

Der globale Klimawandel: Ursachen, Auswirkungen und Maßnahmen

von *Wolfgang Seiler*

Das globale Klima hat sich in den letzten hundert Jahren signifikant und für jeden nachvollziehbar verändert. Die Temperatur hat in diesem Zeitraum im globalen Mittel um mehr als 0,7°C zugenommen. In Süddeutschland und im nördlichen Alpenraum ist die mittlere Temperatur in den vergangenen 30 Jahren sogar um ca. 1,5°C angestiegen. Noch wichtiger sind die Veränderungen der Niederschlagsmengen, die einen maßgeblichen Einfluss auf die durch den Klimawandel verursachten Schäden haben.

Diese Entwicklung wird sich in den nächsten 30 Jahren fortsetzen. In Süddeutschland werden die Temperaturen im Jahresmittel mit großer Wahrscheinlichkeit um weitere 2°C zunehmen. Die schon heute zu beobachtende saisonale Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in das Frühjahr wird sich weiter verstärken. Der Sommer wird damit in Süddeutschland immer wärmer und trockener, während der Spätwinter und das Frühjahr bei gleichzeitig zunehmenden Temperaturen immer feuchter werden.

Große Sorgen bereiten die meteorologischen Extremsituationen wie z.B. Stürme, Trockenperioden und Starkniederschläge, die u. a. für die in den letzten Jahrzehnten beobachtete Zunahme von Windbruch, Dürren, Murenabgängen und Überschwemmungen verantwortlich waren. Die Häufigkeit und Intensität dieser Extremsituationen werden in der näheren Zukunft weiter zunehmen und damit das Ausmaß der in jüngster Vergangenheit aufgetretenen erheblichen ökologischen, ökonomischen und sozialen Schäden noch weiter vergrößern.

Auch wenn zweifelsfrei noch Unsicherheiten in unserem Verständnis über das Klimasystem bestehen, können wir es in Hinblick auf die zu erwartenden Auswirkungen nicht verantworten, noch länger mit der Umsetzung umfangreicher und länderübergreifender Maßnahmen zum Klimaschutz zu warten. Da sich eine weitere Klimaänderung nicht mehr vermeiden lässt, dürfen sich diese Maßnahmen nicht nur auf die Vermeidung von CO₂-Emissionen beschränken, sondern müssen auch Anpassungsstrategien enthalten, um uns und die nachkommenden Generationen vor den unvermeidbaren Auswirkungen einer weiteren Klimaänderung zu schützen.

Die Klimaentwicklung in den letzten 140 Jahren

Zweifelsfrei hat sich das Klima in den letzten hundert Jahren merklich geändert. Wir befinden uns derzeit inmitten eines umfangreichen globalen Klimawandels, der sich auf der regionalen Ebene unterschiedlich vollzieht und mit erheblichen ökolo-

gischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen verbunden ist. Dieser Klimawandel ist für jeden von uns durch den Rückgang der Gletscher, das immer tiefere Auftauen der Permafrostböden im Hochgebirge mit den dadurch ausgelösten Murenabgängen und Steinschlägen, das veränderte Zugverhalten der einheimischen Zugvögel, den immer früheren Austrieb

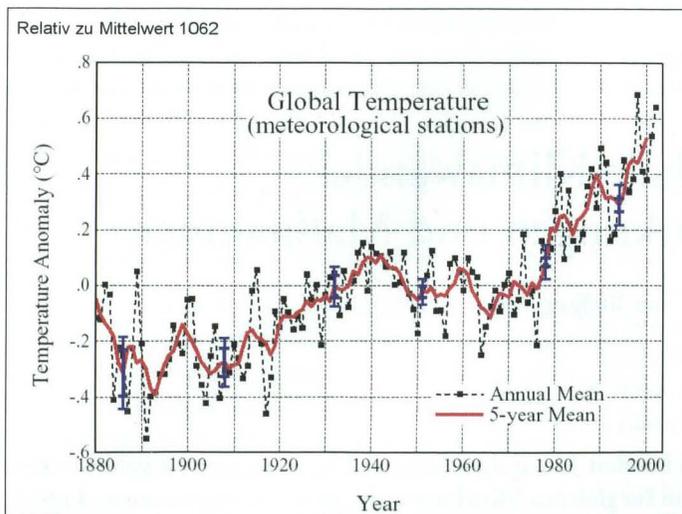


Abb.1: Zeitliche Entwicklung der globalen Jahresmitteltemperaturen an der Erdoberfläche zwischen 1860 und 2002. Dargestellt ist die Abweichung der globalen Jahresmitteltemperatur vom Mittelwert über den Zeitraum zwischen 1961 und 1990.

der Pflanzen, die Verschiebung der Frostgrenze und damit der Vegetationszonen in größere Höhen, aber auch durch die Zunahme von meteorologischen Extremereignissen und die damit verbundenen Folgen wie Überschwemmungen, zunehmende Dürreperioden und Lawinenabgänge unmittelbar zu erkennen und nachzuvollziehen.

Bestes Indiz für den derzeit stattfindenden globalen Klimawandel ist die Veränderung der globalen Jahresmitteltemperatur, die in der Stratosphäre abgenommen, dagegen in der Troposphäre zugenommen hat. Seit Beginn der globalen Temperaturmessungen im Jahr 1860 hat sich die bodennahe Temperatur im globalen Mittel um mehr als 0.6 bis 0.8°C erhöht (Abb. 1). Besorgniserregend ist die Tatsache, dass sich die Zunahme der bodennahen Temperatur in den letzten 30 Jahren beschleunigt hat und laufend zu neuen Rekorden führt. Die Hälfte der in den letzten 140 Jahren gemessenen Temperaturerhöhung, d.h. ca. 0.3 bis 0.4°C, ist im Zeitraum zwischen 1970 und 2000 erfolgt. Die sieben wärmsten Jahre seit Beginn der globalen Temperaturlaufzeichnung in 1860 wurden in den letzten zehn Jahren beobachtet, wobei 1998 das wärmste und 2002 das zweitwärmste Jahr in dieser Zeitperiode war. Diese Entwicklung dokumentiert die Dynamik des z. Zt. stattfindenden

globalen Klimawandels und sollte bereits genügend Anlass zum Nachdenken geben.

Die Zunahme der globalen Temperatur um ca. 0.6 bis 0.8°C mag manchem Leser auf den ersten Blick als relativ unbedeutend erscheinen. Sie gewinnt aber an Bedeutung, wenn berücksichtigt wird, dass die Temperaturdifferenz zwischen der heutigen Warmzeit und der vergangenen Eiszeit gerade einmal ca. 4 °C betragen hat. Dabei ist unberücksichtigt geblieben, dass wegen der Trägheit des Klimasystems erst ein Teil des durch den Menschen bereits verursachten Klimawandels wirksam geworden ist, d.h. eine weitere Temperaturzunahme um nochmals ca. 0.5°C selbst bei Umsetzung aller möglichen Klimaschutzmaßnahmen

in den nächsten Jahren wirksam werden wird. Ein weiterer Klimawandel ist deshalb nicht mehr vermeidbar, sondern kann bestenfalls auf einen noch tolerierbaren Wert begrenzt werden.

Die globale Temperaturerhöhung erfolgt nicht gleichmäßig über den ganzen Erdball, sondern zeigt starke regionale Strukturen, die sich darüber hinaus über die nächsten 50 bis 100 Jahre auch noch zeitlich unterschiedlich entwickeln. Um die Auswirkungen der globalen Klimaänderung auf unseren Lebensraum abschätzen zu können, ist zu bedenken, dass in den letzten Jahrzehnten

- die stärkste Erwärmung zwischen 30° und 70° Nord, also in unseren Breiten, stattgefunden hat,
- sich die Landoberflächen, d.h. die von Menschen bewohnten Gebiete, stärker als die Ozeane erwärmt haben,
- die Wintertemperaturen stärker angestiegen sind als die Sommertemperaturen und
- die Nachttemperaturen wiederum stärker zugenommen haben als die Temperaturen während der Tageszeit.

