

Berücksichtigen wir in der Klimapolitik genügend Sicherheitsmargen?

Der öffentliche Diskurs zum Klimawandel krankt am Missbrauch von Unsicherheiten: Unhaltbare Zweifel erhalten immer noch breiten Raum; naturwissenschaftliche Ergebnisse werden einerseits überbewertet und andererseits verzerrt ausgelegt, indem Unsicherheiten ausgeblendet werden. Dabei bleibt die Debatte über die Risiken auf der Strecke, obwohl mit jeder klimapolitischen Entscheidung unausweichlich Risiken verknüpft sind. Vor der Klimakonferenz in Kopenhagen im Dezember 2009 ist dringend ein Risikodiskurs erforderlich, der naturwissenschaftliche Erkenntnisse ebenso berücksichtigt wie Wertvorstellungen und Sicherheitsmargen.

Andreas Fischlin

Do We Have Sufficient Safety Margins in Climate Policy? | GAIA 18/3 (2009): 193–199

Keywords: climate change, climate policy, mitigation, risk management, science-policy interface, uncertainty

Wandel im Diskurs zum Klimawandel

Der öffentliche Diskurs zum Klimawandel hat sich in den letzten zwei Jahren gewandelt: Eine Reihe sich gegenseitig verstärkender Ereignisse und Umstände verhalfen dem Thema endlich zu dem gebührenden „gesellschaftlichen Durchbruch“. Ohne hier auf die bisherigen Erklärungsversuche (zum Beispiel Egner 2007) oder Vorhaltungen, das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) habe eine Alarmstimmung ausgelöst (Luhmann 2008), näher eingehen zu wollen, möchte ich dieser Debatte (Reusswig 2008) folgende drei Argumente hinzufügen:

Erstens dürften persönliche Erfahrungen der täglichen Witterung und Naturbeobachtungen eine Rolle gespielt haben, wie etwa der ungewöhnliche Hitzesommer 2003 (zum Beispiel Fink et al. 2004), warme Winter, schmelzende Gletscher (Rosenzweig et al. 2007, Rosenzweig et al. 2008), Ernteausfälle, Trockenheit, Wassermangel, Überschwemmungen, Waldbrände und Hitzetote. Erscheinungen, die nicht nur beunruhigt haben, sondern auch Fragen nach den Ursachen haben aufkommen lassen.

Zweitens deutete der Vierte Sachstandsbericht (AR4) des IPCC (IPCC 2007 a, b, c, f) diese Erscheinungen mit naturwissenschaftlich sorgfältig abgestützten Erklärungen und enthielt Zukunftswarnungen, welche die Besorgnis weiter anfachten. Al Gores Film *An Inconvenient Truth* hat durch seine Popularisierung wissenschaftlicher Erkenntnisse ebenfalls mitgeholfen, dass der Klimawandel von breiten Bevölkerungsschichten vermehrt als vordringliches Problem wahrgenommen wird.

Drittens ist besser akzeptiert, dass menschliches Tun weltweit zu tiefgreifenden Veränderungen führen kann, was die Erfahrungen der letzten Jahre unterstrichen haben: Sie zeigten Spitzen der chronischen, seit Jahren schwelenden Nahrungskrise, die Finanzkrise als Überraschung und eine in Anbetracht

einer immer noch wachsenden Weltbevölkerung sich sichtlich anbahnende Ressourcenkrise.

Obwohl also der Diskurs zum Klimawandel inzwischen eine breite Öffentlichkeit erreicht hat, befindet er sich in einer Krise. Er ist von irritierend hartnäckigen Zweifeln geprägt: solche an der Richtigkeit des wissenschaftlichen Verständnisses (zum Beispiel Doran und Zimmerman 2009) – insbesondere außerhalb Europas (USA, Russland) – oder an der Machbarkeit und Finanzierbarkeit eines wirksamen Klimaschutzes (zum Beispiel Lomborg 2007). In meinen Augen ist dies nicht der optimale Verlauf des Diskurses, den unsere Gesellschaft zur Bewältigung der Klimakrise benötigt. Erforderlich wäre stattdessen eine sorgfältige Abwägung der Risiken und deren Tragbarkeit, um so der gegenwärtig noch weit offenen Klimapolitik eine klare Richtung zu geben, eine Richtung hin zu einem effektiven Klimaschutz, die von der breiten Öffentlichkeit trotz zu überwindender Hürden politischer, finanzieller, oder institutioneller Art getragen wird. Derartige Überlegungen sind selten und ich befürchte, dass die Berücksichtigung ausreichender Sicherheitsmargen in der Klimapolitik zu kurz kommt. Und dies ausgerechnet im Vorfeld der Konferenz der Vertragsstaaten der UN-Klimarahmenkonvention im Dezember 2009 in Kopenhagen, bei der zukunftsweisende Weichenstellungen für ein globales Klimaschutzregime im Anschluss an das jetzige Kyoto-Protokoll anstehen. Es sind Entscheidungen unter erheblichen Unsicherheiten zu fällen, Unsicher-

>

Kontakt: Prof. Dr. Andreas Fischlin | ETH Zürich |
 Departement Umweltwissenschaften | Institut für
 Integrative Biologie (IBZ) | Terrestrische Systemökologie |
 Universitätsstr. 16 | 8092 Zürich | Schweiz |
 Tel.: +41 44 6336090 | E-Mail: andreas.fischlin@env.ethz.ch

heiten, die adäquat zu berücksichtigen sind, also weder unter den Tisch gewischt noch ungerechtfertigt überbetont werden dürfen. Dabei ist folgende Frage vordringlich zu beantworten: *Wie viel Sicherheit will die Menschheit vor nicht auszuschließenden katastrophalen Klimafolgen* (zum Beispiel Mastrandrea und Schneider 2004, Schneider et al. 2007, Smith et al. 2009)?

