

# Klimawandel – Wissensstand und politische Handlungsnotwendigkeit

Andreas Fischlin<sup>1</sup>

Unsere Gesellschaft steht heute vor einer Reihe von Herausforderungen: Finanzkrise, Nahrungskrise, Ressourcenkrise, Klimakrise. Dabei nimmt der Klimawandel eine besondere Stellung ein: Die Herausforderung ist endlich durch weite Kreise erkannt worden, liegt allerdings grösstenteils noch in der Zukunft, und die Konsequenzen sind ausserordentlich breit, d.h. sie reichen in praktisch alle Bereiche unserer modernen Gesellschaft hinein. Vordergründig scheint der Klimawandel lediglich nach einem radikalen Technologiewandel zu verlangen, d.h. der praktisch vollständigen Dekarbonisierung aller zivilisatorischer Tätigkeiten. Bei näherem Hinsehen ergibt sich allerdings eine grosse Palette von Anforderungen und es stellt sich die Frage, ob ein solcher Technologiewandel zur Lösung des Klimaproblems allein schon genügt? Gestützt auf den heutigen Wissensstand zum Klimawandel, den ich aufgrund des letzten UNO Klimaberichts kurz zusammenfasse, möchte ich sieben entscheidende „Handlungselemente“ als Thesen zur Lösung der Klimakrise, die vorerst noch in erster Linie eine politische ist, skizzieren.

Der letzte UNO Klimabericht des IPCC<sup>2</sup> (IPCC, 2007g; IPCC, 2007c; IPCC, 2007a; IPCC, 2007b) stellt heute die verlässlichste Wissensbasis und Entscheidungsgrundlage für einen vernünftigen Umgang mit der Klimafrage dar. Er enthält folgende drei Kernaussagen:

- 1) Eine Fülle von Messungen, wissenschaftlichen Erhebungen und Untersuchungen machen es erdrückend klar: **Der Klimawandel ist da und höchstwahrscheinlich<sup>3</sup> Mensch gemacht.** Die Erde hat sich um 0.74°C erwärmt (IPCC, 2007d). Elf der letzten zwölf Jahre gehören zu den wärmsten, seit man Temperaturen mit Instrumenten misst (IPCC, 2007d), was durch reinen Zufall kaum mehr „erklärbar“ ist, da die Wahrscheinlichkeit  $p$  einer solchen Beobachtung bei Annahme statistischer Unabhängigkeit aufeinanderfolgender Jahre der winzigen Zahl von  $p = \sim 1.25 \times 10^{-14}$  entspricht, und selbst bei Berücksichtigung langjähriger Klimaphasen immer noch sehr klein ist, d.h.  $p = 0.001$  beträgt (Zorita *et al.*, 2008). Die Tatsache, dass in den letzten Jahren, z.B. seit 2005, die Temperaturen einen Abnahmetrend zeigen, ist klimatologisch bedeutungslos und im Rahmen der natürlichen Variabilität zu verstehen. Dieser natürliche und zufällige Anstieg und Abfall der Temperaturen ist erwartet worden, stellt keinen Widerspruch zu den Vorausberechnungen des IPCC dar und passt exakt zum Bild des Klimawandels gemäss unserem Verständnis (Easterling & Wehner, 2009). Zudem sind die Temperaturen im Vergleich zum Ende

---

<sup>1</sup> Systems Ecology, Institute of Integrative Biology: Ecology, Evolution, and Disease, Department of Environmental Sciences, ETH Zurich, Universitätsstr. 16 – CHN E21.1, 8092 Zurich, Switzerland, <http://www.sysecol.ethz.ch> Mailto: [andreas.fischlin@env.ethz.ch](mailto:andreas.fischlin@env.ethz.ch)

<sup>2</sup> IPCC steht für Intergovernmental Panel on Climate Change und wird oft auch UNO Klimarat genannt und ist eine effiziente Organisation, die aus wenigen Organen besteht. Seine Hauptarbeit, die Verfassung von Sachstandsberichten wie den Klimaberichten, wird durch politisch unabhängige Wissenschaftler geleistet. - <http://www.ipcc.ch>

<sup>3</sup> Gemäss UNO Klimarat (IPCC) ist hier eine Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit dieser Aussage von über 90% gemeint.

des letzten Jahrhunderts immer noch relativ hoch (Wanner *et al.*, 2009). Schliesslich sei auch darauf hingewiesen, dass die Schweiz besonders stark betroffen ist, zeigen die Messungen doch eine Zunahme der Temperaturen von durchschnittlich 1.5°C (Frei *et al.*, 2008, Abbildung 1). Das entspricht etwa dem Doppelten der weltweiten Erwärmung.

