

Leben im und mit dem Klimawandel – Lebensgrundlagen in Gefahr?

Andreas Fischlin¹

Inhalt

1	LEBENSGRUNDLAGEN	1
2	AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS	5
2.1	Wie empfindlich sind die Ökosysteme?	5
2.2	Sind Leistungen der Ökosysteme betroffen?	9
3	WAS TUN?	12
3.1	Klimapolitik – Das Beispiel Kyoto-Protokoll.....	13
3.2	Was jedeR Einzelne beitragen kann	14
4	LINKS	14
5	ZITIERTER LITERATUR.....	14

1 LEBENSGRUNDLAGEN

Wir pflegen über diejenigen, die am Ast sägen auf dem sie sitzen, zu lächeln. Was Ökosysteme leisten ist meist zuwenig bekannt und wird in unserem ökonomischen Wertesystem zudem fast gänzlich übersehen. Damit wird die Gefahr "am Ast zu sägen auf dem man sitzt" besonders gross.

Man unterscheidet heute vier Arten von Leistungen, die Ökosysteme erbringen (Abbildung 1): Erstens die Grundleistungen. Wir profitieren von ihnen nur indirekt, da sie lediglich die anderen direkt ausnutzbaren Leistungen unterstützen. Bei Letzteren unterscheidet man wiederum drei Kategorien: Erstens die gut bekannten Versorgungsleistungen wie z.B. die Nahrungs- (Ackerfrüchte, Früchte, Gemüse) und Holzproduktion (Holz als Werk- und Baustoff, Energieholz); zweitens die nur zu oft übersehenen Regulationsleistungen (Schutz vor Naturgefahren, Lawinen, Steinschlag, Erosion, Luftreinigung, Klima- und Wasserhaushaltsregulation); und drittens, die kulturellen Leistungen, zu denen Erholung, Freizeit, Tourismus bis hin zu spirituellen Werten gehören.

Ohne all diese Leistungen welche durch intakte und funktionierende Ökosysteme weltweit erbracht werden, wäre unsere Existenz schlicht nicht möglich. Schon allein aus naturgesetzlichen Gründen trifft dies zu, wie das folgende Beispiel aufzeigt: Die Luft, die wir ausatmen enthält 3 bis 4% CO₂. Wie schon Paracelsus sagte: "Es ist die Dosis, die das Gift macht". Enthielte die Atemluft etwas mehr CO₂, d.h. 5 bis 6% CO₂, so wäre sie für uns schon toxisch, bei 8% wäre sie tödlich. Nur dank der Tatsache, dass höheren Pflanzen für ihr Wachstum CO₂ benötigen und es auch in riesigen Mengen einatmen, ist das höhere, tierische

¹ Systems Ecology, Institute of Integrative Biology: Ecology, Evolution, and Disease, Departement of Environmental Sciences, ETH Zurich, Universitätsstr. 16, 8092 Zurich, Switzerland, <http://www.sysecol.ethz.ch>, <http://www.sysecol.ethz.ch/Staff/af>

Leben und damit auch das menschliche Leben in der heutigen Form überhaupt möglich geworden.

Auch durch andere Tatsachen, wie dem Energiebedarf allen Lebens zeigt sich die enge Verquickung zwischen menschlichem Leben und demjenigen intakter Ökosysteme. Pflanzen wirken als sog. Primärproduzenten, das bedeutet sie erfüllen als einzige Energielieferanten² für alle anderen Lebewesen eine Schlüsselfunktion für das Wohlergehen praktisch allen Lebens. Das äussert sich auch in der Tatsache, dass unsere tägliche Nahrung letztendlich auch immer bloss durch Pflanzen produziert wird. Es sind die Pflanzen, denen es gelingt, aus der für menschliche Massstäbe praktisch unerschöpflichen Sonnenenergie die für alles Leben erforderliche Energie "bereitzustellen".

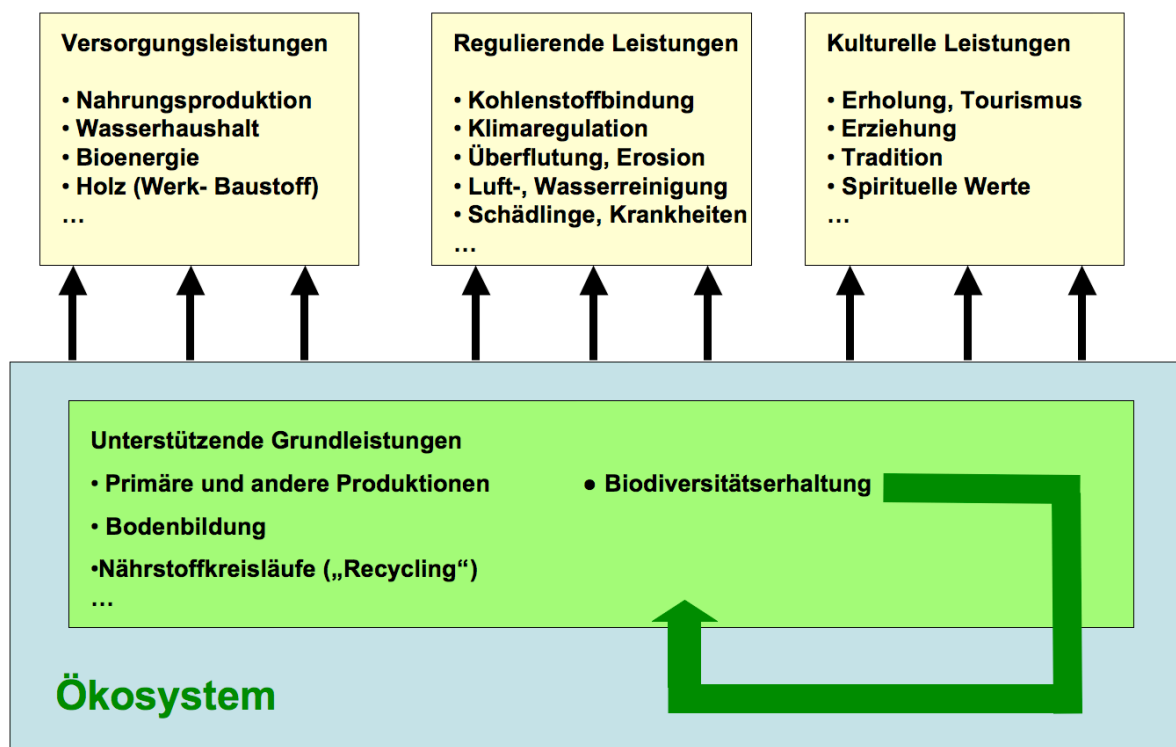


Abbildung 1: Ökosysteme sind mit der menschlichen Existenz unauflösbar verknüpft. Obiges Schema zeigt die Vielzahl von Leistungen welche Ökosysteme erbringen, dank denen Leben, inklusive dasjenige von uns Menschen, in der uns bekannten Form erst möglich wird.

Es liesse sich noch eine Vielzahl von Beispielen aufzählen, die schlussendlich alle bloss in der folgenden Aussage münden: Die Leistungen der Ökosysteme sind für unser menschliches Wohlergehen unerlässlich, eine Kernaussage, die auch aus der umfassenden Studie "Millennium Ecosystem Assessment" hervorgegangen ist (Reid *et al.*, 2005).

² Das gilt praktisch für alles Leben auf unserem Planeten, wie wir es uns gewohnt sind. Allerdings müsste das nicht ausschliesslich so sein, wie Thermalquellen auf dem Meeresgrund zeigen. Dort rührt die lebensnotwendige Energie nicht von der Sonne her, sondern steht in Form von Wärme, die aus dem vulkanischen Meeresuntergrund stammt, zur Verfügung. Nicht grüne, zur Photosynthese befähigte Pflanzen sind da die Primärproduzenten, sondern spezialisierte Mikroorganismen übernehmen in dieser fremdartigen Lebensgemeinschaft diese Rolle.

