

Klimaänderungen: Globale Zusammenhänge und Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

Nina Sievers

Hansastraße 38, 24118 Kiel, puntaarabi@gmx.net

1. Einleitung

Es kann keinen Zweifel mehr daran geben, dass sich das Klima im letzten Jahrhundert verändert hat. Auch stellt die Wissenschaft klar heraus, dass der Mensch durch die Emission von Treibhausgasen und durch die Landnutzung stark in das Klimageschehen eingreift. Die Auswirkungen globaler Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt sind dabei eine interessante Fragestellung. Obwohl es noch große Unsicherheiten bei den Analysen der Klimaänderungsszenarien gibt, sind Trends bei Analysen und Modellrechnungen erkennbar (Quelle: (2)).

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick über bereits vollzogene Klimaänderungen und ihre Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu geben und internationale Prognosen und deren vermeidliche Auswirkungen vorzustellen. Um Klimaänderungen und ihre Auswirkungen richtig verstehen zu können, bedarf es zunächst einiger grundlegender Kenntnisse, die im folgenden kurz vorgestellt werden.

2. Klimasystem und Treibhauseffekt

Das Klima wird gewöhnlich als ein Phänomen der Atmosphäre verstanden, es ist jedoch Ausdruck der komplizierten Wechselwirkung von Faktoren vieler "Sphären" wie der Hydrosphäre (Ozean u.a. Gewässer), der Kryosphäre (Eis und Schnee), der Biosphäre (Ozean- und Landvegetation), der Pedosphäre (Boden) und der Lithosphäre (festes Gestein), die zusammen mit der Atmosphäre die Subsysteme des gesamten Klimasystems bilden (s. **Abb.1**). Die interaktiven und häufig nichtlinearen Prozesse in und zwischen diesen Sphären bestimmen zusammen mit der Variabilität der Solarstrahlung das Klima und seine Änderungen. Man kann das Klimasystem als eine riesige Wärmekraftmaschine verstehen, die ihre Energie von der Sonne bezieht. (Quelle: (1))

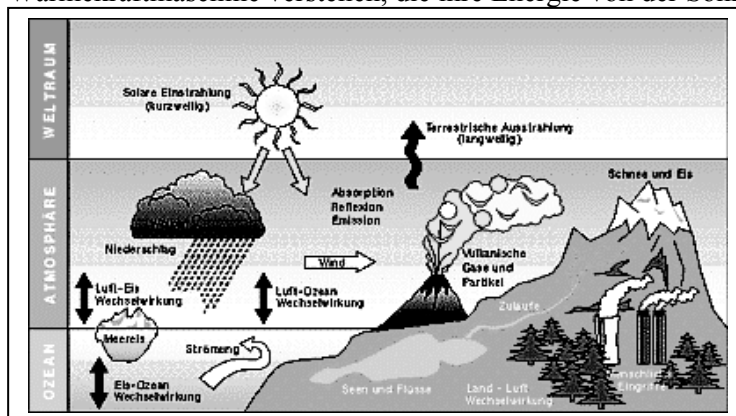


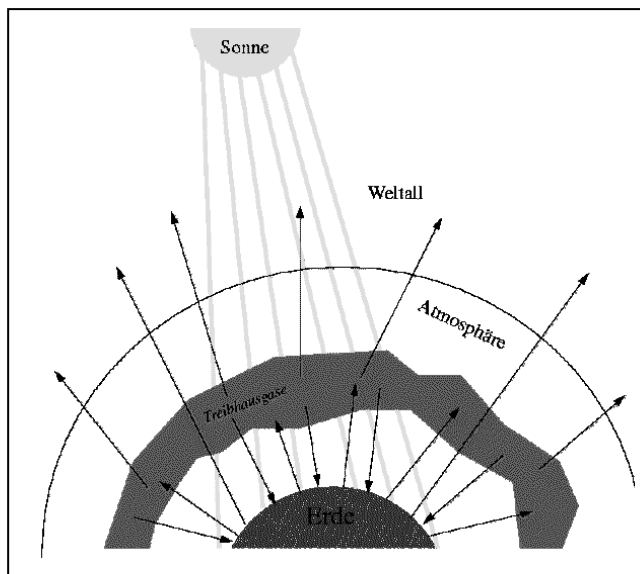
Abb.1: Das Klima und seine Subsysteme (Quelle:Lozàn et al. 1998)

Die bedeutendste Wechselwirkung zwischen den Subsystemen ist für das Klima die zwischen Atmosphäre und Ozean. Luft und Wasser haben verschiedene thermische Eigenschaften. Wasser nimmt Energie nur sehr langsam auf und gibt sie auch sehr langsam wieder ab. Seine Wärmespeicherkapazität ist rund 1000mal höher als, die der Luft.