Vom Missbrauch naturwissenschaftlicher Unsicherheiten

Naturwissenschaftliche Klarheit in Aussagen zum Klimawandel, wie sie den Arbeiten des mit dem Nobelpreis ausgezeichneten IPCC zugeschrieben wird, ist nicht mit dem völligen Fehlen von Unsicherheiten gleichzusetzen. Weder klare Aussagen noch verbleibende Unsicherheiten dürfen durch Ausblenden oder durch Überbetonen missbraucht werden. All dies scheint aber derzeit zu geschehen. Folgende Unsicherheiten sind von hoher Wichtigkeit:

Unsicherheiten durch Nichvorhersagbarkeit menschlichen Verhaltens

Die künftige Entwicklung menschlicher Tätigkeiten und damit verknüpfter Emissionen an Treibhausgasen kann nicht vorausgesagt, sondern nur angenommen werden. Szenarien stellen in sich konsistente quantitative Annahmen dar, die mit heute bekanntem Wissen nicht in Widerspruch stehen und die es erlauben, den Klimamodellen spezifische Treibhausgasemissionen einzuspeisen. Die Modelle können dann interessierende Größen wie zukünftige Temperaturen oder Niederschläge berechnen.

Unsicherheiten durch ungenügendes naturwissenschaftliches Verständnis

Weitere erhebliche Unsicherheiten ergeben sich durch ungenügendes Verständnis biogeochemischer und physikalischer Zusammenhänge. Von Bedeutung sind hier die Unsicherheiten, die in der sogenannten Klimasensitivität zusammengefasst sind (Abbildung 1). Letztere entspricht der Erwärmung im Klimagleichgewicht bei einer Verdopplung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration, zum Beispiel bei einem Anstieg der CO_2 -Konzentration von 280 (vorindustriell) auf 560 parts per million (ppm). Obwohl der Treibhauseffekt selbst sehr gut verstanden ist, ist die Erde nicht einfach ein Glashaus und es müssen viele weitere Prozesse mitberücksichtigt werden.

Beispielsweise bildet sich durch die Erwärmung zusätzlicher Wasserdampf, der als starkes Treibhausgas den Klimawandel verstärkt. Andererseits kann vermehrte Wolkenbildung die Albedo erhöhen, was gegensätzlich, also kühlend wirkt. Wegen solcher gegenläufiger Prozesse ist es trotz gesicherter naturwissenschaftlicher Grundlagen nicht trivial, die Reaktion des Erdklimas vorzusagen. Seit langem wird vergeblich versucht, die Klimasensitivität genauer zu bestimmen. Zwar sind – wie im letzten IPCC-Bericht (IPCC 2007 c) dargestellt – wichtige Fortschritte erzielt worden: So wurde der beste Schätzwert um $0,5^\circ\text{C}$ auf $3,0^\circ\text{C}$ er-

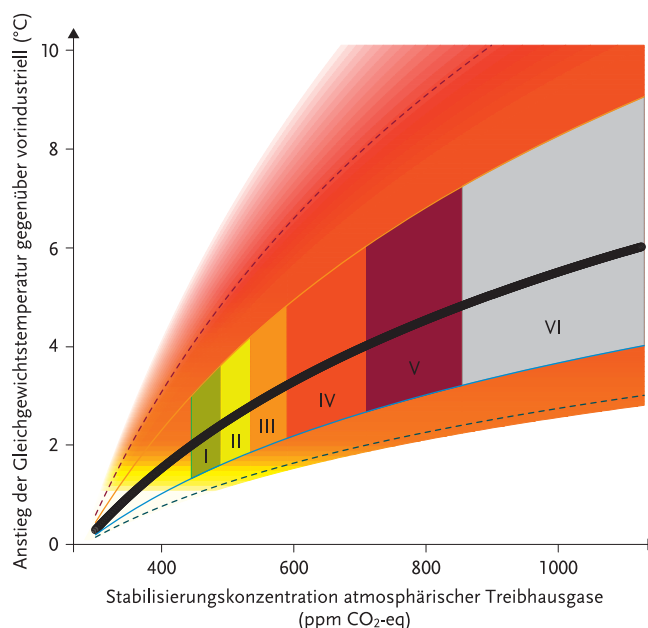


ABBILDUNG 1: Anstieg der Gleichgewichtstemperatur gegenüber dem vorindustriellen Wert in Funktion der Stabilisierungskonzentration atmosphärischer Treibhausgase. Beste Schätzung (—) und Vertrauensintervalle: 33% (—) (wie IPCC 2007 b), 80% (---) und ~90% (gesamte, mit Gefahrenfarben eingefärbte Fläche, siehe auch Legende zu Abbildung 3).

