
2. Auswirkungen der Klimaänderung

Im zweiten Kapitel sind die für die Schweiz wichtigsten Aussagen der Arbeitsgruppe II des dritten Wissensstandsberichts (TAR) des IPCC zusammengefasst. Im Bericht der Arbeitsgruppe II werden auf über 900 Seiten die Anfälligkeit, Anpassungsfähigkeit und Verwundbarkeit von natürlichen und sozioökonomischen Systemen bezüglich der Klimaänderung sowie die möglichen Folgen und Anpassungsmöglichkeiten behandelt. Die Aussagen basieren auf Beobachtungen, Modellrechnungen und dem Verständnis von Prozessen und Systemen. Die Abschätzung des Zuverlässigkeitsgrades der Aussagen und des wissenschaftlichen Verständnisses erfolgt aufgrund der kollektiven Beurteilung der Autoren. In diesem Kapitel wird sie zu Gunsten der Leserlichkeit weggelassen.

Anfälligkeit, Anpassungsfähigkeit und Verwundbarkeit natürlicher und sozioökonomischer Systeme bezüglich der Klimaänderung sind regional sehr unterschiedlich. Weil konkrete Angaben zur Schweiz im Bericht weitgehend fehlen, werden in diesem Kapitel die Informationen von den Aussagen abgeleitet, die sich auf Zentraleuropa und Regionen mittlerer Breite beziehen. In der Folge werden die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserkreislauf, die Ökosysteme, die Gesundheit, das Versicherungswesen und den Finanzsektor sowie Siedlungsgebiete, Energieverbrauch und Tourismus behandelt.

2.1. Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserkreislauf und die Wasserwirtschaft

Der Einfluss langsamer, natürlicher Klimaschwankungen auf den Wasserkreislauf lässt sich nur schwer von Veränderungen unterscheiden, die durch den Menschen verursacht sind. Mit dem Klima wird sich die Verteilung der Abflüsse verändern. Intensivere Niederschläge und möglicherweise eine grössere jährliche Niederschlagsmenge werden häufigere Hochwasser provozieren.

Veränderte Wassermengen in Flüssen:

Für die europäischen Gebiete mittlerer Breite zeigen die meisten Klimaänderungsszenarien bis 2050 eine durchschnittliche Zunahme des jährlichen Abflusses um 10% nördlich der Alpen, hingegen eine durchschnittliche Abnahme um 10% südlich der Alpen. Auch die jahreszeitliche Schwankung der Abflussmengen wird sich als Folge der Klimaerwärmung verändern. In den Alpen werden die Niederschläge in Form von Schnee abnehmen und in einzelnen Regionen sogar ganz ausbleiben. Für Gebiete ohne wesentliche Schneefälle zeigen Modellrechnungen generell einen erhöhten Abfluss im Winter aufgrund vermehrter Regenfälle. Wegen kleinerer Eis- und Schneeschmelze wird speziell südlich der Alpen ein verminderter Abfluss im Sommer vorausgesagt, der niedrige Wasserstände in den Flüssen zur Folge haben wird. Beobachtete Trends der Abflussmengen können allerdings nicht eindeutig bisherigen, vom Menschen verursachten Klimaänderungen zugeordnet werden. In einigen Einzugsgebieten wird der Einfluss der Klimaänderung kleiner, in anderen jedoch grösser sein als die natürlichen Schwankungen.

Häufigere Hochwasser:

Es gibt Hinweise, dass die Häufigkeit starker Niederschlagsereignisse generell mit der globalen Erwärmung zunimmt. In vielen Regionen dürften insbesondere im Winter Häufigkeit und Stärke der Hochwasser zunehmen.

Veränderungen im Wasserkreislauf sind in den Alpen bei den Quellen spürbar, wirken aber auch weit in die Gebiete der Flussunterläufe. Trockenzeiten und Hochwasser, wie z.B. jenes Anfang 1995 im Rheinbecken, werden häufiger auftreten.

Grösserer Wasserbedarf für Bewässerung:

Die Klimaänderung dürfte keinen bedeutenden Einfluss auf den durchschnittlichen Wasserbedarf von Haushalten, Gewerbe und Industrie haben. Aber der Wasserbedarf der Landwirtschaft für die Bewässerung dürfte steigen. Es ist ungewiss, um wie viel der Wasserbedarf wegen vermehrter Transpiration (Wasserabgabe der Pflanzen) durch die Erwärmung ansteigt, und wie viel dem erhöhten Pflanzenwachstum wegen der ertragssteigernden Wirkung erhöhter CO₂-Konzentrationen anzurechnen ist.

Wasserwirtschaft und Rheinschifffahrt:

In der wasserwirtschaftlichen Planung und im Management der Wasserressourcen müssen die zusätzlichen Unsicherheiten durch die Auswirkungen der Klimaänderung berücksichtigt werden.

Die Rheinschifffahrt bis Basel, die eine wichtige und kostengünstige Transportachse für die Schweiz ist, könnte wegen ausgeprägteren Niederwassers im Sommer und Herbst und wegen hohen Wasserstandes im Winter und Frühjahr öfters behindert werden.

2.2. Auswirkungen der Klimaänderung auf Ökosysteme

Die Wirkung der Klimaänderung auf Ökosysteme ist regional unterschiedlich und erfolgt im Zusammenspiel mit anderen Umwelteinflüssen. Die Artenzusammensetzung der natürlichen Ökosysteme wird sich verändern. In der Landwirtschaft wird die ertragssteigernde Wirkung erhöhter CO₂-Konzentrationen und wärmerer Temperaturen durch andere Faktoren begrenzt.

Ökosysteme sind für das heutige menschliche Leben sehr wichtig. Von bekannter Bedeutung sind die Agrar- und Waldökosysteme. Doch fast alle anderen Ökosysteme, z.B. Feuchtgebiete oder Seen, erfüllen ebenfalls wichtige Funktionen im Stoffhaushalt der Natur. Ohne die vielen Güter und Leistungen von Ökosystemen könnten wir nicht existieren oder wären gezwungen, sie mit kostspieligen Aufwendungen notdürftig zu ersetzen.