Es kann daher auf die überlagernde Atmosphäre, aber auch auf benachbarte Landgebiete kühlend oder wärmend wirken.

Der Einfluss der Verteilung von Land und Meer führt zur Unterscheidung von Kontinentalklima, welches im Innern der Kontinente vorherrscht und sich durch warme Sommer, kalte Winter und große Temperaturschwankungen im Tages- und Jahresverlauf auszeichnet und von ozeanischem Klima, das mäßige Sommer, milde Winter und geringe tägliche und jährliche Temperaturschwankungen mit sich bringt.

Das Klimasystem mit all seinen komplexen Wechselbeziehungen wird aber nicht allein an der Erdoberfläche und dem Ozean bestimmt. Unser gegenwärtiges Klima kann man nur verstehen, wenn man den natürlichen Treibhauseffekt der Atmosphäre berücksichtigt (Cubasch und Kasang 2000).



Ohne den natürlichen Treibhauseffekt könnte die Sonne die Erdoberfläche im Mittel nur auf -18°C erwärmen, so dass das meiste Wasser gefroren wäre. Durch dieses Phänomen wird die Erdatmosphäre ähnlich wie die Luft in einem Treibhaus erwärmt. Der Treibhauseffekt wird durch Spurengase, wie Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O), und Ozon (O_3), sowie durch Wasserdampf verursacht. Die Treibhausgase lassen die Sonnenstrahlung fast ungehindert bis zur Erdoberfläche dringen. Die Wärmeabstrahlung der Erde wird dagegen von Treibhausgasen und Wolken zu 90% absorbiert (s. **Abb.: 2**).

Abb.2: Der Treibhauseffekt
(Quelle: (4))

Durch diesen **natürlichen Treibhauseffekt** wird die Erde um etwa 33°C erwärmt, so dass die mittlere Globaltemperatur 15°C beträgt (Fachinformation „Umwelt und Gesundheit“).

Durch menschliche Aktivitäten werden vermehrt Treibhausgase freigesetzt, die sich in der Atmosphäre anreichern und einen **zusätzlichen Treibhauseffekt** verursachen. Die weltweit steigende Treibhausgasemission wird unter anderem zu einer Erhöhung der Temperatur führen. Die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt sind dabei eine wichtige Fragestellung. Obwohl es noch große Unsicherheiten bei den Aussagen der Klimaänderungsszenarien gibt, sind Trends bei Analysen und Modellrechnungen erkennbar.

3. Veränderung der globalen Temperatur

Es ist hinreichend bekannt, dass die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre zunimmt. Das mengenmäßig bedeutsamste dieser Gase ist das CO_2 , dessen Konzentration in den letzten 20 Jahren von 325 auf 355 ppm (parts per million, d.h. 1 Teil Kohlendioxid auf eine Million Teile Luft) angestiegen ist. Die CO_2 - Konzentration in der Atmosphäre und die Temperatur an der Erdoberfläche hängen ursächlich zusammen (Lange&Otterprohl,1997).

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimafragen der Vereinten Nationen (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) stellt 2001 in seinem dritten Sachstandsbericht fest: Im globalen Maßstab stieg die Oberflächentemperatur im Zeitraum 1860 bis 1990 im Mittel um 0,6°C. In Mitteleuropa lag die Temperaturerhöhung sogar bei 1°C. Mit hoher Wahrscheinlichkeit war dies die stärkste Temperaturerhöhung der vergangenen 1000 Jahre. Weltweit war die Dekade von 1990 bis 1999 die wärmste des 20. Jahrhunderts, wobei das Jahr 1998 das wärmste Jahr seit Beginn der systematischen meteorologischen Aufzeichnungen war. Laut IPCC wurde außerdem der größte Teil der globalen Erwärmung in den letzten 50 Jahren durch den Menschen verursacht. (IPCC 2001)

4. Der Gletscherrückgang

Das Verhalten der Gletscher ist ein wichtiger Klimaindikator. Seit Ende der 1960er Jahre hat die Schneebedeckung in den hohen und mittleren Breiten um ca. 10% abgenommen und es wird weltweit ein Rückgang der Gebirgsgletscher festgestellt. Seit 1880 nahmen die Gletschermassen sogar um 50% ab. Bei anhaltendem Trend werden die Ostalpen im nächsten Jahrhundert eisfrei sein. (IPCC 2001)

Das Abschmelzen der Gletscher ist bedingt durch den globalen Temperaturanstieg und gilt als eine der Ursachen für den Anstieg des Meeresspiegels.