Auch die Niederschläge zeigen in den meisten Regionen der Erde signifikante Veränderungen, in höheren Breitengraden eine Zunahme, in tieferen, d.h. vielen Entwicklungsländern, eine Abnahme.

Mit der langfristigen Tendenz zu höheren Temperaturen geht Hand in Hand eine riesige Zahl von weiteren Effekten wie beispielsweise ein weltweiter Schwund der Gletscher, das Abschmelzen des Packeises, auftauender Permafrost, der Anstieg des Meeresspiegels, früheres Verschwinden von Schneebedeckungen, verschobene Blühdaten sowie Aufbruchdaten der Zugvögel, und verfrühte Erntereifen (Rosenzweig *et al.*, 2007). Auch Extremereignisse wie Dürren (Sommer 2003), Waldbrände (Australien, Kalifornien, Portugal, Spanien, Griechenland), Überschwemmungen (Schweiz), und möglicherweise selbst die Intensität von tropischen Hurrikanen (Kathrina?) haben in Häufigkeit und/oder Intensität in den letzten Jahren auch infolge des Klimawandels zugenommen.

- 2) Mit fortschreitendem Klimawandel beginnen sich zunehmend drastische Konsequenzen abzuzeichnen: **Je wärmer die Welt wird, desto stärker wird eine anwachsende Zahl von Systemen in Mitleidenschaft gezogen.** Darunter fallen bei uns die Gletscher, deren Existenz im Alpenraum schon in naher Zukunft ohne wirksamen Klimaschutz grösstenteils bedroht ist (Zemp *et al.*, 2006; Haeberli *et al.*, 2007; Fischlin & Haeberli, 2008) und bei ungebremstem Klimawandel lediglich die höchstgelegenen sowie grössten Gletscher dieses Jahrhundert überleben dürften (Hoelzle *et al.*, 2007); Permafrost, der Berghänge zunehmend weniger stabilisieren kann (Harris *et al.*, 2003; Gruber & Haeberli, 2007); Veränderungen im Wasserhaushalt, die im Frühjahr vermehrt zu Hochwassern und Überschwemmungen und im Sommer zu Wasserknappheit führen können; und viele Gebirgslandschaften, wie sie uns lieb geworden sind wie z.B. die Lärchen-Arvenwälder Im Engadin oder Oberwallis, dürften nach menschlichen Massstäben für immer verschwinden (Fischlin & Gyalistras, 1997). Anderswo sind es Korallenriffe, die durch chronisches Ausbleichen infolge wärmeren Meerwassertemperaturen absterben und auch durch die Versauerung der Meere besonders gefährdet sind (Fischlin *et al.*, 2007; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007). Zu den ebenfalls stark gefährdeten Systemen gehören alle Regionen mit Mittelmeerklima, Tundra, Nadelwälder, das arktische Packeisbiom, Mangroven, Salzmarsche, tropische Regenwälder, und allgemein Küstenregionen der Meere (IPCC, 2007h, Box TS.5., S. 44). Auch viele Infrastrukturen und technische Einrichtungen wie Verkehrswege, Bauten, Wasserversorgung, Kühlanlagen, Kraftwerke sind direkt oder indirekt betroffen und Menschen die in Küstenregionen und Flussschwemmen leben, sind besonders betroffen (IPCC, 2007f, S.12). Schliesslich bedroht ein drastischer Klimawandel auch mancherorts die Nahrungsmittelproduktion bis hin zur menschlichen Gesundheit (Confalonieri *et al.*, 2007; Easterling *et al.*, 2007). Trotz verbleibenden Unsicherheiten ergibt sich ein eindeutiges Bild: Es zeichnet sich eine bedenkliche und bei ungebremstem Klimawandel klar äusserst gefährliche Entwicklung ab, die in ihren extremen Auswirkungen unbedingt vermieden werden sollte, da sie die menschliche Zivilisation in ihren Grundfesten zu erschüttern droht (IPCC, 2007h, S. 73; Schneider *et al.*, 2007; Fischlin, 2009; Schneider, 2009; Smith *et al.*, 2009).

