

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 110 (1992)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Meeresversenkung von CO<sub>2</sub>-Trockeneis: erste Versuche in Japan  
**Autor:** Seifritz, Walter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-77882>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Meeresversenkung von CO<sub>2</sub>-Trockeneis

Erste Versuche in Japan

**Ein erster Schritt zur Erprobung der Endlagerung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Tiefsee ist in Japan unternommen worden. Unter Leitung des Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) wurden in der Suruga-Bay südlich von Tokio von einem Forschungsschiff aus Versuche zur Versenkung von tiefgefrorenem CO<sub>2</sub>-Eis durchgeführt und die prinzipielle technische Machbarkeit dieser CO<sub>2</sub>-Entsorgungstechnik demonstriert.**

Der pazifische Kuro-schio-Strom, der die japanischen Ostküsten streift, könnte 1,7 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr

VON WALTER SEIFRITZ,  
WINDISCH

aufnehmen und einer Endlagerung in der pazifischen Tiefsee zuführen. Japan scheint das erste Land zu sein, das eine CO<sub>2</sub>-Entsorgung fossiler Energiesysteme ins Auge fasst.

## Treibhauseffekt und CO<sub>2</sub>-Entsorgung

Die CO<sub>2</sub>-Entsorgung von fossilen Kraftwerken ist eine Möglichkeit der zukünftigen klimaneutralen Nutzung fossiler Brennstoffe. Rund 30% des weltweit erzeugten Kohlendioxids entsteht in kalorischen Kraftwerken, die Grossquellen der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Erzeugung darstellen. Könnten in einem ersten Schritt ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre verhindert werden, so würde

dies einen signifikanten Beitrag zur Linderung des Treibhausklimaproblems darstellen.

Eine solche CO<sub>2</sub>-Entsorgung besteht aus zwei Schritten, der CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus dem Kraftwerksprozess und der Endlagerung. Man ist sich heute weitgehend einig, wie die optimale Prozessführung fossilbefuerter Kraftwerke gestaltet werden muss, um CO<sub>2</sub> energiearm abtrennen zu können. Die Brennstoffe (Kohle, Öl oder Erdgas) werden zunächst in einer vorgeschalteten Vergasungsanlage in ein Synthesegas, bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, übergeführt, das anschliessend abgekühlt und auch von den anderen Schadstoffen, insbesondere des Schwefels, gereinigt wird. Ein CO<sub>2</sub>-Shiftreaktor führt das Synthesegas in eine Mischung von Kohlendioxid und Wasserstoff über, welches mit einer physikalischen Gaswäsche getrennt wird. Der Wasserstoff wird anschliessend einer Gasturbine mit Abhitzekegel zugeführt und mit Luft CO<sub>2</sub>-frei verbrannt

(GuD-Prozess). Das abgetrennte CO<sub>2</sub> wird parallel dazu zwecks Endlagerung entweder im überkritischen Zustand in Gasform in leere Erdgas- oder Erdölfelder zurückgepumpt oder der Meeresendlagerung in Form flüssigen CO<sub>2</sub> oder festem CO<sub>2</sub>-Eis zugeführt.

Erste Kraftwerkauslegungen zeigen, dass je nach Abtrennverfahren und Entsorgungsart Kohle-GuD-Kraftwerke mit ca. 90%iger CO<sub>2</sub>-Abscheidung Stromerzeugungskosten besitzen, die 30–50% höher sind als ohne CO<sub>2</sub>-Abtrennung. Drei Viertel dieses Werts resultieren auf Grund des reduzierten Wirkungsgrads und ein Viertel aufgrund der höheren Kapitalkosten. Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten, also jener Kapitalaufwand, der nötig ist, damit eine gewisse Menge an CO<sub>2</sub> nicht emittiert wird, liegt in einem Bereich von 25 bis 80 DM/t CO<sub>2</sub>. Es sind diese relativ günstigen Werte, welche diese Technik als Gegensteuerungsmassnahme zur Treibhausproblematik so attraktiv machen. Aus diesem Grund wird man davon ausgehen müssen, dass man noch viele Jahrzehnte fossile Brennstoffe für die Stromerzeugung einsetzen wird.