5. Der Meeresspiegelanstieg

5.1. Der globale Anstieg

Der globale Meeresspiegelanstieg betrug im letzten Jahrhundert ca. 10 – 20 cm (IPCC 2001). Ursache für diesen Anstieg ist vor allem die thermische Ausdehnung des Meerwassers. Der dadurch verursachte Anstieg wird auf 2-7 cm geschätzt. Als eine weitere Ursache gilt das Abschmelzen von Eis. Das Abschmelzen von **Gebirgsgletschern** trug möglicherweise zu einem Meeresspiegelanstieg von 2-5 cm bei (IPCC 1996).

Der **arktische Eisschild** umfasst ein Gebiet von 12 Mio. km² und ein Volumen von 29 Mio. km³, bei einer mittleren Dicke von 2500m. Sein totales Abschmelzen würde den Meeresspiegel um 68 m steigen lassen. Das **Grönland-Eis** dehnt sich mit einem Volumen von 2,95 km³ und einer mittleren Dicke von 1600 m über ein Gebiet von 1,7 Mill. km² aus und würde beim Abschmelzen den Meeresspiegel um 7,4 m anheben. Alle Gebirgsgletscher und sonstigen Eismassen der Welt könnten noch einen Beitrag von 0,5 m leisten. Der Meeresspiegel würde also durch das Abschmelzen der gesamten Eismasse der Erde um maximal 76 m steigen (IPCC 1996).

Der Beitrag des Arktischen und des Grönland- Eises zum Meeresspiegelanstieg ist schwer abschätzbar, da zum einen nicht genügend Daten vorliegen und man zum anderen nicht weiß, ob diese Eismassen abschmelzen oder durch mehr Niederschlag in Form von Schnee wachsen. Trotz verbleibender Unsicherheiten bei der Abschätzung der Meeresspiegelentwicklung in der Zukunft deuten die Klimamodelle eine besorgniserregende Entwicklung an.

5.2 Die globale Prognose für den Meeresspiegelanstieg

Von bisher knapp 1,5 mm/ Jahr würde als Folge einer 2,5°C- Erwärmung der Meeresspiegel bis 2100 um ca. 5mm/Jahr, also mit der 3-4fachen Rate ansteigen (Quelle:(4)).

Der IPCC rechnet bis zum Jahre 2100 mit einem Meeresspiegelanstieg von 20-86 cm (IPCC 2001). Die Folgen, die eine solche Entwicklung haben kann, sollen im folgenden näher erläutert werden. Ich werde zunächst auf die allgemeine Gefährdung verschiedener Küstenzonen eingehen, um im Anschluss die regionalen Folgen dieser globalen Prognose für Afrika und Süd- Ost- und Südostasien zu skizzieren.

5.3 Die Folgen für gefährdete Küstenzonen

Strände, Riffe und Kliffküsten

Etwa 20% der globalen Küstenlinie besteht aus Sandstränden und anderen sandigen Küstenformen, die primär durch Wellen und Gezeiten geformt werden. Der Rückzug der Strandlinie kann auch durch einen geringen Meeresspiegelanstieg beträchtlich sein. Neben Stränden sind auch andere Küstenformen wie Riffe und Kliffküsten aus weichem Gestein besonders dann gefährdet, wenn der Meeresspiegelanstieg mit einer Zunahme von Stürmen und Sturmfluten verbunden ist.

Deltas

Deltas gehören aufgrund ihrer tiefen Lage zu den gefährdetsten Küstengebieten der Welt. Aufgrund ihrer geringen Erhebung sind sie die Küstengebiete, in denen es zur intensivsten Interaktion von Land und Meer kommt. Dies hat zur Folge, dass die Wirkung von Ebbe und Flut noch viele Kilometer ins Landesinnere hinein spürbar ist. Eine Reihe von menschlichen Aktivitäten wie die Grundwasserentnahme für landwirtschaftliche Bewässerung sowie Dammbauten haben Deltas gegenüber einem Meeresspiegelanstieg höchst sensibel gemacht. So kann bereits ein geringer Meeresspiegelanstieg zu deutlichen Landverlusten am Außenrand des Deltas durch Wellenerosion führen. Hinzu kommt, dass Deltaküsten wegen ihrer langen Küstenlinien schwieriger zu schützen sind als andere Küstenformen; die Kosten für effektive Schutzmaßnahmen werden auf das zwei- bis vierfache geschätzt.

