

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 95 (2003)  
**Heft:** 7-8

**Artikel:** Die Erde im Treibhaus : eine Herausforderung des 21. Jahrhunderts  
**Autor:** Stocker, Thomas  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-939484>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.02.2026

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

## Was erwartet uns in Zukunft?

Im September 1993 wurde Brig von langandauernden, intensiven Niederschlägen heimgesucht, die verheerende Überschwemmungen mit grossflächigen Verwüstungen anrichteten. Das Unwetter von Brig wie auch andere grosse Schadenereignisse gaben mit den Anstoss zum Start des MAP-Forschungsprogramms. Die Ambition von MAP war und ist es, das Verständnis für solche Unwetterereignisse zu vertiefen und die Möglichkeiten der Vorhersage zu verbessern.

Immer wichtiger wird zudem die Frage, wie sich der Einfluss der globalen Erwärmung auf das Gebirgsklima auswirkt, denn es häufen sich die Anzeichen, dass die Freisetzung von Kohlendioxid durch menschliche Aktivitäten massgeblich zur Erwärmung des Klimas beiträgt. Die Veränderung des Klimas kann in der Schweiz anhand von langjährigen Messreihen bereits gut verfolgt werden. Seit Beginn der Messungen im Jahre 1864 hat sich zum Beispiel in Sitten die mittlere Herbsttemperatur um 1,7 Grad Celsius erhöht, die Wintertemperatur sogar um 2,3 Grad Celsius.

«Was noch vor 100 Jahren als warmes Jahr klassifiziert wurde, gehört heute bereits zu den eher kühleren Jahren», sagt Prof. Christoph Schär, Vorsteher des Instituts für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich. Diese Erwärmung wird auch durch den kontinuierlichen Rückzug der Gletscher und den Anstieg der Schneefallgrenze belegt. Die Klimamodelle lassen für die Zukunft eine Beschleunigung der globalen Erwärmung erwarten.



Bild 1. Flugzeug zur Wettererkundung.

Zurzeit ist eine Häufung von Extremereignissen und Naturkatastrophen zu beobachten. Diese Häufung könnte eine natürliche Klimaschwankung sein oder eine langfristige Veränderung des Klimas. Für eine Änderung des Niederschlags existieren bereits deutliche Zeichen. So haben die Winterniederschläge im Nordwesten der Alpen in den letzten hundert Jahren bis zu 30 Prozent zugenommen. Zudem hat die Häufigkeit von starken Niederschlägen im Herbst und Winter deutlich zugenommen.

### Immer bessere Computermodelle

Gebirge stellen immer eine Wetterscheide dar, das heisst, sie bilden eine Grenze zwischen zwei verschiedenen Klimazonen. Die Gegensätze, die dadurch entstehen, werden für eine

Wetterprognose zu einer grossen Herausforderung. Seit 2001 verwendet Meteo Schweiz ein Prognosemodell mit einer Maschenweite von sieben Kilometern. Auf Computern wird die Wetterentwicklung in West- und Mitteleuropa für die nächsten 72 Stunden simuliert. Zurzeit wird an Modellen gearbeitet, die noch präzisere Vorhersagen zulassen. Damit dies möglich ist, müssen die physikalischen Prozesse, vor allem diejenigen, die die Niederschlagsbildung und die Strahlung betreffen, noch genauer verstanden werden. Deshalb werden neue Forschungsarbeiten in gebirgischem Gebiet notwendig sein.

Anschrift des Verfassers

Dr. Andreas Walker, Verlag CH-Forschung, Gubelstrasse 59, CH-8050 Zürich.

# Die Erde im Treibhaus: eine Herausforderung des 21. Jahrhunderts

■ Thomas Stocker

Seit 1850 war kein Jahr wärmer als 1998; die 90er-Jahre waren das wärmste Jahrzehnt, und dieser Trend setzt sich nahtlos fort. Das Jahr 2001 steht bereits auf Platz 2 der Rangliste der wärmsten Jahre.

Solche Meldungen machen Schlagzeilen, doch wie signifikant sind sie? Ist diese Häufung aussergewöhnlich, und gehört sie allenfalls zu den ersten Anzeichen einer globalen Erwärmung? Um das herauszufinden, muss vergangenes Klimageschehen rekonstruiert werden. Doch Thermometer standen vor Galileis Erfindung 1593 nicht zur Verfügung, und so müssen natürliche Archive gefunden werden, die vergangene Klimaänderungen zuverlässig aufgezeichnet haben.

