCU vor. Dabei stehen 2030 Pilotprojekte im Bereich CCU im Vordergrund und es werden erst etwa 20% in eine Verwertung des CO₂ münden. Für 2050 nehmen wir jedoch in unserer Publikation eine Etablierung dieser Prozesse und eine Erhöhung des CCU-Anteils auf 50% vor.

Szenario 2030: 10% Carbon Capture



10% des anfallenden CO₂ wird abgeschieden

a) 100% Storage



b) 20% Utilization und 80% Storage



Annahmen

Energie

Die Energie für das Abtrennen des CO₂ aus einem Gasgemisch hängt von der Konzentration des CO₂ in diesem Gasgemisch ab. Das Abgas des Zementofens mit einem CO₂-Gehalt bis gegen 20% ist daher besser geeignet als die Umgebungsluft.

Für das Ziel, bis 2030 10% des CO₂ abzuscheiden, muss die entsprechend notwendige Energie – elektrische wie auch thermische – zur Verfügung stehen. Für 2030 rechnen wir den Energiebedarf mit einem sogenannten End of Pipe-Verfahren, welches an ein bestehendes Werk angebaut werden könnte. Diese Verfahren weisen heute das höchste Technology Readiness Level auf. Andere, energieeffizientere Lösungen sind heute ebenfalls bekannt, bedingen aber zeit- und kostenintensive Umbauten von bestehenden Anlagen, welche bis 2030 nicht realistisch sind.

Logistik

Für die Transporte von Wasserstoff und CO₂ wird im Jahr 2030 voraussichtlich noch keine spezialisierte Infrastruktur zur Verfügung stehen. Daher wurden die benötigten Transportmengen auf entsprechende LkW-Fahrten und Schienentransporte umgerechnet. Dabei wurde von den heutigen Transportmengen pro LkW und Eisenbahnwaggon ausgegangen. Wir gehen davon aus, dass bis im Jahr 2030 keine Transportleitungen (Pipelines) für Wasserstoff oder CO₂ in Betrieb sind.

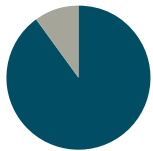
Die thermische Energie kann nicht gänzlich aus der Abwärme des Zementofens gewonnen werden, was bedeutet, dass sie durch einen separaten thermischen Prozess erzeugt werden muss. Somit müssen zusätzliche Energieträger in das Zementwerk transportiert werden. Der Transportbedarf wurde mit dem Beispiel Altholz gerechnet. In unseren Berechnungen haben wir den Energiebedarf für Lagerung, Transport der Ausgangsstoffe und Produkte für die CCUS-Reaktionen nicht berücksichtigt. Der Energiebedarf könnte auch mit Methan gedeckt werden. Dieses würde über eine Ergasleitung zugeführt.

Platzbedarf

Für die Anlagen und die Lagerung von zusätzlichen Brennstoffen, wie auch das abgeschiedene CO₂ oder durch CCU hergestellten Produkte, müssen Lagereinrichtungen vor Ort bei den Zementwerken bereitgestellt werden, was ausreichende Platzverhältnisse bedingt.

Mögliche Umsetzung in der Zementindustrie bis 2050

Szenario 2050: 90% Carbon Capture



90% des anfallenden CO₂
wird abgeschieden

a) 100% Storage



b) 50% Utilization und 50% Storage



Annahmen

Transport

Für das Jahr 2050 nehmen wir an, dass im Unterschied zum Szenario 2030 eine effizientere Transportlösung in Form einer Pipeline für CO₂ zur Verfügung stehen wird, so dass der Abtransport nicht mehr zu Mehrverkehr auf Strasse und Schiene führt. Die Zementindustrie würde diese Pipelines z. B. zusammen mit anderen grossen Punktquellen wie den Kehrlichtverbrennern und der chemischen Industrie nutzen.

Energie

Wir nehmen an, dass das CO₂ aus der Klinkerproduktion durch effizientere Verfahren mit weniger Energieaufwand abgeschieden werden kann. Diese Verfahren haben zum heutigen Zeitpunkt noch nicht die nötige Technologie-Reife. Der Energiebedarf für die Abscheidung wird sich daher pro t Klinker verringern, und noch mehr pro t Zement sinken, da weniger Klinker pro t Zement verwendet wird.

