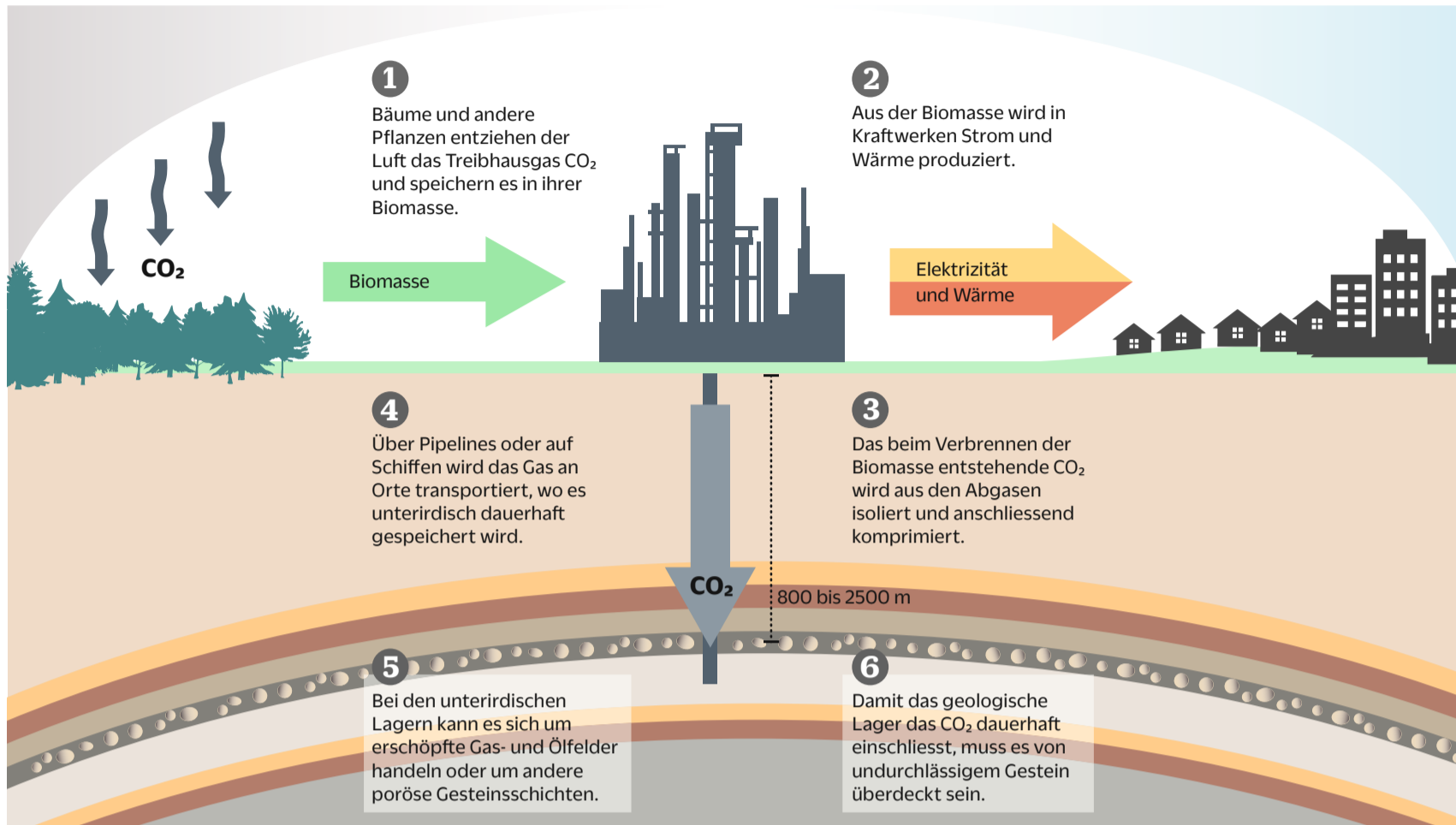
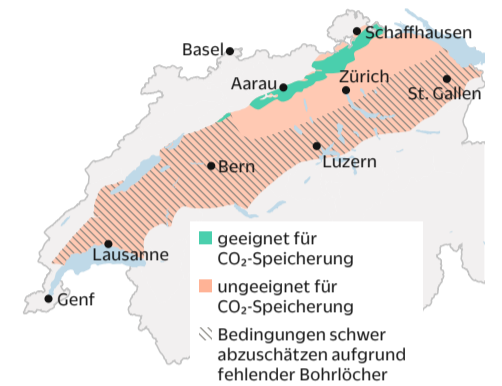


## Das andere Endlager

So funktioniert die Abscheidung und unterirdische Lagerung von CO<sub>2</sub>

## Unter dem Boden

Möglicherweise geeignete Standorte in 800–2500 m Tiefe



Quelle: SCCER SoE, Universität Bern, Diamond &amp; Aschwanden

# Der CO<sub>2</sub>-Speicher in der Tiefe

Die globale Erwärmung lässt sich kaum noch aufhalten. Deswegen muss Treibhausgas in geologischen Gesteinsschichten eingelagert werden. Doch dafür fehlt in der Schweiz der Platz. **Von Andreas Hirstein**