Ökosysteme reagieren empfindlich auf Umweltveränderungen und passen ihre Funktionen an die veränderten Bedingungen an. Die Klimaänderung ist aber lediglich einer von vielen Einflussfaktoren. Andere ergeben sich beispielsweise durch die steigende Nachfrage nach Gütern, die Zerstückelung der Landschaft oder den Eintrag von Schadstoffen. Diese Einflüsse gefährden einige Ökosysteme, fördern andere oder verändern ihre Funktion. Wegen der starken Verknüpfung mit unserer Wirtschaft werden grosse sozio-ökonomische Auswirkungen dieser Veränderungen vorausgesagt.

In vielen Fällen ist es schwierig, die Ursache von Veränderungen in Ökosystemen zu finden und die Bedeutung der Klimaänderung zu quantifizieren. Gerade in der Schweiz gibt es kaum unbeeinflusste Landökosysteme. Die grossen Veränderungen in der Landnutzung haben zum Beispiel die Artenvielfalt im Mittelland bereits stark verändert, weshalb der Einfluss der Klimaänderung der letzten Jahrzehnte kaum feststellbar ist. Die Wirkung der Klimaänderung auf Ökosysteme ist zudem regional unterschiedlich.

Änderungen in Feuchtgebieten, Seen und in den Alpen:

Feuchtgebiete werden von der Klimaänderung in erster Linie über Veränderungen des Wasserhaushaltes beeinflusst. Der direkte Einfluss der Temperaturveränderung

ist weniger wichtig. Als Folge der Klimaänderung werden in den meisten Feuchtgebieten ein niedrigerer Wasserstand oder längere Trockenperioden erwartet.

Seen können je nach Art und Grösse besonders empfindlich auf Klimaänderungen reagieren. Zu den möglichen Folgen gehören die Erwärmung des Wassers, die Abnahme der Eisbedeckung, die Abnahme des Sauerstoffgehalts des Tiefenwassers und die erhöhte Nährstoff- und Sedimentzufuhr aus dem Einzugsgebiet. Auf der Nordhalbkugel sind die Seen heute durchschnittlich fast 20 Tage weniger lang eisbedeckt als Mitte des 19. Jahrhunderts. Dies hat u.a. Auswirkungen auf die biogeochemischen Kreisläufe, den Sauerstoffgehalt und damit auf das Angebot an Lebensräumen für Fische. In den Binnengewässern sind Kaltwasserfische heute weniger häufig als vor 30 Jahren.

Prognosen, wie die Klimaänderung die Nährstoffverhältnisse in Seen verändern wird, sind oft widersprüchlich. In Seen der gemässigten Zone könnte die Klimaerwärmung den Austausch zwischen Oberflächenschicht und Tiefenwasser verkleinern. Dies würde vor allem in kleinen Seen vermehrt zu Überdüngung führen.

In den Ökosystemen der Alpen haben menschliche Einflüsse wie die vermehrte Nutzung durch Landwirtschaft und Tourismus sowie erhöhte Stickstoffeinträge zum Teil Auswirkungen von ähnlicher oder gar grösserer Bedeutung als diejenigen einer Klimaänderung.

Land- und forstwirtschaftliche Produktion ändert sich:

Sofern alle Bodennährstoffe ausreichend vorhanden sind, erhöht eine Zunahme der atmosphärischen CO₂-Konzentration, zusammen mit wärmeren Temperaturen und erhöhten Niederschlägen, den Ertrag vieler landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. In kühleren Regionen verlängert sich zudem die Vegetationsperiode. In trockenen Gebieten ergibt sich eine fördernde Wirkung aus der verbesserten Ausnutzung des verfügbaren Wassers durch die Pflanzen.

Diese positive Wirkung kann durch andere Faktoren wieder eingeschränkt werden: Die gleichzeitige Einwirkung von Luftschadstoffen (z.B. Ozon) und zunehmender UV-B-Strahlung oder Veränderungen im Nährstoff- und Wasserhaushalt der Agrarökosysteme dürften die Ertragssteigerungen begrenzen oder in selteneren Fällen gar in ihr Gegenteil umkehren. In einem wärmeren Klima steigen das Risiko für verschiedene Pflanzenkrankheiten und der Konkurrenzdruck durch Unkräuter in Ackerkulturen. Wärmeliebende Arten könnten sich ausbreiten, beispielsweise Gräser subtropischen Ursprungs mit geringerem Nährwert für Tiere, oder vermehrt holzige Pflanzenarten. Eine Zunahme des Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnisses der Pflanzen, verbunden mit einer Abnahme des Proteingehalts, steigert den Insektenbefall. Eine Zunahme der Windgeschwindigkeit und der Niederschlagsintensität fördert die Bodenerosion und damit den Verlust von Nährstoffen und senkt die Bodenfruchtbarkeit.

Auch die Qualität der landwirtschaftlichen Produkte ist von der Klimaänderung und der Zunahme der atmosphärischen CO₂-Konzentration betroffen. Beispielsweise sinkt der Proteingehalt von Weizen, wodurch sich die Backqualität von Weizenmehl verschlechtert. Ebenso sinkt die Futterqualität von Wiesen, weshalb die Wiederkäuer mehr Methan, ein Treibhausgas, produzieren.

Ökonomische Auswirkungen in Land- und Forstwirtschaft:

Ökonomisch wird die Landwirtschaft der Industrienationen weniger betroffen sein als diejenige von Entwicklungsländern, da die Industrieländer eher über die Mittel für die erforderlichen Anpassungen verfügen. Die Reaktion der Weltmarktpreise auf eine Klimaänderung lässt sich noch kaum abschätzen. Tendenziell wird erwartet, dass eine Zunahme der Temperatur um mehr als 2.5°C einen Preisanstieg bewirken würde, was sich positiv auf die Schweizer Inlandproduktion auswirken könnte.

Zu den möglichen Anpassungsstrategien der Holzwirtschaft gehören Intensivierung und Extensivierung, Zwangsnutzungen sowie die Anpflanzung neuer, klimatisch geeigneter Baumarten. In einem Gebirgsland wie der Schweiz dürfte die damit verbundene Kostenfrage im Vordergrund stehen. Gemäss neueren Holzmarktstudien wird das globale Holzangebot durch die Klimaänderung zunehmen. Dies würde zu sinkenden Holzpreisen führen, was sich positiv für die Konsumenten, unter den jetzigen forstökonomischen Bedingungen aber negativ für die Holzproduzenten auswirken dürfte.

