



Einen Monat lang blockierten Granitblöcke die Gotthardautobahn (Mai 2006). Ursache war ein Felssturz. Solche Steinschläge werden häufiger auftreten, weil der Klimawandel Berghänge durch Gletscherschmelzen und auftauenden Permafrost instabil macht.

Foto: Keystone

# Klimagefahren drohen

Die Klimaerwärmung stellt auch die Schweiz vor neue Herausforderungen. So wird Wasser zu gewissen Zeiten vermutlich knapp werden, und in den Bergen sind vermehrt Rutsche und Steinschläge zu erwarten.

Berechnungen mit Klimamodellen für die Schweiz ergeben ein komplexes Bild: Zum einen werden sich die Niederschläge im Sommer klar verringern und die Phasen mit ausgeprägter Sommertrockenheit deutlich verlängern (Grafik Seite 3). Zum andern lässt sich Szenarien entnehmen, dass nördlich der Alpen extreme Hochwasser zunehmen werden. **(7)**

Im Winter zeigen die meisten Modelle für weite Teile Europas, dass die Häufigkeit von Starkniederschlägen beträchtlich ansteigt, je nach Temperatur ebenso die zugehörigen Überschwemmungsrisiken. Allein durch den Anstieg der Schneegrenze ist ein intensiverer Anfall von Schmelzwasser zu erwarten. Das erhöht die Gefahr von Überflutungen, vergleichbar mit Ereignissen wie denjenigen vom 10./11. Oktober 2011 im Berner Oberland, in der Zentralschweiz und im Wallis. Es empfiehlt sich demzufolge, als Anpassung an den Klimawandel den Hochwasserschutz zu verstärken.

## Konkurrenz ums knappe Wasser

Die vermehrt heissen und trockenen Sommer der Zukunft lassen wiederum das Wasserangebot schrumpfen – und dies zu einem Zeitpunkt, in dem die Bauern auf intensive Bewässerung angewiesen sind. Es wird unweigerlich zu Konkurrenzsituationen kommen, denn während langer Hitzeperioden ist nicht nur die Landwirtschaft auf Wasser angewiesen. **(7.2)**

Die häufigeren Trockenzeiten, vor allem auf der Alpensüdseite, bergen zudem die Gefahr

grosser Waldbrände. Um diese zu verhindern, muss die Schweiz die nötige Infrastruktur zu ihrer Bekämpfung aufbauen. Einen Vorgeschmack darauf, welche Konsequenzen lang ausbleibender Regen künftig haben könnte, erlebte im April 2011 das Oberwallis. Beim Löschen der verschiedenen Waldbrände rund um Visp waren Feuerwehr und Armee während drei Wochen im Einsatz.

Eine Folge der steigenden Temperaturen sind häufigere Steinschläge und Murgänge. Der Grund: Permafrost, der sich bis anhin stabilisierend auf den Boden auswirkte, taut auf. Welche Risiken damit für die Verkehrsinfrastruktur verbunden sind, zeigte sich im Frühsommer 2006, als die Gotthard-Autobahn nach einem Felssturz bei Gurtellen während eines Monats geschlossen blieb (Bild oben). **(7.4)**

## Auf Eis gebaute Seilbahnen gefährdet

In der Schweiz sind 15 Prozent der Bergbahnen auf Permafrost gebaut. Deren Stabilität ist damit womöglich gefährdet und zu verbessern.

Der Klimawandel ist real, und ohne Klimaschutzmassnahmen wird er sich beschleunigt fortsetzen. Dann wird es in der Schweiz bis Ende des Jahrhunderts um 5 Grad wärmer sein als vor Beginn der Industrialisierung. **(6)**

## Zahlen zum Klima

# 1,7

Um 1,7 Grad ist in der Schweiz die mittlere Oberflächentemperatur seit 1900 gestiegen – fast doppelt so viel wie weltweit (neuer Wert bei 0,9 Grad). Diese Differenz erklärt sich unter anderem dadurch, dass die Temperaturen über den Kontinenten generell schneller ansteigen als über dem Meer.