Leider werden diese Leistungen, trotz ihrer ungeheuerlichen Bedeutung, da "gratis" in unerschöpflicher Menge zur Verfügung stehend, durch unser ökonomisches Wertesystem kaum berücksichtigt. Ein Miteinbezug geschieht leider nur höchst selten, oder bloss ansatzweise und kaum im gebührendem Mass. Die folgenden Versuche, ökosystemare Leistungen auch in ökonomischer Art zu bemessen zeigen das eindrücklich: Eine berühmte Studie (Costanza *et al.*, 1997) hat Ende der 90er Jahre aufgezeigt, dass Ökosysteme jährlich Leistungen im Werte von ca. 33³ Trillionen US\$ (Trillion = 10¹²) erbringen. Im Vergleich dazu, das damalige Weltbruttosozialprodukt betrug ca. 18 Trillionen US\$. Ökosysteme haben also zu diesem Zeitpunkt für unser Wohlergehen fast das Doppelte (183%) an ökonomischer Leistung des menschlichen Wirtschaftsystems nochmals "gratis" hinzugefügt. Ungeachtet all der Mängel und der teilweise fraglichen Methodik dieser Studie, eines wird klar: Ökosysteme

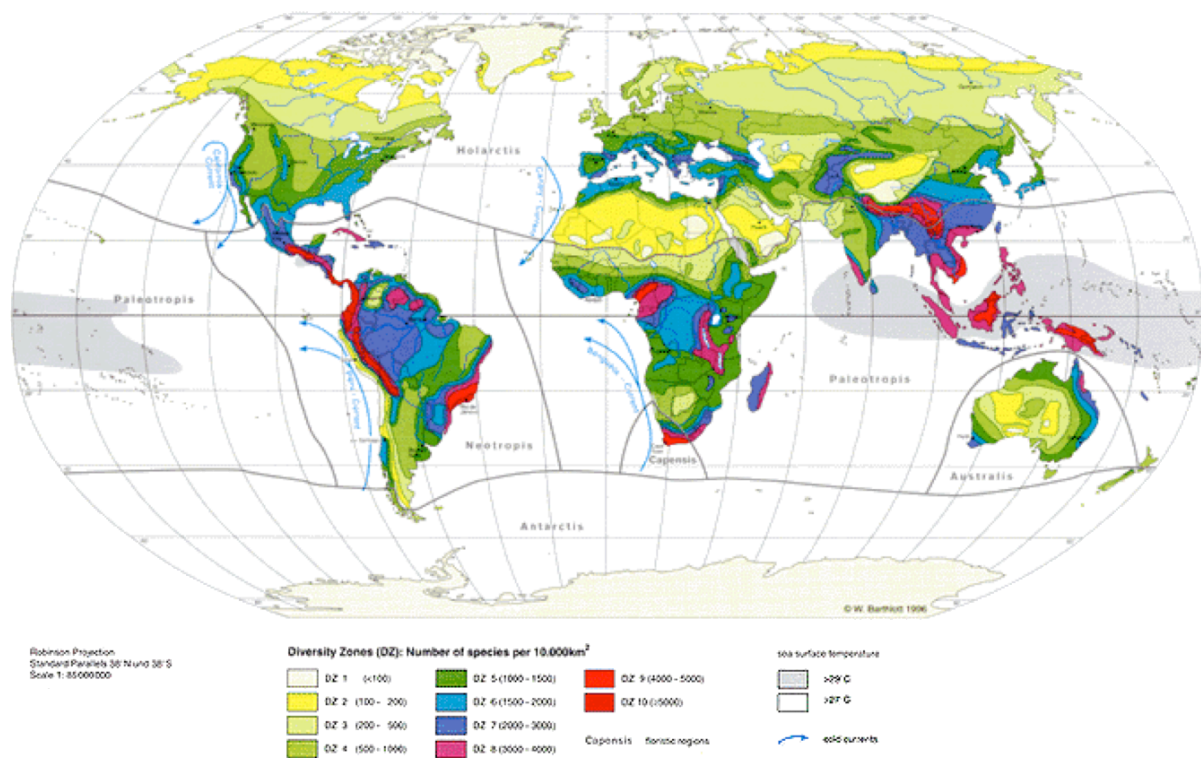


Abbildung 2: Biodiversität ist die biologische Vielfalt auf genetischem, art- und ökosystemarem Niveau, hier illustriert am Beispiel der geographischen Verteilung der Artenvielfalt höherer Pflanzen (dunkle Farben bedeuten hohe Diversität (rot >5'000 Arten pro 10'000 km²), helle geringe Diversität (beige <100 Arten pro 10'000 km²); weltweit gibt es etwa 300'000 Arten der hier dargestellten höheren Pflanzen) (nach Barthlott, 1996). Es zeigt sich, dass die Biodiversität sehr ungleich verteilt ist, gegen den Äquator zunimmt, und sich weltweit in etwa 25 sogenannten Brennpunkten (Hotspots) konzentriert. Diese beanspruchen lediglich etwa 1.5% der Landoberfläche, beheimaten aber 44% aller höheren Pflanzen und 35% aller höheren Tiere (Myers *et al.*, 2000). Zum Beispiel leben etwa ein Viertel aller marinen Arten im Ökosystem Korallenriff und etwa ein Fünftel aller Pflanzen bzw. etwa 60% aller landlebenden Tiere im Ökosystem tropischer Regenwald (Lamoreux *et al.*, 2006). Trotz der relativ geringen Fläche, kommt diesen Brennpunkten eine grosse Bedeutung als Archiv und Quelle des Artenreichtums zu. Artenreichtum der möglicherweise einmal von grosser medizinischer oder agronomischer Bedeutung sein könnte.

³ Da die meisten dieser Dienstleistungen von unserem Marktsystem ausgeklammert sind, haftet dieser Schätzung auch eine grosse Ungenauigkeit an ("Der Markt bestimmt den Preis!"). Es wurde ein Wertebereich von 16 bis 54 Trillionen US\$ abgeschätzt, was rund 90% bzw. 300% des damaligen, globalen Bruttosozialprodukts (Global Gross National Product) entsprach.

erbringen äusserst ökonomisch gewichtige sowie wertvolle Leistungen. Jegliches "sägen an diesem Ast" birgt also die Gefahr, nicht nur aus naturgesetzlichen Gründen, sondern auch aus ökonomischen Gründen unsere Lebensgrundlagen zu untergraben.

Ökosysteme erbringen ihre Leistungen aber nur in optimaler Art, wenn sie voll funktionsfähig sind. Wird die Gesundheit von Ökosystemen geschwächt, sog. Degradation, beispielsweise durch übermässige Ausbeutung oder Verschmutzung mit giftigen Substanzen, bedeutet dies praktisch immer einen Leistungsverlust. Hierbei kommt der Biodiversität für die Intaktheit und das volle Funktionieren der Ökosysteme eine besondere Bedeutung zu. Unter Biodiversität versteht man die Vielfalt des Lebens auf genetischer Stufe, individueller Stufe, und Stufe ganzer Lebensgemeinschaften (Abbildung 2).

Leider erleiden die Mehrzahl der Ökosysteme heute massive Artenverluste, und dies erst noch in erschreckender Weise mit steigender Tendenz und mit einer nie dagewesenen Geschwindigkeit (z.B. Novacek & Cleland, 2001; Worm *et al.*, 2006). Damit gefährden wir eine Grundlage allen Lebens, die besonders kostbar ist, da sie für menschliche Massstäbe unersetzlich ist. Zwar hat es in der geologischen Vergangenheit wiederholt, z.B. vor 54.9 Millionen Jahren oder am Ende des Erdmittelalters vor ca. 62 Millionen Jahren ("Sauriersterben"), massive Einbrüche in der Biodiversität gegeben (z.B. Raup & Sepkoski, 1982; Jablonski, 1999). Doch zeigen diese Untersuchungen, dass die Natur viele Millionen Jahre benötigte, um sich "biodiversitätsmässig zu erholen". Der Mensch verfügt auch über keine funktionierenden "Jurassic Park"-Verfahren⁴, mit denen einmal ausgestorbene Arten "wiederhergestellt" werden könnten. Selbst wenn es diese in ferner "Science-Fiction" Zukunft mal geben sollte, so ist unser heutiges Wissen über Lebensansprüche ausreichend, um schon jetzt abschätzen zu können, dass das Restaurieren einer einmal verlustig gegangen Biodiversität höchstwahrscheinlich ökonomisch unerschwinglich teuer wäre.

Sicherlich sind nicht alle Arten von gleicher Bedeutung und die Vergangenheit zeigt, dass Massensterben bzw. Biodiversitätskrisen nicht das Leben an und für sich zu gefährden vermochten und das auch für die Zukunft vermutlich der Fall ist. Doch wird durch all die vorliegenden Erkenntnisse auch klar, dass gewisse Formen höheres Leben durchaus gefährdet sein könnten. Was bedeutet das für die Menschheit, die ja sicherlich auch zum höheren Leben zu zählen ist? Wären wir falls nicht direkt, so zumindest indirekt betroffen?

