

Klimaänderungen: Konsequenzen auf Wasserhaushalt und Nährstoffausträge in Mitteleuropa

Stefan Weiel

Stadtfeldkamp 38, 24114 Kiel, stefan_weiel@web.de

1. Einleitung

Von den Medien werden Sturmereignisse wie Wiebke, Vivian und der Orkan Lothar oder auch die Jahrhundertflut der Oder 1999 häufig als erste Anzeichen der "Klimakatastrophe" gedeutet. Wissenschaftlich lässt sich zwischen diesen Extremereignissen und der erwarteten Klimaänderung jedoch kein Zusammenhang feststellen. Das wir mit einer mittelfristigen Änderung des Klimas rechnen müssen, wird heute von fast niemandem mehr bestritten. Wie stark und welche Auswirkungen die Klimaänderungen auf globaler und regionaler Ebene haben werden, ist noch nicht vollständig absehbar. Gerade die zukünftigen menschlichen Aktivitäten werden diesen Prozess entscheidend beeinflussen.

2. Der natürliche und anthropogene Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt ist in erster Linie ein natürlicher Prozeß, durch den Leben auf der Erde überhaupt erst möglich wird. Die Sonne strahlt konstant eine enorme Energiemenge auf die Erde, etwa $1,6 \times 10^{18}$ KWh, die hauptsächlich im kurzwelligen Bereich, dem des sichtbaren Lichts, liegt. Auf dem Weg durch die Atmosphäre unseres Planeten werden hiervon etwa 30 % durch Wolken, Staub, Schnee- und Eisflächen der Polarzonen direkt wieder in den Weltraum reflektiert. Von den verbleibenden 70 % werden etwa 20 % durch die in der Atmosphäre vorhandenen Wolken und Gase absorbiert, so dass nur 50 % auf der Erdoberfläche ankommen und von Boden, Wasser und Pflanzen aufgenommen werden können. Die ankommende Strahlung wird dabei in langwellige Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) umgewandelt und von der Erde wieder abgestrahlt. Ein Teil dieser abgestrahlten Wärme, etwa 14 %, wird von den sogenannten Treibhausgasen absorbiert und führt zu einer Aufheizung der Erdatmosphäre. Würde die abgestrahlte Wärme direkt in den Weltraum entweichen, läge die mittlere Oberflächentemperatur der Erde bei -18 °C . Erst durch das Vorhandensein von Treibhausgasen in der Atmosphäre, welche eine Temperaturerhöhung von 33 °C bewirken, wird eine „lebensfreundliche“ mittlere Oberflächentemperatur von 15 °C auf der Erde überhaupt erst möglich. Das Ausmaß der Erwärmung ist dabei stark von der Menge und der Art der in der Atmosphäre vorhandenen Treibhausgase abhängig. Die Emission großer Mengen von Treibhausgasen durch menschliche Aktivitäten, besonders seit Beginn der Industrialisierung, verstärken den natürlichen Treibhauseffekt, was eine Erhöhung der mittleren Temperatur zur Folge hat. In welchem Zeitraum und Ausmaß dies geschieht, ist aufgrund der Komplexität der ablaufenden Prozesse nur schwer vorhersagbar. Das bedeutendste, mit 60 % am anthropogenen Treibhauseffekt beteiligte Gas ist Kohlendioxid (CO_2).

Weitere wichtige anthropogen emittierte Treibhausgase sind: Methan (CH_4), FluorChlorKohlenwasserstoffe (FCKW), Distickstoffmonoxid (N_2O) und Ozon (O_3).

Verschiedene Modelle rechnen mit einem anthropogen bedingten Temperaturanstieg zwischen 1,4 – 5,8 °C für die nächsten 100 Jahre. Der bereits eingetretene Temperaturanstieg von etwa 0,6 °C seit Beginn des 20. Jahrhunderts wird von vielen Wissenschaftlern schon zum Teil dem menschlichen Einfluß auf den Treibhauseffekt zugeschrieben, auch wenn dieser gerade noch im Bereich von natürlichen Schwankungen liegt. Die Auswirkungen eines Temperaturanstieges von nur 1 °C hätte eine Verschiebung der Klimazonen der Erde zur Folge, mit unabsehbaren Konsequenzen für die sie bewohnenden Lebewesen, einschließlich dem Menschen. Zusätzlich ist mit einem Anstieg des Meeresspiegels und einer Zunahme von Wetterextremen zu rechnen. Vor diesem Hintergrund sind die internationalen Bemühungen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen (Montreal- und Kyoto-Protokoll) zwar ein guter Ansatz, aber bei weitem noch nicht konsequent genug.