# 2

Auf 2 Grad Celsius gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung soll die globale Erwärmung begrenzt werden. Dieses Ziel hat die internationale Klimapolitik eingeführt. Es geht aus einer Abwägung relevanter Aspekte (Kosten, Nutzen, Risiken etc.) hervor, welche die Gesellschaft vorzunehmen hat.

# 6

Gut 6 Tonnen Treibhausgase pro Jahr betragen die durchschnittlichen Pro-Kopf-Emissionen der Schweizer Bevölkerung (direkt in der Schweiz emittiert) – oder 10 Tonnen inklusive den Emissionen, die in importierten Produkten stecken. Die Werte liegen klar über dem globalen Durchschnitt von rund 5 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Kopf und Jahr. Das Fernziel für die Schweiz liegt bei 1 Tonne CO<sub>2</sub>eq.

## Schlusspunkt



«Unser Prof meint, der Klimawandel würde die Schweiz relativ wenig plagen. Hier könne ja nur das Nebelmeer ansteigen.»

### Impressum

Herausgeberin ETH Zürich, Präsidialstab, 8092 Zürich / president@sl.ethz.ch

Konzeption/Redaktion Beat Gerber Redaktionelle Mitarbeit Kaspar Meuli

Videoproduktion ID Multimedia Services Input Wissen ETH-Professoren Lucas Bretschger, Andreas Fischlin, Nicolas Gruber, Reto Knutti, ETH-Professorin Renate Schubert, Team C2SM, ETH Life, ETH-Klimablog



Die Töss ohne Wasser im Zürcher Oberland (April 2011). Das aussergewöhnliche Ereignis lässt sich zwar wissenschaftlich nicht dem Klimawandel zuordnen. Solch extreme Trockenheiten werden jedoch in der Schweiz im Sommer bei ungebremster Klimaerwärmung häufiger. Foto: Keystone

# Wir alle heizen die Erde auf

Die globale Klimaerwärmung wird überwiegend durch den Menschen verursacht. Betroffen von den Folgen ist auch die Schweiz. Dieser Newsletter dokumentiert dazu naturwissenschaftliche Forschungsergebnisse.

Viele Befunde zum Klimawandel sind seit längerem bekannt und mit ständig verbesserten Methoden mehrmals bestätigt worden. Trotzdem haben selbst grundlegende Resultate in der Öffentlichkeit nur wenig Resonanz gefunden. Die Klimaerwärmung betrifft jedoch alle. Auch in der Schweiz werden die Folgen in den kommenden Jahrzehnten zu spüren sein. **(1)**

So muss die Land- und Forstwirtschaft bei beträchtlichen klimatischen Veränderungen langfristig mit nachteiligen Auswirkungen wie spürbaren Ertragseinbußen rechnen. Zudem sind künftig Infrastrukturanlagen – etwa für die Wasserversorgung – sowie Schutzbauten gegen Naturgefahren aufgrund gesteigerter Risiken anzupassen. **(7)**

Die Schweiz wird nicht nur solche direkten Folgen der Erderwärmung zu spüren bekommen. Mittelfristig können Handelsauflagen die Wirtschaft beeinträchtigen oder Klimaflüchtlinge aus dem Süden den Immigrationsdruck auf die nördlichen Länder verstärken.

Beim Klimaschutz stellt sich letztlich die ethische Frage, inwieweit die Weltgemeinschaft den nächsten Generationen die Altlast CO<sub>2</sub> überlassen will. Die Konsequenzen eines übermässig

verstärkten Treibhauseffekts sind auf lange Sicht unwägbar. Die Aktualität setzt jedoch ein nachteiliges Signal: Der globale Ausstoss des wichtigsten Treibhausgases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist auf Rekordhöhe geklettert. Die Hauptursache liegt beim wachsenden fossilen Energieverbrauch bevölkerungsreicher, aufstrebender Länder wie China, Indien und Brasilien. **(1)**