Küstennahe Feuchtgebiete

Küstennahe Feuchtgebiete, wie Salzmarschen, Watten und Mangroven sind aufgrund ihrer Lage zwar einerseits durch einen langfristigen Meeresspiegelanstieg stark gefährdet. Sie sind andererseits jedoch keine passiven Elemente der Landschaft und können durch Sedimentation oder Pflanzenwachstum mit einem langsamen Anstieg des Meeresspiegels vertikal mitwachsen. Dennoch kann ein Anstieg aber auch in manchen Regionen wie dem Mittelmeer- und Ostseeraum zum totalen Verlust solcher Feuchtgebiete führen. Dies hat unter anderem zur Folge, dass wertvolle Laichgebiete für Fische verloren gehen oder Sturmfluten weiter ins Land vordringen können. Doch nicht nur der Anstieg des Meeresspiegels kann Feuchtgebiete dezimieren, sondern auch menschliche Aktivitäten. So sind beispielsweise die schützenden Mangrovenwälder u.a. durch Holzgewinnung in Thailand um 50% reduziert worden (Cubasch und Kasang 2000).

Korallenriffe

Korallenriffe gelten heute neben dem tropischen Regenwald als artenreichster Lebensraum der Erde. Vor allem der Fischreichtum in Korallenriffen ist eine bedeutende Quelle für die Ernährung vieler Küstengemeinden. Etwa 58% der Korallenriffe, in einigen Gebieten Südostasiens sogar über 80%, sind durch menschliche Aktivitäten wie industrielle Entwicklung, Umweltverschmutzung, Tourismus

und Verstädterung, Überfischung und Korallenabbau stark gefährdet. Es wird angenommen, dass gesunde Korallenriffe mit dem prognostizierten Meeresspiegelanstieg Schritt halten werden, für geschädigte Riffe in den dicht bevölkerten Regionen Südasiens, Ostafrikas und der Karibik ist dies weniger klar. Viele Riffe leiden bereits heute unter der zunehmenden Temperatur der Ozeane und durch die erhöhte UV-Strahlung aufgrund der Ausdünnung der Ozonschicht. Temperaturanomalien von 3°C über mehrere Monate können zu einem verstärkten Absterben der Korallen führen. (Quelle: (3)).

Küsten in hohen Breiten

In höheren Breiten werden die Küsten vielerorts durch dauerhaft gefrorenen Boden (Permafrost) und Meereis vor Erosion durch Wellen geschützt. Bereits heute hat z.B. in der Beaufort See im nordwestlichen Kanada, die Temperaturerhöhung schon zu verstärkter Küstenerosion geführt, welche durch eine weitere Temperaturerhöhung verbunden mit einem Meeresspiegelanstieg verstärkt wird. Der Permafrost wird durch einen Temperaturanstieg lokal beseitigt und so die Stabilität sandiger Küsten stark gefährdet . Des weiteren wird die winterliche Periode mit erosionsschützender Meereisbedeckung verkürzt und durch den Meeresspiegelanstieg wird die Küste bei Sturm durch den Wellengang verstärkt angegriffen (Quelle: (3)).

5.4 Die regionalen Folgen der globalen Meeresspiegel- Prognose

Wenn, wie prognostiziert, der Meeresspiegel bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um 20 bis 86 cm ansteigt, wird dies auch regional einige weitreichende Konsequenzen haben, die im folgenden erläutert werden. Die **Abb.3** zeigt die durch Überflutung gefährdeten Küsten bei einem Meeresspiegelanstieg von 38 cm.