- 3) Der letzte Klimabericht besagt aber auch: **Technologisch und ökonomisch ist ein drastischer Klimawandel immer noch abwendbar**. Nicht nur das technologische, sondern auch das ökonomische Potential zur Dekarbonisierung ist sehr hoch und wird oft völlig unterschätzt. Obwohl das ökonomische Potential im allgemeinen geringer als das technologische ist, sprechen die von IPCC zusammengestellten Zahlen eine deutliche Sprache: Weltweit, alle Sektoren zusammengenommen, ist um 2030 eine Emissionsreduktion von 78% gegenüber dem Stand von 1990 möglich, falls konsequent Marktkräfte mobilisiert werden, d.h. ein wirksamer Emissionshandel aufgebaut wird und für das Emissionsrecht für eine Tonne CO<sub>2</sub>-eq<sup>4</sup> etwa 100\$<sup>5</sup> bezahlt werden muss (IPCC, 2007e, Figure SPM.6, S.11). Auch halten sich die Vermeidungskosten entgegen oft vorgebrachten Befürchtungen klar in Grenzen. So schätzt IPCC, dass das Wirtschaftswachstum selbst bei den höchsten untersuchten Klimaschutzzielen nie um mehr als höchstens 0.12% verlangsamt wird, was akkumuliert bis 2030 einer bloss um ein Jahr verspäteten Erreichung des gleichen „Wohlstands“ gleichkommt. Bei diesen Berechnungen sind die positiven Aspekte wie Gewinne dank geringeren Energiekosten oder Einsparungen an Gesundheitskosten oder neue, zurzeit wenig erprobte Technologien nicht einmal berücksichtigt worden. In Anbetracht der ansonsten fatalen Folgen wird das Erreichen ambitionierter Klimaschutzziele als eine Voraussetzung einer nachhaltigen Entwicklung der Menschheit eingeschätzt (Yohe *et al.*, 2007). Ich denke, ein drastischer Klimawandel würde es voraussichtlich auch mit sich bringen, dass sich die Fähigkeit der Erde, Menschen zu beheimaten (Tragekapazität), mengenmässig wesentlich verringerte (Cohen, 1995).

Durch einen grundlegenden und konsequenten Technologiewandel in Richtung einer praktisch vollständigen Dekarbonisierung lässt sich also ein wesentlicher und unabdingbarer Beitrag zur Vermeidung eines drastischen Klimawandels leisten. Soll die Erderwärmung auf maximal 2°C begrenzt werden<sup>6</sup>, dann ergeben sich laut IPCC folgende Etappenziele: Industrieländer reduzieren ihren Treibhausgasausstoss bis 2020 um 25 bis 40% und bis 2050 um 80 bis 95% gegenüber 1990 (Gupta *et al.*, 2007). Auch die Entwicklungsländer sind hierbei gefordert: Laut neuesten Untersuchungen ist deren Beitrag zur Erreichung des 2°C Klimaziels eine Senkung ihrer Treibhausgasemissionen bis 2020 um 15 bis 30% (den Elzen & Höhne, 2008) gegenüber gegenwärtigen Wachstumstrends<sup>7</sup>.

Allerdings bleibt zur Vermeidung eines drastischen Klimawandels nur noch wenig Zeit (IPCC, 2007e, Figure SPM.6, S.11), soll die Erderwärmung auf maximal 2°C begrenzt werden<sup>8</sup>. Dann müssen nämlich gemäss den Szenarien mit einer gewissen Aussicht auf

---

<sup>4</sup> Mit 1 t CO<sub>2</sub>-eq bezeichnet man eine Menge an Treibhausgasen, welche die gleiche Klimawirksamkeit entfalten wie 1 t CO<sub>2</sub>. Methan (CH<sub>4</sub>) ist ein ca. 21 mal so starkes Treibhausgas wie CO<sub>2</sub>, Lachgas (N<sub>2</sub>O), das insbesondere bei übermässigem Düngen entsteht, ist ca. 310 mal ein so starkes Treibhausgas wie CO<sub>2</sub> (Diese Umrechnungsfaktoren haben zurzeit Gültigkeit, d.h. kommen während der jetzt laufenden Abrechnungsperiode des Kyoto-Protokolls zur Anwendung, obwohl sie nicht ganz dem neuesten Wissensstand entsprechen, s.a. Fischlin *et al.*, 2003, S.68). Es genügt dann schon eine entsprechend geringer Menge an CH<sub>4</sub> oder N<sub>2</sub>O, um die gleiche Klimawirksamkeit wie CO<sub>2</sub> zu erzeugen.