Die globale und regionale Klimaänderung ist in den letzten Jahren aufgrund der erheblichen ökologischen und sozio-ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels in den Mittelpunkt des öffentlichen

Interesses gerückt. Interessant ist dabei, dass sich die Klimadiskussion nahezu ausschließlich auf die Veränderungen der Temperaturen konzentriert. Die durch den Klimawandel verursachten Änderungen der Niederschlagsmengen und der Niederschlagsintensitäten bleiben dabei in der Regel unberücksichtigt, obwohl gerade diese im Hinblick auf die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels eine dominante Rolle spielen und für viele der mit der Klimaänderung zusammenhängenden Schäden verantwortlich sind.

Diese Tendenz ist umso überraschender als sich die Menge und die Verteilung des Niederschlags während der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts erheblich stärker verändert haben als die Temperatur und in vielen Gebieten der Erde zu erheblichen Problemen in Form von Dürren und Überschwemmungen geführt haben. Die Veränderungen der Niederschlagsmenge weisen eine hohe Heterogenität auf (siehe Abb. 2). In einigen Gebieten hat die Niederschlagsmenge stark abgenommen, in anderen Gebieten hat sie dafür umso stärker zugenommen. In den letzten 50 Jahren ist

- die Niederschlagsmenge in den mittleren und hohen nördlichen Breiten um ca. 0,5 – 1 % pro Dekade angestiegen, dagegen aber in den Subtropen um ca. 0,3 % pro Dekade zurückgegangen sowie
- die Anzahl der Tage mit Starkregen und Extremniederschlägen, selbst in Regionen mit generell abnehmenden Niederschlagsmengen, angestiegen. In nördlichen Breiten hat die Zunahme ca. 2-4% in den letzten 50 Jahren betragen.

Der Alpenraum ist von der globalen Klimaänderung nicht unberührt geblieben. Im Nordalpenraum hat die Temperatur in den letzten 20 Jahren um ca. 1,5°C zugenommen. Im gleichen Zeitraum ist die Niederschlagsmenge im Winter/Frühjahr um etwa 20-30% angestiegen. Im Gegensatz dazu ist die Niederschlagsmenge im Sommer generell um ca. 20% zurückgegangen. Die Schneefallgrenze ist um mehr als 200 m angestiegen und hat zusammen mit der

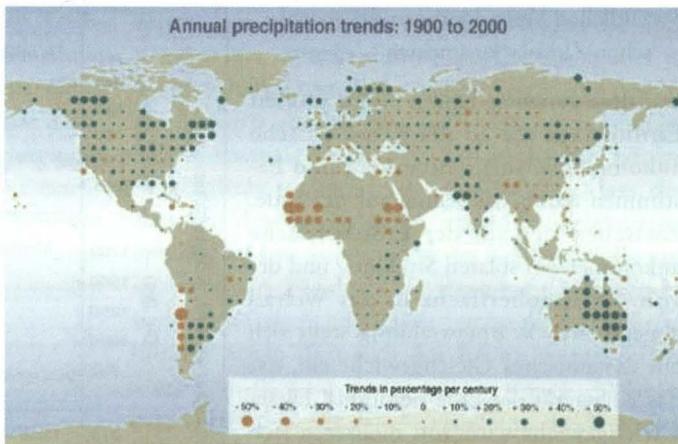


Abb.2: Trend der jährlichen Niederschlagsverteilung in den letzten 100 Jahren. Grüne Punkte bedeuten eine Zunahme, rote Punkte eine Abnahme der Niederschlagsmengen

saisonalen Verschiebung der Niederschlagsverteilung bereits zu erheblichen Problemen im Wintertourismus, vor allem in vielen niedrig gelegenen Wintersportorten geführt. Das Volumen der in den Alpen vorhandenen Gletscher ist um ca. 50% geschrumpft. Dieser Aspekt der Klimaänderung wurde in einer der letzten Ausgaben des Jahresberichts bereits intensiv behandelt und wird deshalb an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

Die Ursachen der Klimaänderung

Welche Prozesse für die beobachtete globale Klimaänderung verantwortlich sind, lässt sich derzeit noch nicht mit absoluter Sicherheit sagen. Ein monokausaler Zusammenhang zwischen Ursache und Klimaänderung ist wegen der Vielzahl der an der Klimaentwicklung beteiligten natürlichen und vom Menschen verursachten Prozesse nicht zu erwarten. Wesentliche, das Klima beeinflussende natürliche Prozesse sind unter anderem die

- Änderungen der Intensität der Sonnenstrahlung aufgrund der zeitlich variierenden Aktivität der Sonne,
- Variationen der Erdbahnparameter, hier insbesondere der Erdumlaufbahn um die Sonne,
- Vulkanausbrüche mit erheblichen Emissionen von Staub und Gasen in die Stratosphäre sowie die

- zeitlichen Veränderungen der ozeanischen Zirkulationsmuster.

Diese Prozesse haben einen großen Einfluss auf die an der Erdoberfläche ankommende solare Strahlung und bestimmen damit das Klima auf der Erde. Zwischen der auf der Erdoberfläche ankommenden solaren Strahlung und der von der Erdoberfläche in das Weltall abgegebenen Wärmestrahlung stellt sich ein dynamisches Gleichgewicht ein, das das Klima auf der Erde bestimmt. Dieses Gleichgewicht wird von mehreren sich zeitlich ändernden natürlichen Klimaprozessen bestimmt, die damit für die in den letzten Millionen von Jahren beobachteten Klimaänderungen, hier insbesondere für den wiederholten Wechsel zwischen den Warm- und Eiszeiten, verantwortlich sind.

In dieses dynamische natürliche Gleichgewicht greift der Mensch durch verschiedene Tätigkeiten, so u.a. durch

- Änderungen der Vegetationsverteilung durch Landnutzungsänderungen (u. a. Landwirtschaft und Waldrodungen),
- vermehrten Einsatz von mineralischen Düngern in der Landwirtschaft und intensive Viehhaltung,
- Bodenversiegelung durch Bau von Häusern, Industriekomplexen und Strassen,
- zunehmenden Einsatz von fossilen Brennstoffen (Kohle, Erdöl und Erdgas) zur Energiegewinnung sowie durch
- industrielle Prozesse (Produktion und Nutzung von Treibgasen, Lösungsmitteln u.a.)

aktiv ein und verändert damit zweifelsfrei das Klima.