### Aus Klimaarchiven Klimageschichte lesen

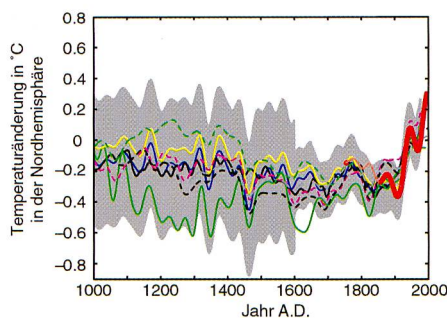
Baumringe gehören zu den bekanntesten Klimaarchiven. Mit kluger Auswahl sensibler Standorte und statistischer Methoden gelingt es, die Temperatur oder andere Klimagrössen aus Baumringen herauszulesen. Bild 1 zeigt die Jahresmitteltemperatur der letzten 1000 Jahre, wie sie von Baumringdicken abgeschätzt wird. Neben kurzfristigen Schwankungen ist eine langsame Abkühlung erkennbar, die Mitte des 19. Jahrhunderts durch eine deutliche und bis heute anhaltende Erwärmung abgelöst wurde. Einzig mit Klimaarchiven können die Veränderungen der letzten 100 Jahre in einen grösseren Zusammenhang gestellt werden.

### 420 000 Jahre alte Luft im Eis aus der Antarktis

Weitere Klimaarchive sind Sedimente aus dem Meer oder aus Seen sowie Ablagerungen in Torfmooren und Gletschern. Wichtigste Klimaarchive sind aber die Eisschilder von Grönland und der Antarktis. Die jährliche Ablagerung von Schnee und der darin enthaltenen Substanzen führt zu einer chronologischen Abfolge von Eisschichten. Das Eis in 3 km Tiefe in Grönland ist etwa 100 000 Jahre alt; in der Antarktis werden 800 000 bis wohl eine Million Jahre ununterbrochene Klimageschichte erwartet. Das Klimaarchiv Eis enthält auch kleinste Luftbläschen, in denen mit hochempfindlichen Methoden die Zusammensetzung alter Luft bestimmt werden kann.







**Bild 1. Rekonstruktion der Veränderung der Jahresmitteltemperatur der Nordhemisphäre. Ab 1820 liegen genügend direkte Messungen vor (dicke rote Kurve), vorher wird die Jahresmitteltemperatur auf Grund von Baumringdicken und weiteren Größen abgeschätzt (verschiedene farbige Kurven). Der Bereich der Unsicherheit ist grau dargestellt (Figur von Mann 2002, Science).**

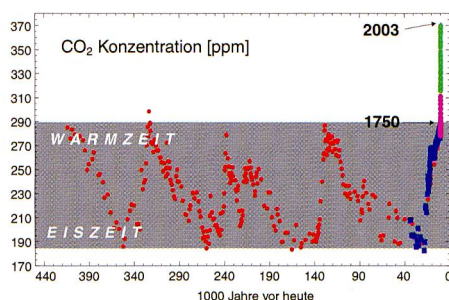
Das Physikalische Institut der Universität Bern, mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds, nimmt seit fast 40 Jahren an wissenschaftlichen Bohr-Expeditionen in Grönland und der Antarktis im Rahmen von internationalen Projekten teil. An diesen wertvollen Eisproben messen wir die Konzentrationen der wichtigsten Treibhausgase (Kohlendioxid  $\text{CO}_2$ , Methan  $\text{CH}_4$  und Lachgas  $\text{N}_2\text{O}$ ). Bild 2 zeigt die Rekonstruktion der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre über die letzten 420 000 Jahre, dem ältesten Eis, in dem bisher Gase gemessen wurden. Seit der industriellen Revolution zu Beginn des 18. Jahrhunderts ist ein Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre messbar. Heute ist die Konzentration über 30% höher als je zuvor in den letzten 420 000 Jahren. Die Ursache für diesen dramatischen Anstieg ist zweifelsfrei belegt: Die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas, die Produktion von Zement sowie die intensive Landnutzung (Abholzung) führen zu einer Erhöhung von fast 1% jedes Jahr.