<sup>5</sup> Entspricht etwa 24 Rappen pro Liter Heizöl bzw. Benzin (Burkhardt, 2009).

<sup>6</sup> Zu diesem klimapolitischen Ziel bekennt sich die Schweiz (z.B. Bundesratsbeschluss Ende 2008) sowie schon seit längerem, d.h. auf dem Wissensstand der 90er Jahre abstützend, die EU (vgl. hierzu auch Fischlin, 2009)

<sup>7</sup> Dies ist streng genommen kein bloss linearer Trend, sondern wird oft auch als die “Business as Usual”-Entwicklung bezeichnet

<sup>8</sup> Zu diesem klimapolitischen Ziel bekennt sich die Schweiz (z.B. Bundesratsbeschluss Ende 2008) sowie schon seit längerem die EU

Realisierung die globalen Gesamtemissionen an Treibhausgasen schon ab etwa 2015 zu sinken beginnen. Insbesondere neueste Forschungsergebnisse, die nach der Veröffentlichung des IPCC Klimaberichts erschienen sind, unterstreichen diese Dringlichkeit: Der Klimawandel gestützt beispielsweise auf neueste Beobachtungen und Analysen aus der Arktis und Antarktis scheint sich zu beschleunigen und weit schneller abzulaufen als dies die Klimamodelle, die im Klimabericht verwendet wurden, vorausgerechnet haben (Stroeve *et al.*, 2007; Charbit *et al.*, 2008; Comiso *et al.*, 2008; Haas *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2008; Kwok *et al.*, 2009; Steig *et al.*, 2009).

Es ist allerdings fraglich, ob die erwähnten Klimaschutzziele alleine durch einen radikalen Technologiewandel wie der vollständigen Dekarbonisierung erreichbar sind. Hierzu seien folgende Bedenken angeführt:

- Jetzige politische Rahmenbedingungen – auf internationaler Ebene z.B. das Kyoto-Protokoll, auf nationaler das CO<sub>2</sub>-Gesetz – genügen alleine nicht, um wirksam Marktmechanismen, wie z.B. den Emissionshandel, zu mobilisieren. Hierzu sind ebenfalls hohe Emissionspreise erforderlich, die sich nur einstellen werden, falls international und national – z.B. Ende Jahr in Kopenhagen – ein Bekennen zu anspruchsvollen Klimazielen wie dem 2°C Schutzziel explizit vorgenommen wird und der hierzu erforderliche politische Wille allgemein und unmissverständlich erkennbar wird. Zögerliches Verhalten bewirkt stumpfe Werkzeuge, da dadurch niedrige Emissionspreise resultieren und die Marktmechanismen ungenügend spielen (IPCC, 2007e, Figure SPM.6, S.11).
- Alleine ein Technologiewandel im herkömmlichen Sinn verstanden – z.B. Umstellungen bei der Energieversorgung und Konsumption –, genügt nicht, da neueste wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass ebenfalls im land- und forstwirtschaftlichen Bereich in der Grössenordnung von etwa 30% Beiträge (IPCC, 2007e, Figure SPM.6, S.11) zur Sequestrierung von CO<sub>2</sub> sowie die Reduzierung bisheriger Treibhausgasemissionen vonnöten sind, um anspruchsvolle Klimaziele wie das 2°C Ziel überhaupt noch erreichen zu können. Zudem darf man in diesem Zusammenhang nicht die Tatsache übersehen, dass in vielen Entwicklungsländern der Löwenanteil der Treibhausgasemissionen aus dem land- und forstwirtschaftlichen Bereich stammen, der zurzeit am weltweiten, anthropogenen Treibhausgasausstoss einen erheblichen Belastungsanteil um ca. einen Fünftel ausmacht (Fischlin, 2008).
- Mit Ausnahme des südamerikanischen Kontinents hat der ökologische Fussabdruck<sup>9</sup> praktisch überall den kritischen Wert 1 überstiegen und beträgt zurzeit weltweit durchschnittlich ca. 1.2 (Kitzes *et al.*, 2008). Damit ist längerfristig die Nachhaltigkeit unserer jetzigen Zivilisation grundsätzlich in Frage gestellt.