Die Artenzusammensetzung ändert sich:

Die Klimaänderung führt zu einer Verschiebung geeigneter Lebensräume einzelner Arten. Eine Verschiebung ganzer Ökosysteme in klimatisch günstigere Gebiete wird wegen der unterschiedlichen Toleranz der einzelnen Arten gegenüber veränderten Bedingungen nicht erwartet. Vielmehr ist mit einer Veränderung der Artenzusammensetzung am ursprünglichen Standort wegen neuer Konkurrenzverhältnisse zu rechnen.

Wegen der Klimaänderung werden auf Wiesen und Weiden andere Arten dominieren als bisher. Ähnliches gilt für die Artenzusammensetzung der Wälder. Beispielsweise könnten Laubbäume natürlich wachsende Nadelbäume verdrängen. Verschiebungen in der Zusammensetzung und Struktur von Wäldern verlaufen langsam und nicht linear mit dem Temperaturanstieg. Im Gebirge wird die potentiell durch Bäume besiedelbare Fläche grösser, da die klimatische Baumgrenze steigen wird.

Struktur und Artenzusammensetzung von Feuchtgebieten verändern sich hauptsächlich durch die unterschiedliche Fähigkeit der Arten, sich an trockenere Verhältnisse anzupassen. Es ist auch damit zu rechnen, dass auf mehr feuchten Standorten infolge Austrocknung neu Bäume einwachsen werden. Die lokale Artenvielfalt nimmt dadurch nicht unbedingt ab, wohl aber die landschaftliche Vielfalt.

Tiere und Pflanzen weichen in die Höhe aus:

Für die Tierwelt ist das Klima ein wichtiger Regulierungsfaktor. Zusammen mit anderen Einflussfaktoren wie der Nutzung, Verschmutzung und Zerstückelung von Lebensräumen sowie der Ausbreitung exotischer Arten beeinflussen Temperatur und Niederschlag das Ausbreitungsgebiet der Tierarten, die Verteilung geeigneter Lebensräume innerhalb des Ausbreitungsgebiets und die Struktur der Artengemeinschaften. Viele Studien deuten darauf hin, dass die Schnelligkeit der schon beobachtbaren Klimaänderung für Vögel und Wildtiere einen zusätzlichen Stressfaktor darstellt. Bei vielen Arten liessen sich bereits Veränderungen als Folge der bisherigen Klimaänderung nachweisen, z.B. eine Verschiebung des Ausbreitungsgebiets in höhere Breiten und in höher gelegene Regionen oder eine Verschiebung der Brutzeiten. In Europa wird eine Verschiebung des Ausbreitungsgebiets von Schmetterlingen und Vögeln beobachtet.

In den Alpen wird die räumliche Verschiebung einzelner Arten als Anpassung an die Klimaänderung nicht nur durch natürliche Barrieren wie etwa Bergkämme behindert, sondern vermehrt auch durch die Zerstückelung der Landschaft. Innerhalb eines Tales können sich einzelne Arten kleinräumig durch Ausweichen in die Höhe an eine Klimaänderung anpassen. Insgesamt wird die Klimaänderung die Zerstückelung und den Verlust an Lebensräumen vor allem in den Alpengebieten wahrscheinlich beschleunigen. Für das Überleben besonders empfindlich reagierender Arten könnte die Schaffung von naturbelassenen Verbindungsgebieten zwischen verschiedenen Höhenstufen entscheidend sein. Es ist jedoch zu befürchten, dass mehrere alpine Arten nur begrenzt ausweichen können, so unter anderem die heutigen Gipfelbewohner.

Verminderte Schutzfunktion der Ökosysteme:

Als Folge der Klimaänderung wird der Rückgang der Gletscher und des Permafrosts in den Bergen anhalten. Der Rückgang des Permafrosts in den Alpen wird zu einer Abnahme der Hangstabilität und einer Zunahme der Häufigkeit und des Ausmasses von Steinschlag und Murgängen führen. Infolge der Klimaänderung könnte in dafür anfälligen Gebieten (in der Schweiz Tessin und Wallis) die Waldbrandgefahr zunehmen. Inwiefern die Schutzfunktion der Bannwälder in den Bergregionen vollständig aufrechterhalten bleibt, falls starke Änderungen in der Artenzusammensetzung von Gebirgswäldern auftreten, ist zurzeit noch unklar.

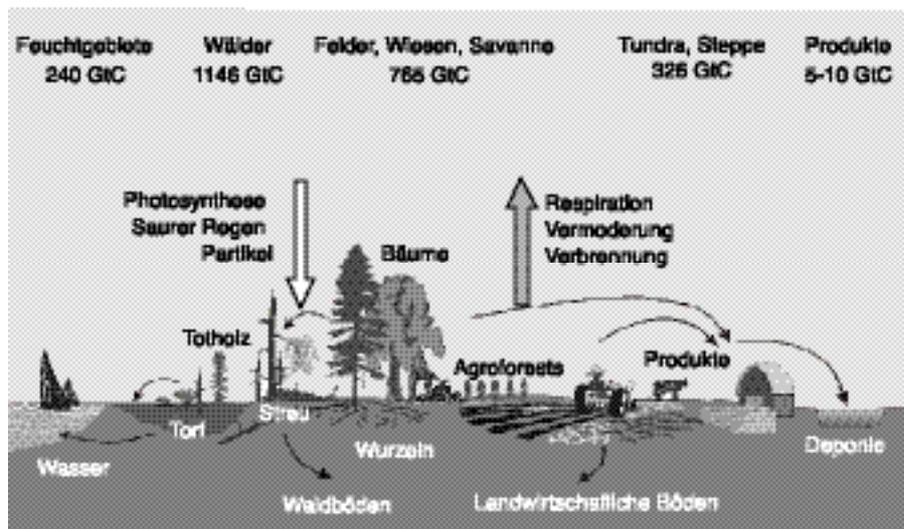


Abbildung 9: Landökosysteme als Motor des globalen Kohlenstoffkreislaufes: Durch Photosynthese entnehmen die Pflanzen CO₂ aus der Atmosphäre (weisser Pfeil) und binden den Kohlenstoff in organischem pflanzlichem Material ein. Pflanzen und Tiere setzen diesen durch die lebensnotwendige Veratmung oder Respiration (grauer Pfeil) wieder frei. Kohlenstoffvorräte der Atmosphäre und der Ökosysteme in GtC.