So bedingt beispielsweise die Begrenzung der Erwärmung auf 2°C (beste Schätzung schneidet linken Rand der grünen Fläche I) eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen auf 450 parts per million (ppm) CO_2 -Äquivalente (CO_2 -eq). Die Flächen I bis VI beschreiben die sechs IPCC-Stabilisierungskategorien. Die Vertrauensintervalle ergeben sich ausschließlich durch die Unsicherheiten in der Klimasensitivität, ohne dass wichtige Rückkopplungseffekte – etwa biologische (zum Beispiel Fischlin et al. 2007) – schon berücksichtigt wären, welche die Risiken erheblich ansteigen lassen (Werte nach IPCC 2007 d, g).

höht. Dieser Tatsache kommt jedoch keineswegs eine so große Bedeutung zu wie von Luhmann (2008) postuliert. Gemäß Unsicherheitsabschätzung nach IPCC liegt der wahre Wert wahrscheinlich ($p = 33\%$) zwischen 2°C und $4,5^\circ\text{C}$ und sehr wahrscheinlich ($p = 90\%$) höher als $1,5^\circ\text{C}$. Es ist wichtig festzuhalten, dass der obere Grenzwert – für sehr unwahrscheinliche ($p \leq 10\%$) Werte – nicht genau bestimmt werden kann (Abbildung 1, auslaufende Farben). Werte oberhalb 6°C lassen sich nicht völlig ausschließen – eine Tatsache, die gerade für die Beurteilung möglicher Klimarisiken bedeutsam ist (die gesamte eingefärbte Fläche in Abbildung 1 entspricht grob dem 90%-Vertrauensintervall). Demgegenüber ist die Verschiebung der besten Schätzung um $0,5^\circ\text{C}$ unbedeutend ($0,5^\circ\text{C}$ entspricht nur rund acht Prozent von 6°C). Ich kann deshalb Luhmann (2008, Legende Abbildung 1, S. 27) nicht beipflichten, dass das IPCC mit der vormals besten Schätzung von $2,5^\circ\text{C}$ die Menschheit 17 Jahre in falscher Sicherheit gewiegt habe. Das IPCC hat immer auch auf die erheblichen Unsicherheiten und damit auf mögliche, nicht auszuschließende katastrophentartige Erwärmungen hingewiesen.¹ Fragwürdig sind hier unreflektierte Interpretationen, die beste Schätzungen für den einzig relevanten Wert halten und es unterlassen, Sicherheitsmargen einzubeziehen.

Unsicherheiten durch Rückkopplungen

Die dritte wichtige Quelle von Unsicherheiten besteht darin, dass unzureichend verstandene Rückkopplungen auftreten. Der Klimawandel betrifft praktisch alle Lebensbereiche, womit sich ein komplexes, zurzeit nur unvollständig verstandenes Geflecht direkter und indirekter Kausalitäten ergibt. Wirkungen treten nicht nur entlang der Kausalkette Klimawandel → Folgewirkungen auf, sondern es gibt daneben positive wie negative Rückkopplungseffekte, welche signifikant auf das Klima zurückwirken. So wird Vegetation stark durch das Klima geprägt, den Landökosystemen fällt aber gleichzeitig eine Schlüsselfunktion für den Kohlenstoffkreislauf zu (Fischlin et al. 2007, IPCC 2007 e). Die sich dabei ergebenden Unsicherheiten sind besonders schwierig abzuschätzen, da sie Kopplungen von Modellen erfordern, die oft nur unbefriedigend gelingen. Der Klimawandel ist also von seinen Auswirkungen nicht unabhängig und durch diese Rückkopplungseffekte ergeben sich nochmals entscheidende Unsicherheiten beim Abschätzen zukünftiger Klimata (Friedlingstein et al. 2006, Jones et al. 2006, Friedlingstein 2008). Viele der vom IPCC verwendeten Klimamodelle berücksichtigen kritische Rückkopplungseffekte nicht oder nur unbefriedigend (zum Beispiel Denman et al. 2007, Randall et al. 2007, Cadule et al. 2009).

Zweifelhaftes Überbetonen von Unsicherheiten

Oft werden Unsicherheiten überbetont. Insbesondere Klimaleugner versuchen mit einer an Besessenheit grenzenden Nörgelei Zweifel an den naturwissenschaftlichen Ergebnissen zum Klimawandel selbst oder dessen Verursachung durch den Menschen zu streuen. Dabei fällt auf, dass sie Fehlentscheidungen einseitig in Betracht ziehen. Die Antwort auf die Frage, ob der menschengemachte Klimawandel (MKW) stattfindet oder nicht, sieht sich ja vier und nicht nur zwei Möglichkeiten gegenüber (Abbildung 2).

Diese elementare Entscheidungssituation ist aus der Statistik bestens bekannt und wird mit einem Neyman-Pearson-Test bezeichnet: Eine Arbeitshypothese – wie „Es gibt den MKW“ – ist in Wirklichkeit entweder wahr oder falsch und wir fällen eine Entscheidung dahingehend, dass wir sie annehmen oder ablehnen. Spiegelbildlich zur Arbeitshypothese kommt die Nullhypothese – „Es gibt keinen MKW“ – zum Zuge. Diese wird anstelle der Arbeitshypothese angenommen, falls wir Letztere ablehnen und umgekehrt. Damit ergeben sich vier Fälle: zwei, in denen wir die richtige Entscheidung, und zwei, in denen wir eine Fehlentscheidung fällen (Fehler 1. und 2. Art). Wir entscheiden richtig, wenn der Klimawandel in der Tat menschengemacht ist und wir diese Schlussfolgerung gezogen haben. Wir entscheiden auch

		menschengemachter Klimawandel (MKW) findet tatsächlich	
		nicht statt	statt
Entscheidung MKW findet	nicht statt	richtige Entscheidung	Fehlentscheidung (Fehler 2. Art, $p = \beta$) „Wir nehmen an, es gäbe keinen MKW, obwohl es ihn tatsächlich gibt.“
	statt	Fehlentscheidung (Fehler 1. Art, $p = \alpha$) „Wir nehmen an, es gäbe MKW, obwohl es ihn tatsächlich nicht gibt.“	richtige Entscheidung