Leider wird heute wissenschaftlich nur höchst unbefriedigend verstanden, inwiefern und in welchem Ausmass Biodiversitätsverluste von Ökosystemen verkraftet werden können. Mehrere Untersuchungen glauben unmittelbare Zusammenhänge zwischen Leistungen wie beispielsweise der Primärproduktivität und der Biodiversität gefunden zu haben (z.B. Hector *et al.*, 1999). Allerdings stehen saubere Nachweise noch aus und wir müssen leider eingestehen, dass wir trotz Wichtigkeit derartiger Zusammenhänge, diese kaum verstehen, geschweige quantifizieren können. Es steht also lediglich eines fest, wenn der Artenverlust sehr hoch wird, müssen wir mit einem erheblichen Einbruch der ökosystemaren Leistungen rechnen. Allerdings ab welchem Ausmass Artenverlust das eintreffen wird, wissen wir meist nicht. Nicht zuletzt weil manche zuerst den Beweis sehen wollen, bevor sie bereit sind zu handeln, ist sogar zu befürchten, dass wir in vielen Fällen lediglich im Nachhinein werden

⁴ Im bekannten, phantastischen Film "Jurassic Park" wird angenommen, dass es Menschen gelingt, im Labor aus Blutresten ausgestorbene Saurier "wiederherzustellen" und dann züchten zu können. Hierbei wird angenommen, dass in Bernstein eingeschlossenen Mücken, welche an Sauriern Blut gesaugt hatten, als Quelle des benötigten genetischen Materials dienen könnten.

aufzeigen können, was vom Ökosysteme noch toleriert und was nicht mehr verkraftet werden konnte.

Welche Strategie ist demnach hier angebracht? In Anbetracht der prinzipiellen Unersetzlichkeit der Biodiversität und der möglichen, mit deren Verlust verknüpften, fast unermesslich grossen Risiken, scheint mir das Vorsorgeprinzip⁵ auf der Hand zu liegen. Ungeachtet der Tatsache, dass wir die Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Funktionieren von Ökosystemen nur unzureichend verstehen, gilt es in unserem ureigensten Interesse, zur Biodiversität – als wiederum "geschenktes" Produkt der Evolution – Sorge zu tragen.

2 AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

Die neuesten Ergebnisse zum Klimawandel sind anderweitig nachzulesen. Hier geht es darum, die Auswirkungen des Klimawandels, sei dies vergangene bzw. zukünftige Klimaänderungen, zu diskutieren.

Es stellt sich zunächst die Frage, inwiefern Ökosysteme überhaupt empfindlich auf Klimaänderungen reagieren und ob diese Reaktionen zu wesentlichen Beeinträchtigungen der Ökosystemleistungen führen könnten.

2.1 Wie empfindlich sind die Ökosysteme?

Es gibt auf der Welt die verschiedensten Ökosysteme: Das von vielen planktischen Meeralgen, Fischen, Seehunden, und Eisbären bewohnte Packeisbiom der Arktis und Antarktis, die Tundra der nördlichen Hemisphäre, die daran anschliessenden borealen Wälder, die uns vertrauten Laub- und Laubmischwälder, die Hartlaubvegetation der Gebiete mit einem Mittelmeerklima, dann die Prärien, Steppen, Savannahen, und Wüsten beispielsweise in Afrika, die allorts vorhandenen Feuchtgebiete, die artenreichen tropischen Regenwälder und Korallenriffe, und schliesslich die Ökosysteme der Bergregionen, wie wir sie hier bei uns in der Schweiz haben. Es ist nicht weiter erstaunlich, dass sich all diese Ökosysteme nicht über denselben Leisten schlagen lassen. In der Tat ist es wichtig festzuhalten, dass die verschiedenen Ökosysteme unterschiedliche Empfindlichkeiten gegenüber Klimaänderungen aufweisen. Hinzu kommt die Tatsache, dass Klimaänderungen sich regional unterschiedlich auswirken und dadurch die Verhältnisse noch einmal kompliziert werden. Trotzdem lassen sich allgemeine Aussagen machen.

Einmal ist es so, dass die Erwärmung gegen die Pole des Erdballs hin in besonders ausgeprägter Weise stattgefunden hat und für die Zukunft durch die Modellrechnungen gleichermassen ausgeprägt vorausberechnet wird: Während bei einer globalen, mittleren Erwärmung von +2°C gegenüber dem vorindustriellen Klima die Tropen lediglich eine Erwärmung von +1 bis 1.5°C erfahren, beträgt diese am Nordpol +4.5 bis 5°C. Auch steht fest, dass sich die Kontinente im Verlaufe dieses Jahrhunderts weit stärker erwärmen, als dies

⁵ Gemäss diesem Prinzip werden mögliche grosse, aber in ihrer Eintretenswahrscheinlichkeit kaum abwägbar Risiken nicht mit dem Argument des Nichtwissens von der Entscheidungsfindung ausgeklammert, sondern sie werden bewusst mit dem Ziel der Vermeidung bei der Risikominimierung miteinbezogen. "Vorbeugen ist besser als Heilen!"

für die Oberflächenwasser der Ozeane der Fall ist. So bedeutet beispielsweise eine Erwärmung des globalen Jahresmittels von $+2^{\circ}\text{C}$, dass in der Schweiz die Temperaturen um erheblich mehr, d.h. um 3.5 bis 4°C ansteigen dürften, während die Ozeane lediglich einen Anstieg von 1 bis 1.5°C erfahren. Dieses Phänomen zeigt sich auch deutlich an der schon erfolgten Erwärmung: Während das globale Mittel lediglich um 0.74°C anstieg (IPCC, 2007a), ist in der Schweiz die mittlere Temperatur um fast 1.6°C angestiegen (Daten von Meteo Schweiz).