2.3. Veränderung des CO₂-Senkenpotentials

In Landökosystemen sind grosse Mengen Kohlenstoff gespeichert. Wegen der Klimaänderung ist kurzfristig mit einer Zunahme der Senkenwirkung zu rechnen. Über längere Zeiträume können sich die Ökosysteme aber auch wieder in Kohlenstoffquellen verwandeln.

Kohlenstoffsenken:

Ein Ökosystem, das mehr CO₂ aufnimmt, als es an die Luft abgibt, wird als Kohlenstoffsenke bezeichnet. Eines, das mehr CO₂ verliert, als es aufnimmt, ist eine Kohlenstoffquelle. Durch menschliche Aktivitäten, insbesondere durch Veränderungen in der Landnutzung, bei denen ursprüngliche Waldgebiete in landwirtschaftliche Nutzflächen umgewandelt werden, wird der Kohlenstoffspeicher der Landökosysteme global verändert. Die CO₂-Bilanz eines natürlichen Ökosystems im Gleichgewicht ist ungefähr ausgeglichen.

Landökosysteme sind bedeutende Kohlenstoffspeicher und unter günstigen Bedingungen Kohlenstoffsenken. Insbesondere Wälder und Feuchtgebiete speichern sehr grosse Mengen an Kohlenstoff. In Landökosystemen sind ungefähr 2500

GtC gespeichert, davon rund 500 GtC in der Vegetation und 2000 GtC in den Böden. Die Erdatmosphäre enthält derzeit rund 760 GtC in der Form von CO₂ (Abbildung 9). Da die Landökosysteme viel Kohlenstoff enthalten und zudem jährlich riesige Mengen umsetzen, führt dies zu Rückkopplungseffekten, die sich auf den CO₂-Gehalt der Atmosphäre auswirken. Die genaue Auswirkung der Temperaturerhöhung auf die CO₂-Bilanz von Wäldern und Feuchtgebieten ist jedoch noch nicht genügend geklärt, da gleichzeitig gegenläufige Prozesse wirken, zum Beispiel eine erhöhte Produktivität bei gleichzeitig erhöhter Bodenatmung.

Grünlandböden:

Unter günstigen Voraussetzungen stellen Grünlandböden eine Kohlenstoffsенke dar. In kühlen Regionen und höheren Lagen ist der Kohlenstoffvorrat des Bodens besonders gross. Im Falle einer Temperaturzunahme wird der Abbau der organischen Substanz im Boden jedoch beschleunigt. Dadurch sinkt der Kohlenstoffvorrat und die Ertragsfähigkeit der Böden nimmt langfristig ab.

Wald:

Der Gesamteffekt einer Temperaturerhöhung auf die CO₂-Bilanz der Wälder wird nur ungenügend verstanden, da Felduntersuchungen an ausgewachsenen Bäumen sehr kostspielig und technisch schwierig durchzuführen sind. Begasungsexperimente zeigen nach einigen Jahren eine Abnahme der Kohlenstoffaufnahme von Waldbeständen bei erhöhten atmosphärischen CO₂-Konzentrationen. Verschiedene Effekte wie eine erhöhte Wachstumsrate oder eine höhere Streuproduktion klingen mit der Zeit ab. Diese Resultate werden durch andere experimentelle Untersuchungen aber nur zum Teil bestätigt.

Die grossräumigen Untersuchungen am globalen Kohlenstoffkreislauf sprechen hingegen eine deutliche Sprache: In mittleren Breiten, in denen sich auch die Schweiz befindet, sind die Wälder insgesamt zurzeit starke Kohlenstoffsенken, und das erst noch mit wachsendem Trend (1990er Jahre 2.3 GtC). Sie vermögen sogar die grossen Mengen an Kohlenstoff, die infolge Rodungen in den 1990er Jahren in den Tropen freigesetzt wurden (1.6 GtC), zu kompensieren. Als mögliche Ursache für die grosse Senkenwirkung gilt hauptsächlich die im letzten Jahrhundert stetig zurückgegangene Nutzung; aber auch Düngungseffekte durch die um 30% angestiegenen atmosphärischen CO₂-Konzentrationen, menschverursachte, luftverfrachtete Stickstoff-Ablagerungen und klimatische Effekte könnten mitverantwortlich sein.

Feuchtgebiete:

Die Auswirkung der Klimaänderung auf die Treibhausgas-Bilanz von Feuchtgebieten, die in nördlichen Breitengraden riesige Kohlenstoffvorräte in Form von Torf speichern, ist ebenfalls unklar. Wärmere und trockenere Verhältnisse reduzieren infolge tieferen Wasserstandes die Emissionen von Methan, beschleunigen aber den Torfabbau (CO₂-Freisetzung). Gleichzeitig kann jedoch CO₂ durch zunehmende Bewaldung wieder vermehrt gebunden werden. An weiterhin nassen Standorten können höhere Temperaturen und höhere atmosphärische CO₂-Konzentrationen die Methanemissionen erhöhen. Die mit der landwirtschaftlichen Nutzung verbundene Entwässerung führt zum Torfabbau und verwandelt Moore in CO₂-Quellen und (teilweise) Lachgas-Quellen. Dieser Effekt wird bezüglich Treibhauswirksamkeit nicht durch die reduzierten Methanemissionen kompensiert.

2.4. Gesundheit

Die Klimaänderung wird sich auf die Gesundheit der Bevölkerung auswirken. Wärmere Sommer und häufigere Hitzewellen führen in gemässigten Klimazonen zu mehr Todesfällen. Bekannte gesundheitliche Auswirkungen der Luftverschmutzung werden durch die Klimaänderung wahrscheinlich noch verstärkt. Zudem verändern sich Verbreitung und Häufigkeit von Infektionskrankheiten.

Die unerwünschten Auswirkungen der Klimaänderung auf die Gesundheit werden voraussichtlich die erwünschten insgesamt überwiegen und in tropischen und subtropischen Ländern am ausgeprägtesten sein. Aber auch in Europa (und der Schweiz) wird die Klimaänderung die Gesundheit der Bevölkerung beeinträchtigen. Abwehrstrategien im Bereich der öffentlichen Gesundheit könnten die Auswirkungen mildern.