## Japanischer Versenkungsversuch von CO<sub>2</sub>-Eis

Am 27. September 1990 wurde nun von Bord des Forschungsschiffes Kaiyo Maru in der Suruga Bay an der japanischen Pazifikküste auf 34°34'N, 138°32'O ein erster Versenkungsversuch von CO<sub>2</sub>-Trockeneis durchgeführt (Bild 1). Dabei wurden Kuben von -75,5°C kaltem Trockeneis mit Kan-

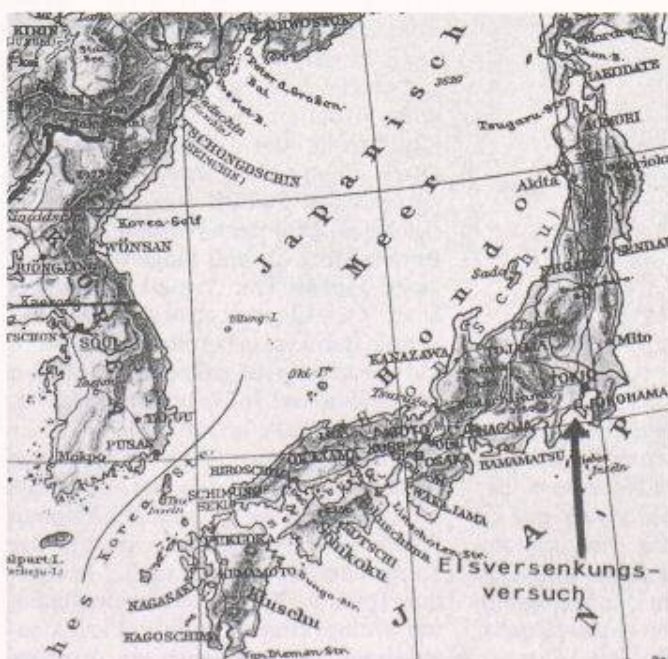


Bild 2. Feste CO<sub>2</sub>-Eiskuben, die auf der Kaiyo Maru zur Versenkung bereitgemacht werden (XBT-Bathysonde, ozeanographisches Messgerät) (Quelle: N. Nakashiki et al.)

Bild 1. Ort der ersten CO<sub>2</sub>-Eisversenkungsversuche vor der Küste Japans

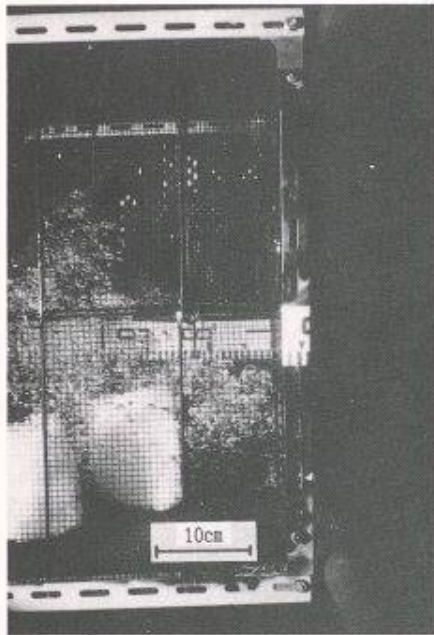


Bild 3. Auflösung von festem  $\text{CO}_2$ -Eis in 362 m Tiefe (Sublimation). Die aufsteigenden  $\text{CO}_2$ -Gasblasen sind gut zu erkennen. (Quelle: N. Nakashiki et al.)

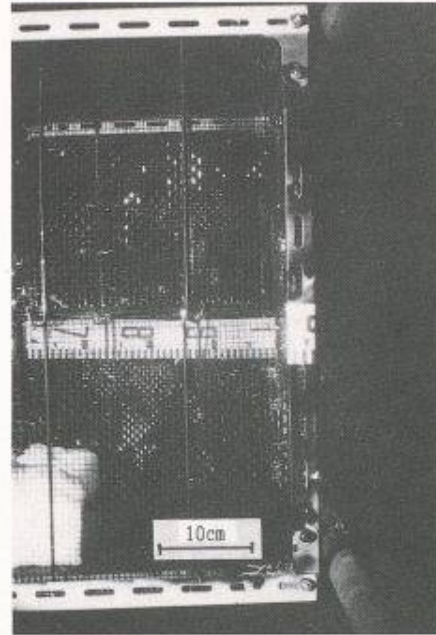


Bild 4. Auflösung von festem  $\text{CO}_2$ -Eis in 432 m Tiefe (Verflüssigung). Das flüssige  $\text{CO}_2$  ist unsichtbar. (Quelle: N. Nakashiki et al.)

tenlängen von 22 bis 25 cm (Dichte:  $1,55 \text{ g/cm}^3$ ) einmal auf einem Tragegestell mit konstanter Geschwindigkeit ( $0,56\text{--}0,65 \text{ m/s}$ ) abgesenkt und das andere Mal in freiem Fall Richtung Meeresboden geschickt. Mit Hilfe einer Unterwasserkamera und anderer ozeanographischer Instrumente (Bathysonde, Echolot) wurde der Auflösungsprozess als Funktion der Meerestiefe bestimmt.