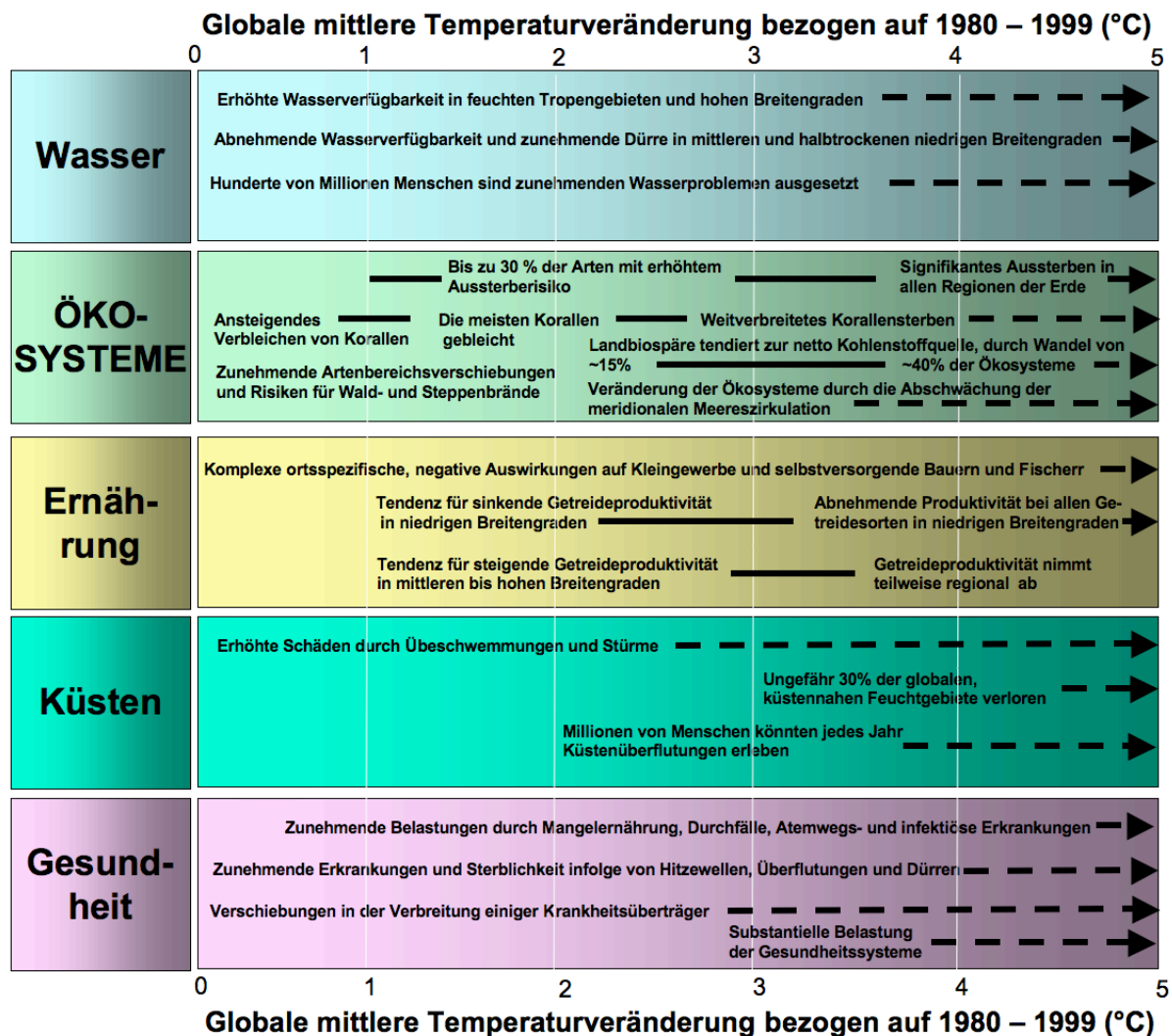


Abbildung 3: Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedenste Systeme (aus Adger & Coauthors including Fischlin, 2007). Die aufgeführten Auswirkungen ergeben sich nicht nur durch die Erwärmung (horizontale Achse zeigt die mittlere globale Temperaturerhöhung gegenüber heute, d.h. im Vergleich zum Mittel der Periode 1980-1999), sondern durch die mit der Temperaturerhöhung verknüpften Änderungen im gesamten Klima, insbesondere auch die regionale oder saisonale Verschiebungen der mittleren Niederschläge, wie sie durch heutige Klimamodelle projiziert werden können (Christensen *et al.*, 2007; Meehl *et al.*, 2007). Eine Umrechnung auf die Basis vorindustrielles Klima, wie es im politischen Umfeld verwendet wird, ist einfach durch Addieren von 0.5°C zu erzielen.

Mit Hilfe von Klimamodellen lassen sich heute nicht nur Aussagen über zukünftige Temperaturen, sondern auch über die Verteilung von Niederschlägen machen. Für Ökosysteme sind Niederschläge oft mindestens so prägend wie es Temperaturen sind.

Trotzdem immer noch gewichtige Unsicherheiten verbleiben, sind in den letzten Jahren erhebliche wissenschaftliche Fortschritte erzielt worden. Sie erlauben es uns heute, auch über die Auswirkungen von Änderungen im Niederschlag auf Ökosysteme vermehrt und zunehmend robustere Aussagen zu machen. Das ist besonders bedeutungsvoll für Regionen, in denen schon heute Wasser zu bestimmten Jahreszeiten oder auch allgemein knapp ist. So berechnen die Klimamodelle für die Mittelmeerregion oder viele Gebiete in Afrika einen stark zunehmenden Wassermangel, während sie für andere Regionen eine Niederschlagszunahme berechnen.

Durch häufige Trockenheit werden Ökosysteme nicht nur in ihrer Produktivität beeinträchtigt, sondern die Häufigkeit von sog. Störungen, z.B. Bränden, nimmt zu. Selbst wenn viele Feuer, wie das in vielen europäischen Regionen der Fall ist, durch Menschenhand entfacht werden, so müssen die klimatischen Voraussetzungen zunächst gegeben sein, damit sich ein einmal entfachtetes Feuer überhaupt über grössere Flächen ausbreiten kann und nicht gleich nach Inbrandsteckung bald wieder von selbst erlischt. Der beispiellos heisse Sommer 2003⁶ gibt hierzu ein eindrückliches Beispiel ab: 650'000 ha⁷ europäischer Waldflächen brannten ab (De Bono *et al.*, 2004). Allein in Portugal brannten Waldflächen in bislang unübertroffenem Ausmass⁸ und verursachten Schäden in der Höhe von einer Milliarde € (De Bono *et al.*, 2004). Auch die Produktivität vieler Ökosysteme war merklich beeinträchtigt: Statt wie in früheren Jahren Netto CO₂ aufzunehmen, haben sie als CO₂-Quelle gewirkt und hierbei ca. 1'830 Mt CO₂ in die Atmosphäre entlassen (Ciais *et al.*, 2005). Das entspricht etwa dem 34-fachen der heutigen schweizerischen, jährlichen Gesamtemission an Treibhausgasen! Auch die Landwirtschaft erlitt massive Rekordeinbussen, so z.B. in Italien die Maiserträge, die um 36% zurückgingen oder in Frankreich wo die Erträge beim Weizen und Futtermittelanbau um einen Drittel bzw. Viertel reduziert waren (Ciais *et al.*, 2005). Die hierbei in Europa insgesamt anfallenden Verluste, die übrigens nicht versichert waren, beliefen sich auf 13 Milliarden €, wobei Frankreich mit 4 Milliarden € am stärksten betroffen war (Easterling *et al.*, 2007).

Viele physikalische und ökologische Systeme reagieren also empfindlich auf klimatische Veränderungen. Eine weltweit gültige Zusammenstellung der wichtigsten Empfindlichkeiten zeigt Abbildung 3 (nach Adger & Coauthors including Fischlin, 2007). Hier sind zum Teil mit Hilfe von Klimamodellen die regionalen Auswirkungen auf die entsprechende globale, mittlere Temperaturerhöhung gegenüber heutigem Klima⁹ umgerechnet worden (horizontale Achsen am oberen und unteren Rand der Abbildung 3). Die Abbildung zeigt dass in unmittelbarer Zukunft die Wasserverfügbarkeit in heute ohnehin schon trockenen Gebieten abnimmt, dass häufiger mit Feuern zu rechnen ist, dass weltweit Korallen ausbleichen¹⁰, dass die Produktivität wichtiger landwirtschaftlicher Kulturen in niedrigen Breitengraden zu sinken droht, dass vermehrt mit Überschwemmungs- und Sturmschäden, und dass mit ge-

⁶ Das Mittel der Sommermonate Juni, Juli und August war um 5°C höher als das langjährige Mittel (1961-1990 Fink *et al.*, 2004)

⁷ Das entspricht rund 57% der schweizerischen Gesamtwaldfläche von 1'140'000 ha (Fischlin *et al.*, 2003).

⁸ 5% der Gesamtwaldfläche Portugals brannte nieder.

⁹ Mittel aus der Periode 1980-1999.

¹⁰ Das Ausbleichen der tierischen Korallen kommt dadurch zustande, dass die farbgebenden Algen bei warmem Meerwasser die Korallen verlassen. Diese Algen (Zooxanthellen) sind dank ihrer Farbpigmente photosynthetisch aktiv. Sie leben unter normalen Temperaturbedingungen zum gegenseitigen Nutzen, d.h. in sog. Symbiose, mit den Korallen: Die Korallen gewähren den Algen Schutz vor Fressfeinden, die Algen liefern den Korallen zusätzliche, aus Sonnenlicht gewonnene Nahrungsenergie.