Eine wichtige Rolle spielen dabei die klimarelevanten Spurengase, hier insbesondere das Kohlendioxid (CO_2), das Methan (CH_4), das Distickstoffoxid (N_2O), das Ozon (O_3) sowie die voll- und teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Diese Spurengase absorbieren die von der Erdoberfläche abgegebene Wärmestrahlung und verursachen damit eine Erhöhung der Temperatur in der bodennahen Luft-

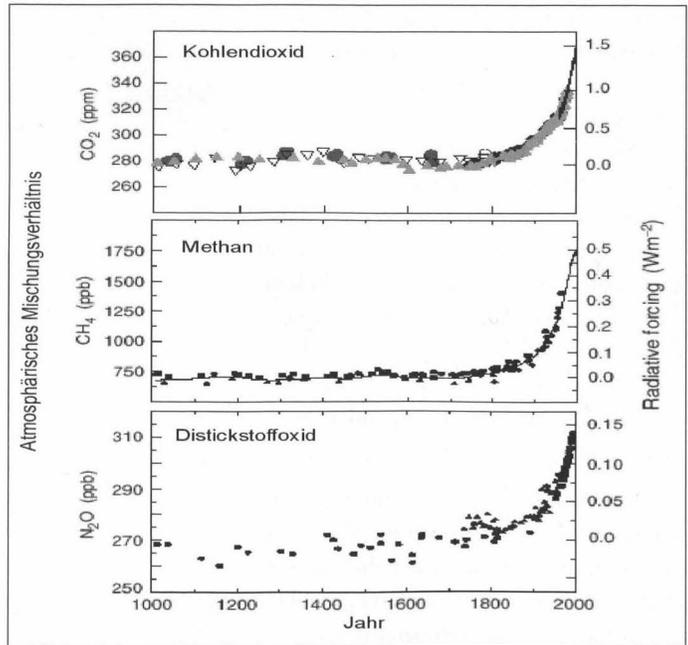


Abb.3: Anstieg der atmosphärischen Konzentrationen von CO_2 , CH_4 und N_2O in den letzten 1000 Jahren. Ergebnisse aus Analysen von Luft-einschlüssen in Eisproben aus der Antarktis und Stationsmessungen.

schicht. Würde die Erdatmosphäre diese Spurengase nicht enthalten, würde sich am Boden hypothetisch eine Temperatur von etwa -18°C einstellen. Die Erde wäre damit ein zu Eis erstarrter Planet, auf dem Leben in der jetzigen Form nicht möglich wäre. In Wirklichkeit liegt die mittlere globale Temperatur in der bodennahen Luftschicht heute aber bei $+15,5^\circ\text{C}$, also um mehr als 33°C über diesem hypothetischen Wert. Diese Temperaturdifferenz macht deutlich, dass Veränderungen der Konzentrationen der klimarelevanten Spurengase in der Atmosphäre zu einem Anstieg der bodennahen Temperatur und damit zu einem Klimawandel führen müssen.

Durch die Analyse von bis zu 450 000 Jahre alten Eisproben aus der Arktis und Antarktis sowie durch Langzeitmessungen an repräsentativen Messstationen, so u. a. auch auf der Zugspitze, konnte nachgewiesen werden, dass die Konzentrationen der zuvor genannten klimarelevanten Spurengase in dem zurückliegenden Jahrhundert aufgrund verschiedener menschlicher Aktivitäten (Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern, Landwirtschaft und Industrie) erheblich zugenommen haben. Die Konzentrationen

dieser klimarelevanten Spurengase (auch als Treibhausgase bezeichnet) sind in den letzten 100 Jahren mit zunehmender Geschwindigkeit angestiegen (Abb. 3) und haben inzwischen Werte erreicht, die nachweislich in den letzten 450 000 Jahren zu keinem Zeitpunkt aufgetreten sind. Dieses Ergebnis macht deutlich, dass der Mensch die Atmosphäre nicht nur im lokalen bzw. regionalen Bereich, sondern auch im globalen Maßstab nachhaltig und mit gravierenden Folgen verschmutzt hat.

Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die relativ lange Verweilzeiten von Kohlendioxid und Distickstoffoxid in der Atmosphäre. Jedes der durch menschliche Prozesse emittierten CO_2 - bzw. N_2O -Moleküle verbleibt ca. 50 bis 120 Jahre in der Atmosphäre, bevor es durch andere Prozesse wieder aus der Atmosphäre entfernt wird. Aufgrund dieser langen Verweilzeiten erfolgt die Zunahme der CO_2 - bzw. N_2O -Konzentrationen in der Atmosphäre stark zeitlich verzögert gegenüber der Zunahme ihrer Emissionen. Wegen dieses Effekts werden die CO_2 - bzw. N_2O -Konzentrationen weiter ansteigen, selbst wenn es gelingen sollte, die Emission dieser beiden Klimagase auf dem heutigen Wert zu stabilisieren. In diesem Fall würden die Konzentrationen dieser Gase in der Atmosphäre erst in ca. 200-300 Jahren einen neuen dynamischen Gleichgewichtswert erreichen, der dann weit oberhalb des heutigen Wertes liegen und damit zu einer weiteren Klimaänderung führen würde. Diese zeitliche Verzögerung zwischen der Änderung der atmosphärischen Konzentration und der Emission von CO_2 bedeutet aber auch, dass eine Stabilisierung der Konzentration von CO_2 als dem wichtigsten Treibhausgas nur erreicht werden kann, wenn die globale CO_2 -Emission drastisch und unmittelbar reduziert wird.

Die vorliegenden Abschätzungen über den Beitrag der menschlichen Aktivitäten zu dem beobachteten Klimawandel sind derzeit noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Basierend auf dem gegenwärtigen, im dritten IPCC-Bericht (2001) zusammengefassten Kenntnisstand ist davon auszugehen, dass der beobachtete Klimawandel in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts nahezu ausschließlich auf die zeitliche Variation der natürlichen Klimapara-

meter, hier insbesondere auf Änderungen der Sonnenaktivität, zurückzuführen ist. Demgegenüber ist die globale Erwärmung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zum größten Teil anthropogen bedingt. Diese unterschiedliche Entwicklung ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass der Anstieg der Emissionen der klimarelevanten Spurengase, hier insbesondere des Kohlendioxids, erst in den letzten 50 Jahren und dann mit zunehmender Geschwindigkeit erfolgt ist (siehe Abb.4). Hinzu kommt noch, dass sich das Klima wegen seiner Trägheit zeitlich um einige Jahrzehnte (ca. 30 Jahre) gegenüber den die Klimaänderung auslösenden Faktoren (in diesem Fall der Konzentrationszunahme von CO_2) verzögert verändert. Gemittelt über die letzten 100 Jahre wird der anthropogene Anteil zum beobachteten Klimawandel auf ca. 70% abgeschätzt.

Die zukünftige Klimaänderung

a) Globale Klimaänderungen

In welchem Umfang und mit welcher Geschwindigkeit sich das Klima in den nächsten Jahrzehnten ändern wird, hängt maßgeblich von der zeitlichen Entwicklung der globalen CO_2 -Emission ab, die wiederum von der Entwicklung des zukünftigen Energieverbrauchs und der Bereitstellung der Energie durch fossile Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) geprägt ist. In der Vergangenheit hat die globale CO_2 -Emission um durchschnittlich 1-2% pro Jahr zugenommen (Abb. 4). Nach Abschätzungen der Internationalen Energieagentur (IEA) wird sich der CO_2 -Ausstoß in den nächsten 30 Jahren von derzeit 25 Mrd. Tonnen CO_2 (oder 6.7 Mrd. Tonnen Kohlenstoff) auf 38 Mrd. Tonnen CO_2 , d.h. um weitere 50% erhöhen und damit zu einem weiteren Anstieg der Konzentration dieses wichtigsten Treibhausgases in der Atmosphäre führen. Der Energieverbrauch und damit auch die CO_2 -Emission verhalten sich wie ein Supertanker, der - einmal in Fahrt gebracht - nicht von einem Moment zum anderen gestoppt werden kann. Die im Kyoto-Protokoll vereinbarten Maßnahmen machen sich deshalb erst mit einer zeitlichen Verzögerung von ein bis zwei Jahrzehnten bemerkbar. Das bedeutet aber auch, dass Maßnahmen zur Emissionsminderung möglichst schnell und

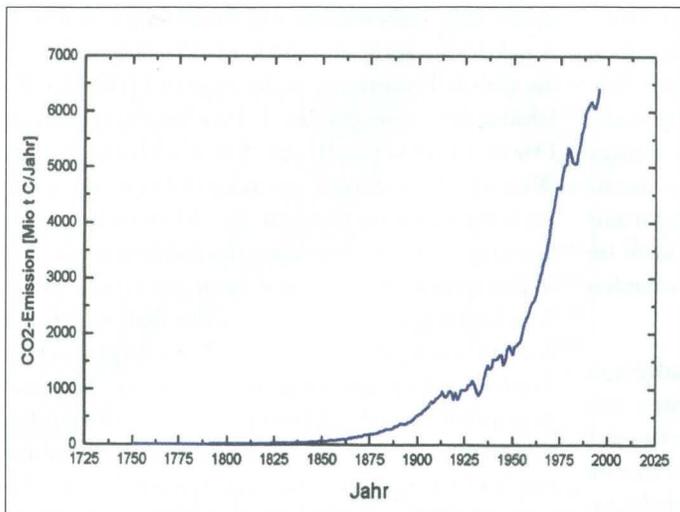


Abb. 4: Globale anthropogene CO₂-Emission durch Nutzung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl und Erdgas)

durchgreifend vorgenommen werden müssen, um die Klimaänderung auf ein noch vertretbares Niveau begrenzen zu können.