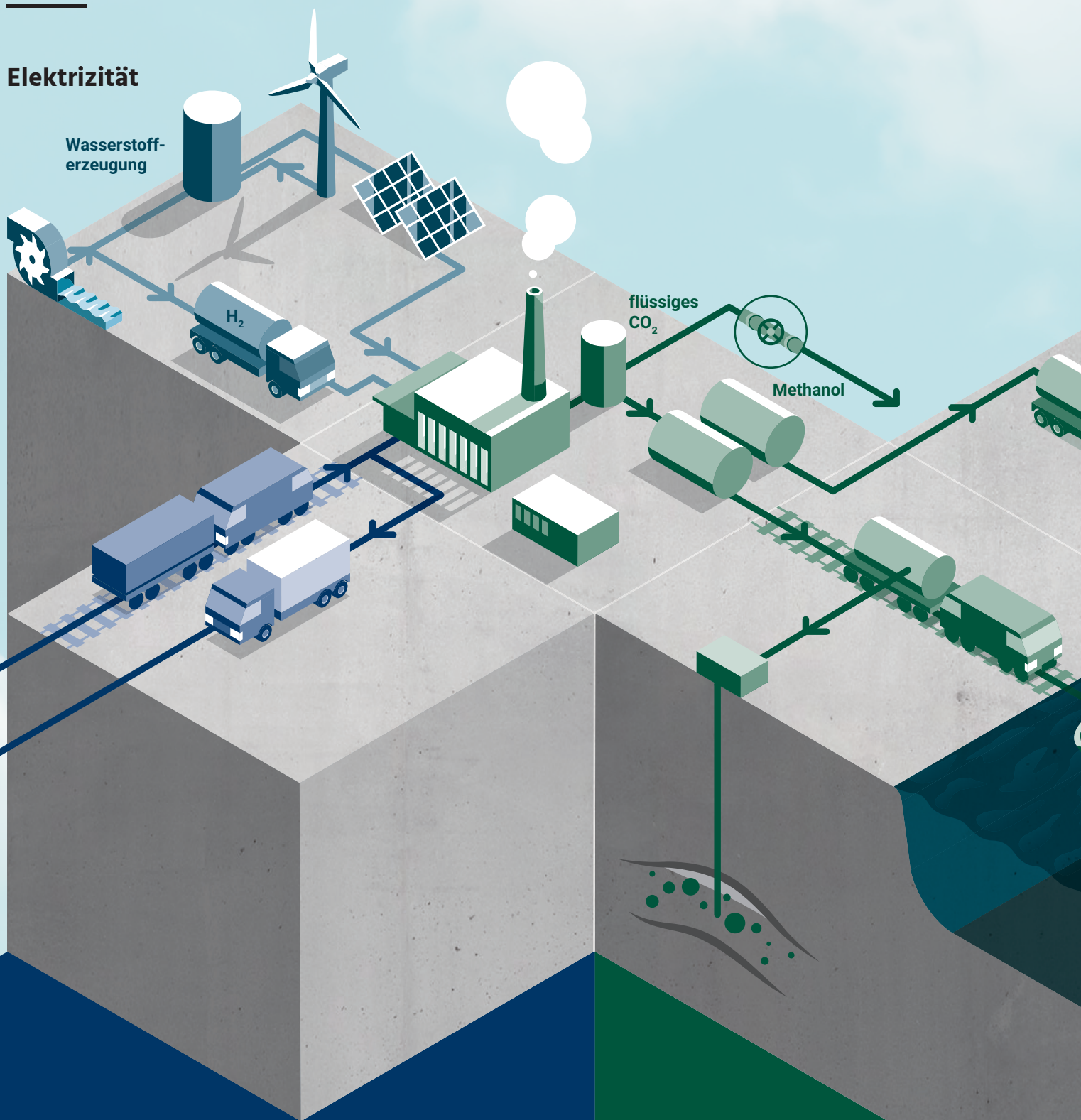
Verbesserung der Verfahren

Manche Anlagentypen und Verfahren werden das Abscheiden von CO₂ effizienter bewerkstelligen, was den Energiebedarf drastisch senken wird. Verfahren, die an eine bestehende Anlage angebaut werden können, sind immer ineffizienter als Verfahren, die in eine neue Ofenanlage integriert werden, da diese die Energieflüsse effizienter nutzen können. Mit dem Zeithorizont 2050 würde es möglich sein, Anlagen neu zu konzipieren und somit die Effizienz zu erhöhen. Hinzu kommt, dass z. B. beim Oxyfuel-Verfahren der Kohlendioxidgehalt der Ofenatmosphäre erhöht werden kann, was den Energiebedarf für die Abscheidung sehr stark verringert.