### Lebenswichtige Treibhausgase

Das  $\text{CO}_2$ -Molekül, wie auch Wasserdampf, absorbieren Strahlung im Infrarotbereich. Dadurch werfen diese Moleküle einen Teil der von der Erdoberfläche ausgehenden Wärmestrahlung zurück auf die Erde, was zu einer Erwärmung führt. Diese so genannten Treibhausgase sind lebensnotwendig: Ohne Wasserdampf und  $\text{CO}_2$  und deren natürlichem Treibhauseffekt wäre die mittlere Temperatur auf der Erde unwirtliche  $-33^\circ\text{C}$  und Leben wäre unmöglich. Eine Erhöhung der Konzentration dieser Gase verursacht aber durch den zusätzlichen Treibhauseffekt eine weitere Erwärmung der Erdoberfläche.

Hat nun der Anstieg der mittleren Temperatur auf der Erde über die letzten 100 Jahre

(Bild 1) etwas mit dem Anstieg von  $\text{CO}_2$  (Bild 2) zu tun? Quantitativ kann man diese Frage nur durch entsprechende Berechnungen mit Klimamodellen, nahe Verwandte der Modelle der täglichen Wettervorhersage, beantworten.



**Bild 2. Rekonstruktion der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre über die letzten 420 000 Jahre, die vier vollständige Eiszeitzyklen enthalten. Die natürliche Schwankungsbreite (grauer Bereich) ist durch die Werte während der Warmzeit (etwa 290 parts per million, ppm) bzw. während der kältesten Phase der Eiszzeit (etwa 190 ppm) begrenzt. Diese natürlichen Grenzen sind in den letzten 200 Jahren deutlich überschritten worden.**

### Die Erwärmung der letzten 50 Jahre ist hauptsächlich menschgemacht

Neben dem Anstieg von  $\text{CO}_2$  beeinflussen auch Vulkanausbrüche, kleinste Russpartikel, El Niño und die Stärke der Sonneneinstrahlung die globale Temperatur. Diese Einflussgrößen sind in Klimamodellen berücksichtigt. Die Modelle simulieren die Temperaturveränderungen seit 1860 in guter Übereinstimmung mit den beobachteten Werten, falls Veränderungen der Sonneneinstrahlung und Vulkaneignisse berücksichtigt werden. Diese allein genügen aber nicht, um die starke Erwärmung der letzten 50 Jahre zu erklären. Nur die Berücksichtigung der Erhöhung der Treibhausgase und die damit verbundene Emission von Russpartikeln ergibt Simulationen, die auch von 1950 bis heute mit den Beobachtungen gut übereinstimmen.

Basierend auf diesen und vielen weiteren Erkenntnissen hat das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ein Expertengremium der UNO, die Aussage gemacht, dass «der grösste Anteil der Erwärmung der letzten 50 Jahre menschlichen Aktivitäten zuzuschreiben ist». Zum letzten Bericht, der 2001 veröffentlicht wurde, haben über 2000 WissenschaftlerInnen beigetragen; er kann unter [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) eingesehen werden.

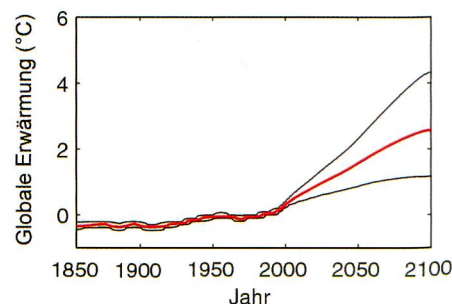
### Die Erde wird wärmer

An der Universität Bern verfügen wir über Klimamodelle, mit denen die künftige Klima-

erwärmung berechnet werden kann. Auch die Unsicherheiten in den Einflussgrößen werden systematisch berücksichtigt. In einem moderaten Emissionsszenario wird eine Erwärmung von  $2,5^\circ\text{C}$  bis ins Jahr 2100 prognostiziert. Wesentlich grössere Erwärmungen können jedoch nicht ausgeschlossen werden, wie die Grafik in Bild 3 verdeutlicht. Für die pessimistischsten Szenarien, in denen der Verbrauch von Kohle und Öl weiterhin ungebremselt ansteigt, ist mit einer massiv grösseren Erwärmung von bis zu  $5,8^\circ\text{C}$  im globalen Mittel zu rechnen.