ABBILDUNG 2: Bei der Entscheidung, ob menschengemachter Klimawandel (MKW) stattfindet oder nicht, ergeben sich vier Möglichkeiten: zwei richtige und zwei Fehlentscheidungen. Klimaleugner fordern oft, die Wahrscheinlichkeit (α) eines Fehlers 1. Art möglichst klein zu halten, und übersehen, dass dadurch die Wahrscheinlichkeit (β) eines Fehlers 2. Art stark ansteigt.

richtig, wenn wir eine menschliche Verursachung ablehnen und sich später herausstellt, dass wir dies zu Recht getan haben. Eine falsche Entscheidung fällen wir, wenn wir annehmen, dass der Klimawandel menschengemacht sei, obwohl er es in Wirklichkeit nicht ist oder er nicht stattfindet oder die Schwankungen ausschließlich natürlichen Ursprungs sind (Fehler 1. Art). Es gibt aber noch eine zweite Möglichkeit, eine falsche Entscheidung zu fällen: Wir nehmen an, es gäbe keinen MKW, obwohl er in Wirklichkeit stattfindet (Fehler 2. Art). Diese Möglichkeit einer Fehlentscheidung wird häufig übersehen und aus den Sicherheitsüberlegungen einseitig ausgeblendet. Leugner des Klimawandels argumentieren meist so, als gäbe es kein Risiko, einen Fehler 2. Art zu begehen, und als wäre der einzige kritische Punkt, das Risiko eines Fehlers 1. Art möglichst gering zu halten. Dabei gilt zu beachten, dass die Fehlerwahrscheinlichkeiten voneinander nicht unabhängig sind: Reduziert man die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler 1. Art zu begehen, etwa durch die Wahl einer niedrigen Signifikanzschranke, so erhöht man im Allgemeinen die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler 2. Art zu begehen.

Die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler 1. Art zu begehen, ist in Anbetracht heutigen Wissenschaftsverständnisses zwar als sehr gering ($\leq \sim 5\%$) einzuschätzen (IPCC 2007 c), lässt sich aber auch nicht völlig ausschließen. Die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler 2. Art zu begehen, ist hingegen erheblich geworden und wächst stetig, je länger die Forderung nach einer Minimierung eines Fehlers 1. Art aufrechterhalten wird. Darüber hinaus gilt hier zu beachten, dass nicht nur die Irrtumswahrscheinlichkeiten beider Fehlerarten unterschiedlich groß sind, sondern dass

¹ So steht prominent im Third Assessment Report (TAR) des IPCC, als die beste Schätzung der Klimasensitivität um $0,5^\circ\text{C}$ niedriger lag: „Climate change decision making is essentially a sequential process under general uncertainty“ (Watson and The Core Writing Team 2001, S. 3). „The equilibrium temperature rise would take many centuries to reach, and ranges from $1,5$ to $3,9^\circ\text{C}$ above the year 1990 levels for stabilization at 450 ppm, and $3,5$ to $8,7^\circ\text{C}$ above the year 1990 levels for stabilization at 1000 ppm.“ (Watson and The Core Writing Team 2001, Figure SPM-7, S. 21).

auch die Auswirkungen unterschiedlich ausfallen. Damit sind die Risiken in höchstem Ausmaß ungleich verteilt. Aus der elementaren Statistik ist bekannt, dass die Bewertung dieser Fehlerrisiken der konkreten Situation anzupassen ist. All diese Aspekte kommen im heutigen Klimadiskurs kaum vor. Dabei ist Folgendes von ausschlaggebender Bedeutung: Die Verzögerung zwischen menschlicher Ursache und dem feststell- und mess-

zen Vertrauensintervalls eine Abschätzung der Risiken vorzunehmen sowie die Schäden und Kosten eines Fehlers 1. Art im Vergleich zu denen eines Fehlers 2. Art zu bewerten. Interessanterweise sind die genannten Arten des Missbrauchs von Unsicherheiten verknüpft: Unterschätzen wir das Ausmaß vorhandener Unsicherheiten, etwa für hohe Werte der Klimasensitivität, unterschätzen wir auch Schäden und Kosten eines Fehlers 2. Art.

Das naturwissenschaftliche Abschätzen der Eintretenswahrscheinlichkeiten sowie der Ereignisausmaße ist erforderlich, für befriedigende Antworten allerdings nicht ausreichend. Hinzukommen muss ...

baren Klimawandel zusammen mit der Irreversibilität des Klimawandels (Solomon et al. 2009) auf Tausende von Jahren hinaus erfordert besondere Behutsamkeit bezüglich des Fehlerrisikos 2. Art, das heißt, es sollte klein gehalten werden, notfalls auf Kosten des Fehlerrisikos 1. Art. Auch ein Umdrehen der Fragestellung (Vertauschen der Arbeits- mit der Nullhypothese) wäre in Anbetracht der Risiken sinnvoll: Wie viel Irrtumswahrscheinlichkeit, einen katastrophalen Klimawandel zu missachten (Fehler 2. Art), sind wir bereit zuzulassen? Wer wäre bereit, ein Flugzeug zu betreten, dessen Absturzgefahr fünf oder mehr Prozent beträgt? Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass wir beim „Flugzeug Erde“ schon in die Nähe solcher Irrtumswahrscheinlichkeiten 2. Art bezüglich eines dominant negativen Ausgangs (Abbildung 3, S. 198; auch Hansen et al. 2008, Schneider 2009) gerückt sind – und wir haben nicht einmal die Möglichkeit des Nichtbetretens oder Aussteigens!