Fallbeispiele zur Umsetzung in der Zementindustrie

Elektrizität



Biogene Brennstoffe

Abtransport CO₂

Abscheidung CO₂ 2030: 10% Carbon Capture



vermiedene Emissionen

0.2 Mio. t

a) 100% Carbon Capture and Storage

Pro Jahr

Pro Tag

Elektrizität für Capturing ⚡ 28 GWh Input	Lieferung Biogene Brennstoffe * 🚚 15 LKWs oder 🚂 4 Waggons Input	Abtransport CO ₂ 🚚 44 LKWs oder 🚂 20 Waggons Output
--	--	--

b) 80% Carbon Capture and Storage 20% Carbon Capture and Utilization

Pro Jahr

Pro Tag

Elektrizität für Capturing ⚡ 28 GWh Input	Lieferung Biogene Brennstoffe * 🚚 13 LKWs oder 🚂 4 Waggons Input	Abtransport CO ₂ 🚚 35 LKWs oder 🚂 16 Waggons Output
Elektrizität für Wasserstoffproduktion ⚡ 536 GWh Input	Edukte Wasserstoff 🚚 28 LKWs oder 🚂 13 Waggons Input	Produkte Methanol 🚚 5 LKWs oder 🚂 2 Waggons Output

* Energielieferung ausser Elektrizität pro Betriebstag (Annahme 220/Jahr)



Energiebedarf

Die Abscheidung von CO₂ benötigt erneuerbare elektrische und thermische Energie, zusätzlich benötigt die Herstellung von grünem Wasserstoff elektrische Energie.

Für das Szenario 2030 mit 100% CCS⁵ würde der elektrische Energiebedarf 0.1% der heutigen Wasserkraft respektive 0.5% der geplanten Photovoltaikleitung gemäss Energieperspektiven für das Jahr 2030 entsprechen. Der thermische Energiebedarf würde 10% der heutigen Altholznutzung (2022) betragen⁶.

Für das Szenario 2050 mit 100% CCS⁵ würde der elektrische Energiebedarf 0.5% der geplanten Wasserkraft respektive 0.3% der geplanten Photovoltaikleitung gemäss Energieperspektiven für das Jahr 2050 entsprechen. Der thermische Energiebedarf würde 61% der heutigen Altholznutzung (2022) betragen.

Zusätzliches Transportaufkommen

Angenommen, das Werk liegt an einer Hauptstrasse mit einem DTV (durchschnittlichen Tagesverkehr) von 20'000 Fahrzeugen, davon 5%, also 1'000 LkW. Bis 2030 würde sich der LkW-Verkehr um 6% erhöhen, bis 2050 jedoch bereits um 41%.

Energiebedarf

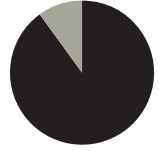
Für das Szenario 2030 mit 80% Storage und 20% Utilization würde der Energiebedarf für die Abscheidung 0.1% und für die Wasserstoffproduktion 1.3% der heutigen Energie aus Wasserkraft betragen. Der thermische Energiebedarf würde 9% der heutigen Altholznutzung betragen.

Für das Szenario 2050 mit 80% Storage und 20% Utilization würde der Energiebedarf für die Abscheidung 0.3% und für die Wasserstoffproduktion 22% der 2050 geplanten Energie aus Wasserkraft betragen. Der thermische Energiebedarf würde 50% der heutigen Altholznutzung betragen.

Zusätzliches Transportaufkommen

Angenommen, das Werk liegt an einer Hauptstrasse mit einem DTV (durchschnittlichen Tagesverkehr) von 20'000 Fahrzeugen, davon 5%, also 1'000 LkW. Bis 2030 würde sich bei diesem Szenario der LkW-Verkehr um 8% erhöhen, bis 2050 jedoch bereits um 84%.