3. Modelle und Szenarien der globalen und regionalen Klimaänderung

Die in der Erdatmosphäre ablaufenden Prozesse, welche zur Ausprägung des globalen und regionalen Klimas führen sind außerordentlich komplex und von einer Vielzahl von Parametern abhängig. Um Aussagen über den Zustand bzw. die zukünftige Entwicklung des Klimas zu machen, bedient man sich eines Modells. In den Modellen versucht man durch die Einbeziehung möglichst vieler relevanter Prozesse, das Klimasystems mit mathematischen Gleichungen so realitätsnah wie möglich darzustellen, was in der Bearbeitung eine enorme Rechenleistung nötig macht. Heutige Klimamodelle stellen die einzelnen Subsysteme des Klimasystems (z.B. atmosphärische Zirkulation oder Ozeane) in getrennten Modellen dar, die bei Bedarf miteinander gekoppelt werden (vgl. Abb. 1). Diese gekoppelten Modelle bezeichnet man als allgemeine oder globale Zirkulationsmodelle (engl. General Circulation Modells – GCM). Zunehmend werden heute auch weitere Subsysteme und Komponenten modelliert, z.B. die Biosphäre, die Spurenstoffkreisläufe oder die Chemie der Atmosphäre, deren Kopplung mit den GCM aber erst in den Anfängen steckt und zumeist bei besonderen Fragestellungen angewandt wird.

Die Probleme, die bei der Klimamodellierung auftreten, sind vielfältig. Zum einen bestehen noch immer Wissenslücken bei der Erfassung der komplexen globalen Zusammenhänge und den Einflüssen einzelner Komponenten des Klimasystems. Zum anderen sind die Datensätze, mit denen die Modelle „gefüttert“ werden, teilweise mit hohen Unsicherheiten belastet bzw. große Datenlücken vorhanden. Zwar sind die Klimadaten der letzten 150 Jahre relativ genau erfasst, allerdings ist die Messdichte nicht homogen über die Erde verteilt, sondern vor allem auf die entwickelten Länder beschränkt. Auch die Ozeane sind mit großen Daten- und Wissenslücken behaftet. Obwohl in der Klimaforschung heute die modernsten und schnellsten Computer zum Einsatz kommen, ist die Rechenleistung noch immer ein limitierender Faktor bei der Genauigkeit und der Auflösung der verwendeten Klimamodelle.

Um nun Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Klimas zu treffen, verändert man bestimmte Eingangsparameter des Klimamodells (z.B. Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre, Änderung der Vegetationsdecke) und kann dann Änderungen des Klimas näherungsweise berechnen. Will man den Einfluss des Menschen auf das zukünftige Klima darstellen, benötigt man Aussagen über zukünftige anthropogene Aktivitäten. Da aber niemand sichere Prognosen über die zukünftige Entwicklung der Menschheit und deren Aktivitäten (z.B. Treibhausgasemissionen) geben kann, bedient man sich sogenannter Szenarien. So werden die unterschiedliche anthropogene Entwicklungsmöglichkeiten in verschiedenen solcher Szenarien dargestellt und in die Klimamodellberechnungen mit einbezogen. Die fundiertesten und gebräuchlichsten wurden von der IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), einer Unterorganisation der UN, entwickelt und sollen nachfolgend kurz dargestellt werden.