Die theoretische Modellierung dieses Prozesses ist deshalb so schwierig, weil das abgelöste  $\text{CO}_2$  aufgrund des linear

mit der Tiefe zunehmenden Drucks mehrere Phasenübergänge durchmacht. Bis etwa 400 m Tiefe bildet das abgelöste  $\text{CO}_2$  Gasblasen, in grösserer Tiefe ist es dagegen flüssig.

Die Bilder 3 und 4 zeigen dies eindrücklich. In Bild 3 befindet sich das  $\text{CO}_2$ -Trockeneis noch in 362 m Tiefe und das abgelöste  $\text{CO}_2$  steigt in Form von Blasen auf (Sublimation). In Bild 4 hingegen befindet sich das  $\text{CO}_2$ -Trockeneis bereits in 432 m Tiefe, und das abgelöste  $\text{CO}_2$  ist flüssig, also unsichtbar im photographischen Bild (Verflüssigung).



Bild 5. Der Kuroshio-Strom in der Nähe Japans, der besonders gut für die Meeresendlagerung von  $\text{CO}_2$  im Pazifik geeignet wäre. (Quelle: Seifritz)

Ab 3000 m Tiefe ist der Druck so hoch (300 bar), dass das flüssige  $\text{CO}_2$  aufgrund seiner gegenüber Meerwasser höheren Kompressibilität schwerer als letzteres wird, so dass es von selbst auf den Meeresboden absinkt. Erste Vergleiche mit den vom Autor aufgestellten Auflösungsmodellen konnten so angestellt werden.

Ohne auf Einzelheiten einzugehen, ist von den Japanern die prinzipielle technische Machbarkeit dieser eleganten  $\text{CO}_2$ -Endlagerung demonstriert worden. In der Praxis würden jedoch erheblich grössere Eiskörper (mit grösseren Volumen- zu Oberflächenverhältnissen) in Form von Kuben, Quadern oder Zylindern mit charakteristischen Durchmesser von 3 bis 4 m verwendet. Man hofft auch, dass das flüssige  $\text{CO}_2$ , das den Meeresboden erreicht, diesen unter Hydrogenkarbonatbildung auflöst, so dass eine zusätzliche chemische Senke für das  $\text{CO}_2$  ausgenutzt werden kann. Laborexperimente mit Meeressedimenten und Skeletten abgestorbener Meerestiere haben dazu eine erheblich bessere Kinetik ergeben, als man erwartet hätte. Für das Langzeitgleichgewicht, das heisst für die Menge des nach Jahrtausenden rückdiffundierenden  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre ist dieser Vorgang von höchster Bedeutung (Revelle-Faktor).

Weitere Untersuchungen zur Meeresökologie in grossen Tiefen sowie zum Problem der Hydratbildung ( $\text{CO}_2 \cdot n \text{ H}_2\text{O}$ ) werden sich anschliessen. Ebenso sind Versuche zur Verpressung von flüssigem  $\text{CO}_2$  im 2- bis 100-Tonnen-Massstab vorgesehen, um auch diese Variante zu verstehen.

### Potential für die $\text{CO}_2$ -Versenkung im Kuroshio-Strom

Für die spätere praktische  $\text{CO}_2$ -Versenkung im grösseren technischen Massstab bietet sich für Japan der Kuroshio-Strom an. Dieses Analogon zum Golf-Strom des Atlantiks entsteht durch äquatoriale Aufwärmung des Pazifikwassers. Südlich von Japan biegt der Kuroshio nach Norden Richtung Bering-Meer ab und tangiert die Ostküste Japans. Der Vorteil Japans bei einer  $\text{CO}_2$ -Meeresentsorgung besteht gerade darin, dass bereits nach 100–120 km vor der Küste grosse Meerestiefen vorhanden sind. In Westeuropa liegt dagegen jene Stelle im Atlantik, die tiefer als 3000 m ist, ca. 300 km westlich von Bordeaux in der Biskaya. Bei einer Wassertransportmenge von ca. 27 Millionen Kubikmeter pro Sekunde könnte der Kuroshio theoretisch rd. 1,7 Milliarden Tonnen  $\text{CO}_2$  pro Jahr aufnehmen, um es einer Endlagerung im Pazifik zuzuführen. Dabei könnte ein örtlicher

Verdünnungsfaktor von mindestens 200 000 eingehalten werden, der garantiert, dass die pH-Wertänderung des betroffenen Meerwassers sich nur im Rahmen seiner natürlichen Schwankung ändert.