Die über das Jahr 2030 hinausgehende Veränderung der CO₂-Emissionen ist von einer Vielzahl unterschiedlicher Parameter abhängig und deshalb auch nur mit großen Unsicherheiten vorhersagbar. Um die weitere Klimaänderung abschätzen zu können, werden Annahmen über die möglichen Entwicklungspfade der Emission von klimarelevanten Spurenstoffen (Gase, Aerosole) gemacht und daraus Szenarien abgeleitet, die dann als Basis für die Berechnungen der globalen Klimaentwicklung verwendet werden. Dementsprechend sind die Aussagen über die möglichen zukünftigen Klimaänderungen mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Diese Unsicherheiten werden noch durch verschiedene natürliche Rückkopplungsmechanismen verstärkt, die jedoch noch vielfach unverstanden sind und deshalb in den Klimaprognosen bisher nicht hinreichend berücksichtigt wurden. Es sind deshalb Überraschungen bei der Abschätzung der zukünftigen Klimaänderungen und ihrer Auswirkungen nicht auszuschließen.

Auf der Basis der im IPCC- Bericht (2002) zusammengefassten CO₂-Emissionsszenarien ist bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mit einer Zunahme der globalen bodennahen Temperatur um ca. 1.4 bis

5.8°C bei einem wahrscheinlichen Wert von ca. 3°C zu rechnen. Neueste Klimaberechnungen, die neue Erkenntnisse über das Verhalten der Biosphäre bei einem sich ändernden Klima und einer ansteigenden CO₂-Konzentration berücksichtigen, deuten darauf hin, dass dieser Temperaturanstieg für die nächsten 100 Jahre eher unterschätzt ist und um ca. 1 bis 2°C gegenüber den oben angegebenen Werten höher ausfallen kann.

b) Regionale Klimaänderungen

Die globalen Temperaturprognosen werden mit Hilfe von Globalen Zirkulationsmodellen (GCM) berechnet, die eine grobe räumliche Auflösung von mehr als 100 mal 100 Kilometern aufweisen und

deshalb für Aussagen über die zukünftige Klimaänderung auf regionaler Ebene ungeeignet sind. Aufgrund dieser unzureichenden räumlichen Auflösung können regionale Gegebenheiten wie z. B. die Lage und Topografie der Alpen, die das hiesige Klima entscheidend prägen, von den globalen Modellen nicht oder nur unzureichend berücksichtigt werden. Die Alpen werden in den globalen Klimamodellen als eine Hochebene mit einer durchschnittlichen Höhe von ca. 1600 m betrachtet. Dass ein derartiges Modell die Niederschlagsverhältnisse im Alpenvorland nicht einmal annähernd richtig berechnen kann, liegt damit unmittelbar auf der Hand.

Um trotzdem die regionalen Auswirkungen der globalen Klimaänderung erfassen und letztendlich geeignete Maßnahmen zur Anpassung an die Klimafolgen ableiten zu können, ist es daher notwendig, die globalen Ergebnisse mit Hilfe besser auflösender Modelle zu regionalisieren. In diesen regionalen Klimamodellen werden die mit Hilfe der globalen Klimamodelle berechneten, grob aufgelösten globalen Klimasignale mit Hilfe statistischer oder physikalisch-dynamischer Verfahren in entsprechende regionale Muster umgesetzt. Eine besondere Herausforderung ist dabei die realistische Simulation der regionalen Niederschlagsverteilung und -menge. Für die Durchführung derartiger regionaler Klimasimulationen wurde am IMK-IFU das regionale Klimamo-

dell MCCM (Multiscale Climate and Chemistry Model) entwickelt. Für Langzeitsimulationen ist das Modell, u. a. durch die Einbindung eines Boden-/Vegetationsmodells, erweitert und dadurch die langfristige Berechnung des Bodenwassergehalts ermöglicht worden.

Mit Hilfe dieses Modells wurde das Klima für Süddeutschland und den Alpenraum für zwei mehrjährige Zeiträume simuliert, welche das gegenwärtige bzw. das in 30 Jahren zu erwartende Klima repräsentieren. Die verwendeten Antriebsdaten stammen aus einer mehrhundertjährigen Simulation mit dem globalen Modell ECHAM4 (Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg). Dieser Simulation der globalen Klimaänderung liegt das CO₂-Emissionsszenario IS92a ('Business as Usual'), das von der realistischen Annahme einer weiteren Zunahme der CO₂-Emission ausgeht, zugrunde. Mit dieser Annahme wird für die nächsten 30 Jahre eine weitere globale Temperaturzunahme von ca. 1.0 bis 1.5°C vorhergesagt.

Für einen Vergleich von Gegenwarts-klima und Zukunftsklima über Süddeutschland wurden die Zeiträume 1991-2000 und 2031-2040 ausgewählt. Bisher sind jeweils 5 Jahre mit dem regionalen Klimamodell MCCM simuliert worden. Die berechneten Temperaturen sind in Abb. 5 unterteilt in Monatsmittel dargestellt. Die für die Jetztzeit berechnete jahreszeitliche Verteilung der Temperatur stimmt recht gut mit den Beobachtungen überein und gibt damit auch einen Hinweis auf die Qualität der Modellergebnisse. Der Vergleich der für die Jetztzeit und für das Jahr 2030 berechneten Werte weist einen durchschnittlichen Temperaturanstieg um etwa 2.5°C aus, der damit um ca. 1.0 bis 1.5°C über dem globalen Temperaturzuwachs für den gleichen Zeitraum liegt. Das bedeutet, dass die Temperatur in unserem Gebiet stärker als im globalen Mittel zunehmen wird.

Die Temperaturzunahme zeigt selbst in dem relativ kleinen Gebiet von Süddeutschland recht unterschiedliche Entwicklungsmuster. Ein gutes Beispiel dafür ist die in Abb. 6 wiedergegebene Differenz der berechneten Temperatur zwischen den Klimazustän-