## Handlungsmöglichkeiten bereits vorhanden

Je länger man mit Klimaschutzmassnahmen zuwartet, desto schwieriger und teurer wird es, die Erwärmung auf ein menschen- und umweltverträgliches Mass zu begrenzen. Schon heute anwendungsbereit sind wirksame Massnahmen wie innovative Techniken, wirtschaftliche Anreize und Verhaltensänderungen. **(5)**

Die ETH Zürich untersucht umfassend die wissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels und engagiert sich in internationalen Gremien wie dem UN-Weltklimarat IPCC. Die Hochschule war federführend bei der Ausarbeitung der CH2011-Klimaszenarien für die Schweiz und erforscht eine Vielzahl von Technologien, deren Anwendung den Klimawandel einzudämmen vermögen.



R. Eichler

Prof. Ralph Eichler,  
Präsident ETH Zürich

## Editorial Erforschter Wandel

*Die Erderwärmung über die letzten 100 Jahre ist ein Faktum. Mit Modellen, die an der Vergangenheit geeicht wurden, zeigt die Wissenschaft mögliche Zukunftsszenarien auf.*

*Extreme Witterungen werden häufiger – wie Hitzephasen, die Bewässerung erfordern und zum Gesundheitsrisiko werden. Steigen wird auch das Risiko von Überschwemmungen und Murgängen, was kostspielige Schutzmassnahmen bedingt.*

*Vermutlich sind ebenfalls indirekte Effekte zu erwarten. Das Problem von Klimaflüchtlingen könnte sich verschärfen und die Zahl internationaler Vorschriften zunehmen.*

*Die Schweiz wird Wege finden müssen, um die Auswirkungen des Klimawandels zu meistern. Als hochtechnisiertes Land ist sie auch verpflichtet, Technologien zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses zu entwickeln und anzuwenden. Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft sind dabei stark gefordert. Die ETH Zürich will mit Forschung und Ausbildung ihren Beitrag leisten und zudem Lösungen anbieten.*

Dieser Newsletter unter dem Patronat des ETH-Präsidenten dokumentiert den Wissensstand in der Klimaforschung. Als führende technisch-naturwissenschaftliche Hochschule fördert die ETH Zürich die nachhaltige Entwicklung. Sie will die Öffentlichkeit aktiv über diesbezüglich bedeutende Erkenntnisse informieren. Weitere Newsletters sollen nebst Resultaten auch Lösungen aufzeigen.

Zu den Nummern in Klammern gibt es weitere Informationen und ein Quellenverzeichnis: [www.klimablog.ethz.ch](http://www.klimablog.ethz.ch)



# Der Klimawandel trifft uns auch auf Umwegen

Die Konsequenzen der globalen Erwärmung zeigen sich erst langfristig in voller Ausprägung und sind meist unumkehrbar. Die Risiken lassen sich hingegen bereits heute abschätzen.

Das Wetter spielt manchmal verrückt. Aber ein glutheisser Sommer bedeutet noch keine Klimaerwärmung. Umgekehrt gilt ein frostiger Mai auch nicht als klimatische Abkühlung. Das Wetter unterscheidet sich

In einer eng vernetzten Welt zieht der Klimawandel auch indirekte Folgen nach sich und aktiviert so die persönliche Betroffenheit.

klar vom Klima. Meteorologen kümmern sich um Wetterprognosen für einige Tage, Klimaforscher dagegen um Wetterstatistiken über lange Zeitspannen. Klima ist gemäss klassischer Definition das durchschnittliche Wetter über einen Zeitraum von 30 Jahren. Hier beobachtet man Phänomene, die sehr träge reagieren.