Mögliche Abnahme der Gesamtsterblichkeit:

Untersuchungen in Europa haben gezeigt, dass bei einer Erhöhung der Sommertemperaturen die Gesamtsterblichkeit zunimmt. Mehrere Studien dokumentieren eine Zunahme der Sterblichkeit während Hitzewellen. Dabei sind die meisten Todesfälle auf Herz-Kreislauf-, Hirngefäss- und Atemwegserkrankungen zurückzuführen. Am stärksten betroffen sind ältere Personen sowie die städtische Bevölkerung. Mildere Wintermonate und weniger Kältewellen lassen vor allem in gemässigten Klimazonen eine Abnahme der Sterblichkeit erwarten. Insgesamt ist in gemässigten Klimaregionen wie der Schweiz wegen der Abnahme der Todesfälle durch Herz-Kreislaufkrankungen im Winter eine Abnahme der Gesamtsterblichkeit möglich. Über längere Zeit ist eine Anpassung der Bevölkerung an höhere mittlere Temperaturen möglich.

Mehr gesundheitsschädigende Luftschadstoffe:

Mehr heisse Tage führen zu einer Zunahme der Emissionen von flüchtigen Kohlenwasserstoffen und zu vermehrter Bildung von Sekundärschadstoffen wie bodennahem Ozon. Für Europa wird eine Zunahme der Grundbelastung von bodennahem Ozon vorausgesagt. Es gibt Hinweise darauf, dass hohe Temperaturen die bekannten gesundheitsschädigenden Wirkungen des Ozons und anderer Luftschadstoffe auf den Menschen verstärken.

Temperaturinversionen, welche in der Schweiz häufig im Winter auftreten und oft mit Hochnebel verbunden sind, führen zu erhöhten Schadstoffkonzentrationen im Unterland und folglich zu gesundheitlichen Schäden. Wie die Klimaänderung solche Inversionslagen beeinflusst, ist allerdings schwierig vorherzusagen.

Die Klimaänderung wird wahrscheinlich auch in der Schweiz das jahreszeitliche Auftreten von durch Pollen ausgelösten Krankheiten, wie beispielsweise Heuschnupfen, verschieben. Aber auch Quellen von Innenraum-Allergenen, wie Milben, Schimmelpilze und Küchenschaben, sind klimaempfindlich und ihr zeitliches Auftreten könnte sich verändern.

Leicht erhöhtes Risiko von Infektionskrankheiten:

Insekten und Zecken können Überträger von Infektionskrankheiten sein. Das Klima beeinflusst ihre Verteilung und Populationsdichte sowie ihre Entwicklung, aber auch das Vorkommen von Wirtspflanzen und Wirtstieren. Die Klimaänderung könnte die Dauer der Übertragungssaison von Zecken verlängern sowie deren Verbreitung in höhere Lagen und nördlichere Breitengrade erleichtern. Fliegen, Schaben und Nagetiere können Träger von Krankheiten sein, die über Nahrungs-

mittel unter den Menschen verbreitet werden. Durch die Klimaänderung könnten ihre Verteilung und Aktivität beeinflusst werden. Wärmeres Klima zusammen mit nicht angemessener Nahrungsmittelverarbeitung und -aufbewahrung könnte zu einer Zunahme nahrungsmittelbedingter Infektionen führen.

In Osteuropa, wo die Verschlechterung des Gesundheitssystems bereits zum erneuten Auftreten von Malaria geführt hat, könnte die Klimaänderung das Malariarisiko weiter erhöhen. Ebenso könnte sich in südlichen Regionen Europas das aktuelle, kleine Malariarisiko erhöhen. In der Schweiz, wie im restlichen Nord- und Westeuropa, machen die existierenden Strukturen des Gesundheitswesens sowie das Fehlen geeigneter Brutgebiete ein lokales Wiederauftreten von Malaria unwahrscheinlich. Mit der Zunahme internationaler Reisen wird aber in allen europäischen Ländern eine stetige Zunahme von importierten Malariafällen beobachtet.

Gesundheitliches Potential der Klimapolitik

Die Klimaänderung wirkt sich langfristig auf die Gesundheit aus. Klimapolitik kann aber sofortige gesundheitliche Vorteile bringen, da Treibhausgasemissionen eng mit der lokalen Luftverschmutzung zusammenhängen.

Verbrennungsprozesse in Industrie und Verkehr sind die wichtigsten CO₂-Quellen der Schweiz. Sie belasten gleichzeitig die Luft mit Schadstoffen wie Stickoxiden, Feinstäuben, Kohlenmonoxid und im Sommer mit Ozon. Diese Luftverschmutzung verursacht Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen. An Tagen mit höheren Schadstoffbelastungen steigen die Sterberaten in der Schweiz, und Spitaleinweisungen, Arztbesuche und Absenzen am Arbeitsplatz nehmen zu. Im grossen Schweizer Forschungsprojekt SAPALDIA wurde nachgewiesen, dass die Lungenfunktion schlechter wird, je höher die langfristige Schadstoffbelastung am Wohnort ist. Menschen mit schlechter Lungenfunktion haben eine tiefere Lebenserwartung.

Klimapolitische Massnahmen, welche sowohl CO₂ als auch die übrigen Schadstoffe aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe reduzieren, sind aus gesundheitspolitischer Sicht besonders attraktiv. Dies sind beispielsweise Tempolimiten, Förderung von Fahrzeugen mit niedrigem Energieverbrauch und emissionsfreie Motortechnologien sowie die Umlagerung des Schwerverkehrs von der Strasse auf die Schiene. Höhere Preise für Benzin und Diesel können indirekt die Verbreitung verbrauchsarmer Fahrzeuge fördern. Während der direkte Nutzen der Klimapolitik von langfristiger und globaler Natur sein wird, bewirkt die Verbesserung der Luftqualität bereits kurzfristig und lokal in der Schweiz eine Abnahme der gesundheitlichen Schäden.