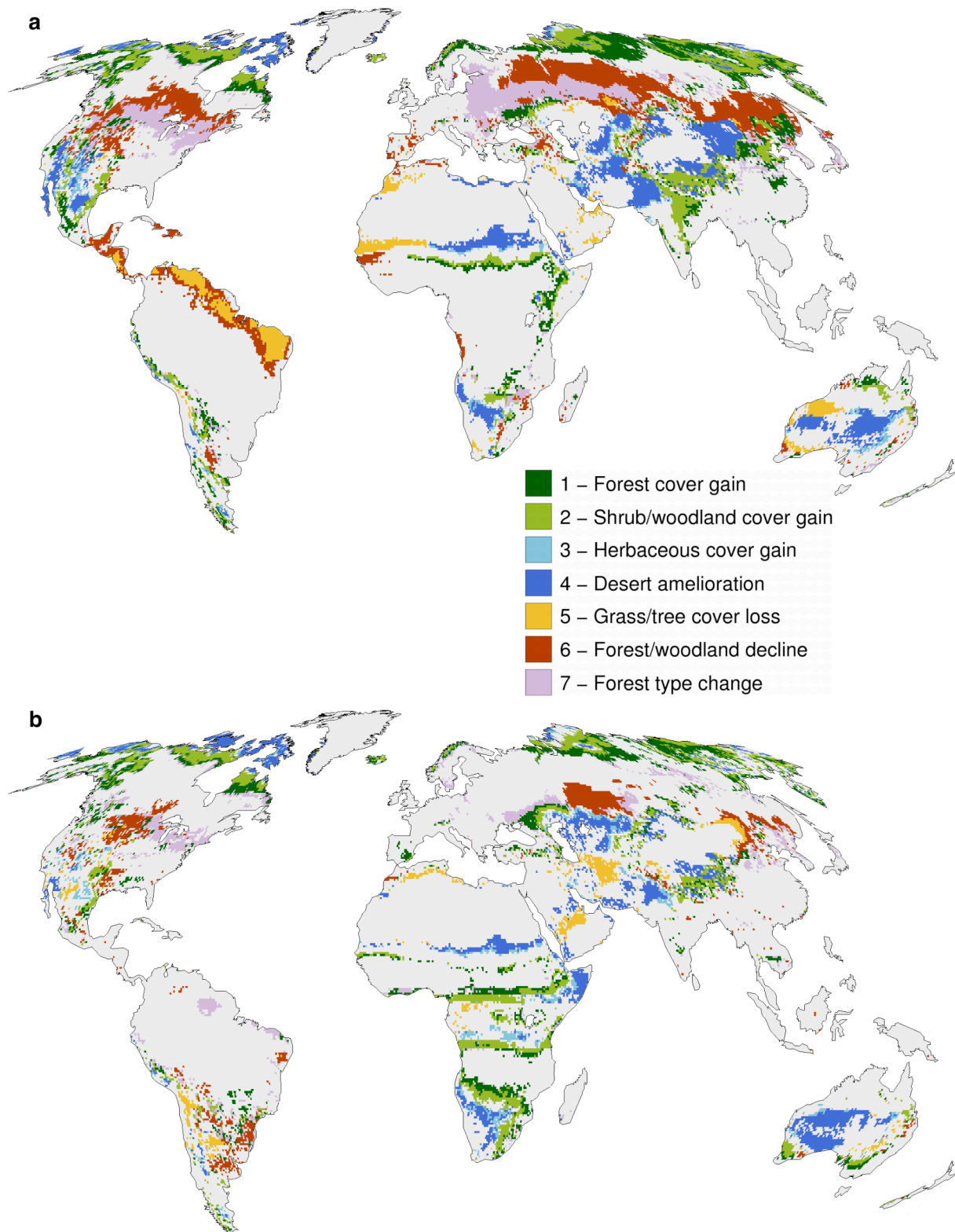


Abbildung 4: Simulierte merkliche¹¹ Veränderungen in Ökosystemen als Folge zweier verschiedener Klimaänderungsszenarien (**a** - IPCC SRES A2, **b** – IPCC SRES B1), wie sie durch zwei Klimamodelle (**a** - HadCM3, **b** – ECHAM5) berechnet worden sind (aus Fischlin *et al.*, 2007).

¹¹ >20% der Fläche einer simulierten Zelle erfahren einen Wechsel von einem zu einem anderen Biomtyp

sundheitlichen Verschlechterungen zu rechnen ist. Bei stärkeren Klimaänderungen gesellen sich dann noch viele weitere Effekte dazu: durch das Abschmelzen von Gletschern mitbedingte, zeitweilig (z.B. im Sommer) oder dauerhaft auftretender Wassermangel; übersteigt die Erwärmung +1.5 bzw. +2.5°C sind fast ein Drittel der höheren Pflanzen- und Tierarten vom Aussterben bedroht; ein Massensterben der Korallen setzt ein; krankheitsübertragende Arten wie Mücken verbreiten sich neu in vormals wenig besiedelte Gebiete, überschwemmte Küstenregionen, weiterhin sinkende landwirtschaftliche Erträge und auch sonst ergeben sich weltweit eine Vielzahl an merklichen Änderungen (siehe hierzu auch Abbildung 4).

Diese Ergebnisse stützen sich hauptsächlich auf Modellrechnungen. Nur Modelle erlauben es uns, für die Zukunft exakte, d.h. quantitative Aussagen zu machen. Doch auch Beispiele aus der Vergangenheit, welche nicht auf den immer etwas mit Unsicherheit behafteten Modellen beruhen, untermauern diese Ergebnisse. Dies trifft auf vergangene Epochen mit Klimaänderungen zu. Beispielsweise auf das Ende der letzten Eiszeit vor ca. 11'000 Jahren (z.B. Ammann *et al.*, 1994) sowie auf die jüngste Vergangenheit, wie den Sommer 2003 (Parry *et al.*, 2007) und insbesondere die Änderung des Klimas, die sich am Ende des 20. Jahrhunderts abzuzeichnen begann. Obwohl letzte Änderung bislang relativ gering ausgefallen ist (im globalen Mittel etwas höher als 0.3°C), ergaben sich schon merkliche Effekte: Aus einer eindrucklichen Zahl an Studien, nämlich 577, und einer riesigen Zahl an Datenreihen, nämlich fast 30'000¹², zeigt sich deutlich, dass die erdrückende Mehrheit der erfassten Systeme Änderungen aufwies, die als Folge der beobachteten Erwärmung zu erwarten waren (Rosenzweig *et al.*, 2007). Von den untersuchten physikalischen Systemen (z.B. Gletscher) traf dies weltweit auf 94% der untersuchten Datenreihen zu. Bei den biologischen Systemen (Pflanzen, Tiere) waren es weltweit 90% der untersuchten Datenreihen. Hierunter fallen Blühzeitpunkt von Pflanzen- und Verhalten von Tierarten wie z.B. Zugvögeln, die früher an- bzw. später im Jahr wegfliegen. Mehr als 90% der Systeme wiesen damit eine Übereinstimmung zwischen höheren Temperaturen und beobachteter Veränderung auf (Rosenzweig *et al.*, 2007). In Genf steht eine Rosskastanie, welche seit 1808 durch das Aufbrechen ihrer Knospen zur Anzeige des Frühlingsbeginns beigezogen wird. Rosskastanienknospen reagieren stark auf Temperatur, weniger auf die Tageslänge, und so konnte der rekordwarme Herbst 2006 bewirken, dass diese Rosskastanie den Genfern 2006 ein zweites Mal, nämlich im Oktober einen scheinbar anbrechenden Frühling anzeigte (Defila, 2007)!

2.2 Sind Leistungen der Ökosysteme betroffen?

Ja, die meisten der denkbaren Klimaänderungen verändern nicht bloss die Ökosysteme, sondern beeinträchtigen sie auch in ihren Leistungen. Dies sei an einem Beispiel, demjenigen der Kohlenstoffbindung durch die Landökosysteme etwas näher erläutert (eine regulierende Leistung, Abbildung 1). In den letzten Jahrzehnten haben die Landökosysteme insgesamt und in zunehmendem Masse als sog. biologische Senke gewirkt (Abbildung 5). Dies bedeutet, dass die Landökosysteme geringfügig mehr Kohlenstoff in Biomasse und Böden eingebaut haben, als sie an die Atmosphäre verloren haben. Diese Dienstleistung ist im Zusammenhang mit dem Klimawandel von ausserordentlicher Bedeutung. Die Landökosysteme bremsen nämlich damit den Klimawandel zusammen mit den Ozeanen in entscheidender Weise. Etwa die Hälfte des jährlich durch die menschliche Zivilisationsmaschinerie in die Atmosphäre

¹² Genau 29'436 Datenreihen

entlassenen CO₂ wird je wiederum hälftig durch die Ozeane und die Landökosysteme gleich wieder eingefangen (Abbildung 5, Watson *et al.*, 2000; Fischlin *et al.*, 2003).