Abscheidung CO₂ 2050: 90% Carbon Capture



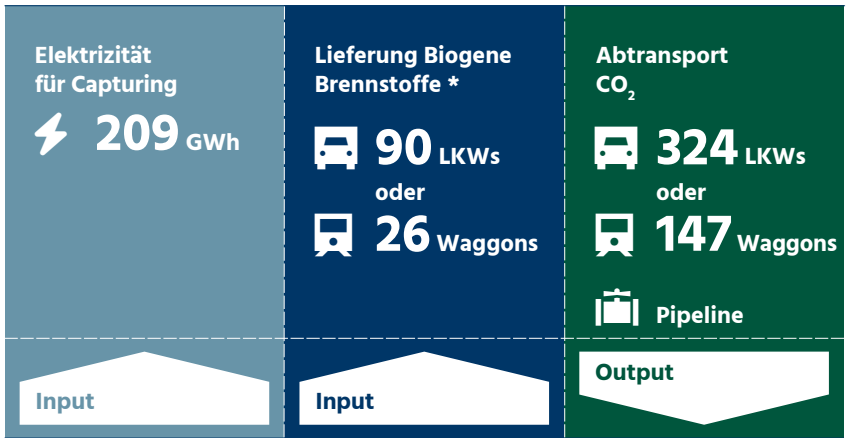
vermiedene Emissionen

1.8 Mio. t

a) 100% Carbon Capture and Storage

Pro Jahr

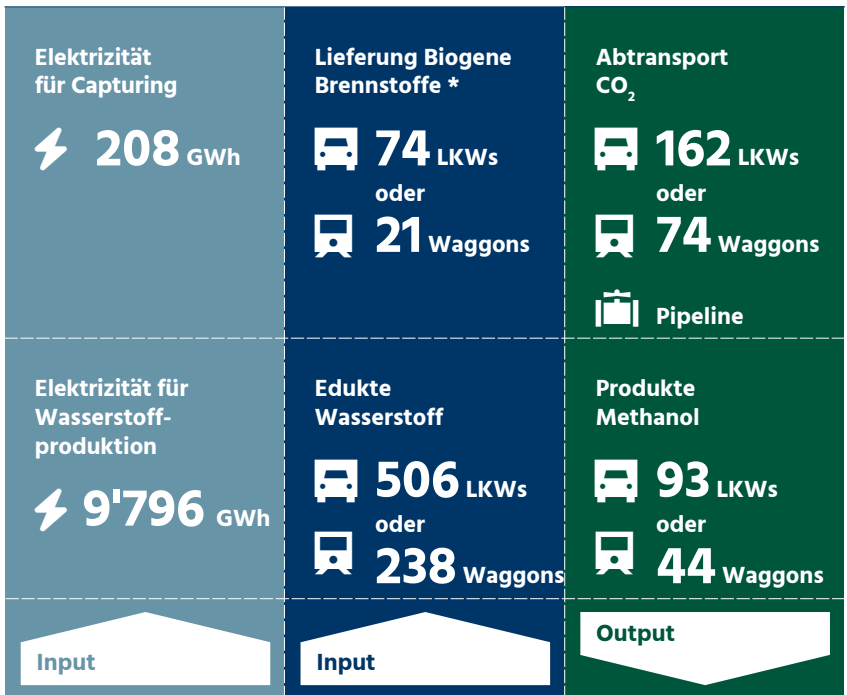
Pro Tag



b) 50% Carbon Capture and Storage 50% Carbon Capture and Utilization

Pro Jahr

Pro Tag



* Energielieferung ausser Elektrizität pro Betriebstag (Annahme 220/Jahr)

Fazit

Chancen von CCU und CCS

Klimaneutraler Zement

Für die Dekarbonisierung der Zementindustrie sind CCU und CCS eine Notwendigkeit. Durch den Einsatz dieser Technologien wird eine vollständige Dekarbonisierung dieser Industrie möglich, die aufgrund der prozessbedingten Emissionen als schwer zu dekarbonisieren gilt. Somit ist die Schweiz auch künftig in der Lage, den Bedarf dieses wichtigen Baustoffs selbst zu decken und nicht auf Importe angewiesen. Ein solcher Import aus Ländern mit weniger ambitionierten Klimazielen wäre dabei kontraproduktiv.