Das gesundheitliche Potential der Klimapolitik hängt von den ergriffenen Massnahmen ab. Regelungen, welche ausschliesslich die Reduktion von CO₂-Emissionen bezwecken, bringen unter Umständen keinen gesundheitlichen Nutzen oder könnten sogar zu zusätzlichen Schäden führen. Beispielsweise produzieren Dieselfahrzeuge zwar etwas weniger CO₂ als Benzinmotoren. Mit der heutigen Technologie stossen sie aber weiterhin mehr gesundheitlich relevante Feinstäube und potentiell krebserregende Stoffe aus. Ähnliche Widersprüche könnten sich durch die Isolation von Bauten zur Verbesserung der Energieeffizienz ergeben, falls durch die verminderte Frischluftzufuhr eine Zunahme gesundheitsschädigender Stoffe in den Innenräumen erfolgt.

Es ist wichtig, klimapolitische Massnahmen im Gesamtzusammenhang zu beurteilen. Eine integrative nachhaltige Verkehrspolitik birgt das grösste Potential für die gleichzeitige Erfüllung der Ziele einer nachhaltigen Klima- und Gesundheitspolitik. So bringt die Kombination der verkehrspolitischen Massnahmen wie Förderung des öffentlichen und kombinierten Verkehrs, Raumplanung, Temporeduktion, intelligente Verkehrsleitsysteme und gezielte Förderung von Velofahrern und Fussgängern nicht nur klimapolitischen Nutzen, sondern optimiert gleichzeitig den Nutzen für die Gesundheit. Vor diesem Hintergrund kommt umfassenden Strategien wie beispielsweise dem Schweizerischen Aktionsplan Umwelt und Gesundheit hohe Bedeutung zu.

PD Dr. med. et PhD Nino Künzli

Im südlichen Europa könnte das Dengue-Fieber wieder auftreten, da die Verbreitung des Überträgers, einer Mückenart, durch die Klimaänderung erleichtert würde. Das Infektionsrisiko für Leishmaniose könnte für Mensch und Hund zunehmen, wenn der Überträger, eine Sandfliege, sich durch die Klimaänderung vom Mittelmeerraum her weiter nach Norden ausbreitet.

Reduktion fossiler Brennstoffe nützt der Gesundheit:

Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen gesundheitsschädigende Luftschadstoffe, ozonschädigende Substanzen und klimawirksame Treibhausgase. Eine Reduktion der Verbrennung fossiler Brennstoffe zugunsten des globalen Klimas bringt daher so genannt sekundäre Nutzen, da gleichzeitig die Ozonschicht und die Gesundheit der Bevölkerung profitieren. Eine weltweite Reduktion der Feinstaubkonzentrationen in der Aussenluft gemäss dem Kyoto-Protokoll würde im Vergleich zu einem *Business-as-usual*-Szenario (Entwicklung geht unverändert weiter) bis 2020 weltweit 700'000 vorzeitige Todesfälle pro Jahr verhindern. Durch den Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien, insbesondere Wind- und Solarenergie, könnten gleichzeitig die Treibhausgasemissionen reduziert und der Gewinn für die Gesundheit der Bevölkerung maximiert werden.

2.5. Versicherungswesen und Finanzsektor

Die volkswirtschaftlichen und versicherten Schäden durch wetterbedingte Naturkatastrophen haben global stark zugenommen. Im Finanzsektor sind vor allem die Versicherungen betroffen. Für das erhöhte Schadenpotential sind primär Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum, Besiedlung von Risikogebieten sowie lokale Umweltfaktoren verantwortlich. Ein klarer Zusammenhang zwischen wachsenden Schäden und Klimaänderung lässt sich noch nicht herstellen.

Volkswirtschaftliche und versicherte Schäden sind stark angestiegen:

Seit den 1960er Jahren sind die jährlichen volkswirtschaftlichen Schäden aus Naturkatastrophen real um einen Faktor 7.9 und die versicherten Schäden um einen Faktor 13.6 angestiegen (Abbildung 10). Weltweit beliefen sich die wetterbeding-

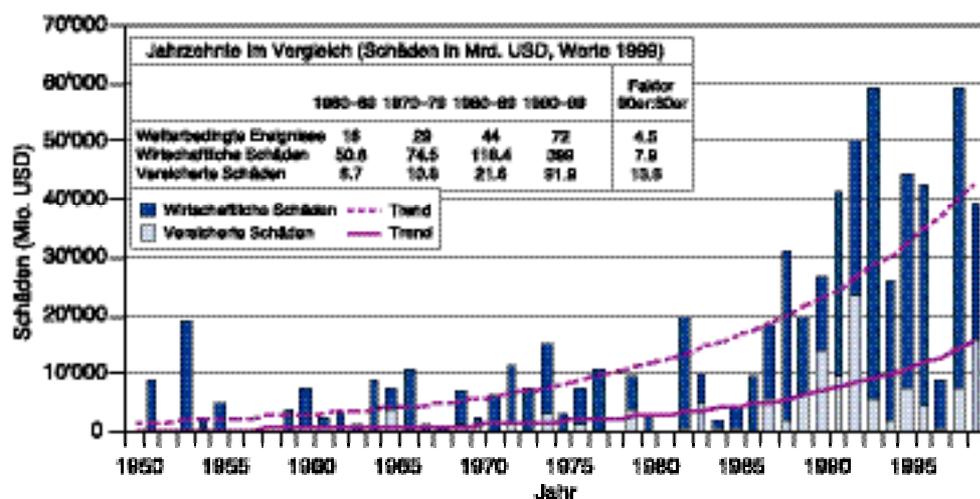


Abbildung 10: Gesamtwirtschaftliche und versicherte Verluste. Seit den 1960er Jahren sind die jährlichen gesamtwirtschaftlichen Verluste aus Naturkatastrophen real um einen Faktor 7.9 und die versicherten Verluste um einen Faktor 13.6 angestiegen.

Klimaänderung und Entwicklungsländer: Eine zusätzliche Herausforderung

Die zukünftigen *Auswirkungen der Klimaänderung auf Entwicklungsländer* sind auf beängstigende Weise absehbar, auch wenn sie vor dem Hintergrund der rasant ablaufenden sozioökonomischen und ökologischen Veränderungen und der daraus resultierenden immensen Probleme eine nur untergeordnete Rolle spielen mögen. Probleme ergeben sich vor allem deshalb, weil dieser Teil der Erdbevölkerung nur wenig Möglichkeiten zur Anpassung hat und folglich am verwundbarsten ist.