### Massive lokale Klimaänderungen sind zu erwarten

Aber niemand lebt in einer «globalen Mitteltemperatur». In marinen Bereichen wird die Erwärmung geringer ausfallen. In kontinentalen Gebieten hingegen, vor allem in den höheren geografischen Breiten, wo bisher während mehrerer Monate eine Schneedecke die Winterjahreszeit geprägt hat, werden massive Erwärmungen erwartet. Die ersten Anzeichen dieser erwarteten Veränderungen sind bereits messbar. Die Verschiebung der Jahreszeiten, späteres Auftreten und früheres Verschwinden der Schneedecke sind heute feststellbar. Die Permafrostgrenze rückt gegen Norden, der Ozean erwärmt sich



**Bild 3. Berechnete globale Erwärmung bis ins Jahr 2100 mit dem Berner Klimamodell und der Annahme eines mittleren Szenarios. Die beobachtete Erwärmung von 1860 bis 2000 wird realistisch wiedergegeben. Die künftige mittlere Erwärmung beträgt  $2,5^\circ\text{C}$ , der Unsicherheitsbereich liegt zwischen  $1,3$  und  $4,2^\circ\text{C}$ .**

deutlich, und das Eis in der Arktis geht zurück. Ein vollständiges Verschwinden im 22. Jahrhundert ist nicht auszuschliessen.

### Was ist zu tun?

Schon jetzt scheint sich abzuzeichnen, dass technologisch entwickelte Länder mit geeigneten, wenn auch zunehmend teuren Massnahmen sich auf ein wärmeres Klima einstellen können. Gerade die ärmeren Länder, die bereits heute äusserst sensibel auf natürliche Klimavariabilität (Dürre, Überschwemmungen, Epidemien) reagieren, werden durch die



Klimaänderung und ihre weitreichenden Auswirkungen vor immensen Herausforderungen stehen. Ein eindrückliches Beispiel ist der Anstieg des Meeresspiegels, der in Holland wohl einige zusätzliche bauliche Massnahmen erfordert, jedoch in Bangladesh eine menschliche Katastrophe auslösen wird.

Das Problem ist nachhaltig einzig an der Wurzel anzupacken. Der Ausstoss von CO<sub>2</sub> muss stabilisiert und in Zukunft, ab etwa 2030, massiv reduziert werden, um die Er-

wärmung in vorgegebenen Grenzen zu halten. In der UN-Rahmenkonvention für Globale Klimaänderung (UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, seit 1994 in Kraft), eines der wenigen und konkreten Resultate der legendären Rio-Konferenz von 1992, heisst es in Artikel 2, dass die Konzentrationen der Treibhausgase auf einem Wert zu stabilisieren sind, der einen gefährlichen Einfluss des Menschen auf das Klima ausschliesst. Die Wissenschaft kann aufzei-

gen, wie sich die Welt verändern wird. Es ist jedoch an der Gesellschaft, zu entscheiden, wie viel Klimaänderung wir ertragen wollen. Ohne eine globale Sichtweise kann es zu schwierigen Konflikten kommen, denn Klima ist – noch vielen nicht bewusst – eine wichtige und bedrohte Ressource.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Thomas Stocker, Physikalisches Institut, Universität Bern, Sidlerstrasse 5, CH-3012 Bern.

## Schwimmender Koloss für die Kiesförderung aus dem Vierwaldstättersee

■ Curt M. Mayer

### Greiferbaggeranlage der Arnold & Co. AG, Flüelen, modernisiert

Dass der seit Jahrzehnten im Urnersee betriebene Kiesabbau auf nachhaltige Weise weitergeführt werden kann – dafür hat das Stimmvolk des Kantons Uri bereits 1985 auf weitsichtige Art mit der Annahme des Reussdelta-Gesetzes die Grundlage gelegt. Das ermöglichte nicht nur die Inangriffnahme der inzwischen zum internationalen Vorzeigeprojekt mutierten Umgestaltung der Reussmündung zu einer naturnahen Deltalandschaft, sondern brachte auch der seit mehr als hundert Jahren im Geschäft der Kiesgewinnung tätigen Familienunternehmung Arnold & Co. AG klare Perspektiven.

Diese veranlassten das Unternehmen zu grossen Investitionen im Blick auf die Arbeiten zur Seeschüttung aus Tunnelausbruchmaterial und um den gestiegenen Kiesbedarf der nächsten Jahre für die verschiedenen Grossprojekte im Kanton Uri abdecken zu können.

In der Schweiz stammen rund ein Viertel der benötigten Menge an Sand, Kies, Splitt und Schotter aus den Seen. Rund ein Drittel dieses Volumens von 7 Mio. t wird aus dem Vierwaldstättersee gewonnen.