---

<sup>9</sup> Dieses Konzept drückt aus, wie gross die Landfläche ist, die ein Mensch benötigt, um all die Güter her- bzw. bereitzustellen, die er bzw. sie im Verlaufe einer Zeiteinheit, z.B. einem Jahr, konsumiert. Z.B. die Produktion von Nahrungsmitteln, die jemand im Verlauf eines Jahres verspeist, benötigt bei einer gegebenen Landwirtschaft bestimmte Acker- bzw. Graslandflächen. Dieser Landbedarf kann dann mit der effektiven pro Kopf vorhandenen, auf allen Kontinenten nutzbaren Landfläche verglichen werden. Das resultierende Verhältnis zwischen Inanspruchnahme und effektiv vorhandener Fläche wird als ökologischer Fussabdruck bezeichnet. Bei einem Verhältnis unterhalb 1 ist die Nachhaltigkeit nicht gefährdet, jedoch Werte oberhalb 1 deuten auf Übernutzung hin. Eine solche Inanspruchnahme ist nicht nachhaltig befriedigbar. Sie kommt meist nur dank Abbau an natürlichem Kapital zustande und ist nur solange aufrechtzuerhalten bis das Kapital gänzlich aufgebraucht ist. Demgegenüber sind natürliche Ressourcen auf Dauer, das heisst nachhaltig nutzbar nur dann, wenn sie lediglich im Umfang ihrer Erneuerung genutzt werden („Von den Zinsen statt dem Kapital leben!“).

- Verhaltensänderungen haben zu erhöhtem Konsum – z.B. vermehrtem Treibstoff-, Strom- oder auch Fleischkonsum – und damit zu gestiegenen Landansprüchen geführt. Sie haben so beigetragen, dass der ökologische Fussabdruck auf das heutige Niveau angewachsen ist. Es sind deshalb wiederum vergleichbare Verhaltensänderungen, aber in umgekehrter Richtung, die zur Lösung des Nachhaltigkeitsproblems beitragen können und müssen. Verhaltensänderungen auf gesellschaftlicher aber auch individueller Ebene in Richtung Suffizienz sind vermutlich auch schon alleine deshalb notwendig, damit die durch den Technologiewandel erzielbaren Effizienzsteigerungen voll und im erforderlichen Umfang zum Tragen kommen können (Vermeidung des sog. „Rebound Effect“).
- Es zeichnet sich infolge des im letzten Jahrhundert stark gesunkenem EROI<sup>10</sup> und der Überschreitung des Peak Oil bei den wichtigsten Förderstätten beim Erdöl nach ca. 2010 ein Rückgang der nutzbaren Mengen ab (Hubbert, 1949; Campbell & Laherrere, 1998; Kerr, 1998; Toman & Darmstadter, 1998; Zhao *et al.*, 2009). Infolge der heute einseitigen Erdölabhängigkeit ist damit die Sicherheit unserer Energieversorgung, insbesondere der Industrieländer, ohnehin, möglicherweise schon bald in Frage gestellt. Ähnliches gilt für andere nicht erneuerbare Ressourcen (Fischlin *et al.*, 1991; Vitousek *et al.*, 1997; Raven, 2002).
- Das Wachstum der menschlichen Bevölkerung hält an. Bis Mitte Jahrhundert dürfte sie um weitere 2 Milliarden auf etwa 9 Milliarden ansteigen (Lutz *et al.*, 2008). Knappe Ressourcen werden also pro Kopf noch knapper (Cohen, 1995; Meadows *et al.*, 2009) und damit verschärft sich jegliche Ressourcenproblematik bezüglich Zugang, Verteilung und Konsequenzen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt und das Klima.
- So ergeben sich auch für Fragen der sozialen Gerechtigkeit innerhalb und zwischen den Nationen grosse und zusätzliche Herausforderungen, denen zu begegnen eine besondere Aufgabe, insbesondere politische, darstellt (Thomas & Twyman, 2005; Höhne *et al.*, 2007; Raupach *et al.*, 2007).