Versorgungssicherheit

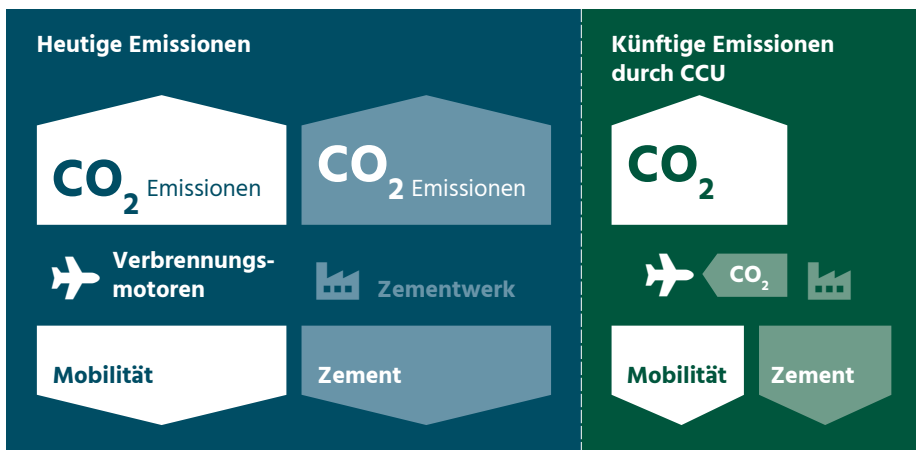
Nebst der Versorgung mit Zement erlaubt der Einsatz von CCU die Nutzung von CO₂ als Rohstoff und die Etablierung eines wichtigen Stoffkreislaufs. Bisher stammt ein überwiegender Teil des weltweit verwendeten Kohlenstoffs aus fossilen Quellen, welche politisch langfristig nicht mehr zur Verfügung stehen werden. CCU ermöglicht eine Kreislaufnutzung des abgeschiedenen CO₂, beispielsweise als Ausgangsstoff in der chemischen Industrie oder als synthetische Treib- und Brennstoffe. Da der Bedarf an diesen Stoffen auch in Zukunft gegeben sein wird, leistet CCU einen wichtigen Beitrag zur künftigen Versorgungssicherheit in diversen Industriezweigen.

Dekarbonisierung anderer Prozesse

Nebst der Zementindustrie sind diverse andere Industrien auf bahnbrechende Technologien angewiesen. Beispielsweise können Verbrennungsmotoren künftig nur dann weiterbetrieben werden, wenn synthetische Treibstoffe in grossem Umfang zur Verfügung stehen. Zwar ist die Verwendung von CO₂ aus der Industrie nicht vollständig CO₂-neutral, dennoch können die damit hergestellten Treibstoffe erheblich zu einer Reduktion von Treibhausgasen in anderen Industrien sorgen.

Etablierung neuer Stoffkreisläufe

Zwar kann das CO₂ auch aus der Luft abgeschieden werden, doch diese Prozesse sind oftmals ineffizient und haben einen entsprechend hohen Energiebedarf. Dies dürfte einen breiten Einsatz des dadurch abgeschiedenen CO₂ deutlich erschweren und die Etablierung von neuen Stoffkreisläufen erheblich verzögern. Ein Einsatz von effizient aus der Industrie abgeschiedenem CO₂ erlaubt hingegen eine frühere Etablierung von Stoffkreisläufen in industriellem Massstab.



◀ Durch die Nutzung von fossilen Brennstoffen in der Mobilität und die geogenen Emissionen in der Zementindustrie gelangt das CO₂ heute direkt in die Atmosphäre. Künftig könnte mittels CCU ein Kohlenstoffkreislauf geschaffen werden, der sowohl die Mobilität wie auch die Zementindustrie teilweise dekarbonisieren und somit grosse Einsparungen von CO₂-Emissionen mit sich bringen könnte.

Die Zementindustrie ist bei der Erreichung der Ziele auf die Mithilfe von Politik und Gesellschaft angewiesen. Netto-Null ist möglich, aber es braucht dazu Rahmenbedingungen, die nur die Politik setzen kann. Vor allen technischen Herausforderungen sind für die Zementindustrie international wettbewerbsfähige Rahmenbedingungen elementar, um die nötige Planungssicherheit für diese langjährigen und kostenintensiven Projekte zu schaffen. Die EU verschärft nun ihre Klimapolitik, unterstützt aber gleichzeitig ihre Unternehmen mit Innovationsfonds, Grenzausgleichsmassnahmen und Energiepreisdeckeln. So soll sichergestellt werden, dass die klimapolitischen Ziele erreicht werden können und nicht lediglich die Industrie ins nicht-europäische Ausland verlagert wird. Die Schweiz verzichtet vorerst auf solche Schritte. Die Schweizer Zementindustrie sieht sich dadurch mit ungleichen Wettbewerbsbedingungen und hohem Importdruck konfrontiert, ist aber gleichwohl von den Verschärfungen der Klimapolitik betroffen. Diese Inkonsequenz beim Klimaschutz wirkt sich nicht nur auf die Produktionsfähigkeit der Industrie aus, sondern führt auch zu einem Mangel an Planungs- und Investitionssicherheit. Spiegelung von Grenzausgleichsmassnahmen und Innovationsfonds durch einen zweckgebundenen Fonds aus EHS-Abgaben sind für die Schweizer Zementindustrie entsprechend zwingende Voraussetzungen für die erfolgreiche Realisierung dieser Dekarbonisierungsprojekte. Diese Massnahmen müssen dabei so ausgestaltet werden, dass kein Wettbewerbsnachteil für die privaten durch die öffentlichen Akteure entsteht.