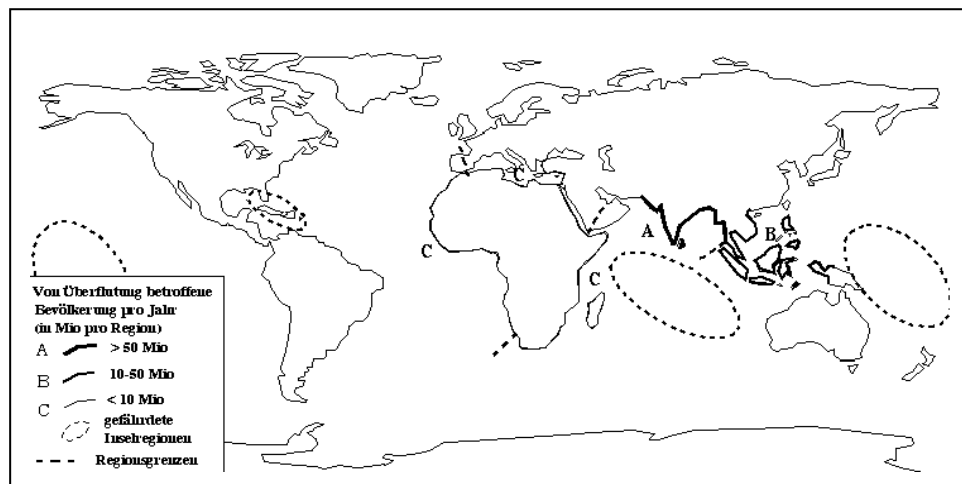


Abb.3: Durch Überflutung gefährdete Küsten durch einen Meeresspiegelanstieg um 38 cm bis 2080 nach Nicholls, R.J., F.M.J. Hoozemans, M. Marchand (1999)

In den fünf Regionen: südlicher Mittelmeerraum, Westafrika, Ostafrika, Südasien und Südasiens werden mehr als 90% aller Menschen leben, die künftig von jährlichen Überflutungen betroffenen sein werden. Die meisten dieser Menschen finden sich in Südasien, aufgrund der hier häufig vorkommenden tiefliegenden, dichtbesiedelten Deltas (Quelle: (3)).

Afrika

Im Gegensatz zu Europa ist der Küstenschutz in Afrika außer in einigen Häfen wenig entwickelt. Erhebliche Folgen würde ein Meeresspiegelanstieg auch für das Nildelta mit den beiden großen Städten Alexandria und Port Said haben. Das Nildelta nördlich von Kairo nimmt zwar nur 2,3% der Fläche Ägyptens ein, umfasst aber 46% der landwirtschaftlich genutzten Fläche und 50% der Bevölkerung des Landes. Alexandria ist mit über 4 Millionen Einwohnern nach Kairo die zweitgrößte Stadt Ägyptens, besitzt den größten Hafen des Landes und besitzt 40% der Industrieanlagen. Sie wird zum offenen Meer hin durch einen 63 km langen Strand abgeschlossen und ist auf einer niedrigen Küstenebene erbaut, die in einigen Bereichen unterhalb des Meeresspiegels liegt und heute von Natur aus oder durch künstliche Dämme geschützt ist.

In den unter NN liegenden Gebieten leben heute 45% der Bevölkerung der Stadt. Falls keine Schutzmaßnahmen ergriffen werden, würden bei einem Meeresspiegelanstieg um 50 cm 67% der heutigen Bevölkerung Alexandrias in Gebieten leben, die dann überschwemmt sein würden. Besonders deutlich zeigen sich die Folgen eines Meeresspiegelanstiegs für Afrika, falls das gerade an der Küste gravierende Bevölkerungswachstum mit berücksichtigt wird. Die sieben Küstenstädte Westafrikas mit mehr als 1 Million Einwohner von Rabat in Marokko bis Luanda in Angola hatten 1990 zusammen eine Bevölkerung von 21 Millionen Menschen. Diese wird nach Schätzungen der UNO bis 2010 auf 51 Millionen angewachsen sein. Die Gefährdung durch einen Meeresspiegelanstieg wird daher in den nächsten Jahrzehnten schon aus sozioökonomischen Gründen deutlich zunehmen (El Raey et al. 1999).

Süd-, Südost und Ostasien

In dieser Region liegen mehrere Länder mit dichtbevölkerten Deltagebieten, die durch einen Meeresspiegelanstieg stark gefährdet sind. Dazu gehören besonders Bangladesch, Indien, Vietnam, China und Thailand. Die Verstädterung ist an diesen Küsten noch weiter fortgeschritten als in Westafrika. Bis zum Jahr 2010 werden in der Region 13 Megacitys, Städte mit einer Bevölkerung von mehr als 8 Millionen Einwohnern vorhergesagt. In vielen dieser Städte hat die Grundwasserentnahme die Bodenabsenkung verstärkt, wodurch es bereits gegenwärtig zu einem relativen Meeresspiegelanstieg an zahlreichen Küstenstrichen gekommen ist. In Tokyo, Osaka und Shanghai z.B. haben sich Absenkungen von bis zu 5 Metern ergeben, so dass jetzt viele Gebiete durch Deiche vor Überflutung geschützt werden müssen.