Sicherheitsmargen ausreichend berücksichtigen

Sicherheitsmargen genügend berücksichtigen heißt, Unsicherheiten weder überzubetonen noch zu ignorieren. Wie aber können Unsicherheiten bewusst miteinbezogen werden? Hierbei erscheint die Frage „Was gilt es im Verlaufe dieses Jahrhunderts als optimale Reaktion auf die Klimafrage zu tun?“ weniger erfolgversprechend als „Wie geht man am besten kurzfristig in welchen Iterationsschritten vor, um den auftretenden und langfristig sich verschärfenden Unsicherheiten adäquat Rechnung zu tragen?“ Adäquat heißt auch, jeweils die gesamte bekannte Bandbreite an möglichen Entwicklungen sowie alle Arten von Fehlentscheidungen zu berücksichtigen, vor allem auch die Tatsache, dass Fehler 1. und 2. Art auftreten können. Es heißt auch, gefährliche Varianten besonders stark zu gewichten. Verstehen wir hier Risiken als zumindest teilweise vergleichbar, indem wir die Größe des Risikos als Produkt aus Eintretenswahrscheinlichkeit und Ausmaß der Ereignisfolge betrachten, gilt es innerhalb des gan-

Wenden wir diese Prinzipien an, so ergibt sich folgende Kritik an den derzeitigen klimapolitischen Positionen der meisten Länder in Vorbereitung auf die Klimakonferenz in Kopenhagen Ende dieses Jahres:

1. Aspekte der Klimasensitivität und weiterer Unsicherheiten, zum Beispiel solche, die durch Rückkopplungseffekte entstehen, werden kaum berücksichtigt.
2. Der Tatsache, dass Klimafolgewirkungen innerhalb der Unsicherheiten asymmetrisch verteilt sind, also umso negativer werden, je stärker die globale Erwärmung ausfällt (Watson and The Core Writing Team 2001, Figure 6-3, S. 103, IPCC 2007 e, Figure SPM.2, S. 16, Smith et al. 2009, Figure 1), wird kaum Rechnung getragen.
3. Die Tatsache, dass stark asymmetrische Kosten oder Nutzen bei einem Fehler 1. versus 2. Art auftreten, bleibt bei Risikoabwägungen weitgehend unbeachtet.

Zu 1.: Zunächst ist zu beachten, dass allgemein IPCC-Resultate für die Klimakonvention besonders wichtig sind. Laut IPCC ist eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen bei 445 bis 490 parts per million CO₂-Äquivalente (CO₂-eq) mit einer globalen Erwärmung von 2 bis 2,4 °C verbunden und erfordert bis 2050 eine Reduktion der Emissionen um global 50 bis 85 Prozent gegenüber dem Stand von 2000 (Abbildung 1, Kategorie I; IPCC 2007 d, Table SPM.5). Der IPCC-Bericht besagt, dass für das Ziel, die globale Erwärmung der Erde auf 2 °C zu begrenzen (2°C-Schutzziel, 2GSZ), die Industrieländer ihre Emissionen bis 2050 um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 reduzieren (Gupta et al. 2007, Box 13.7, S. 776) und dass die Entwicklungsländer erheblich von einem Business-as-usual-Emissionspfad (BAU) abweichen müssen (den Elzen und Höhne 2008). Das Ziel der EU und der G8, das 2GSZ einzuhalten, ist mit der Ankündigung, die Emissionen bis 2050 global nur um 50 Prozent zu reduzieren, nur mit geringer Wahrscheinlichkeit erreichbar. Hier werden nicht bloß Unsicherheiten ausgeblendet; hier werden die IPCC-Resultate einseitig verzerrt gedeutet. Ansonsten müssten Werte

aus dem Mittelfeld des Reduktionsbereichs, also etwa 68 Prozent, genannt werden. Eine korrekte Interpretation unter Berücksichtigung von Sicherheitsmargen bedeutete also weit anspruchsvollere Reduktionsziele. Zudem stützt sich das 2GSZ auf den Wissensstand Ende letzten Jahrhunderts (Third Assessment Report, TAR, zum Beispiel Watson and The Core Writing Team 2001). Nach dem heutigen, durch das IPCC bewerteten Wissensstand (AR4, IPCC 2007a) sind *gefährliche anthropogene Störungen* (GAS) des Klimasystems bereits bei niedrigeren Temperaturen zu erwarten (Abbildung 3, TAR versus AR4). Mit der Methode von Masstrandrea und Schneider (2004), die für die TAR-Resultate einen Median für GAS von 2,85 °C schätzten, ergibt sich jetzt ein Medianwert von 1,5 °C Erwärmung gegenüber dem vorindustriellen Wert (Abbildung 3). Um das Risiko eines GAS gering, also unter 50 Prozent zu halten, darf die maximale Erwärmung nach diesem Ansatz 1,5 °C nicht übersteigen.

Zu 2.: Die Reduktionsziele, wie sie die meisten Industrieländer im Rahmen der Klimakonvention im Moment vorschlagen, liegen meist nicht nur am unteren Rand des Vertrauensintervalls für das 2GSZ, sondern oft noch darunter. Sie missachten, dass mit den damit wahrscheinlicher werdenden hohen Temperaturen erheblich größere Risiken einhergehen (Abbildung 3). Um das 2GSZ einzuhalten, sollten gemäß IPCC in den Industrieländern bis 2020 die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 25 bis 40 Prozent reduziert werden (Gupta et al. 2007, Box 13.7, S. 776). Die EU und die Schweiz streben ein Mindestziel von nur 20 Prozent an. Zumindest bei einem erfolgreichen Vertragsabschluss im Dezember in Kopenhagen soll dieses Reduktionsziel auf 30 Prozent erhöht werden. Es liegt damit aber immer noch bloß im unteren Drittel des genannten Intervalls. Noch waghalsiger sind andere Industrieländer: Die USA streben eine Reduktion von null, Japan eine von acht Prozent an (umgerechnet auf das Basisjahr 1990). Folgte die Mehrheit der Industrieländer diesem Beispiel, so resultierte eine hohe GAS-Wahrscheinlichkeit (mehr als 50 Prozent). Man könnte hier also sogar von negativen