Ich denke, eine vernünftige Klimapolitik heisst eine ambitionöse Klimapolitik und eine umfassende Neuausrichtung unserer Zivilisation bezüglich Nachhaltigkeit, denn nur so lassen sich die Risiken des Klimawandels auf ein vielleicht erträgliches Mass reduzieren (Fischlin, 2009). Alles andere erscheint fahrlässig und setzt die Zukunft unserer Zivilisation aufs Spiel. Für ein kleines Industrieland wie der Schweiz, ergeben sich die gleichen Anforderungen wie für jedes andere Industrieland auch. Zudem dürfte sich in Anbetracht unserer Kleinheit, der starken Auslandsabhängigkeit und der Ressourcenarmut unser Wohlstand nur dann auch auf Dauer erhalten lassen, wenn wir im Klimaschutz hinsichtlich der ohnehin früher oder später unabwendbaren Energiewende vorausschauend handeln.

## Literatur

Burkhardt, A., 2009. Vermeidungskosten in der Schweiz.

Campbell, C. & Laherrere, J., 1998. Preventing the next oil crunch - The end of cheap oil. *Sci. Am.*, **278**(3): 77-83

---

<sup>10</sup> EROI steht für „Energy Return On Investment“ und bezeichnet das Verhältnis zwischen dem zur Förderung eines Energieträgers aufzubringenden Energieaufwand und dem im Träger schlussendlich gespeicherten, nutzbaren Energiemenge. Sinkt der EROI auf 1, lohnt sich die Förderung energietechnisch nicht mehr, ungeachtet der Menge allenfalls noch vorhandener, bislang ungenutzter Vorräte z.B. an Erdöl.

- Charbit, S., Paillard, D. & Ramstein, G., 2008. Amount of CO<sub>2</sub> emissions irreversibly leading to the total melting of Greenland. *Geophys. Res. Lett.*, **35**(12): L12503. doi: 10.1029/2008gl033472
- Cohen, J.E., 1995. Population growth and Earth's human carrying capacity. *Science*, **269**: 341-346
- Comiso, J.C., Parkinson, C.L., Gersten, R. & Stock, L., 2008. Accelerated decline in the Arctic Sea ice cover. *Geophys. Res. Lett.*, **35**(1): L01703. doi: 10.1029/2007gl031972
- Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, R.S., Revich, B. & Woodward, A., 2007. Human health. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *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)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 391-431.
- den Elzen, M.G.J. & Höhne, N., 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. doi: 10.1007/s10584-008-9484-z
- Easterling, D.R. & Wehner, M.F., 2009. Is the climate warming or cooling? *Geophys. Res. Lett.*, **36**: L08706. doi: 10.1029/2009gl037810
- Easterling, W.E., Aggarwal, P.K., Batima, P., Brander, K.M., Erda, L., Howden, S.M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J.F., Schmidhuber, J. & Tubiello, F.N., 2007. Food, fibre and forest products. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *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)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 273-313.
- Fischlin, A., 2008. IPCC estimates for emissions from land-use change, notably deforestation. Systems Ecology Report No. 31, Systems Ecology, ETH Zurich, Zurich, Switzerland, 3 pp.
- Fischlin, A., 2009. Berücksichtigen wir in der Klimapolitik genügend Sicherheitsmargen? [Do we have sufficient safety margins in climate policies?]. *GAI*A, **18**(3): 193-199.
- Fischlin, A., Blanke, T., Gyalistras, D., Baltensweiler, M. & Ulrich, M., 1991. Unterrichtsprogramm «Weltmodell 2». Systems Ecology Report No. 1, Institute of Terrestrial Ecology, Swiss Federal Institute of Technology ETH, Zurich, Switzerland, 34 pp.
- Fischlin, A., Buchter, B., Matile, L., Ammon, K., Hepperle, E., Leifeld, J. & Fuhrer, J., 2003. Bestandesaufnahme zum Thema Senken in der Schweiz. Systems Ecology Report No. 29, ISBN 3-9522686-0-7, Institute of Terrestrial Ecology, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology), Zurich, Switzerland, 86 pp.
- Fischlin, A. & Gyalistras, D., 1997. Assessing impacts of climatic change on forests in the Alps. *Global Ecol. Biogeogr. Lett.*, **6**(1): 19-37.
- Fischlin, A. & Haeberli, W., 2008. Auch in der Schweiz wirkt sich der Klimawandel zunehmend aus. In: OcCc (ed.), *Das Klima ändert - was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz*. OcCC - Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern, Switzerland, pp. 21-32.
- Fischlin, A., Midgley, G.F., Price, J.T., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M.D.A., Dube, O.P., Tarazona, J. & Velichko, A.A., 2007. Ecosystems, their properties, goods and services. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *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)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 211-272.
- Frei, C., Croci-Maspoli, M. & Appenzeller, C., 2008. Die Klimaentwicklung der Schweiz. In: OcCc (ed.), *Das Klima ändert - was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz*. OcCC - Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern, Switzerland, pp. 15-20.
- Gruber, S. & Haeberli, W., 2007. Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. *J. Geophys. Res. F*, **112**(F2): F02S18. doi: 10.1029/2006jf000547
- Gupta, S., Tirpak, D.A., Burger, N., Gupta, J., Höhne, N., Boncheva, A.I., Kanoan, G., M, Kolstad, C., Kruger, J.A., Michaelowa, A., Murase, S., Pershing, J., Saijo, T. & Sari, A., 2007. Policies, instruments and co-operative arrangements. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. & Meyer, L.A. (eds.),

- Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 746-807.
- Haas, C., Pfaffling, A., Hendricks, S., Rabenstein, L., Etienne, J.L. & Rigor, I., 2008. Reduced ice thickness in Arctic Transpolar Drift favors rapid ice retreat. *Geophys. Res. Lett.*, **35**(17): L17501. doi: 10.1029/2008gl034457
- Haeberli, W., Hoelzle, M., Paul, F. & Zemp, M., 2007. Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps. *Ann. Glaciol.*, **46**: 150-160
- Harris, C., Vonder Muhll, D., Isaksen, K., Haeberli, W., Sollid, J.L., King, L., Holmlund, P., Dramis, F., Guglielmin, M. & Palacios, D., 2003. Warming permafrost in European mountains. *Global Planet. Change*, **39**(3-4): 215-225. doi: 10.1016/j.gloplacha.2003.04.001
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P.J., Hooten, A.J., Steneck, R.S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C.D., Sale, P.F., Edwards, A.J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C.M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R.H., Dubi, A. & Hatziolos, M.E., 2007. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, **318**(5857): 1737-1742. doi: 10.1126/science.1152509
- Hoelzle, M., Chinn, T., Stumm, D., Paul, F., Zemp, M. & Haeberli, W., 2007. The application of glacier inventory data for estimating past climate change effects on mountain glaciers: A comparison between the European Alps and the Southern Alps of New Zealand. *Global Planet. Change*, **56**(1-2): 69-82. doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.001
- Höhne, N., Penner, J., Prather, M., Fuglestedt, J. & Lowe, J.H.G., 2007. Summary report of the adhoc group for the modelling and assessment of contributions to climate change (MATCH). Ad-hoc group for modelling and assessment of historic contributions to climate change, c/o Ecofys Germany GmbH, Köln, Germany, 12 pp.
- Hubbert, M., 1949. Energy from Fossil Fuels. *Science*, **109**(2823): 103-109
- IPCC, 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). In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. vii, 973.
- IPCC, 2007b. Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. & Meyer, L.A. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. viii, 851.
- 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). In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, p. 996.
- IPCC, 2007d. Summary for policymakers. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (eds.), *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)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1-18.
- IPCC, 2007e. Summary for policymakers. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. & Meyer, L.A. (eds.), *Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 1-23.
- IPCC, 2007f. Summary for policymakers. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *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)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 7-22.
- IPCC, 2007g. Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 52 pp.
- IPCC, 2007h. Technical summary. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *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)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 23-78.