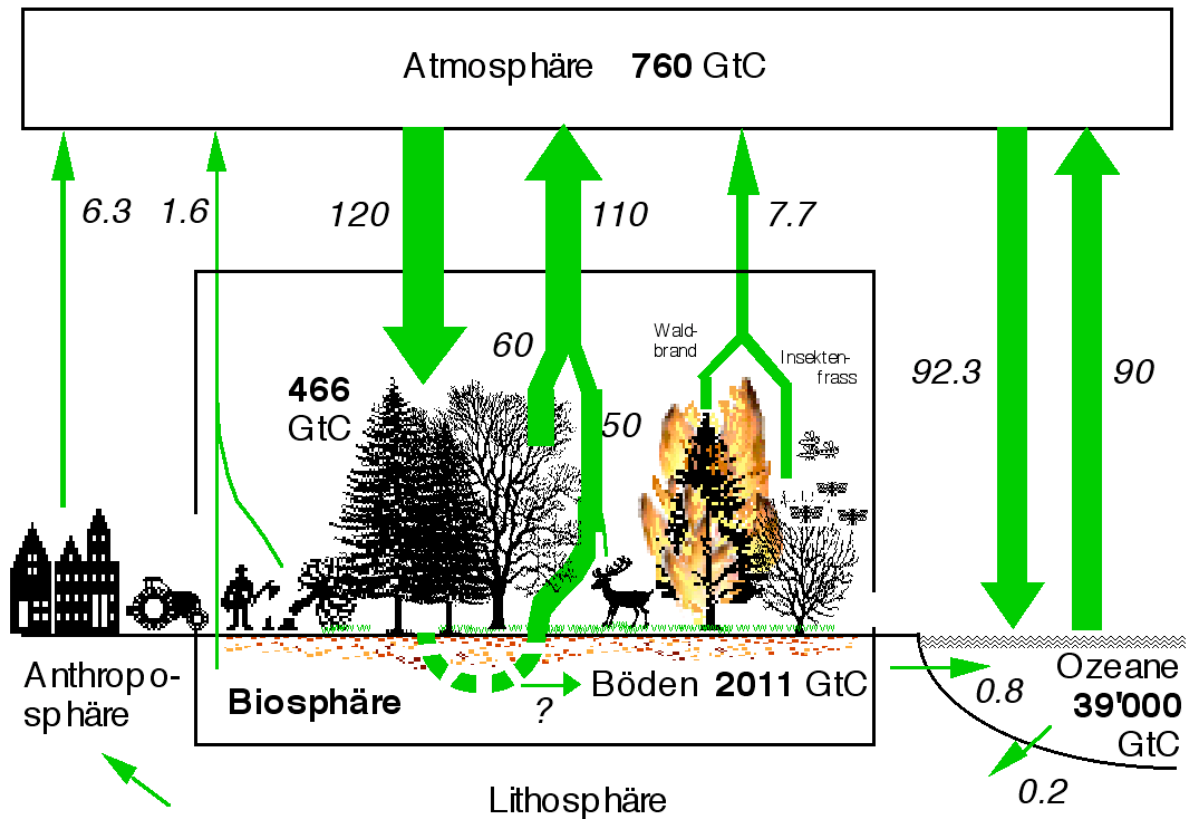


Abbildung 5: Ökosysteme sind der "Motor" des Kohlenstoffkreislaufs und entnehmen jedes Jahr riesige Mengen an Kohlenstoff aus der Atmosphäre auf und entlassen auch gleich wieder ähnlich riesige Mengen an Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre zurück (aus Fischlin & Fuhrer, 2000). Pfeile entsprechen Kohlenstoffflüssen (in Gt = 10⁹ t C pro Jahr) wobei der Kohlenstoff von einem sog. Kompartiment (Atmosphäre, Biosphäre, Ozeane) in ein anderes gelangt. Dabei wird u.U. der Kohlenstoff umgewandelt. Z.B. wird CO₂ aus der Atmosphäre durch Landpflanzen aufgenommen und im Ökosystem in Form von Kohlenstoffverbindungen (Biomasse) eingebunden. Das ergibt einen Kohlenstofffluss aus der Atmosphäre in die terrestrische Biosphäre von 120 GtC pro Jahr. Allerdings veratmen Pflanzen und Tiere diesen Kohlenstoff zu einem grossen Teil gleich wieder und geben ihn in Form von CO₂ ab (110 GtC pro Jahr). Subtrahieren wir diese beiden Flüsse sehen wir den Nettoeffekt: Die Ökosysteme auf den Kontinenten nehmen mehr Kohlenstoff auf als sie abgeben. Sie stellen dadurch eine Senke dar. Durch diese Dienstleistung verbleibt insgesamt nur etwa die Hälfte des durch die Menschheit jährlich in die Atmosphäre entlassenen Kohlenstoffs in der Atmosphäre. Die andere Hälfte wird je etwa hälftig durch die terrestrische Biosphäre und die Ozeane aufgenommen. So helfen die Landökosysteme und die Ozeane zurzeit wesentlich mit, den Klimawandel zu bremsen. Es besteht die Gefahr, dass diese Dienstleistung der Landökosysteme in der Zukunft nicht aufrechterhalten bleibt (vgl. Abbildung 6 und Fischlin *et al.*, 2007).

Neueste Untersuchungen mit Vegetationsmodellen für dieses Jahrhundert haben nun gezeigt, dass der Klimawandel bedenkliche Auswirkungen zeigen könnte. Selbst bei einer Temperaturerhöhung, die bis 2100 unter +2°C gegenüber vorindustriellem Klima bleibt (B1 Szenario, grüne Kurve Abbildung 6) zeigt ab etwa 2030 eine Abschwächung dieser Dienstleistung. Dies wirkt ähnlich wie wenn man bei voll laufendem Motor den Fuss von der Bremse hebt: Es erfolgt eine Beschleunigung. Ähnliches ist beim Klimawandel zu erwarten. Wenn die Dienstleistung Senke durch die Landökosysteme nachlässt, so beschleunigt sich der

Klimawandel. Dieser Effekt¹³ könnte zu einem bedenklichen, zusätzlichen Grad Erwärmung führen (IPCC, 2007a). Man beachte, die hier gezeigten Berechnungen (Abbildung 4, Abbildung 6) zeigen diesen Effekt nicht, da die Klimaänderung getrennt von den Auswirkungen auf die Landökosysteme berechnet worden ist (Fischlin *et al.*, 2007). Dieses weitere Grad würde natürlich einen gehörigen Strich durch die Rechnung machen, die globale Erwärmung unter dem +2°C gegenüber vorindustriellem Klima zu halten.

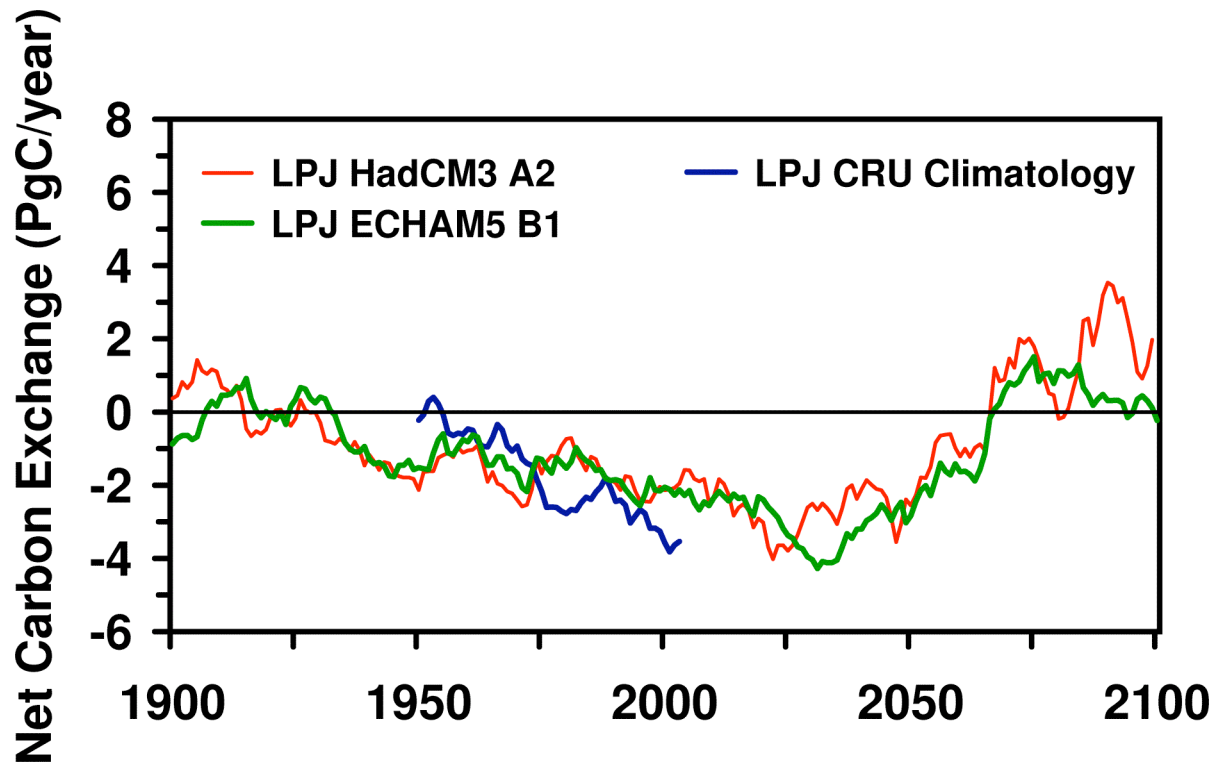


Abbildung 6: Die Dienstleistung Kohlenstoffsенke durch die Landökosysteme erlahmt im Verlaufe dieses Jahrhunderts und führt dadurch früher oder später zu einer Beschleunigung des Klimawandels (z.B. +1°C globales Mittel zusätzlich, vergleiche auch mit Abbildung 4 und 5). Für die gezeigten Simulationen sind zwei Klimaänderungsszenarien (IPCC SRES A2 und B1) und zwei Klimamodelle (HadCM3, ECHAM5) verwendet worden. Gezeigt wird der hierbei berechnete Nettokohlenstoffaustausch zwischen der Atmosphäre und der terrestrischen Biosphäre (aus Fischlin *et al.*, 2007).