Selbst wenn der Mensch sämtliche durch ihn verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen

abrupt stoppen könnte, würde die Erderwärmung über einen Zeitraum von 1000 Jahren nicht wesentlich zurückgehen. Ein Teil des emittierten Kohlendioxids wird zwar schnell von den Ozeanen und der Landbiosphäre aufgenommen. Doch der restliche Anteil verschwindet äusserst langsam aus der Atmosphäre. (2)

Deshalb sind viele Folgen des Klimawandels – von der menschlichen Zeitskala aus betrachtet – irreversibel. Beispiel dazu ist das Abschmelzen der Gletscher. Neue Studien bestätigen in Übereinstimmung mit bisherigen Erkenntnissen, dass Gletscher nicht nur in der Schweiz, sondern weltweit in zunehmendem Mass abschmelzen. Auch das arktische Packeis und der grönländische Eisschild haben in den letzten Jahren massgeblich Eis verloren. (7.1), (4)

Betroffen von dieser Entwicklung sind ebenfalls der Permafrost und die Schneebedeckung. Die Veränderungen bei Eis, Schnee und Permafrost werden sich zudem auf andere Bereiche auswirken – beispielsweise auf den Meeresspiegel, den Wasserhaushalt und auf die in Permafrostgebieten errichteten Infrastrukturen.

Eine weitere unumkehrbare Konsequenz bewirkt der Klimawandel in den

## Keine Entwarnung

Die Temperatur der Erde reagiert möglicherweise weniger stark auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das belegen neuste Forschungsergebnisse. Die Problematik Klimawandel ist damit aber keineswegs vom Tisch. In einer viel beachteten Arbeit hat ein internationales Forschungsteam mit ETH-Beteiligung gezeigt, dass die Erwärmung von Ozeanen und Atmosphäre über die letzten Jahrzehnte eher auf eine kleinere Klimasensitivität hindeutet (3). Die Erwärmung bis 2100 wird daher vermutlich 20 bis 30 Prozent tiefer ausfallen als bis jetzt angenommen, liegt jedoch weiterhin innerhalb der Bandbreite bisheriger Berechnungen. Das an sich positive Ergebnis bedeutet aber keine Entwarnung. Denn: Es würde einfach etwa zwanzig Jahre länger dauern, bis eine bestimmte Erwärmung trotzdem erreicht wäre – ausser wir ergreifen Gegenmassnahmen.

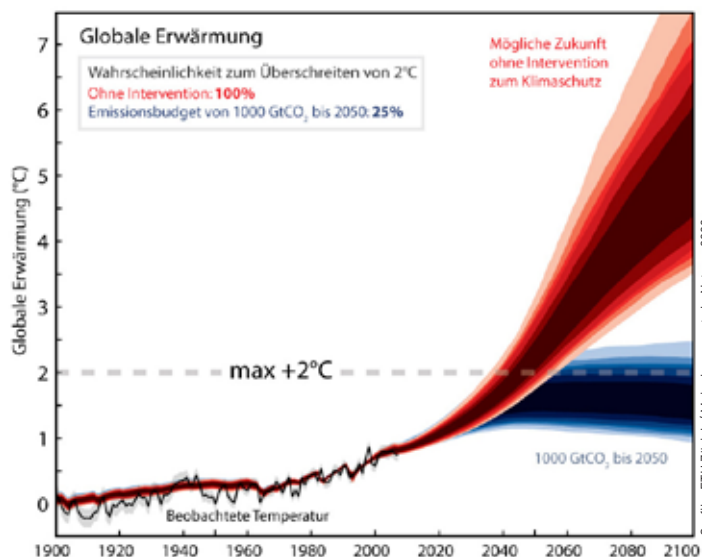
Weltmeeren. Die Ozeane werden mit der Absorption des zusätzlichen CO<sub>2</sub> immer saurer, worunter viele Lebewesen leiden. Mögliche Verlierer dabei sind die Korallen, zahlreiche Meeresalgen, Muscheln und andere kalksteinbildenden Tiere. (4)

Viele der geschilderten globalen Umweltfolgen mögen für die Schweiz weit entfernt sein. Doch in einer eng vernetzten Welt ziehen sie unweigerlich auch indirekte Auswirkungen nach sich und aktivieren damit die persönliche Betroffenheit in unserem Land.