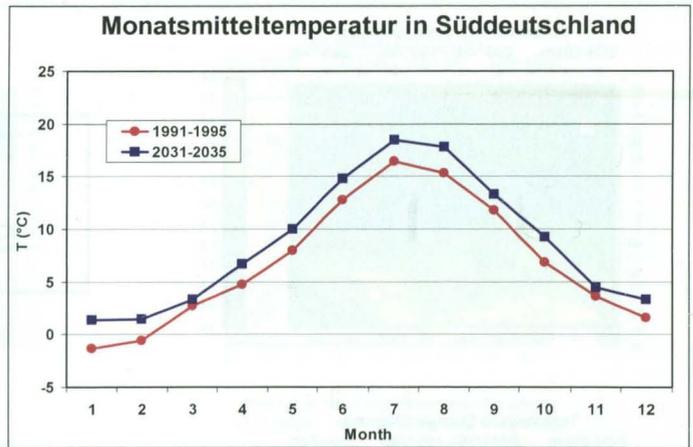
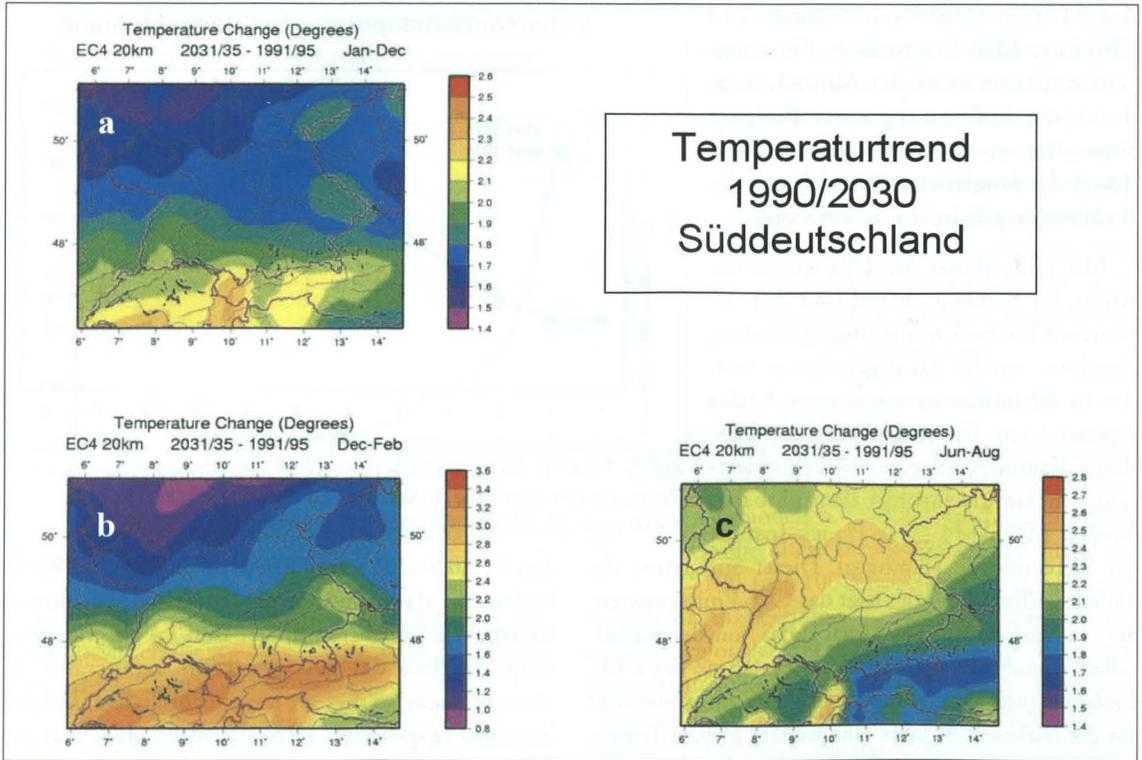


Abb.5: Trend der Monatsmitteltemperatur für den süddeutschen Raum; Dabei gibt die rote Kurve die Verhältnisse der Jetztzeit und die blaue Kurve die in 30 Jahren zu erwartende Temperaturen wieder.

den in 2030-2035 und 1990-1995. Positive Werte bedeuten, dass die Temperaturen zugenommen haben. Wie im oberen linken Bild (a) zu erkennen, steigt die über das Jahr gemittelte Temperatur im alpinen Raum stärker an als im nördlichen Teil des Berechnungsgebietes. Hinzu kommt, dass sich die regionalen Änderungsmuster jahreszeitlich sehr unterschiedlich entwickeln. Im Winter ergibt sich eine von Nord nach Süd zunehmende Erwärmungsrate von weniger als einem Grad nördlich des Mains bis fast 3 Grad im Alpenraum (Abb. 6b). In den Sommermonaten hingegen beträgt der Temperaturanstieg durchweg mehr als 1.8 Grad, wobei das Erwärmungsmaximum im Oberrheingraben und im Maingebiet mit bis zu 2.4 Grad liegt (Abb. 6c).

Eine noch größere räumliche und zeitliche Variabilität ergibt sich für die berechneten Veränderungen der Niederschläge, die in Abb. 7 wiedergegeben sind. Im linken oberen Teil der Abbildung ist die Veränderung der jährlichen Niederschlagssumme wiedergegeben, die im Gegensatz zur globalen Entwicklung nicht ansteigt, sondern im Mittel mit geringen räumlichen Differenzen in ganz Süddeutschland um bis zu 15% abnimmt. Ebenso geht die Anzahl der Tage mit Niederschlag im ganzen süddeutschen Raum zurück. Demgegenüber werden die Tage mit ausgeprägten Starkniederschlägen (mehr als 20 mm pro Tag) generell zunehmen, wobei die größten Zuwächse in Südbaden und am nördlichen Alpenrand zu erwarten sind (vgl. Abb. 7, rechts unten).



Temperaturtrend 1990/2030 Süddeutschland

Abb.6: Simulation der regionalen Klimaänderung für Süddeutschland und den östlichen Alpenraum mit einer räumlichen Auflösung von 20 km für den Zeitraum zwischen 1990 und 2030 und gemittelt über jeweils fünf Jahre. a: Jahresmittel; b: Winter (Dez. bis Febr.); c: Sommer (Juni bis August)

Im Gegensatz zu den Temperaturtrends zeigt die Veränderung der Niederschlagsverteilung einen ausgeprägten saisonalen Trend. Während sich im Sommer der bereits heute abzeichnende Trend zu niedrigeren Niederschlägen weiter verstärkt (Abb. 7, links unten), ist im Frühjahr mit einer deutlichen Zunahme der Niederschläge, hier insbesondere im Nordalpengebiet, zu rechnen (Abb. 7, rechts oben). Mit welchen Unsicherheiten diese Berechnungen behaftet sind, lässt sich derzeit nicht mit Bestimmtheit sagen. Einen Hinweis auf die Qualität der Klimasimulationen geben die Vergleiche der für die Ist-Zeit berechneten Klimagrößen mit den beobachteten Werten. Danach werden in den regionalen Simulationen die aus dem Beobachtungsklima bekannten großräumigen Strömungsmuster recht gut wiedergegeben, allerdings werden die Niederschlagsmengen in den Wintermonaten gebietsweise recht deutlich überschätzt. Zum großen Teil sind diese Defizite schon in den

globalen Antriebsdaten angelegt und können dann vom regionalen Modell kaum noch korrigiert werden. Es ist deshalb zwingend notwendig, die hier dargestellten regionalen Klimaberechnungen unter Nutzung anderer globaler Klimamodelle zu wiederholen und die Ergebnisse zu vergleichen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die hier dargelegten Ergebnisse für die regionale Klimaänderung lediglich auf einem von vielen möglichen anthropogenen Emissionsszenarien basieren und andere denkbare Eingriffe des Menschen in das regionale Klima, u. a. durch Landnutzungsänderungen, gänzlich ignoriert werden. Unberücksichtigt bleiben auch mögliche Rückkopplungsmechanismen wie z.B. mögliche Veränderungen der Vegetation aufgrund der zu erwartenden Klimaänderungen, die z. Zt. noch weitgehend unverstanden sind und daher nicht in den regionalen Modellen berücksichtigt werden können.