Bangladesch ist das durch einen Klimawandel mit am stärksten gefährdete Land der Welt. Außer durch tropische Zyklonen, Sturmfluten, Küstenerosion und Überschwemmungen im Hinterland ist dieses Land besonders durch einen Meeresspiegelanstieg extrem bedroht. Außer im Nordosten und Südosten hat das Land eine sehr niedrige Topographie. Etwa 10% des Gebietes liegen nur 1 m über dem mittleren Meeresniveau und ein Drittel unter dem Gezeitenhub. Bei einem Anstieg von 30 bzw. 75 cm würden nach Modellberechnungen 5,8 bzw. 11,2 km² Land verloren gehen, wovon 95% ackerbaulich genutzt sind. Ein weiteres Problem entsteht dadurch, dass der Anstieg des Meeresspiegels den Abfluss des Wassers der großen Ströme (Ganges, Brahmaputra und Megna) behindert, die in den Golf von Bengalen münden. Das Wasser wird aufgestaut und dies führt zu weiteren Überflutungen im Landesinnern (Cubasch 2001).

6. Prognosen des Klimawandels

Im folgenden sind allgemeine Klimaänderungen dargestellt, wie sie auf der Basis der heutigen Modelle als wahrscheinlich angesehen werden. Die Zuverlässigkeit dieser Modelle hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

6.1. Globale Prognosen

Die Modellrechnungen ergeben, dass sich bei einem gleichbleibenden Anstieg der Emissionen schon in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts der CO₂-Gehalt gegenüber der vorindustriellen Zeit verdoppelt haben wird. Bis 2100 werden die CO₂-Konzentrationen bei 540 – 970 ppm liegen, das sind 90 – 250 % mehr als im Jahr 1750. Damit werden deutliche Temperaturerhöhungen, Veränderungen des globalen Wasserhaushaltes und verstärkte Wetterextreme einhergehen (IPCC 2001).

Nach Berechnungen mit verbesserten Modellen ist bis zum Jahr 2100 je nach Szenario mit einer Erwärmung von 1,4 – 5,8°C zu rechnen (IPCC 2001). Die Erwärmung wird größer sein als bisher angenommen; diese Erkenntnis ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die Schwefeldioxidemissionen, die einen abkühlenden Effekt hervorrufen, niedriger als bisher geschätzt sein werden.

Die Modelle sagen auch eine Erwärmung der Weltmeere voraus. Diese Erwärmung wird jedoch nur langsam spürbar, da das Wasser aufgrund seiner enormen Wärmekapazität nur träge auf die Temperaturerhöhung reagiert.

Durch das Abschmelzen des Meereises und der Gletscher wird Süßwasser in die Meere eingetragen. In der Folge könnte die Zirkulation des Nordatlantiks, die durch Unterschiede in der Dichte und im Salzgehalt des Wassers angetrieben wird, langsam abnehmen. Sehr langfristig, nämlich für die Zeit nach 2100, besteht im Extremfall sogar das Risiko eines Abreißen des Nordatlantikstroms, der ein Ausläufer des Golfstroms ist. Dies könnte in dieser Region, einschließlich Nordwesteuropas, den Erwärmungstrend abrupt beenden. Die Wahrscheinlichkeit für einen solchen Vorgang lässt sich derzeit allerdings noch nicht definitiv abschätzen (IPCC 2001).

Des Weiteren wird damit gerechnet, dass mehr und stärkere Niederschläge fallen werden. Außerdem wird sich die Verteilung der Niederschläge ändern: Neben vermehrten und stärkeren Niederschlägen in den ohnehin feuchten Klimaregionen wird es insbesondere in bereits trockenen Gebieten noch trockener werden.

6.2 Folgen des prognostizierten Klimawandels für Europa

Was den Meeresspiegelanstieg betrifft, so sind in Europa wichtige Bevölkerungs- und Wirtschaftszentren in der Küstenzone konzentriert. Einige Küstengebiete wie große Teile der Niederlande, die Fens in England und die Poebene in Italien liegen bereits heute unterhalb des Meeresspiegels, aber auch andere Gebiete sind durch Sturmfluten gefährdet. Der Schutz dieser Gebiete kostet nicht nur viel Geld, sondern bedeutet auch eine Dezimierung der Populationen in Gezeitengebieten. Die meisten niedrig liegenden Küstenräume sind allerdings hinreichend geschützt und auch durch einen mäßigen Meeresspiegelanstieg nicht gefährdet. Die Folgen eines Meeresspiegelanstieg von 1 m sind in der Tab. 1 dargestellt. Hier wird deutlich, dass in Deutschland im Vergleich zu den Niederlanden ein wesentlich kleinerer Teil der Bevölkerung durch den Anstieg gefährdet ist, während der Verlust von Feuchtgebieten in Deutschland erheblich größere Ausmaße