## Unwägbarkeiten für die Schweiz

Auf lange Sicht muss die Schweizer Bevölkerung vermehrt mit Unwägbarkeiten wie Handelsauflagen, hohen Anpassungskosten und Klimaflüchtlingen rechnen. Eine wirksame Klimapolitik kann als «Versicherung» gegen solche Ereignisse motiviert sein. Die Schweiz verfolgt dabei sowohl die Strategie der «Vermeidung» wie auch diejenige der «Anpassung» an die Klimaveränderung.

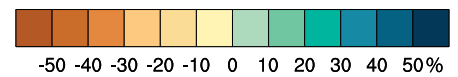
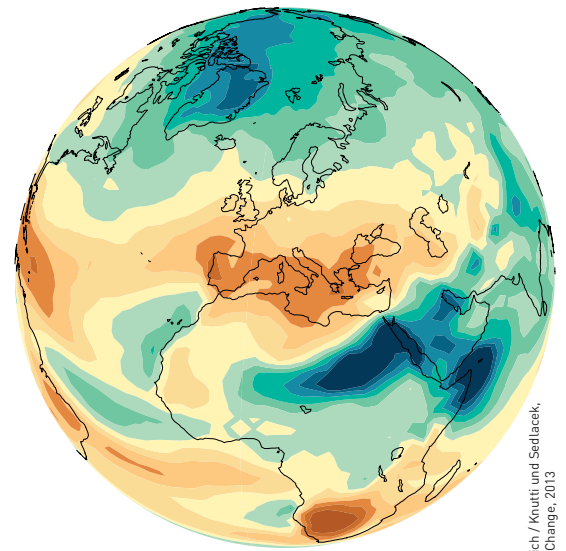
Mit einem Weltbevölkerungsanteil von 1 Promille und einem Treibhausgas-Ausstoss (CO<sub>2</sub>eq) von jährlich 52,4 Millionen Tonnen ist die Schweiz auch für 1 Promille der weltweiten Emissionen verantwortlich (6). Der ökologische Fussabdruck ist demzufolge noch nicht vorbildlich. Doch betreffend Lebensstandard, Forschung und Innovation liegt der wohlhabende Kleinstaat an der Weltspitze. Das sind beste Voraussetzungen, im Klimaschutz für die Weltgemeinschaft als leuchtendes Beispiel zu wirken.



Seit 1900 ist die Erdoberflächentemperatur weltweit im Mittel um fast 0,9 Grad Celsius angestiegen, in der Schweiz um 1,7 Grad. Ab 2010 sind mögliche Szenarien für die künftige Klimaerwärmung je nach ergriffenen Massnahmen zum Klimaschutz dargestellt. Anzustreben sind maximal 2 Grad globale Erwärmung.

# Nötig ist ein schnell wirksamer Klimaschutz

Das träge Klimasystem und die sich nur langsam verändernden Wirtschaftsstrukturen erfordern rasche Entscheide, damit gesteckte Klimaziele erreicht werden können. Die Zeit drängt.



Grafik: ETH Zürich / Knutti und Sedlacek, Nature Climate Change, 2013

Niederschlagsveränderungen am Ende des 21. Jahrhunderts gemäss neuesten Klimamodellen: Europa wird im Sommer höchstwahrscheinlich deutlich weniger Niederschläge erhalten – im Süden 30 bis 50 Prozent weniger.

Der Klimawandel wird die Schweiz in allen Sektoren treffen. Gewichtige Risiken bestehen etwa für die Landwirtschaft und den Tourismus sowie hinsichtlich menschlicher Gesundheit oder Wasserverfügbarkeit.