Einfluss der Entwicklungsländer auf das Klima: Die Mitverantwortung der Entwicklungs- und der Schwellenländer für die globalen Klimaänderungen steht heute ausser Zweifel, auch wenn diese Länder gemäss Kyoto-Protokoll in der ersten Verpflichtungsperiode noch nicht zu den Verminderungsstrategien beitragen müssen. Wegen des starken Bevölkerungswachstums und des steigenden pro-Kopf-Verbrauchs an fossilen Energieträgern wird diese Verantwortung noch zunehmen. Hinzu kommen massive Landnutzungsänderungen mit damit gekoppeltem CO₂-Ausstoss. Der globale netto CO₂-Ausstoss durch veränderte Landnutzung wird zwischen 1980 und 1990 auf 1.7 Gt C/Jahr geschätzt und entspricht etwa 1/4 der Emissionen durch die Nutzung fossiler Energien. Er stammt fast ausschliesslich von der Abholzung tropischer Feucht- und Trockenwälder, bei denen es sich im Prinzip um regenerierbare Ressourcen handelt. Die grossflächige Abholzung von Wäldern in den Tropen verringert zudem den Wasserkreislauf und die Niederschläge in der Region und beeinflusst möglicherweise das globale Klima. Meist sind die Landnutzungsänderungen verbunden mit einem Verlust an Biodiversität und mit einer drastischen Abnahme des Humusgehaltes im Boden. Die Auswirkungen reichen daher weit über die Frage der Klimaänderung hinaus.

Rolle der Entwicklungsländer bei der Stabilisierung: Der Einbezug der Kohlenstoffsenken im Kyoto-Protokoll im Rahmen des „Clean Development Mechanism“ beinhaltet auch Opportunitäten für Entwicklungsländer, vor allem in Bezug auf Transferleistungen der industrialisierten Staaten. Industrieländer werden aber nicht umhin kommen, die Verbrennung ihrer fossilen Energieträger möglichst rasch mit nachhaltigeren Systemen zu substituieren. Nur so werden sich die Entwicklungsländer motivieren lassen, diese ebenfalls zu adoptieren.

Verantwortung der Industrienationen: Die Probleme der Entwicklungsländer betreffen indirekt auch die Industriestaaten. Einerseits sind sie verpflichtet, den Entwicklungsländern in Notsituationen zu helfen. Andererseits könnte der Einwanderungsdruck aus den Krisengebieten zunehmen. Unter anderem muss in den betroffenen Regionen das Verständnis und Bewusstsein für die Veränderungen und die notwendigen Verhaltensänderungen gefördert werden. Ohne landeseigene Kompetenz und Kooperation mit der ländlichen Bevölkerung werden aber deren Anpassungs- und Vermeidungsanstrengungen kaum greifen. Darum ist auch eine umfassende, integrale Forschungszusammenarbeit in Partnerschaft mit Entwicklungsländern unumgänglich, deren Finanzierung vor allem die Industrieländer werden leisten müssen.

Prof. Hans Hurni

ten Schäden zwischen 1985 und 1999 auf 707 Mrd. USD. Nur ein Bruchteil dieser Summe war versichert. Die Stürme Lothar und Martin von Dezember 1999 verursachten den Versicherungen Westeuropas – inklusive der Schweiz – Kosten von ungefähr 8.4 Mrd. USD und forderten 140 Todesopfer.

Die Zunahme der wetterbedingten Schäden hat verschiedene Ursachen. Sozioökonomische Trends (Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum; Besiedlung von Risikogebieten) und lokale Umweltfaktoren (Abholzung; Überbauung) sind primär verantwortlich für die Erhöhung des Schadenpotentials.

Überwälzen des Risikos auf die Kunden und den Staat:

Eine Zunahme wetterbedingter Naturkatastrophen hätte spürbare Auswirkungen auf die Sach- und Rückversicherungsbranche. Trotz einer wahrscheinlichen Zunahme von Krankheits- und Todesfällen sind die Bereiche Lebens- und Krankenversicherung weniger stark von der Klimaänderung betroffen. Für das Bankenwesen sind die direkten Auswirkungen durch wetterbedingte Naturkatastrophen bei genügender Verteilung des Risikos wohl relativ gering.

Versicherungen reagieren auf höhere Schadenrisiken, indem sie ihre Prämien erhöhen, den Selbstbehalt der Kunden erhöhen, den Deckungsgrad heruntersetzen oder die Erneuerung von Policen verweigern. Das Risiko wird dadurch auf die Kunden und den Staat verlagert. Rückversicherungsprämien reagieren ähnlich auf erhöhtes Risiko. Dies erlaubt der Branche zwar, ein angemessenes Verhältnis zwischen Risiko und Ertrag zu bewahren, aber aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist eine solche Strategie ungenügend. Längerfristig muss die potentielle Reduktion des privatwirtschaftlichen Versicherungsschutzes als Signal verstanden werden, verstärkte Massnahmen zur Risikoverminderung zu ergreifen (z.B. revidierte Bauvorschriften) oder aber sich aus Risikogebieten zurückzuziehen.

Eine Herausforderung für die Entwicklungspolitik:

Entwicklungsländer werden ungleich stärker von Naturkatastrophen betroffen als Industrieländer, und der Versicherungsschutz ist ungenügend. Obwohl zwischen 1985 und 1999 43% der volkswirtschaftlichen Schäden bedingt durch Naturkatastrophen arme Länder (Jahreseinkommen kleiner als 9360 USD.) betreffen, fliessen nur 8% der Versicherungszahlungen in diese Länder. In Afrika und Asien decken Versicherungen nur gerade 4 bis 7% der wetterbedingten Schäden, verglichen mit 27 bis 30% in Europa und den USA. Naturkatastrophen werfen den Entwicklungsprozess dieser Länder oft um Jahre oder gar Jahrzehnte zurück. Die Aussicht auf vermehrte Naturkatastrophen ist deshalb nicht zuletzt auch eine Herausforderung für die Entwicklungspolitik und die westlichen Entwicklungsorganisationen.

2.6. Siedlungsgebiete, Energieverbrauch und Tourismus

Der Einfluss der Klimaänderung auf den menschlichen Lebensraum dürfte in der Schweiz vorwiegend indirekt durch Einwanderung aus stark betroffenen Gebieten, Versorgungsunterbrüche und steigende Versicherungsprämien zu spüren sein. Die Entwicklung des Energieverbrauchs als Folge der Klimaänderung ist unsicher. Im Tourismussektor wird vor allem der Wintertourismus betroffen sein.