annimmt. In einigen europäischen Staaten ist die Anpassung an einen möglichen Meeresspiegelanstieg seit Jahrzehnten Bestandteil der Küsten-Planung, wobei man z.B. in den Niederlanden und Großbritannien auch auf eine geplante Rücknahme der Küstenlinie setzt, um so den Wassermassen bei Sturmfluten mehr Spielraum zu lassen. Abschließend zum Meeresspiegel bleibt zu sagen, dass in den technisierten und kapitalkräftigen Ländern Europas die Ausgaben für Küstenschutzmaßnahmen proportional zum Meeresspiegelanstieg anwachsen werden (Cubasch und Kasang 2000).

Land	Gefährdete Bevölkerung		Werteverlust		Landverlust		Verlust von Feuchtgebieten
	Anzahl in 1000	in %	Mill. US\$	% des BNP	km ²	in %	km ²
Niederlande	3600	24	186000	69	2165	6,7	642
Deutschland	309	0,3	7500	0,05	13900	3,9	2000
Polen	196	0,5	22000	24	1700	0,5	?

Tab.1: Folgen eines Meeresspiegelanstiegs von 1 m für ausgewählte europäische Länder (Quelle: Nicholls et al. 1999, in Werten von 1990)

Was die Temperaturentwicklung betrifft, so wird für Europa mit einer mittleren Temperaturzunahme von 0,1-0,4°C pro Jahrzehnt gerechnet. Dabei wird die Erwärmung in Südeuropa (Spanien, Italien, Griechenland) und Nordwesteuropa (Finnland, Westen Russlands) am stärksten ausfallen. Außerdem wird es häufiger heiße Sommer geben, z.B. in Südspanien bis 2020 fünf mal häufiger als heute (IPCC 2001).

Bei einer globalen Erwärmung nimmt die Wasserdampfkapazität der unteren Atmosphäre zu und der hydrologische Kreislauf verstärkt sich. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts hat der Niederschlag in der nördlichen Hälfte Europas, d.h. nördlich der Alpen, um 10 bis 50% zugenommen. Die Niederschläge werden in den höheren Breiten und im Winter auch in den mittleren Breiten der Nordhalbkugel vermutlich zunehmen. In Nordosteuropa wird mit einer Zunahme der Niederschläge von 1-2% pro Jahrzehnt gerechnet, in Südeuropa mit einer Abnahme von 1% pro Jahrzehnt (IPCC 2001). Diese Unterschiede werden im Sommerhalbjahr besonders ausgeprägt sein. Für unsere Breiten wird also mit einer Häufung von sehr milden, regenreichen Wintern gerechnet, wobei die Sommer voraussichtlich trockener werden. Im allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass in Gebieten mit ansteigender Niederschlagstendenz auch die Starkniederschläge zunehmen, die wiederum eine Voraussetzung für Hochwasser bilden.

Die möglichen Veränderungen von Wetterextremen wie Starkniederschläge, Hitzeperioden, Dürren, oder Stürmen sind von besonderer Bedeutung, da sie Naturkatastrophen mit erheblichen Schäden verursachen können. Besonders die Versicherungsgesellschaften sind darüber beunruhigt, dass die Schadenbelastung durch wetterbedingte Naturkatastrophen in den letzten 20 Jahren dramatisch zugenommen hat. Die Hochwasserkatastrophen der letzten Jahre haben bewusst gemacht, dass

Veränderungen der Niederschlagsmenge und -intensität besonders ernst zu nehmen sind (Cubasch und Kasang 2000).

7. Die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt in Deutschland

Was den Wasserhaushalt betrifft, so verfügt Deutschland über ausreichend Wasservorräte, da das Klima humid ist. Diese Wasservorräte sind allerdings aufgrund der hohen räumlichen Variabilität der Niederschlagshöhen sehr unterschiedlich verteilt. Die deutsche Wasserwirtschaft wird regional stark differenziert in unterschiedlichem Ausmaß von der Klimaänderung betroffen sein. Die Trinkwasserversorgung ist heute bereits in einigen Regionen aufgrund von Qualitätsproblemen nicht ausschließlich aus eigenen Ressourcen gesichert. Die Versorgung wird außerdem aus Talsperren (Sachsen, Thüringen) und durch Fernwasserversorgung (Halle, Leipzig) ergänzt. Da jedoch die Grundwasserneubildungsrate die Entnahmemenge um ein Vielfaches übersteigt, wird es für Deutschland auch unter geänderten Klimabedingungen keine grundsätzlichen Probleme bezüglich der Trinkwasserversorgung geben. In Gebieten mit gut durchlässigen Böden wird die Grundwasserneubildung aufgrund höherer Winterniederschläge zunehmen. Dagegen wird die Grundwassermenge in Regionen mit schlecht durchlässigen Böden und Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität zurückgehen. Eine Abnahme der Grundwasservorräte wird vor allem in Nord- und Westdeutschland sowie in Teilen Ostdeutschlands erwartet (Quelle: (2)).