Sollte sich das Klima gemäss dem Szenario «Ohne Interventionen zum Klimaschutz» entwickeln, sind gegen Jahrhundertende in der Schweiz im Mittel gleich heisse Sommertemperaturen zu erwarten wie heute in einem Rekordjahr. **(6)**

Ohne Klimaschutz und ohne Vorsorgemassnahmen muss mit erheblichen negativen Konsequenzen für Mensch und Tier gerechnet werden, auch bei der Gesundheit. Da das gesundheitliche Risiko für den Menschen bei gleicher Temperatur mit der relativen Luftfeuchtigkeit an-

In der Schweiz wird sich eine moderate Klimaerwärmung von weniger als 2 bis 3 Grad Celsius zunächst vermutlich positiv auf die Landwirtschaft auswirken. Die potenzielle Jahresproduktion von Wiesen und der Ernteertrag verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen werden bei ausreichendem Wasser- und Nährstoffangebot nicht zurückgehen, falls in eine bewässerte Landwirtschaft investiert wird. Negative Effekte werden aufgrund von häufigeren und längeren Hitze- und Trockenperioden (Grafik rechts oben) und des möglichen Aufkommens von Unkräutern und Insekten-Schädlingen erwartet. **(7.3)**

Dem Klimawandel muss sich die Schweizer Landwirtschaft durch entsprechende Züchtungen, Sortenwahl, Anbauverfahren, Betriebsführung und Bewässerung anpassen. Bei einer stärkeren Klimaerwärmung von mehr als 3 Grad würden jedoch auch in der Schweiz die negativen Auswirkungen gegenüber den positiven zu überwiegen beginnen.

**Ohne Massnahmen etwa 5 Grad wärmer**  
Mehrere Modellberechnungen belegen, dass Nichtstun im Klimaschutz die globale Erderwärmung bis 2100 am wahrscheinlichsten auf 5 Grad hinauftreiben könnte (siehe Grafik Seite 2). Die weltweiten Konsequenzen für Mensch und Umwelt wären gravierend. Rasch wirksame Klimaschutzmassnahmen sind deshalb zwingend nötig. Die derzeit jährliche Zunahme der Treib-

## Der neue IPCC-Bericht

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), auch als Weltklimarat bezeichnet, wurde 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) gegründet. Es fasst für politische Entscheidungsträger den Stand der wissenschaftlichen Forschung zusammen und wird den ersten Teil des 5. Sachstandsberichts über die physikalischen Grundlagen Ende September 2013 veröffentlichen. Die neuen Resultate zum Klimawandel unterscheiden sich nicht wesentlich von denjenigen früherer Berichte, doch haben sie sich erhärtet. Experten aus über 130 Ländern tragen zu den IPCC-Berichten bei, darunter rund 1200 Autoren und mehr als 2500 Fachgutachter (Peer Reviewers). Massgeblich beteiligt an den IPCC-Arbeiten ist auch die ETH Zürich. ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch))

hausgas-Emissionen liegt aber deutlich über dem Pfad, der mit dem erklärten Ziel einer globalen Erwärmung von höchstens 2 Grad verträglich ist. **(1), (3)**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die Nutzung von Erdöl, Gas und Kohle entstehen, sammeln sich im Klimasystem an. Dabei beeinflussen sie sowohl das Klima wie auch die Zusammensetzung der Atmosphäre und Ozeane auf irreversible Weise über die nächsten Jahrtausende. **(2)**

Um dem entgegenzuwirken, müssen die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen langfristig gegen Null sinken, um so eine Stabilisierung der Temperatur auf der Erdoberfläche zu erreichen. Je eher es gelingt, griffige Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen umzusetzen, desto mehr Handlungsspielraum bleibt für die Zukunft. **(5)**

Je rascher es gelingt, effektive Massnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion umzusetzen, desto mehr Handlungsspielraum bleibt künftig.

steigt, ist laut ETH-Studien davon auszugehen, dass künftig während mindestens eines Drittels des Sommers Hitzealarm ausgerufen werden muss. **(7.5)**

Video



«Die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind heute auf Rekordhöhe»

Nicolas Gruber, ETH-Professor für Umweltphysik, über die Bedingungen zum Erreichen des 2-Grad-Ziels

Video auf [www.ethz.ch/youtube/gruber](http://www.ethz.ch/youtube/gruber)