Siedlungsgebiete sind indirekt betroffen:

Im Vergleich zu Küstengebieten oder ariden und semiariden Regionen scheint die Schweiz wesentlich weniger durch direkte Folgen der Klimaänderung gefährdet zu sein. Ausnahmen sind häufigere Stürme, Überschwemmungen in den Flusstälern sowie Erdbeben in den Alpen und Voralpen wegen Starkniederschlägen und des Rückgangs des Permafrosts. Indirekte Auswirkungen der Klimaänderung könnten jedoch wesentlich gewichtiger sein. Beispielsweise könnte die Versorgung mit lebenswichtigen Gütern, wie Energieträger und Nahrungsmittel, vom Weltmarkt zeitweilig wegen Liefer- und Transportschwierigkeiten unterbrochen werden. Der Einwanderungsdruck aus stark betroffenen Gebieten könnte zunehmen, und der Kostendruck auf Eigentümer von Bauten könnte wegen der Schadenversicherungen steigen.

Unsichere Entwicklung des Energieverbrauchs:

Die Klimaänderung wird Auswirkungen auf den Energieverbrauch haben. Der Bedarf an Heizenergie im Winter dürfte abnehmen, jener für die Kühlung im Sommer zunehmen. In den milden Wintern in Europa zwischen 1988 und 1990 ist der Energiebedarf um 2% gesunken. Gemäss einer Studie würde sich bei einem Temperaturanstieg von 4.5°C in Nordeuropa der Stromverbrauch für Kühlung im Sommer mehr als verdoppeln. Der Energiebedarf der Schweiz wird auch in Zukunft

durch die Gesamtheit der gesellschaftlichen Faktoren bestimmt. Die Auswirkungen einer Erwärmung auf den Energieverbrauch lassen sich nicht zuverlässig abschätzen.

Wintertourismus betroffen:

Von der Klimaänderung wird auch der Wintertourismus betroffen sein. Gemäss einer Studie würde bei einem Temperaturanstieg von 3°C die Schneegrenze im Winter um 300 bis 400 m steigen, und es gäbe unter 1200 m keine kontinuierliche Schneebedeckung mehr. Wegen der kürzeren Saison würden der Bedarf an Kunstschnee und die Nachfrage nach einem Angebot an alternativen Aktivitäten steigen. Es ist anzunehmen, dass der Wintertourismus auf andere Destinationen ausweichen wird.

Wechselwirkungen zwischen Tourismus und Klimaänderungen

Es ist hinlänglich bekannt, dass im Tourismus die natürlichen Faktoren wie Landschaft, Wasser, Schnee oder Wetter eine zentrale Bedeutung haben. Dies mag der hauptsächliche Grund dafür sein, dass im Zusammenhang mit der aktuellen Klimadiskussion der Tourismus oft als Betroffener klimarelevanter Prozesse dargestellt wird. Viele touristische Attraktionen und Aktivitäten sind tatsächlich stark von den bestehenden klimatischen Verhältnissen abhängig. Klimaänderungen wirken sich somit bedeutend rascher auf den Tourismus aus als auf das Alltagsleben. Dabei stehen folgende Aspekte im Vordergrund:

Die steigende Schneefallgrenze: Sie ist die in der Schweiz wohl am häufigsten diskutierte Konsequenz einer möglichen Klimaänderung. Anstatt 85% der heutigen Skigebiete könnten für die Zukunft nur noch rund 60% als schneesicher bezeichnet werden. Während der Wintertourismus in den zentralen Alpenregionen (Wallis, Graubünden) auch in einer wärmeren Zukunft nur geringfügig gefährdet ist, muss in den Voralpen mit einer Vielzahl von bedrohten Skigebieten gerechnet werden.

Das Abschmelzen der Gletscher: Die Gletscher würden im Alpenraum bei den prognostizierten Erwärmungen stark schmelzen. Damit verliert der Sommertourismus eine der wichtigsten Attraktivitäten. Kleinere, nicht sehr hoch gelegene Gletscher dürften ganz verschwinden, grössere stark schrumpfen.

Das Auftauen der Permafrostböden: Der Permafrost stabilisiert in steilen Berglagen Schutt und Geröll. Durch das Auftauen des Permafrosts steigt das Risiko von Steinschlag, Rutschungen und Murgängen. Da viele Fundamente von Masten und Stationen der Bergbahnen sowie von Lawinenverbauungen im gefrorenen Geröll verankert sind, steigt zudem die Notwendigkeit, die Fundamente kostspielig zu erneuern.

Die Veränderung von Flora und Fauna: Veränderungen in der Vegetation wirken sich auch auf das Landschaftsbild aus. Da einerseits das Landschaftsbild, die Flora und die Fauna sehr wichtige Angebotselemente sind, andererseits durch eine Beeinträchtigung der Schutzfunktion Ängste bei den Touristen geschürt werden, sind Auswirkungen auf den Tourismus zu erwarten.

Das Ansteigen des Meeresspiegels: Vom Anstieg des Meeresspiegels durch die wärmebedingte Volumenausweitung wäre insbesondere der Badetourismus betroffen. Überflutete Sandstrände würden vielerorts die hauptsächliche Attraktivität für Badeferien beeinträchtigen.

Diese nicht abschliessende Aufzählung zeigt, dass die Klimaänderungen die Grundlagen des Tourismus gefährden. Den Tourismus jedoch nur als betroffene Branche darzustellen, wäre zu einfach. Zwar ist die Datenlage zum Tourismus als Verursacher der Klimaänderung eher dünn, doch ist hinlänglich bekannt, dass Mobilität zentrale Voraussetzung des Tourismus ist. Untersuchungen belegen, dass der Anteil des freizeitmotivierten Verkehrs der Schweizer und Schweizerinnen rund 60% des gesamten Personenverkehrsvolumens ausmacht. Die hohen Wachstumsraten im Luftverkehr und die verstärkende Wirkung von Wasserstoff und Stickoxid in den grossen Höhenlagen führen dazu, dass der Luftverkehr zu einem zentralen Klimafaktor avanciert. Das geflügelte Wort der „Zerstörung des Tourismus durch den Tourismus“ hat eine neue Dimension erhalten.

Prof. Hansruedi Müller