**A**b in die Tiefe. So lautet der Plan zur Rettung der Welt. Hunderte Millionen Tonnen des Treibhausgases CO<sub>2</sub> müssen bis zum Jahr 2050 weltweit aus den Abgasen von Fabriken und Kraftwerken abgeschieden und in tiefen Gesteinsschichten eingelagert werden – für immer der Atmosphäre entzogen. Nur so lässt sich die globale Erwärmung noch auf Werte von höchstens 2 Grad über dem vorindustriellen Wert begrenzen. Den Ausstoss von Treibhausgasen bis im Jahr 2050 zu stoppen, genügt nicht und ist in einigen Wirtschaftssektoren auch gar nicht möglich. Die Emissionen der Landwirtschaft beispielsweise lassen sich grundsätzlich nicht vollkommen verhindern, genauso wenig wie das CO<sub>2</sub>, das bei der Herstellung von Zement freigesetzt wird.

Entsprechend verlangt auch das «Netto-null-Ziel» des Bundesrats, dass solche technisch nicht zu vermeidenden Treibhausgase durch sogenannte negative Emissionen kompensiert werden. Die Idee: Der Luft wird das zu viel emittierte CO<sub>2</sub> nachträglich wieder entzogen, so dass unter dem Strich eine ausgeglichene Bilanz (netto null) resultiert.

## Viele Bäume pflanzen

Der einfachste Weg dahin ist die Aufforstung von Wäldern oder ein verbessertes Bodenmanagement in der Landwirtschaft. Auf diese Weise würde mehr Kohlenstoff im Holz und in den Böden gespeichert und der Atmosphäre somit entzogen. Das inländische Potenzial dieser Methoden ist vermutlich beträchtlich, zeitlich aber begrenzt. Denn wo ein Wald steht, kann kein zweiter wachsen.

Zu einem Schlüsselement der Klimapolitik wird daher die Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus den Abgasen von Kraftwerken, Industrie-feuerungen und Kehrichtverbrennungsanlagen und ihre anschliessende Tiefenlagerung in geeigneten Gesteinen. «Carbon capture and storage» (CCS) heissen diese Verfahren.

Solange die Kraftwerke fossile Brennstoffe nutzen, lassen sich ihre Treibhausgasemissionen auf diese Weise immerhin eliminieren. Allerdings sinkt dabei der Wirkungsgrad der Elektrizitätserzeugung, weil das Abtren-

## Es wird immer wärmer

1,11°C

Zwischen 1,11 und 1,23 °C lag die globale Temperatur in den ersten 10 Monaten dieses Jahres über dem vorindustriellen Wert.

37<sub>Gt</sub>

37 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> stösst die Menschheit jedes Jahr in die Luft.

52<sub>Mt</sub>

Die Schweiz verfügt über ein Potenzial für geologische CO<sub>2</sub>-Endlager von geschätzt 52 Millionen Tonnen.

nen des CO<sub>2</sub> Energie kostet. Für die gleiche Strommenge muss man deshalb 30 Prozent mehr Kohle oder Gas verfeuern.

Wenn fossile durch biogene Brennstoffe wie Holz oder Biogas ersetzt werden, lassen sich mit der CCS-Technik sogar negative Emissionen realisieren. Denn das CO<sub>2</sub>, das die Biomasse während ihres Wachstums der Luft entnommen hat, kehrt bei der Verbrennung nicht mehr in die Atmosphäre zurück, sondern landet tief unter der Erde.

Statt CO<sub>2</sub> aus den Abgasen von Schornsteinen zu trennen, kann man es auch direkt der Umgebungsluft entziehen. «Direct Air Carbon Capture and Storage» (DACCS), wie man das nennt, wird unter anderem von der Schweizer Firma Climeworks entwickelt. Weil die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft sehr tief ist, müssen grosse Luftmengen durch die Filter gepumpt werden. Entsprechend hoch ist der Energieverbrauch der Anlagen.

Damit sie im Betrieb nicht mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen, als sie der Atmosphäre entziehen, müssen sie mit CO<sub>2</sub>-armer Energie betrieben werden, wie eine noch unveröffentlichte Studie des Paul-Scherrer-Instituts (PSI) und der ETH Zürich zeigt. Die besten Bedingungen fanden die Wissenschaftler in Norwegen. «Für jede zurückgewonnene Tonne CO<sub>2</sub>, würde eine DACCS-Anlage dort Emissionen von nur 35 Kilogramm verursachen», sagt Christian Bauer vom PSI. «Diese günstige Bilanz ergibt sich, wenn man zusätzlich zum norwegischen Wasserkraft-Strom auch Abwärme von Industrieprozessen nutzen kann.»

Das CO<sub>2</sub> aus Abgasen oder Luft muss für Hunderte oder Tausende Jahre im Untergrund gespeichert werden – in porösem Gestein, das von einer undurchlässigen Sedimentschicht überdeckt ist. Infrage kommen wasserführende Gesteine in mindestens 800 Metern Tiefe, sogenannte saline Aquifere. Erst in dieser Tiefe genügt der Gesteinsdruck, um das Treibhausgas ausreichend stark zu komprimieren – andernfalls wäre die Speichermenge zu gering.