- Kerr, R.A., 1998. The next oil crisis looms large--and perhaps close. *Science*, **281**(5380): 1128-1131. doi: 10.1126/science.281.5380.1128
- Kitzes, J., Wackernagel, M., Loh, J., Peller, A., Goldfinger, S., Cheng, D. & Tea, K., 2008. Shrink and share: humanity's present and future Ecological Footprint. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, **363**(1491): 467-475. doi: 10.1098/rstb.2007.2164
- Kwok, R., Cunningham, G.F., Wensnahan, M., Rigor, I. & Zwally, H.J.Y.D., 2009. Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003-2008. *J. Geophys. Res. C*, **114**: C07005. doi: 10.1029/2009jc005312
- Lutz, W., Sanderson, W. & Scherbov, S., 2008. The coming acceleration of global population ageing. *Nature*, **451**(7179): 716-719. doi: 10.1038/nature06516
- Meadows, D.H., Randers, J. & Meadows, D.L., 2009 (3. Aufl. ed.). Grenzen des Wachstums das 30-Jahre-Update Signal zum Kurswechsel. Hirzel: Stuttgart, 323 pp.
- Raupach, M.R., Marland, G., Ciais, P., Le Quéré, C., Canadell, J.G., Klepper, G. & Field, C.B., 2007. Global and regional drivers of accelerating CO<sub>2</sub> emissions. *PNAS*, **104**(24): 10288-10293. doi: 10.1073/pnas.0700609104
- Raven, P.H., 2002. Science, sustainability, and the human prospect. *Science*, **297**(9.Aug.): 954-958. doi: 10.1126/science.297.5583.954
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B. & Tryjanowski, P., 2007. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *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)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 79-131.
- Schneider, S., 2009. The worst-case scenario. *Nature*, **458**(7242): 1104-1105. doi: 10.1038/4581104a
- Schneider, S.H., Semenov, S., Patwardhan, A., Burton, I., Magadza, C.H.D., Oppenheimer, M., Pittock, A.B., Rahman, A., Smith, J.B., Suarez, A. & Yamin, F., 2007. Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *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)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 779-810.
- Smith, J.B., Schneider, S.H., Oppenheimer, M., Yohe, G.W., Hare, W., Mastrandrea, M.D., Patwardhan, A., Burton, I., Corfee-Morlot, J., Magadza, C.H.D., Fussler, H.M., Pittock, A.B., Rahman, A., Suarez, A. & van Ypersele, J.P., 2009. Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern". *PNAS*, **106**(11): 4133-4137. doi: 10.1073/pnas.0812355106
- Steig, E.J., Schneider, D.P., Rutherford, S.D., Mann, M.E., Comiso, J.C. & Shindell, D.T., 2009. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature*, **457**(7228): 459-462. doi: 10.1038/nature07669
- Stroeve, J., Holland, M.M., Meier, W., Scambos, T. & Serreze, M.C., 2007. Arctic sea ice decline: Faster than forecast. *Geophys. Res. Lett.*, **34**: L09501, doi:10.1029/2007GL029703. doi: 10.1029/2007gl029703
- Thomas, D.S.G. & Twyman, C., 2005. Equity and justice in climate change adaptation amongst natural-resource-dependent societies. *Global Environ. Change*, **15**(2): 115-124. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2004.10.001
- Toman, M. & Darmstadter, J., 1998. Is oil running out? *Science*, **282**(5386): 47-49. doi: 10.1126/science.282.5386.47d
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J. & Melillo, J.M., 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, **277**(25. Jul.): 494-499. doi: 10.1126/science.277.5325.494
- Wanner, H., Croci-Maspoli, M. & Appenzeller, C., 2009. Kein Stillstand der globalen Erwärmung. *Climate Press*, **2009**(26): 4. <http://www.proclim.ch/Products/ClimatePress/ClimatePress26D.pdf>
- Yohe, G.W., Lasco, R.D., Ahmad, Q.K., Arnell, N., Cohen, S.J., Hope, C., Janetos, A.C. & Perez, R.T., 2007. Perspectives on climate change and sustainability. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *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)*. Cambridge University Press, Cambridge a.o., pp. 811-841.

- Zemp, M., Haeberli, W., Hoelzle, M. & Paul, F., 2006. Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophys. Res. Lett.*, **33**(13): L13504, doi:10.1029/2006GL026319. doi: 10.1029/2006gl026319
- Zhang, J.L., Lindsay, R., Steele, M. & Schweiger, A., 2008. What drove the dramatic retreat of arctic sea ice during summer 2007? *Geophys. Res. Lett.*, **35**(11): L11505. doi: 10.1029/2008gl034005
- Zhao, L., Feng, L. & Hall, C.A.S., 2009. Is peakoilism coming? *Energ. Policy*, **37**(6): 2136-2138. doi: 10.1016/j.enpol.2009.02.017
- Zorita, E., Stocker, T.F. & von Storch, H., 2008. How unusual is the recent series of warm years? *Geophys. Res. Lett.*, **35**(24): L24706. doi: 10.1029/2008gl036228

#### Empfohlene Zitierung:

Fischlin, A., 2009. Klimawandel - Wissensstand und politische Handlungsnotwendigkeit. In: Piller, B. (ed.), *Fachtagung 2009: Klimawandel, Erdölknappheit, Wirtschaftskrise*, Schweizerische Energie-Stiftung SES, Zurich, Switzerland, Zurich, Technopark; 28.Aug.2009, Schweizerische Energie-Stiftung SES, p. 9.