Ähnlich gewichtig sind Ergebnisse wie dasjenige, dass bei einer mittleren globalen Erwärmung von +1.5 bis 2.5°C über gegenwärtige Temperaturen 20 bis 30% der höheren Pflanzen- und Tierarten von einem erheblichen Aussterberisiko bedroht sein dürften. Stellt man diese Zahlen Abschätzungen des Biodiversitätsverlustes während vergangenen Perioden grosser Massensterben gegenüber, so ergeben sich erschreckend ähnliche Grössenordnungen¹⁴. Wie oben dargelegt ist allerdings wenig Genaues über die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit der Ökosysteme bei einem solchen Massensterben aussagbar. Es ist lediglich klar, dass derartige Artenverluste mit erheblichen Risiken

¹³ Dieser Effekt wird im neuen IPCC Bericht (IPCC, 2007a) CO₂ Feedback genannt.

¹⁴ Am Ende des Erdmittelzeitalters (Mesozoikum), d.h. während dem sog. "Sauriersterben" am Ende der Kreidezeit betrug der Artenverlust bei den relativ gut dokumentierten marinen Arten bloss etwa -12% (Raup & Sepkoski, 1982). Das grösste Massensterben -52% (Raup & Sepkoski, 1982) erfolgte am Ende des Erdaltertums (Paläozoikum) vor ca. 230 Millionen Jahren (Jablonski, 1999).

verbunden sind. Sollte es Schlüsselarten, z.B. Bestäuber, treffen, könnten die Konsequenzen verheerend sein. Zumindest ist ebenfalls klar, dass Effekte durch zunehmende Landnutzungsänderungen, insbesondere durch Rodungen, die Biodiversität unserer Erde zusätzlich bedrohen. Dies zeigt umso eindringlicher, dass es gelingen muss, den Klimawandel in seinem Ausmass zu begrenzen und zwar so, dass eine Temperaturerhöhung von global höchstens $+2^{\circ}\text{C}$ gegenüber vorindustriellem Klima nicht überschritten wird.

3 WAS TUN?

Ein gewisser Klimawandel ist unumgänglich geworden. Es gilt sich daran anzupassen. Aber es gilt auch, einen Klimawandel grösseren Ausmasses zu verhindern. Die globale Temperaturerhöhung sollte unterhalb $+2^{\circ}\text{C}$ gegenüber vorindustriellem Klima bleiben. Hierbei muss auch beachtet werden, dass die quantitative Abschätzung der Empfindlichkeit des Klimasystems immer noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist (Abbildung 7). Auch hier gilt es gemäss dem Vorsorgeprinzip einen Sicherheitsabstand einzuhalten. Das bedeutet konkret möglichst weit unterhalb der $+3^{\circ}\text{C}$ zu bleiben und die Obergrenze $+2^{\circ}\text{C}$ streng einzuhalten. Das Bedarf allerdings grösster Anstrengungen, die Emissionen zu reduzieren.

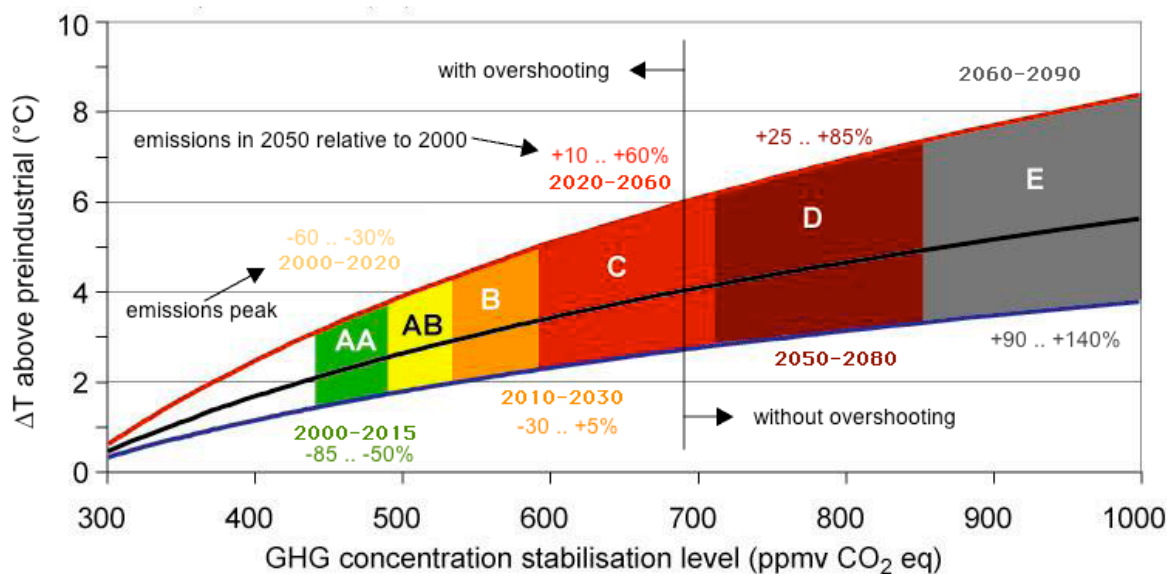


Abbildung 7: Emissionspfade, durchschnittliche globale Erwärmung, und zugehörige atmosphärische Stabilisierungskonzentrationen für Treibhausgase. Die drei Linien (rot, schwarz, blau) charakterisieren die Sensitivität des Klimasystems, wobei die schwarze Linie die beste Schätzung (3°C) darstellt (rot: 4.5°C , blau: 2°C jeweils für Verdoppelung der $\text{CO}_2\text{-eq}$ Konzentration, d.h. 560 ppm, gegenüber vorindustriell, 280 ppm). Die Prozentzahlen stellen die Emissionsreduzierungen von 2050 gegenüber 2000 dar, die Jahreszahlen die jeweilige Periode, in der die globalen Emissionen ihr Maximum erreichen müssen (nach IPCC, 2007b).

3.1 Klimapolitik – Das Beispiel Kyoto-Protokoll

Die Klimakonvention¹⁵ ist 1994 in Kraft getreten. Ihr Hauptziel ist es, die atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen auf ungefährlichem Niveau zu stabilisieren. Beim heutigen Wissenstand ergibt sich klar, dass die Auseinandersetzung mit der Frage, welche sog. Stabilisierungskonzentration (s. horizontale Achse Abbildung 7) und damit verknüpft welche maximale Erwärmung (s. vertikale Achse Abbildung 7) hierunter zu verstehen sind, dringend angegangen werden muss.

Das Kyoto-Protokoll gilt als das einzige und wichtigste Instrument der Klimakonvention um deren Ziele zu erreichen. Es wurde 1997 beschlossen und ist 2005 in Kraft getreten. Es sieht vor, dass die bisherigen Hauptemittenten, d.h. die Industrieländer, ihre Emissionen im Vergleich zu 1990 zwischen 2008 und 2012 durchschnittlich um mindestens 5% senken. Hierbei hat sich die Schweiz im gleichen Masse wie die EU verpflichtet, ihren Ausstoss an Treibhausgasen während dieser sog. ersten Verpflichtungsperiode um 8% zu senken.

Als Massnahmen sieht das Kyoto-Protokoll durch Reduktionsziele in Gang gesetzte Anreizsysteme vor, die hauptsächlich über marktwirtschaftliche Instrumente wie z.B. Emissionshandel, zu Emissionsreduktionen führen. Der Emissionsbegrenzung unterliegen die Treibhausgase CO₂, Methan (CH₄), Lachgas¹⁶ (N₂O), Schwefelhexafluorid (SF₆) sowie die Gasgruppen teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC) und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC). Emissionen in irgendeinem dieser Gase können in sog. CO₂-Äquivalente¹⁷ umgerechnet werden. Demgegenüber ist gemäss schweizerischem CO₂-Gesetz lediglich der CO₂-Ausstoss bis 2010 um 10% gegenüber 1990 zu senken. Der Treibhausgasausstoss der Schweiz besteht hauptsächlich (98.6%) aus den folgenden drei Treibhausgasen: CO₂ 83.1%, Methan 8.6%, Lachgas 6.9% (Fischlin *et al.*, 2003).

Das Kyoto-Protokoll mit der ersten Verpflichtungsperiode allein vermag das Klima nicht zu schützen. Dies zeigen auch entsprechende Klimamodellierungen. Die vorgesehenen Reduktionen der Treibhausgasemissionen sind zu gering (vgl. hierzu die erforderlichen, hohen Prozentzahlen in Abbildung 7). Trotzdem stellt das Kyoto-Protokoll einen wichtigen und historisch bedeutungsvollen Schritt in die richtige Richtung dar. Leider haben die USA unter der Regierung Bush und danach die australische Regierung im letzten Moment dem Kyoto-Protokoll den Rücken gekehrt. Ich persönlich erachte deren Argumentation, die sie zu diesem Schritt bewogen hat, als wenig stichhaltig und sehe darin vielmehr einen Versuch, insbesondere durch den Grossverschmutzer USA, sich in eher selbstsüchtiger Weise vor der historischen Verantwortung gegenüber der übrigen Menschheit zu drücken. Ein Löwenanteil der bisherigen Belastung der Atmosphäre mit CO₂ ist durch die USA verursacht worden (Z.B. 1990 verursachten die USA Emissionen die ein Drittel aller Industrieländer und ein Viertel aller Länder ausmachten). Bei diesem hohen pro Kopf Energieverbrauch sind Emissionsreduktionen relativ leicht und erst noch gewinnbringend zu bewerkstelligen. Dies hat auch das Beispiel des Bundesstaates California nun klar gezeigt.