Damit der CO<sub>2</sub>-Speicher stabil bleibt und das Treibhausgas sicher einschliesst, muss er in einem erdbebensicheren Gebiet liegen, und er darf keine geologischen Verwerfun-

gen aufweisen, die zum Entweichen des Gases führen würden. Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, verdrängt das unter hohem Druck injizierte CO<sub>2</sub> das Wasser in den Gesteinsporen und sammelt sich unter der undurchlässigen Schicht, die das CO<sub>2</sub>-Endlager nach oben abschliesst.

Zu den für die zukünftigen CO<sub>2</sub>-Lager bevorzugten Aquiferen gehören erschöpfte Erdgas- und Erdölfelder, weil deren Geologie bestens erforscht wurde. Die teure Exploration entfällt daher fast vollständig. «Man kennt das potenzielle Speichervermögen, und man kann sicher sein, dass die Formation über geologische Zeiträume stabil ist», sagt Larry Diamond, Professor für Geologie an der Universität Bern. Zudem verfügen Gas- und Ölfelder bereits über eine Infrastruktur, die man nutzen kann. Die Kapazität solcher Öl- und Gasfelder liegt weltweit bei mehreren hundert Gigatonnen CO<sub>2</sub> – genug, um die Netto-null-Ziele zu realisieren.

In Norwegen arbeiten sie schon daran. Eine Pipeline soll CO<sub>2</sub> in die Johansen-Formation vier Kilometer unter der Nordsee befördern. Es geht um 100 Millionen Tonnen des Treibhausgases. Hinter dem Projekt steht der staatliche Erdölkonzern Equinor (früher: Statoil). Die Mineralölindustrie hofft auf ein neues lukratives Geschäftsfeld: Nach dem Leerpumpen der fossilen Lager soll nun ihr Wiederauffüllen Gewinne abwerfen.

In Zukunft könnte auch CO<sub>2</sub> aus der Schweiz unter der Nordsee verschwinden. Denn im Inland reichen die Lagerstätten nicht aus. In den neuen «Energieperspektiven 2050+» schätzt das Bundesamt für Energie (BFE) das inländische Speicherpotenzial im Jahr 2050 auf 3 Millionen Tonnen pro Jahr. Im Ausland müssten zur Erreichung des Schweizer Netto-null-Ziels jährlich rund

**Es geht um insgesamt 100 Millionen Tonnen des Treibhausgases, das bis 2050 unter der Nordsee verschwinden soll.**

9 Millionen Tonnen gespeichert werden. Larry Diamond und seine Kollegen haben das inländische CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial in der Schweiz im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Energiewende» (NFP70) untersucht. Für die Einlagerung von CO<sub>2</sub> geeignet ist vermutlich nur das Molassebecken, eine der drei geologischen Hauptzonen der Schweiz. Die beiden anderen, die Alpen und der Jura, weisen eine zu komplexe Geologie auf.

## Zu wenig poröse Gesteine

Vor zehn Jahren ermittelte Diamond ein inländisches Speicherpotenzial von rund 2700 Millionen Tonnen. «Wir hatten uns dabei auf in der Literatur publizierte Daten gestützt», sagt Diamond. Inzwischen konnten die Wissenschaftler sämtliche verfügbaren Bohrkerne untersuchen und Daten erheben. «Es zeigte sich, dass die Porosität des Gesteins in der relevanten Tiefe von 800 bis 2500 Meter für einen CO<sub>2</sub>-Speicher zu gering ist», sagt Diamond. «Als geeignet erwies sich nur ein kleiner Streifen zwischen Olten und Schaffhausen.» Das gesamte Speicherpotenzial reduziert sich dadurch auf nur 52 Millionen Tonnen. Legt man eine jährliche Speichermenge von 3 Millionen Tonnen zugrunde, wären die Schweizer Speicher schon nach 17 Jahren voll.

«Das ist momentan unsere beste Schätzung. Bewiesen sind die 52 Millionen Tonnen nicht», sagt Diamond. Sicherheit könnten nur Explorationen im industriellen Massstab bringen. Statt nur vertikal müsste man zum Beispiel auch schräge Erkundungsbohrungen durchführen. So könnte man Bruchnetzwerke entdecken, die manchmal zusätzlichen Speicherplatz bieten.

Doch solche Studien sind teuer, und sie dauern Jahre. «Ich glaube nicht, dass wir uns darauf verlassen können», sagt Diamond. «Dazu fehlt uns die Zeit.» Die Potenziale in der Nordsee aber seien nachgewiesen. Das allerdings wissen auch andere Länder Europas, die ihre CO<sub>2</sub>-Restemissionen ebenfalls kompensieren wollen. Den Zuschlag wird am Ende der erhalten, der am meisten zahlt. Das Geschäftsmodell der Erdgaskonzerne könnte aufgehen – zum zweiten Mal.