8. Anpassungsmaßnahmen

Die Diskussion um geeignete Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel steht national wie international noch am Anfang. Dies liegt zum einen an den bestehenden wissenschaftlichen Unsicherheiten bezüglich Ausmaß, Zeitpunkt und örtlichen Auswirkungen des künftigen Klimawandels und zum anderen an der Frage, welche Maßnahmen eine effektive Anpassung bewirken können. Zudem sind die Auswirkungen innerhalb Europas für Deutschland weit weniger dramatisch als z.B. für die Mittelmeerländer und, im globalen Maßstab betrachtet, für die südlichen Entwicklungsländer (Quelle: (2)).

Infolge der Klimaentwicklung werden bezogen auf den Wasserhaushalt möglicherweise künftig häufiger Konflikte bei der Mindestwassermengenregulierung insbesondere während Niedrigwasserphasen auftreten. Um diese zu begrenzen, werden u.a. eine verbesserte Abwasserreinigung, Nutzungsbeschränkungen (Schifffahrt, Wasser- und Wärmekraftnutzung) sowie der naturnahe Ausbau von Fließgewässern nötig sein. Um die durch Hochwasser verursachten Risiken und Schäden künftig nachhaltig zu begrenzen, werden bereits jetzt national wie international langfristig tragfähige Strategien auf Einzugsgebietsebene erarbeitet. Die Diskussion über mögliche Auswirkungen der Klimaänderungen wird künftig stärker von den Flussgebietskommissionen aufgegriffen werden müssen.

Abschließend bleibt zu sagen, dass grundsätzlich alle Länder vom Klimawandel betroffen sein werden. Die negativen Auswirkungen werden sich aber vor allem in den ärmsten Ländern bemerkbar machen.

9. Literatur

- Ali, A. (1999): Climate change impacts and adaption assessment in Bangladesh, *Climate Research* 12
- Bloetzler, W., Egli, T., Petraschek, A., Sauter, J, Stoffel, M (1998): Klimaänderungen und Naturgefahren in der Raumplanung vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich
- Crutzen, J. et al. (1990) : Atmosphäre, Klima, Umwelt. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Heidelberg.
- Cubasch, U, Kasang, D (2000): Anthropogener Klimawandel. Klett- Perthes, Gotha/Stuttgart
- Cubasch, U. (2001) : Sonne Mensch und Klima. Max-Planck-Forschung. Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft, 2/2001
- El Raey, K. Dewidar and M. El Hattab (1999): Adaption to the impacts of sea level rise in Egypt, *Climate Research* 12
- Fachinformation „Umwelt und Gesundheit“, Stand September 2001 (www.bayern.de)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): *Climate Change 2001. Summary for Policymakers- A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1996): *Climate Change 1995: The science of climate change,* Cambridge University Press, New York.
- Lozàn, J.L, H. Graßl, P. Hupfer (1998): Warnsignal Klima, Mehr Klimaschutz- weniger Risiken für die Zukunft. Wissenschaftliche Auswertung, Hamburg.
- Nicholls, J.R. and N. Mimura (1998): Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications, *Climate Research* 11
- Nicholls, R.J., F.M.J. Hoozemans, M. Marchand (1999): Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses, *Global Environmental Change* 9, S69-S87
- Schönwiese, C.-D. (1994): *Klima im Wandel: Tatsachen, Irrtümer, Risiken.* DVA
- Schönwiese, C.-D. (1995): *Klimaänderungen- Daten, Analyse, Prognosen,* Springer Verlag, Berlin Heidelberg
- Umweltbundesamt (2001): *Klimaschutz 2001. Tatsachen- Risiken- Handlungsmöglichkeiten.* Berlin
- Zepp, H. (2002): *Grundriss Allgemeine Geographie: Geomorphologie.* Schöningh, Paderborn
- (1) www.kliwa.de/de/ergebnisse
- (2) www.umweltbundesamt.de/wasser/themen.pdf
- (3) www.lbs.hh.schule.de
- (4) www.rrz.uni-hamburg.de