der Entwicklungsländer notwendig ist, der gemäß neuesten Angaben der beteiligten Forscher (den Elzen und Höhne 2008) ab 2020 einer Emissionsreduktion von 15 bis 30 Prozent unterhalb des BAU entspricht. Glücklicherweise zeigen neueste Arbeiten (Allen et al. 2009, Meinshausen et al. 2009), dass der genaue Zeitpunkt der Emissionsreduktionen weniger kritisch ist als die absolute Emissionsmenge. Diese Arbeiten zeigen aber auch, welche große Herausforderung der Klimaschutz darstellt: Unter Beibehaltung jetziger Emissionsraten (Raupach et al. 2007) wird die Wahrscheinlichkeit, das 2GSZ nicht einhalten zu können, schon 2029 den Wert von 25 Prozent überschreiten (Meinshausen et al. 2009).

Zu 3.: Erstens sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten der beiden Fehlerarten unterschiedlich, zweitens fällt die unter 2. erwähnte Asymmetrie der Folgen ins Gewicht und drittens sind manche Folgen irreversibel: Einmal abgeschmolzen, würde etwa der grönländische Eisschild ohne eiszeitliche Temperaturen nicht mehr gebildet; ähnlich sind laut IPCC 20 bis 30 Prozent der heutigen höheren Pflanzen- und Tierarten von einem erheblichen und zunehmenden Risiko des Aussterbens betroffen, wenn die globale Erwärmung relativ zu vorindustriellem Niveau 2 bis 3 °C übersteigt (Fischlin et al. 2007). Macht man einen Fehler 1. Art, fallen die Vermeidungskosten einer unnötigen Umstellung auf eine treibhausgasemissionsfreie Energieversorgung und Lebensweise an; eine Umstellung, die bis zu einem gewissen Grad infolge sich anbahnender Erdölverknappung ohnehin unumgänglich geworden ist. Bei einem Fehler 2. Art ergeben sich dagegen schwergewichtige negative Folgen mit potenziell irreversiblen Ausgang oder unkontrollierbaren, den Klimawandel beschleunigenden Entwicklungen (positive Rückkopplungen jenseits bestimmter Kippunkte, siehe etwa Lenton et al. 2008). Da es uns der heutige Wissensstand nicht erlaubt, die Möglichkeit höchst negativer Entwicklungen auszuschließen (siehe etwa Schneider 2009), wäre es äußerst gravierend, würde die Menschheit einen Fehler 2. Art begehen.

... ein gesellschaftlicher Risikodialog, vor allem zwischen Wissenschaft und breiter Öffentlichkeit, der die notwendigen Vermeidungs- und Anpassungskosten als eine Versicherung gegen unerwünschte oder untragbare Klimarisiken betrachtet.

Sicherheitsmargen sprechen. Ähnlich beunruhigend und zielinkonsistent sind die Forderungen der Mehrheit der Entwicklungsländer: Mit der Forderung, allein die Industrieländer sollten ihre Emissionen reduzieren, berufen sie sich auf deren historische Verantwortung und ökonomische Besserstellung. Dies ungeachtet der Aussagen aus dem IPCC-Bericht (Gupta et al. 2007, Box 13.7, S. 776), wonach für das Erreichen des 2GSZ ein Beitrag

Breiter Risikodialog zur Bewältigung der Klimakrise

Abgesehen von den bereits eingetretenen Klimafolgen, die ich hier keineswegs verharmlosen will, ist die Klimakrise zurzeit vor allem eine politische, denn es fehlen in der Klimapolitik wichtige Schlüsselemente: Neben der naturwissenschaftlich bestimm-

>

baren Eintretenswahrscheinlichkeit und damit verknüpften Folgewirkungen, die oft diskutiert werden, braucht es auch die Bewertung jener Risiken, die ungenügend diskutiert werden. Dies umso mehr, da sich Klimawandel je nach Region und betroffenem System anders auswirkt (Abbildung 3, mittlere Säule). So hat eine Temperaturerhöhung zum Beispiel im hohen Norden einen anderen Stellenwert als in einer tropischen Region.

Oft sind Folgewirkungen also nicht einfach vergleichbar, geschweige denn die Risiken. Regionale, innergesellschaftliche und intergenerationelle Interessenskonflikte sind unvermeidlich und bedürfen einer Auflösung. Außerdem sprengen die Fragen rein menschliche Belange: Bestimmte Ökosysteme, zum Beispiel die Korallenriffe, die ungefähr ein Viertel aller marinen Biodiversität beherbergen, sind schon ab einer globalen mittleren Erwärmung von 1,7°C durch chronisches Ausbleichen gefährdet (Fischlin et al. 2007, IPCC 2007e, Figure SPM.2). Zwar lassen sich hierbei 500 Millionen Direktbetroffene anführen – wie aber ist das Aussterben eines signifikanten Teils mariner Arten zu beurteilen? Oder wie sind gefährdete Korallenriffe mit – möglicherweise erst in weiter Zukunft realisierbaren – landwirtschaftlichen Produktivitätssteigerungen im Norden Russlands zu vergleichen?