Japan ist nach den USA, der früheren UdSSR und China der viertgrösste CO<sub>2</sub>-Produzent mit einer jährlichen Produktion von knapp über einer Milliarde Tonnen. In einer ersten Phase würde sich die CO<sub>2</sub>-Entsorgung für Kohle- und Erdgas-GuD-Kraftwerke anbieten, wobei bei letzteren besonders vorteilhaft wäre, dass die Unterkühlungsenergie des meist in flüssiger Form angelieferten Erdgases bei seiner Verdampfung zur Verflüssigung des CO<sub>2</sub> energetisch sinnvoll rekuperiert werden könnte.

Der Autor bemüht sich zurzeit, dass im Rahmen der Europäischen Gemein-

schaft ein derartiges CO<sub>2</sub>-freies Erdgas-GuD-Kraftwerk gebaut wird und die ursprünglich von ihm vorgeschlagene CO<sub>2</sub>-Versenkungsmethode im Atlantik wiederholt wird.

### Weitreichende Bedeutung einer CO<sub>2</sub>-Entsorgungsstrategie

Gelänge es, die CO<sub>2</sub>-Entsorgung weltweit mit tragbaren Kosten und tolerierbarem Energieaufwand, der nur ein Bruchteil des Heizwertes der fossilen Brennstoffe betragen darf, einzuführen, so könnten fossile Brennstoffe, insbesondere die Kohle, noch lange Jahrzehnte genutzt werden. Neben der Kernenergie stünde so eine zweite klimaneutrale Option für die grossmassstäbliche Erzeugung von wirtschaftlicher Energie zur Verfügung, was einer Bereicherung der Wahlmöglich-

keiten entspricht. Ein physikalisches Ressourcenproblem stellt sich nämlich für die Kohle im nächsten Jahrhundert noch nicht. Auf diese Weise könnte hinreichend Zeit für den Übergang in eine nicht-fossile Ära gewonnen werden. Allerdings müssten neben der Kraftwerkstechnik auch noch die Sektoren Verkehr und Niedertemperatur-Wärmemarkt, zwei andere wichtige CO<sub>2</sub>-Quellen, ebenfalls «CO<sub>2</sub>-befreit» werden.

Arbeiten in diesem Zusammenhang werden zur Zeit im Rahmen des Forschungsprojekts «Instrumente für die Entwicklung von Strategien zur Reduktion energiebedingter Klimagasemissionen in Deutschland» vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) an der Universität Stuttgart durchgeführt.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. W. Seifritz, Chapfstr. 4, 5200 Windisch.

## Wettbewerbe

### Aménagement des cheminements piétonniers et du réseau routiers à Crans VS

Ce concours d'idées est organisé par la Commune de Chermignon, avec l'accord du Département des Travaux Publics de l'Etat du Valais. L'adresse de l'organisateur est: Commune de Chermignon, Bureau communal, 3971 Chermignon.

La composition du jury est la suivante: Philippe Joye, architecte, Genève; Roland Gay, architecte, Monthey; Nicolas Cordonier, ingénieur, président de la Commune de Chermignon; Philippe de Kalbermatten, architecte, Sion; Paul-Alain Metrailler, architecte, Sierre; Marcel Pralong, ingénieur, ingénieur-adjoint au Service des Ponts et Chaussées de l'Etat du Valais, Sion; Marius Robyr, conseiller communal, Chermignon.

Le concours est ouvert à tous les architectes, urbanistes et architectes-paysagistes inscrits au Registre Cantonal et établis dans le Canton du Valais avant le 1 janvier 1991 ainsi qu'aux architectes, urbanistes et architectes-paysagistes d'origine valaisanne établis en Suisse et inscrits au REG. Les concurrents sont libres de s'associer et de former des groupes de travail pluridisciplinaires (ingénieurs civils, ingénieurs des transports, designers, etc.). Toutefois un spécialiste ne peut participer qu'avec un seul concurrent. Les étudiants architectes ou paysagistes, d'origine valaisanne et inscrits à une école suisse, peuvent également participer au concours. Les étudiants ingénieurs peuvent s'associer à un groupe de travail dans le sens de la pluridisciplinarité ci-dessus mentionnée. La clause du REG ne s'applique pas aux étudiants.