Es ist zu hoffen, dass die neue USA Regierung zur früheren, konstruktiven Politik zurückkehren wird und dem Buchstaben der Klimakonvention, der die USA ja nach wie vor

¹⁵ United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://www.unfccc.int>

¹⁶ Distickstoffoxid

¹⁷ Um auf CO₂-Äquivalente umzurechnen, wird die jeweils emittierte Gasmenge mit folgenden Faktoren multipliziert: Methan mit 23, Lachgas mit 296, und Hexafluorid mit 22'200.

angehört, sinngetreu nachleben wird. Es muss ja bald eine Einigung über die Fortsetzung des Kyoto-Protokolls gefunden werden. Nur mit einer solchen Einigung kann wie erforderlich nach 2012 lückenlos an die jetzige Verpflichtungsperiode ein Nachfolgeprotokoll angeschlossen werden. Damit wäre endlich auch gewährleistet, dass allen Akteuren, insbesondere der Industrie und allen Investoren, klare Rahmenbedingungen zur Verfügung stünden. Nur so ergibt sich ein Umfeld, das sich langfristig auszahlenden Investitionen förderlich ist und das die neuen, effizienzsteigernden Technologien fördert und Innovationsschübe auszulösen vermag. Unsere Zivilisationsmaschinerie muss so rasch als möglich umgebaut und decarbonisiert werden. Das bedeutet Folgendes: Es ist anzustreben, dass pro konsumierte Einheit Energie praktisch kaum mehr Kohlenstoff freigesetzt wird. Entgegen oft gehörten Einwänden, alle wissenschaftlichen Untersuchungen zeigen klar: Die erforderlichen Technologien sind im Prinzip vorhanden und deren Einsatz ist ökonomisch (IPCC, 2007b).

3.2 Was jedeR Einzelne beitragen kann

Es gilt einen Klimawandel grösseren Ausmasses zu verhindern. Klimawandel wirkt sich nicht nur auf sämtliche Lebensbereiche aus, es kann auch praktisch überall etwas dagegen unternommen werden. Es gilt einerseits politische Kräfte, welche die Gesundung unseres Klimas anstreben zu stärken. Zurzeit gilt es zunächst, die Kyoto-Protokollziele zu erreichen und für die Periode danach Nachfolgelösungen zu finden. Andererseits ist jedem Patentrezept zu misstrauen, das bloss Einzelaspekte oder bloss wenige Akteure zur Lösung beiziehen will. Vonnöten sind grosse Anstrengungen an jedem sich nur anbietenden Ort. Nur eine ganze Reihe von Massnahmen, die alle einzeln für sich eingesetzt unwirksam blieben, vermögen zusammen den durchschlagenden Erfolg zu bringen. Damit ist auch jede Einzelperson aufgefordert mitzumachen und ihren Beitrag zu leisten. Der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt! Es ergibt sich auch die Chance, dass jede einzelne Person ihr Scherflein beisteuern kann, mag das noch so an einem kleinen Ort erfolgen. Steter Tropfen höhlt den Stein! Schliesslich haben wir auch bloss so den Klimawandel in Gang gesetzt. Warum soll es uns auf gleichem Weg nicht auch gelingen, ihn wieder einzudämmen? Uns, unseren Kindern, und unseren Kindeskindern zuliebe!

4 LINKS

<http://www.ipcc.ch>

<http://www.unfccc.int>

5 ZITIERTE LITERATUR

Adger, N. & Coauthors including Fischlin, A., 2007. 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 of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 7-22.

- Ammann, B., Lotter, A.F., Eicher, U., Gaillard, M.J., Wohlfarth, B., Haeberli, W., Lister, G., Maisch, M., Niessen, F. & Schlüchter, C., 1994. The Würmian late-glacial in lowland Switzerland. *J. Quaternary Sci.*, **9**(2): 119-125.
- Barthlott, W., 1996. Global distribution of species diversity in vascular plants: towards a world map of phytodiversity. In, *Erdkunde*. F. Steiner Verlag, Stuttgart, pp. 317-327.
- Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. & Whetton, P., 2007. Regional climate projections. 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, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 847-940.
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogee, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A.D., Friedlingstein, P., Grunwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J.F., Sanz, M.J., Schulze, E.D., Vesala, T. & Valentini, R., 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, **437**(7058): 529-533.
- Costanza, R., D'arce, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**(15 May): 253-260.
- De Bono, A., Peduzzi, P., Giuliani, G. & Kluser, S., 2004. Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. Early Warning on Emerging Environmental Threats 2, UNEP: United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 4 pp.
- Defila, C., 2007. Phänologischer Rückblick ins Jahr 2006. *Agrarforsch.*, **14**(4): 144-147.
- 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.
- Fink, A.H., Brücher, T., Krüger, A., Leckebusch, G., C, Pinto, J., G & Ulbrich, U., 2004. The 2003 European summer heatwaves and drought - synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, **59**: 209-216.
- 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, Swiss Federal Institute of Technology ETH, Zurich, Switzerland, 86 pp.
- Fischlin, A. & Fuhrer, J., 2000. Die Klimapolitik bringt die Wissenschaft an ihre Grenzen - Die Herausforderung des Kyoto-Protokolls für die Ökologie. *Neue Zürcher Ztg.*, **262** (9.Nov.): 11.

- 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.
- Hector, A., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Caldeira, M.C., Diemer, M., Dimitrakopoulos, P.G., Finn, J.A., Freitas, H., Giller, P.S., Good, J., Harris, R., Högberg, P., Huss-Danell, K., Hoshi, J., Jumpponen, A., Körner, C., Leadley, P.W., Loreau, M., Minns, A., Mulder, C.P.H., O'donovan, G., Otway, S.J., Pereira, J.S., Prinz, A., Read, D.J., Scherer-Lorenzen, M., Schulze, E.D., Siamantziouras, A.S.D., Spehn, E.M., Terry, A.C., Troumbis, A.Y., Woodward, F.I., Yachi, S. & Lawton, J.H., 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science*, **286**(5. Nov.): 1123-1127.
- IPCC, 2007a. 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, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-18.
- IPCC, 2007b. Summary for policymakers. In: Metz, B., Davidson, O. & Meyer, L. (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, p. 36.
- Jablonski, D., 1999. The future of the fossil record. *Science*, **284**(5423): 2114-2116.
- Lamoreux, J.F., Morrison, J.C., Ricketts, T.H., Olson, D.M., Dinerstein, E., McKnight, M.W. & Shugart, H.H., 2006. Global tests of biodiversity concordance and the importance of endemism. *Nature*, **440**(7081): 212-214.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J. & Zhao, Z.C., 2007. Global climate projections. 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, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 747-845.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. & Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**(6772): 853-858.
- Novacek, M.J. & Cleland, E.E., 2001. The current biodiversity extinction event: Scenarios for mitigation and recovery. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **98**(10): 5466-5470.
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E., 2007. Cross-chapter case studies. 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. 843-868.

- Raup, D.M. & Sepkoski, J.J., 1982. Mass extinctions in the marine fossil record. *Science*, **215**(4539): 1501-1503.
- Reid, W.V., Mooney, H.A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S.R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A.K., Hassan, R., Kasperson, R., Leemans, R., May, R.M., McMichael, A.J., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson, R.T., Zakri, A.H., Shidong, Z., Ash, N.J., Bennett, E., Kumar, P., Lee, M.J., Raudsepp-Hearne, C., Simons, H., Thonell, J. & Zurek, M.B., 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press: Washington, DC, 155 pp.
- 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.
- Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J. & Dokken, D.J. (eds.), 2000. Land use, land-use change, and forestry - A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, 377 pp.
- Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K.A., Stachowicz, J.J. & Watson, R., 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, **314**(5800): 787-790.

This text also appeared in: Lohmann, V. & Halter, O. (eds.), *Klimawandel – Anzeichen und Perspektiven in Obwalden*, Melchtal, Switzerland Published, Melchtal, Switzerland; 1.09.2007, Obwaldner Bildungsforum (obf)

Zitierungsvorschlag:

Fischlin, A., 2007. Leben im und mit dem Klimawandel – Lebensgrundlagen in Gefahr? Systems Ecology, ETH Zurich, Zurich Switzerland, 17pp.