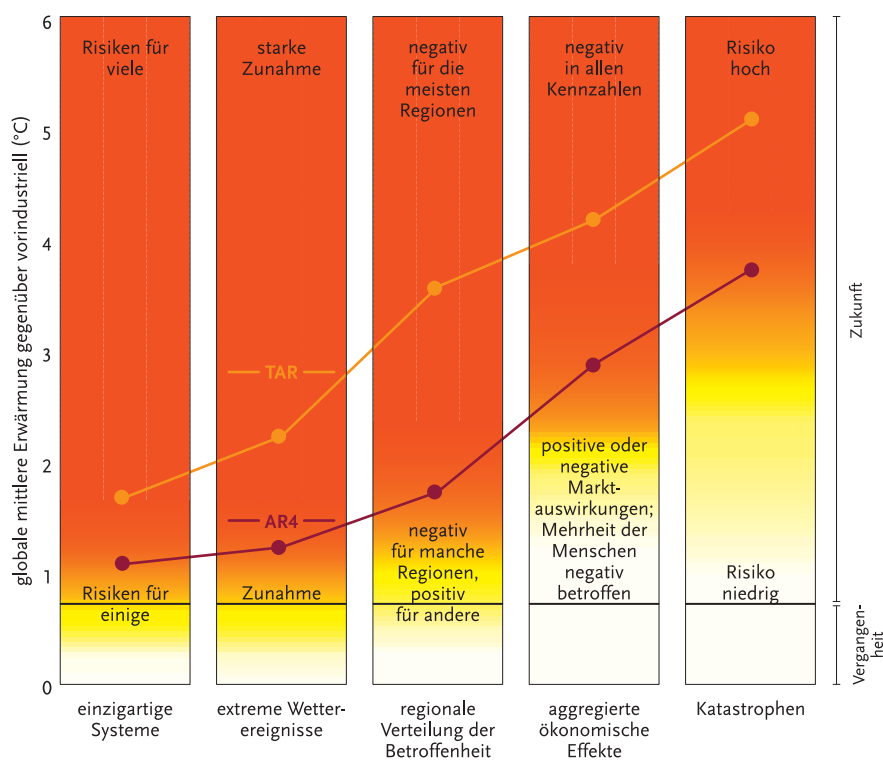


ABBILDUNG 3: Gefährliche anthropogene Störung (GAS) des Klimasystems: Gezeigt sind die Folgen verschiedener globaler mittlerer Erwärmungen für verschiedene Systeme und Effekte (Säulen) (Datenquelle: IPCC 2007 a). Weißliche Farben markieren positive oder keine, gelbliche Bernsteinfarben markieren gemischte und rote Farben vorwiegend negative Effekte (vergleiche Smith et al. 2009, Schneider 2009). Die Kurven (—: AR4, IPCC 2007 a, b, c, f; - - -: TAR, Watson and The Core Writing Team 2001, S. 103) stellen das Eintreten von GAS dar und können als Wahrscheinlichkeitsfunktion (jede Säule ein Quantil, Mastrandrea und Schneider 2004) aufgefasst werden. Dies erlaubt, einen Median für GAS abzuschätzen: Bemerkenswert ist, dass nach den neuen Erkenntnissen (AR4) die kritische Mediantemperatur gegenüber dem TAR von 2,85°C (–TAR–) auf 1,5°C (–AR4–) gesunken ist.

Diese und ähnliche Fragen lassen sich infolge der involvierten Werturteile nur in einem gesellschaftlichen Risikodialog robust beantworten. Das naturwissenschaftliche Abschätzen der Eintretenswahrscheinlichkeiten sowie der Ereignisausmaße ist dazu erforderlich, für befriedigende Antworten allerdings nicht ausreichend. Hinzukommen muss ein gesellschaftlicher Risikodialog, vor allem zwischen Wissenschaft und breiter Öffentlichkeit (Modus-2-Gesellschaft, Nowotny et al. 2001), der die früher oder später unvermeidlich anfallenden Vermeidungs- und Anpassungskosten als eine Versicherung gegen unerwünschte oder untragbare Klimarisiken betrachtet.

Soll sich der jetzige Klimadiskurs in Richtung des wünschbaren Risikodialogs wandeln, ist eine nüchternere Betrachtung des Wissens über gut Bekanntes im Vergleich zu schlecht Bekanntem, das unter Umständen aber erhebliche Gefahren nach sich zieht, erforderlich. Verzerrendes Wunschdenken im Hoffen auf Glück, das vor Gefahren bewahrt, ist hier keineswegs hilfreich, geschweige denn die unfruchtbaren Vorwürfe von Nichtnaturwissenschaftler(inne)n über Fehler, die die Naturwissenschaftler(innen) begangen haben sollen. Findet das vorhandene Wissen über die teilweise gut untersuchten und über die bekannten Unsicherheiten (Abbildung 1) und Risiken (Abbildung 3) Eingang in die Debatte, dann könnte sich iterativ ein möglichst „robustes Wissen“ im Sinne von Nowotny et al. (2001) herausbilden.

Ein starker Klimawandel ist bislang noch nicht eingetreten – es besteht daher die Hoffnung, dass ein katastrophaler immer noch vermeidbar ist. Darüber hinaus ist ein anspruchsvoller Klimaschutz laut vielen wissenschaftlichen Untersuchungen technisch und ökonomisch durchaus zu bewältigen (IPCC 2007 b). Allerdings lässt sich das Problem des Klimawandels kaum meistern, ohne bei der Beurteilung der Handlungsoptionen die Risiken – inklusive einzuhaltender Sicherheitsmargen – breit zu berücksichtigen. In diese Beurteilung müssen naturwissenschaftliche Erkenntnisse genauso einfließen wie Wertvorstellungen und subjektive Risikowahrnehmungen. Gelingt uns dies, so besteht die Hoffnung, dass die Klimakrise einen relativ glimpflichen Ausgang nehmen könnte.