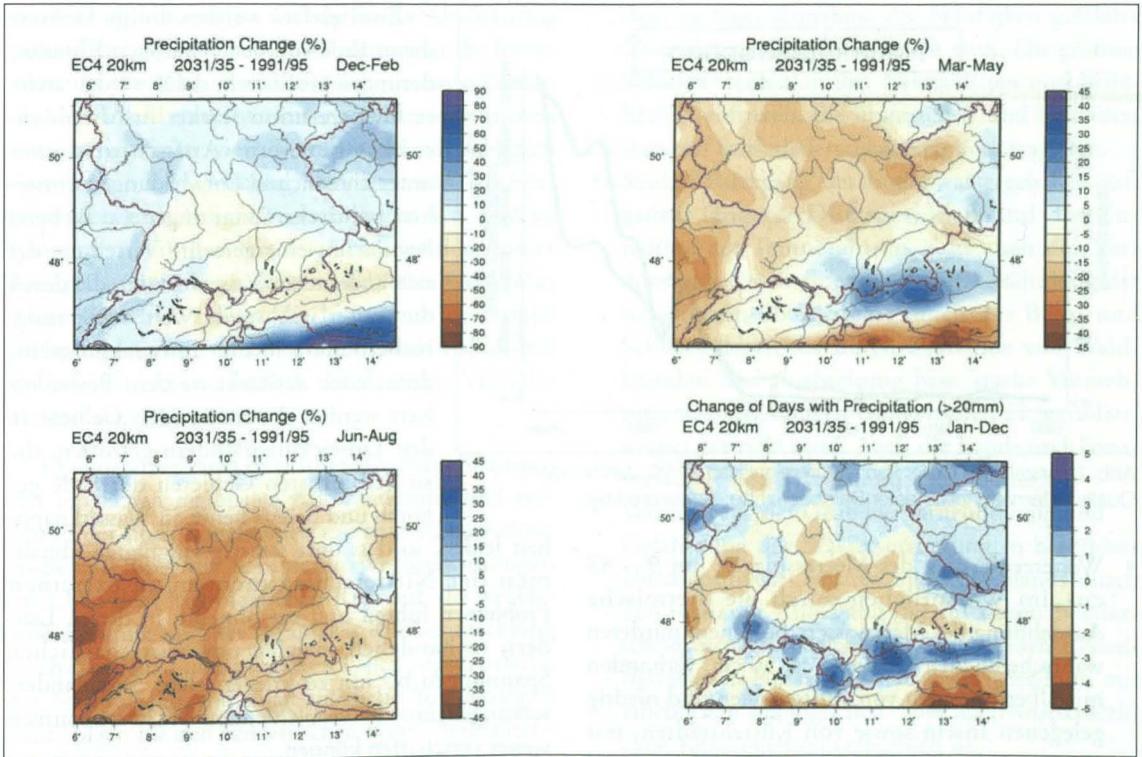


Abb.7: Simulation der Niederschlagsänderung (links oben: Jährliche Veränderung, links unten: Veränderung im Sommer, rechts oben: Veränderung im Frühjahr, rechts unten: Veränderung der Anzahl der Tage mit Starkniederschlägen >20mm)

Mögliche Auswirkungen der Klimaänderung

a) Globale Auswirkungen

Die Auswirkungen des globalen Klimawandels und ihre ökologischen, sozialen und ökonomischen Folgen sind bereits heute deutlich zu erkennen. Durch die Intensivierung des Wettergeschehens und die damit unmittelbar zusammenhängende Zunahme der meteorologischen Extremereignisse haben die Dürren und Hungerkatastrophen, aber auch die Überschwemmungen zum Ende des 20. Jahrhunderts hin stark zugenommen und immer mehr Menschen in Mitleidenschaft gezogen (Abb. 8). Nach den Statistiken der Münchener Rückversicherung haben die dadurch verursachten Schäden überproportional zugenommen und in der zweiten Hälfte des 20. Jh. neue Rekordhöhen erreicht. Insgesamt kamen beispielsweise im Jahre 2001 bei Naturkatastrophen 25.063 Menschen ums Leben. Die gesamtwirtschaftlichen Schäden haben in

den letzten 50 Jahren dramatisch zugenommen und beliefen sich im Jahr 2002 nach Angaben der Münchener Rückversicherung auf insgesamt rd. 55 Mrd. US \$.

Bei der Abschätzung der weiteren Schadensentwicklung ist zu berücksichtigen, dass wir heute in einer Warmzeit mit einer mittleren globalen Temperatur leben, die nachweislich in den letzten zwei bis drei Millionen Jahren nur zweimal um maximal ein Grad Celsius überschritten wurde. Die für die nächsten hundert Jahre erwartete Temperaturzunahme von mehr als zwei Grad Celsius führt damit zu einem Klimazustand, den es in den letzten 2-3 Millionen Jahren nicht gegeben hat und der dementsprechend zu erheblichen und zum Teil nur schwer abschätzbaren Auswirkungen führen wird.

Als globale Auswirkungen einer prognostizierten Klimaänderung mit einer Temperaturzunahme von 2 bis 6°C werden bis zum Ende dieses Jahrhunderts erwartet:

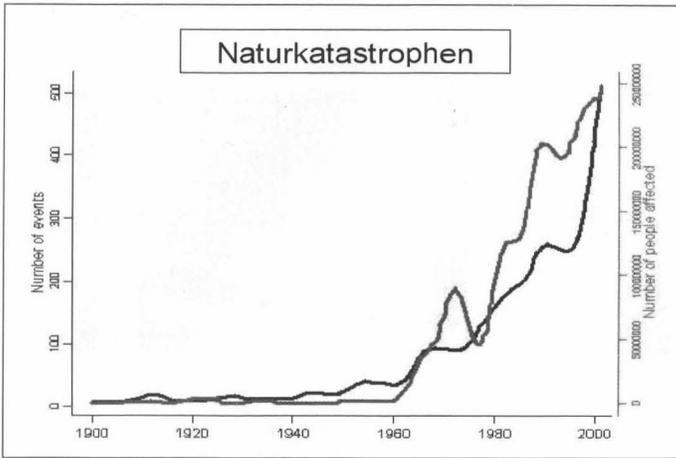


Abb. 8: Anzahl der Opfer von Naturereignissen im 20. Jahrhundert.
Quelle: International Disaster Database (<http://www.cred.be>).

- Weiterer Anstieg des Meeresspiegels um 9 – 88 cm, im Wesentlichen durch die thermische Ausdehnung des Meerwassers, bei einem mittleren wahrscheinlichen Wert von ca. 50 cm, verbunden mit Überflutungen von Küstenzonen und niedrig gelegenen Inseln sowie von Küstenstädten, mit einem erheblichen Verlust von fruchtbaren und dicht besiedelten landwirtschaftlichen Anbaugebieten sowie mit einer Versalzung des Grundwassers und der Böden in Küstennähe;
- Veränderung und Intensivierung der atmosphärischen Zirkulation, verbunden u. a. mit einer Verschiebung der Klima-Vegetationszonen um ca. 150 km pro 1 °C polwärts, einer Verschiebung der Lage und Zugbahnen von Hoch-/Tiefdruckgebieten sowie einer Intensivierung von Orkanen, Tornados und tropischen Wirbelstürmen;
- Intensivierung des hydrologischen Kreislaufs, verbunden mit einer Veränderung der raum-zeitlichen Veränderung von Niederschlag und Verdunstung sowie Auswirkungen auf Oberflächenwasserabfluss, Grundwasserneubildung, Trinkwasserversorgung, Land-/Forstwirtschaft, Ökosysteme;
- Ausbreitung von Infektionskrankheiten wie Malaria, Cholera und/oder Dengue-Fieber in Gebieten, in denen diese Krankheiten aufgrund der vorherrschenden Klimabedingungen bisher nicht aufgetreten sind und Beeinträchtigung der Gesundheit der dort lebenden Menschen.