möglich sein. Es werden jedoch bereits genügend Kapazitäten auf Strasse und Schiene benötigt. Für eine vollständige Abscheidung und Speicherung wird die Erstellung eines Pipeline-Netzes für alle grossen Emittenten nötig sein.

Verfügbarkeit von biogenen und alternativen Brennstoffen

Für die Erreichung des Netto-Null-Ziels ist es zentral, dass die Zementindustrie auch zukünftig Zugang zu ausreichend alternativen Brennstoffen erhält. Dies gilt insbesondere für jenes biogenen Ursprungs, da damit eine Senkenleistung in der Zementherstellung ermöglicht wird.

CO₂-Lagerstätten

Weltweit müssen ausreichend Lagerstätten zur Verfügung stehen, um die grossen Mengen an CO₂ dauerhaft zu lagern. Als Alternative ist die Speicherung des CO₂ in der Schweiz zu prüfen – allenfalls kombiniert mit einer Nutzung von Geothermie.

Politische Rahmenbedingungen

Weiter müssen die gesetzlichen und politischen Voraussetzungen sowie eventuelle Abkommen mit dem Ausland für den Betrieb der CO₂-Infrastruktur gegeben sein. Ebenfalls müssen die Gesetzgeber die Anrechenbarkeit abgeschiedener Emissionen regeln. Dies gilt insbesondere für die Nutzung von CO₂ in Stoffkreisläufen.

Erfolgsfaktoren seitens Politik und Gesellschaft

Ausreichend erneuerbare Energie

Ein zentraler Erfolgsfaktor für die Umsetzung ist für die Zementindustrie, dass ausreichend erneuerbare oder CO₂-freie Energie für CCS oder CCU zur Verfügung steht. Für eine vollständige Abscheidung und Speicherung respektive Verwendung des CO₂ der Zementindustrie wird bis 2050 Energie in der Grössenordnung von 836 GWh thermischer Energie (entspricht

215% thermischer Bedarf 2022 und 50,4% der Altholznutzung 2021) und 208 GWh elektrischer Energie (entspricht 53% elektrischer Bedarf 2022 und 0,3% der geplanten Photovoltaikleistung) benötigt. Falls ein Teil als Utilization, wie im dargelegten Szenario, umgesetzt wird, werden bis zu 2% der geplanten Photovoltaik für die Wasserstoffherstellung benötigt.

Transport

Der Betrieb von ersten Pilotanlagen 2030 wird aus heutiger Sicht ohne ein Transportnetz von CO₂ in der Form von Pipelines

Literaturverzeichnis

- 1 ETH Zürich, sus.lab. Decarbonizing Cement. Bern, 18. Mai 2022.
- 2 Global CCS Institute. Global status of CCS 2020. Melbourne, November 2020.
- 3 Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Energieperspektiven 2050+. Bern, 20. Dezember 2021.
- 4 Andreas Züttel, Noris Gallandat, Paul J. Dyson, Louis Schlapbach, Paul W. Gilgen, Shin-Ichi Orimo. „Future Swiss Energy Economy: The Challenge of Storing Renewable Energy.“ *Frontiers of Energy Research*, 1. Februar 2022: 17.
- 5 Bundesamt für Energie BFE. Elektrizitätsproduktionsanlagen in der Schweiz. 8. Juni 2023. www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/geoinformation/geodaten/produktionsanlagen/elektrizitaetsproduktionsanlagen.html.
- 6 Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien und Holzenergiestatistik. Bern, 14. Juli 2022.



Verband der Schweizerischen
Cementindustrie
Marktgasse 53
3011 Bern

031 327 97 97

info@cemsuisse.ch
cemsuisse.ch