Le programme peut-être retiré gratuitement auprès de l'organisateur. Les intéressés s'inscrivent, par écrit, à l'adresse de l'organisateur dès la publication du concours et ce,

jusqu'au 6 mai 1992. Le versement d'un dépôt de 300 fr. sera fait sur le CCP de la caisse communale de la Commune de Chermignon. Ce montant sera remboursé à ceux qui auront remis un projet admis au jugement. Une somme de 50 000 fr. est mise à disposition du jury pour l'attribution de prix ou pour d'éventuels achats. Questions relatives au concours: jusqu'au 31 mars; remise des projets: jusqu'au 11 août 1992.

### Ökumenisches Zentrum Pieterlen BE

Die römisch-katholische Kirchgemeinde und die evangelisch-reformierte Kirchgemeinde Pieterlen veranstalteten einen Projektwettbewerb unter vier eingeladenen Architekten für ein ökumenisches Zentrum. Ergebnis:

1. Preis (5000 Fr. mit Antrag zur Weiterbearbeitung): Andry & Habermann, Biel; Mitarbeiter: Marcel Krähenbühl, Gérard Chard, Barbara Haus, Andrzej Rulka, Stéphane Zingg

2. Preis (3000 Fr.): Arbeitsgemeinschaft Canal+Hofer und Iseli, Pieterlen; Mitarbeiter: Christine Meier, Beatrice Staudenmann, August Berz

3. Preis (2000 Fr.): R. Leu+Partner, Lengnau; Mitarbeiter: Giovanni Pscitelli

Fachpreisrichter waren H. Häberli, Biel; W. Jauch, Lyss; F. Marti, Pieterlen.

### Feuerwehrgebäude und Alterswohnungen in Sevelen SG

Der Gemeinderat von Sevelen veranstaltete einen öffentlichen Projektwettbewerb für ein Feuerwehrgebäude und für Alterswohnungen an der Büelstrasse in Sevelen.

Teilnahmeberechtigt waren Architekten, die seit mindestens dem 1. Januar 1991 ihren Wohn- oder Geschäftssitz im Bezirk Werdberg haben. Es wurden 19 Projekte be-

urteilt. Ein Projekt musste nach Öffnung des Verfassercouverts ausgeschlossen werden, da die Verfasser die Teilnahmebedingungen nicht erfüllten. Ergebnis:

1. Preis (12 500 Fr. mit Antrag zur Weiterbearbeitung): Eggenberger & Partner AG, Buchs; Mitarbeiter: Heinz Eggenberger, Daniel Eggenberger

2. Preis (10 500 Fr.): Niggli & Zbinden, St. Gallen; Mitarbeiter: Andreas Jung, Markus Schmid, Pascal Reich, Renato Sabbadini

3. Preis (8000 Fr.): Walter Schlegel und Partner AG, Trübbach; Projektbearbeitung: Walter Schlegel, Fritz Hofer

4. Preis (6000 Fr.): Kaderli+ Wehrli, St. Gallen; Mitarbeiter: Manfred Steger, Pierre Michel

Ankauf (3000 Fr.): Christian Wagner-Jecklin, Trübbach; Mitarbeiter: Jürg Gasser

Fachpreisrichter waren Kurt Baumgartner, Jona-Rapperswil; Markus Bollhader, St. Gallen; Hugo Zoller, Altstätten; Werner Binotto, St. Gallen, Ersatz.

### Oberstufenzentrum Wigoltingen TG

Die Oberstufengemeinde, die Primarschulgemeinde sowie die Munizipal- und Ortsgemeinde Wigoltingen veranstalteten unter sechs eingeladenen Architekten einen Projektwettbewerb für ein neues Oberstufenzentrum. Ergebnis:

1. Preis (7000 Fr.): K. Häberlin, Müllheim

2. Preis (6000 Fr.): M. Bolt, Stutz + Bolt, Winterthur

3. Preis (5000 Fr.): Antoniol + Huber, Frauenfeld

Das Preisgericht empfahl dem Veranstalter, die Verfasser der drei rangierten Projekte zu einer Überarbeitung einzuladen. Fachpreisrichter waren B. Bossart, St. Gallen, H. Gloor, Rheinklingen, A. Kern, Hochbauamt, Frauenfeld, R. Leu, Feldmeilen, J. Mantel, Winterthur, HP Oechslis, Schaffhausen.