Mit zehn Lastschiffen und einer Ladekapazität von insgesamt 2625 t besitzt die Arnold & Co. AG die grösste Transportflotte auf dem Vierwaldstättersee. Die beiden Schwimmbagger des Unternehmens können pro Tag bis zu 2000 m<sup>3</sup> Sand und Kies aus dem See fördern. Die vom Kanton Uri erteilte Gewinnungskonzession ist pro Jahr auf maximal 320 000 m<sup>3</sup> festgelegt worden.

**Schwimmende  
Kiesaufbereitungsanlage erneuert**  
Gesteigerte Qualitätsbedürfnisse in der Kies

verarbeitenden Industrie, neue Vorgaben für die Kies- und Sandgewinnung aus dem See und verschärfte Vorschriften machten eine Modernisierung der Schwimmbaggeranlage notwendig. Dabei geht es insbesondere um die Sicherstellung der Produktion von holzfreiem Kies, wie Karl Arnold anlässlich einer Besichtigung auf der Anlage erläuterte. Hinzu kommt die Sicherstellung der Kiesgewinnung aus grösseren Seetiefen, nachdem noch bis vor wenigen Jahren den guten Materialgründen «nachgefahren» werden konnte.

Bei dieser Anlage mit ihren eindrücklichen technischen Daten handelt es sich auch nach über 35 Betriebsjahren um den grössten Greiferschwimmbagger auf europäischen Binnengewässern. In dieser langen Produktionszeit hat sich nach den Feststellungen der Arnold & Co. AG gezeigt, dass das Greiferbaggersystem in Verbindung mit einer modern konzipierten Aufbereitung und Verladung eine wirtschaftliche Sand- und Kiesgewinnung aus den Tiefen des Sees ermöglicht.

Konstruktiv besteht die Anlage aus den Baugruppen Schwimmkörper, Greiferbaggerausrüstung, Aufbereitungsanlage und Verladeeinrichtungen sowie Energieversorgung.

Der Schwimmkörper, im Längsspannsystem erstellt und komplett geschweisst, weist eine Länge von 60 m und eine Breite von 15 m auf. Zwei Baggerschächte bilden den Durchlass für die beiden Greifer. Die ganze Konstruktion ist innen und aussen sandgestrahlt und im Spritzzinkverfahren korrosionsfest beschichtet.

### Maschinelle und elektromechanische Installationen

Die Greiferbaggeranlage ist als Vollwand-Bockgerüst ausgeführt und weist eine Höhe

von 17,2 m über dem Pontondeck und eine Stützweite von 22,1 m auf. Auf dem Bockgerüst laufen die beiden Greiferlaufkatzen mit einer Tragkraft von zweimal 18 t. Die beiden Greifer mit einem Fassungsvermögen von je 5,5 m<sup>3</sup> arbeiten innerhalb der beiden Baggeröffnungen im Schwimmkörper. Dazwischen befindet sich ein Aufgabetrichter für das Rohbaggergut mit einer Kapazität von 26 m<sup>3</sup>.

Zur Erreichung einer grösstmöglichen Förderleistung dient eine Schnellsenkeinrichtung, die eine Hubgeschwindigkeit von 210 m/min = 3,5 m/s erreicht, während die normale Arbeitsgeschwindigkeit etwa halb so schnell ist. Je nach Baggertiefe beträgt die theoretische Förderleistung mit den beiden Greifern rund 240 m<sup>3</sup>/h bzw. 450 m<sup>3</sup>/h.

Die Doppel-Greiferbaggeranlage wurde bereits im ursprünglichen Konzept mit einer vollautomatischen Steuerung ausgerüstet. Deren Steuerung und Überwachung befindet sich in einer geräumigen Führerkabine auf einer Zwischenbühne des Bockgerüsts.

Bei dem auf dem Urnersee oft herrschenden Föhn und dem bei Westwindstürmen entstehenden Wellengang stellt die zuverlässige Verankerung der Schwimmanlage nahe bei der Reussmündung ein besonderes Problem dar. Eine zentral gesteuerte elektrische Windenanlage, bestehend aus zwei Vorzugswinden und zwei Rückzugswinden mit je 15 t Zugkraft sowie 30 t Haltekraft, sowie je zwei Doppeltrommel-Seitenzugswinden übernehmen die Verankerung und Verholung. Acht Seeanker mit je 1,8 t Gewicht sowie ein Landanker mit bis zu 700 m Seil dienen zur Sicherung der Baggeranlage.

Für die Energieversorgung wurde seinerzeit nach reiflicher Überlegung elektrischer Strom gewählt. Die Versorgung erfolgt