Ich danke dem Herausgeber und zwei anonymen Gutachter(inne)n für die hilfreiche Kritik sowie Guy Midgley für die Diskussionen, die mich zu den Überlegungen bezüglich Fehlern 1. und 2. Art angeregt haben.

Literatur

- Allen, M. R. et al. 2009. Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature* 458/7242: 1163–1166.
- Cadule, P., L. Bopp, P. Friedlingstein. 2009. A revised estimate of the processes contributing to global warming due to climate-carbon feedback. *Geophysical Research Letters* 36: L14705, doi:10.1029/2009GL038681.
- den Elzen, M. G. J., N. Höhne. 2008. Reductions of greenhouse gas emissions in Annex I and non-Annex I countries for meeting concentration stabilisation targets. *Climatic Change* 91/3–4: 249–274.
- Denman, K. L. et al. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In: *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von S. Solomon et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 499–587.
- Doran, P. T., M. K. Zimmerman. 2009. Examining the scientific consensus on climate change. *Eos* 90/3: 22–23.
- Egner, H. 2007. Überraschender Zufall oder gelungene wissenschaftliche Kommunikation: Wie kam der Klimawandel in die aktuelle Debatte? *GAIA* 16/4: 250–254.
- Fink, A. H. et al. 2004. The 2003 European summer heatwaves and drought – Synoptic diagnosis and impacts. *Weather* 59: 209–216.
- Fischlin, A. et al. 2007. Ecosystems, their properties, goods and services. In: *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von M. L. Parry et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 211–272.
- Friedlingstein, P. 2008. A steep road to climate stabilization. *Nature* 451/7176: 297–298.
- Friedlingstein, P. et al. 2006. Climate-carbon cycle feedback analysis: Results from the C4MIP model intercomparison. *Journal of Climate* 19/14: 3337–3353.
- Gupta, S. et al. 2007. Policies, instruments and co-operative arrangements. In: *Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von B. Metz et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 746–807.
- Hansen, J. et al. 2008. Target atmospheric CO₂: Where should humanity aim? *The Open Atmospheric Science Journal* 2008/2: 217–231.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007a. *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von M. L. Parry et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. 2007b. *Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von B. Metz et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. 2007c. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von S. Solomon et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. 2007d. Summary for policymakers. In: *Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von B. Metz et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 1–23.
- IPCC. 2007e. Summary for policymakers. In: *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von M. L. Parry et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 7–22.
- IPCC. 2007f. *Synthesis report of the IPCC fourth assessment report*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. 2007g. Technical summary. In: *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von S. Solomon et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 19–91.
- Jones, C. D., P. M. Cox, C. Huntingford. 2006. Climate-carbon cycle feedbacks under stabilization: Uncertainty and observational constraints. *Tellus B* 58/5: 603–613.
- Lenton, T. M. et al. 2008. Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105/6: 1786–1793.
- Lomborg, B. 2007. *Cool it: The skeptical environmentalist's guide to global warming*. New York, NY: Alfred A. Knopf.
- Luhmann, H. J. 2008. Klimasensitivität, Leben und die Grenzen der Science-Kultur – Zum Vierten IPCC-Sachstandsbericht. *GAIA* 17/1: 25–30.
- Mastrandrea, M. D., S. H. Schneider. 2004. Probabilistic integrated assessment of „dangerous“ climate change. *Science* 304/5670: 571–575.
- Meinshausen, M. et al. 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature* 458/7242: 1158–1162.
- Nowotny, H., P. Scott, M. Gibbons. 2001. *Re-thinking science – Knowledge and the public in an age of uncertainty*. Cambridge, UK: Polity.
- Randall, D. A. et al. 2007. Climate models and their evaluation. In: *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von S. Solomon et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 589–662.
- Raupach, M. R. et al. 2007. Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104/24: 10288–10293.
- Reusswig, F. 2008. Strukturwandel des Klimadiskurses – Ein soziologischer Deutungsvorschlag. *GAIA* 17/3: 274–279.
- Rosenzweig, C. et al. 2007. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von M. L. Parry et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 79–131.
- Rosenzweig, C. et al. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453/7193: 353–357.
- Schneider, S. H. 2009. The worst-case scenario. *Nature* 458/7242: 1104–1105.
- Schneider, S. H. et al. 2007. Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. In: *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Herausgegeben von M. L. Parry et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 779–810.
- Smith, J. B. et al. 2009. Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) „reasons for concern“. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106/11: 4133–4137.
- Solomon, S., G. K. Plattner, R. Knutti, P. Friedlingstein. 2009. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106/6: 1704–1709.
- Watson, R. T. and The Core Writing Team. 2001. *Climate change 2001: Synthesis report – An assessment of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Contribution of Working Groups I, II, and III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Eingegangen am 23. Juli 2009; überarbeitete Fassung
angenommen am 14. August 2009.

Andreas Fischlin



Geboren 1949 in Bern. 1982 Promotion in Biologie und Nachdiplomstudium Systemtheorie an der ETH Zürich. 1982 bis 1985 Research Associate in Kanada: University of British Columbia, Maritimes Forestry Research Centre, Fredericton. Mitbegründer des Departements Umweltwissenschaften der ETH Zürich. Leiter der Gruppe Systemökologie an der ETH Zürich seit 1988. Koordinierender Hauptautor beim Zweiten und Vierten Sachstandsbericht des IPCC. Seit 1999 Wissenschaftsvertreter in der Schweizer Delegation bei den internationalen Klimaverhandlungen.