Zweifelsfrei werden einige Gebiete dieser Erde von den erwarteten Klimaänderungen profitieren, dafür werden andere Gebiete umso stärker in Mitleidenschaft gezogen. Aufgrund dieser unterschiedlichen Entwicklungen entstehen politische Spannungen (z. B. beim Kampf um eine gerechte Verteilung der sich ändernden Wasservorräte), die durch die weiter wachsende Weltbevölkerung, insbesondere in den Entwicklungsländern, noch verstärkt werden. Besonders hart werden die semiariden Gebiete in den Entwicklungsländern getroffen, die zu den ärmsten Gebieten der Erde gehören und bereits heute an Wasserknappheit leiden, so dass dort selbst geringfügige Abnahmen der Niederschlagsmengen zu extremen Problemen führen und die ohnehin in diesen Ländern vorhandenen sozialen und wirtschaftlichen Spannungen bis hin zu kriegerischen Auseinandersetzungen um die verbleibenden Wasserressourcen weiter verschärfen können.

Aufgrund der Globalisierung der Wirtschaft werden sich die Auswirkungen derartiger Auseinandersetzungen nicht auf einzelne Gebiete beschränken, sondern weltweit wirksam werden und damit auch uns in Europa unmittelbar treffen. Die Ereignisse des 11. September 2001 haben in dramatischer Weise gezeigt wie verwundbar unsere hoch technologisierte Volkswirtschaft ist und wie empfindlich die globale Wirtschaft auf derartige Ereignisse reagiert.

Aufgrund der Globalisierung der Wirtschaft werden sich die Auswirkungen derartiger Auseinandersetzungen nicht auf einzelne Gebiete beschränken, sondern weltweit wirksam werden und damit auch uns in Europa unmittelbar treffen. Die Ereignisse des 11. September 2001 haben in dramatischer Weise gezeigt wie verwundbar unsere hoch technologisierte Volkswirtschaft ist und wie empfindlich die globale Wirtschaft auf derartige Ereignisse reagiert.

b) Regionale Auswirkungen

Die regionalen Klimaprognosen sind zwar noch verhältnismäßig unsicher, trotzdem zeichnen sich eindeutige Trends für verschiedene Klimaparameter ab, die für Aussagen über die möglichen Auswirkungen einer weiteren globalen Klimaänderung für einzelne Regionen genutzt werden können. Für den süddeutschen Raum ist generell davon auszugehen, dass der Sommer in den nächsten drei Jahrzehnten immer wärmer und trockener wird, während das Frühjahr durch eine überdurchschnittliche Temperaturzunahme und höhere Niederschläge gekennzeichnet

net sein wird. Besonders wichtig für die Abschätzung möglicher Folgen einer Klimaänderung ist die Intensivierung des Wasserkreislaufs, die mit einer Zunahme der Anzahl und Intensität von meteorologischen Extremereignissen wie z.B. von Starkniederschlägen, Gewittern mit Hagelschlag, aber auch von Trockenperioden und Stürmen verbunden ist. Die so genannten "Jahrhundertereignisse" werden immer häufiger und stärker auftreten und dabei Gebiete in Mitleidenschaft ziehen, die bisher von derartigen Extremereignissen nicht berührt worden sind und deshalb extrem empfindlich auf derartige Veränderungen reagieren werden.

Quantitative Aussagen über die Auswirkungen der möglichen regionalen Klimaänderung sind aufgrund der noch bestehenden umfangreichen Kenntnisdefizite über die komplexen Wechselwirkungen zwischen dem hydrologischen Kreislauf, der Vegetationsdynamik und der regionalen Klimaentwicklung höchst ungenau und in einigen Fällen sogar spekulativ. Nachfolgend sind einige mögliche Auswirkungen und Folgen für den süddeutschen Raum in qualitativer Form und zwar nach Sommer und Winter/Frühjahr unterteilt dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Auswirkungen der Klimaänderung auch stark von den bodenphysikalischen Parametern sowie von den derzeitigen Niederschlagsmengen abhängig sind. Gebiete mit sandigen Böden und/oder niedrigen Niederschlagsmengen sind besonders betroffen.

Mögliche Auswirkungen im Sommer sind:

- Zunahme und Intensivierung von regional begrenzten Hochwassersituationen und zwar (i) durch die Zunahme der Niederschlagsintensität, wie z.B. durch Gewitter mit Hagel, (ii) durch die Zunahme der Häufigkeit von so genannten 5B-Wetterlagen, bei denen Tiefdruckgebiete aus dem Mittelmeerraum in Gebiete nördlich der Alpen ziehen und dort zu intensiven Niederschlägen in begrenzten Gebieten führen und (iii) durch die Beeinträchtigung der Wasseraufnahme des Bodens aufgrund hoher Trockenheit. Aufgrund dieser Prozesse entsteht insofern eine fast paradoxe Situation, als zwar die mittlere Niederschlagsmenge im Sommer abnehmen wird, es aber trotz-

dem zu einer Zunahme der Häufigkeit größerer Überschwemmungen kommen wird. Die größten Schäden werden an den Nebenflüssen und Wildbächen auftreten, die unmittelbar und besonders stark auf Starkniederschlagsereignisse reagieren.

- Starker Rückgang des Bodenwassergehaltes aufgrund längerer Dürreperioden und der Zunahme der Temperaturen, d.h. auch der Verdunstung. Dadurch entsteht eine Gefährdung der naturnahen Ökosysteme (auch der Berg- und Schutzwälder), die durch Zunahme von Waldbränden und Ausbreitung bzw. starke Vermehrung von Schädlingen (Borkenkäfer, Fichtenblattwespe) verstärkt wird. Auch die Land- und Forstwirtschaft sind davon unmittelbar betroffen.
- Verringerung der Grundwasserneubildung und Gefährdung der Wasserversorgung in besonders klimasensitiven Gebieten Süddeutschlands durch den weiteren Rückgang der mittleren Niederschlagsmengen. Gleichzeitig wird vermehrt Niedrigwasser in Flüssen auftreten, was wiederum mit erheblichen ökologischen, aber auch wirtschaftlichen Konsequenzen verbunden ist.
- Zunahme der Überschwemmungen in Wohngebieten durch intensivere Niederschläge, durch die den Abfluss fördernden Veränderungen von Bodenzuständen (u. a. durch die Ausdehnung der bebauten Flächen) sowie durch unzureichend dimensionierte Kanalsysteme, die den verstärkten Wasseranfall nicht mehr aufnehmen können.
- Verstärkte und an Zahl zunehmende Abgänge von Muren und Schlammlawinen durch die Verschiebung der Permafrostgrenze in den Alpen um mehr als 400 Höhenmeter und die gleichzeitige Zunahme von einzelnen extremen Niederschlagsereignissen. Diese Vorgänge werden durch das verstärkte Abschmelzen der Gletscher in mittleren und tiefen Lagen der Alpen und die damit verbundenen Auswirkungen auf das lokale/regionale Klima verstärkt.

Mögliche Auswirkungen im Winter/Frühjahr sind:

- Zunahme der Lawinenabgänge durch intensivere Niederschläge sowie höhere Windgeschwindigkeiten und den damit verbundenen Schneeverfrachtungen, insbesondere im späten Frühjahr.

- Zunahme der Hochwassersituationen durch erhöhte Wasserabflüsse aufgrund höherer Niederschlagsmengen, stärkerer Schneeschmelze und den Abfluss fördernder Bodenzustände.
- Anstieg der Schneefallgrenze um ca. 300-400 Höhenmeter und ein erheblicher Rückgang der Tage mit Schneebedeckung in Höhen von <1200 m. Dadurch erhebliche ökonomische Auswirkungen, insbesondere auf den Wintertourismus.
- Zunahme des Schnee- und Eisbruchs in Bergwäldern und insbesondere in naturfernen Forsten sowie verstärktes Schneegleiten in verlichteten Bergwäldern durch höhere Niederschläge und Nassschnee.

Notwendige Maßnahmen

Angesichts der zu erwartenden Auswirkungen einer weiteren Klimaänderung ist - selbst bei Berücksichtigung der noch bestehenden Unsicherheiten - die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen klimarelevanter Spurenstoffe (klassischer Klimaschutz) zwingend erforderlich. Um die weitere Temperaturzunahme auf einen Wert von 1 bis 2°C zu beschränken, muss die heutige globale CO₂-Emission aus menschlichen Quellen in den nächsten hundert Jahren um mindestens 50% gesenkt werden. Derzeit sind die Industrieländer bei einem Bevölkerungsanteil von ca. 25% für nahezu 70% der weltweiten CO₂-Emission verantwortlich. Würde die lange Verweilzeit des anthropogenen CO₂ in der Atmosphäre berücksichtigt, würde sich dieses Verhältnis für die Industrieländer noch ungünstiger gestalten. Folgerichtig wird von den Industrieländern eine gegenüber dem globalen Wert höhere Emissionsminderung erwartet, die nach heutigen Abschätzungen bei ca. 80% liegt.

Mit dieser Forderung laufen wir insofern in ein für den Klimaschutz folgenschweres Dilemma, als die für den Klimawandel verantwortlichen Industrieländer am wenigsten von den Auswirkungen der Klimaänderungen betroffen sind und deshalb keinem spürbaren Druck ausgesetzt sind, wirksame Maßnahmen zum Klimaschutz zu ergreifen. Demgegenüber haben die von den Klimaänderungen am stärksten betroffenen Entwicklungsländer nahezu keine Möglichkeiten, der globalen Klimaänderung

entgegenzuwirken. Gerade wegen dieser Sachlage und wegen unserer Verantwortung gegenüber den nachkommenden Generationen sind die Industrieländer verpflichtet, ihrer Verantwortung in vollem Umfang nachzukommen.

Viele werden die Forderung nach einer Senkung der CO₂-Emission in den nächsten hundert Jahren um 80% als Utopie betrachten und ihr keine reale Chance für eine Umsetzung geben. Dieser möglichen Auffassung ist zu entgegen, dass bereits heute die für eine deutliche Senkung der CO₂-Emission erforderlichen technischen Gegebenheiten vorhanden sind. Es fehlen lediglich der Wille und der Druck, diese Möglichkeiten schnell und umfassend umzusetzen. Emissionsminderungen können zum Beispiel erreicht werden durch

- rationelle Energienutzung (Energieeinsparung, Kraft-Wärmekopplung),
- Nutzung regenerativer Energiequellen (Wind, Wasser, Sonne, Biomasse),
- Einsatz CO₂-freier Techniken (Wasserstoff, Kernenergie, Fusionsenergie) sowie
- Überprüfung von den Klimaschutz hemmenden Verordnungen und Richtlinien.

Einen "Königsweg", der alle Probleme mit einem Schlag und ohne Mitwirkung des Einzelnen beseitigt, gibt es nicht und wird es auch in der Zukunft nicht geben. Notwendig ist ein Bündel von Einzelmaßnahmen, das an die bestehenden Verhältnisse angepasst ist und in kurzen Zeitabschnitten immer wieder auf seine Wirksamkeit hin überprüft werden muss. Ideologische Hemmnisse müssen dabei "über Bord" geworfen werden und der Forderung nach einer nachhaltigen Entwicklung absoluter Vorrang eingeräumt werden. Eine wesentliche CO₂-Emissionsminderung ist nur möglich, wenn die Politik die richtigen Rahmenbedingungen setzt und finanzielle Anreize für einen bewussten Umgang mit der Energie schafft.

Wegen der nicht mehr vermeidbaren weiteren Klimaänderung und den daraus resultierenden Folgen darf sich die zur Zeit auf dem Klimasektor geführte Diskussion nicht ausschließlich auf die Ergreifung von Maßnahmen für eine umfassende und weltweite Verringerung der Emissionen von kli-

marelevanten Spurengasen (im Rahmen des Kyoto-Protokolls) beschränken, sondern muss in zunehmendem Umfang auch die Definition und Umsetzung von Strategien zur Adaption an die aus der regionalen Klimaänderung resultierenden Folgen beinhalten. Dieses gilt insbesondere für die mit der Veränderung der Niederschläge zusammenhängenden Auswirkungen. Diese Notwendigkeit wird auf politischer Seite noch nicht voll erkannt, muss aber dringend und schnell berücksichtigt werden, wenn rechtzeitig Maßnahmen zum Schutz der Gesellschaft abgeleitet bzw. bereitgestellt werden sollen.

Aufgrund der verheerenden Folgen der Hochwassersituationen der letzten Jahre in Bayern sowie an Rhein, Oder und Elbe konzentriert sich der vorsorgende Klimaschutz nahezu ausschließlich auf den technischen Hochwasserschutz, um Schäden durch künftige Hochwasserereignisse möglichst zu vermeiden. Die derzeit diskutierten Maßnahmen konzentrieren sich dabei auf die

- Stabilisierung und Erhöhung der vorhandenen Staudämme,
- Schaffung von Retentionsflächen zur Vermeidung von Höchstwasserständen und die
- Erhaltung der natürlichen Überschwemmungsgebiete durch ein umfassendes Nutzungsverbot als Siedlungs- und Gewerbegebiete.

Diese Maßnahmen müssen erweitert werden, wenn den Folgen einer sich ändernden saisonalen Niederschlagsverteilung mit einer erwarteten Abnahme der Niederschläge im Sommer und einer Zunahme im Winter entgegengewirkt werden soll. Die Schaffung von zusätzlichen Speicherkapazitäten in Form von Talsperren ist möglicherweise erforderlich, um das "Zuviel" an Niederschlag im Frühjahr zur Vermeidung von Hochwasser aufzufangen und in den zunehmend trockenen Sommern für die Wasserführung der Flüsse und Bewässerung durch die Landwirtschaft wieder zur Verfügung stellen zu können. Zu dieser Vorsorge zählen auch Maßnahmen zu einer besseren Wasserspeicherung in Humus und Böden in den Wäldern.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Entwicklung von operationellen Instrumenten zur kurz-

fristigen Hochwasservorhersage, hier insbesondere für die Nebenflüsse und Oberläufe, sowie für ein optimales Wassermanagement. Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung in Garmisch-Partenkirchen hat dazu in Zusammenarbeit mit den Landratsämtern in Rosenheim und Garmisch-Partenkirchen die ersten Schritte mit Erfolg unternommen.

Schrifttum:

- IPCC-Bericht (2001): „Third Assessment Report on Climate Change: Impact, Adaptation, and Vulnerability“. Cambridge University Press, 1-10032
- MÜNCHNER RÜCK (2001): Jahresrückblick Naturkatastrophen 2000. Topics 8. Jahrgang Münchner Rückversicherungsgesellschaft. München.56 S.
- THEJLL, P., LASSEN, K. (2000): Solar forcing of the Northern hemisphere land air temperature: New data. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 62, 1207-1213.
- WERNER, P. C.; F.-W. GERSTENGARBE; K. FRAEDRICH and H. OESTERLE (2000): Recent climate change in the North Atlantic/European sector. *International Journal for Climatology* 20:463-471.
- ZHOU, L.; TUCKER, C. J.; KAUFMANN, R. K.; SLAYBACK, D.; SHABANOV, N. V. and MYNE-NI, R. B. (2001): Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999, *J. Geophys. Res.*, 106(D17): 20069-20083

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Wolfgang Seiler
Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)
Institut für Meteorologie und Klimaforschung
(IMK-IFU)
Kreuzeckbahnstr. 19
82467 Garmisch-Partenkirchen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt](#)

Jahr/Year: 2004

Band/Volume: [68-69_2003-2004](#)

Autor(en)/Author(s): Seiler Wolfgang

Artikel/Article: [Der globale Klimawandel: Ursachen, Auswirkungen und Maßnahmen 93-105](#)