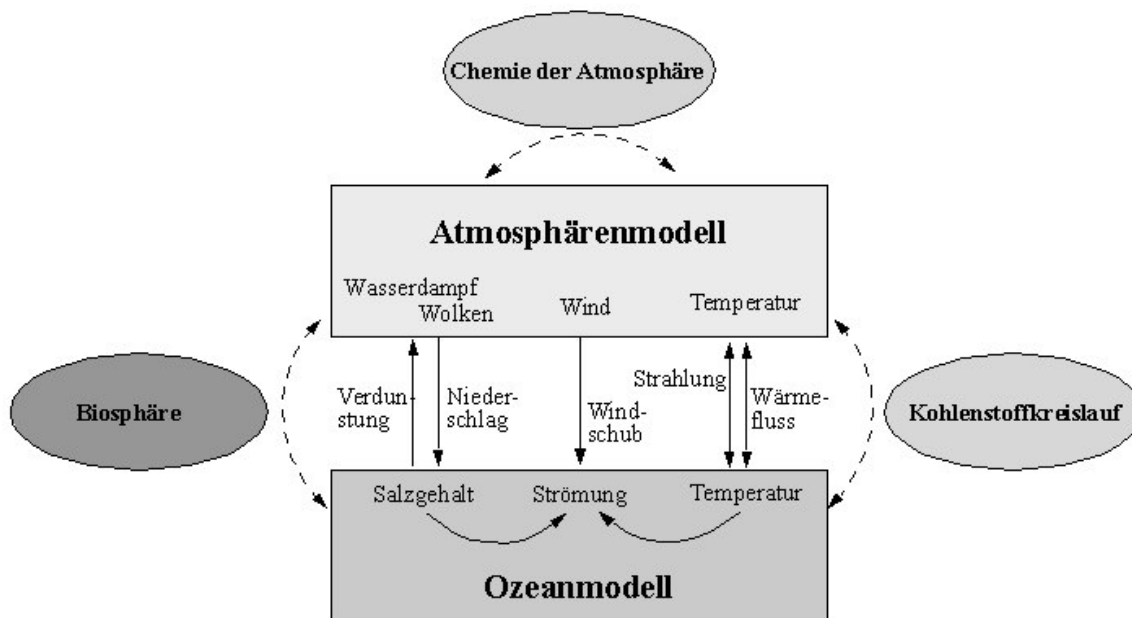


Abb. 1 Kopplung der verschiedenen Klimasubsysteme (Quelle: HAMBURGER BILDUNGSSERVER)

3.1 IPCC Szenarien

Die im IPCC Report (2001) veröffentlichten sogenannten SRES-Szenarien (nach: Second Report on Emission Scenarios) beschreiben die möglichen Entwicklungen im 21. Jahrhundert in den Bereichen Bevölkerungswachstum, ökonomische und soziale Entwicklung, technologische Veränderungen, Ressourcen-Verbrauch und Umweltmanagement. Die 40 entwickelten Szenarien werden in die vier Hauptgruppen A1, A2, B1 und B2 unterteilt.

Die **A1-Szenarien** beschreiben eine zukünftige Welt mit sehr starkem Wirtschaftswachstum, einer Weltbevölkerung, die in der Mitte des 21. Jahrhunderts ihr Maximum erreicht und danach abnimmt. Die Welt wird zunehmend globaler, d.h. regionale Unterschiede bei den Einkommen, in kultureller und sozialer Hinsicht und in der technologischen Entwicklung gleichen sich weitgehend aus. Hinsichtlich der dabei genutzten Energiequellen unterscheidet man noch die **A1FI-Szenarien** mit einer intensiven Nutzung fossiler Brennstoffe, die **A1T-Szenarien** mit starker Nutzung nicht-fossiler

Energieträger und die **A1B-Szenarien** mit einer ausgewogenen Mischung von fossilen und nicht-fossilen Energieträgern.

Die **A2-Szenarien** gehen von einer sehr heterogenen Welt aus, in der die lokalen Besonderheiten bestehen bleiben, die Geburtenhäufigkeit weiter regional sehr unterschiedlich bleibt und die Weltbevölkerung daher ständig zunimmt. Die ökonomische und technologische Entwicklung ist regional unterschiedlicher und langsamer als bei den anderen Hauptgruppen.

Die künftige Welt der **B1-Szenarien** entwickelt sich ähnlich global orientiert wie die der A1-Gruppe, jedoch mit einem schnellen Wandel der wirtschaftlichen Struktur zu einer Dienstleistungs- und Informationsökonomie, mit einer Reduktion des Materialverbrauchs und der Einführung sauberer und ressourcenschonender Technologien. Die Entwicklung ist auf eine globale Lösung des Nachhaltigkeitsproblems im wirtschaftlichen, sozialen und Umwelt-Bereich ausgerichtet.

Die **B2-Szenarien** setzen auf lokale Lösungen der wirtschaftlichen, sozialen und umweltorientierten Nachhaltigkeitsfragen. Die Weltbevölkerung nimmt ständig zu, wenn auch weniger stark als bei den A2-Szenarien. Die Wirtschaftsentwicklung bewegt sich auf mittlerem Niveau, der technologische Wandel ist weniger schnell und regional unterschiedlicher als bei den A1- und B1-Szenarien. Der Umweltschutz und eine ausgewogene Verteilung des Wohlstands spielen zwar ebenfalls eine wichtige Rolle, jedoch eher auf lokaler und regionaler Ebene.

3.2 Regionale Klimamodellierung

Das Auflösungsraaster der heute gebräuchlichen globalen Klimamodelle beträgt meist 500 km, bei einigen neueren Modellen auch schon 250 km, d.h. ganz Europa wird in diesen Modellen nur durch einige wenige Rasterpunkte beschrieben (vgl. Abb. 2). Diese Auflösung lässt jedoch keine Aussagen über die regionalen und lokalen Auswirkungen von Klimaänderungen zu. Um dieses Problem zu lösen, wurden verschiedene Verfahren entwickelt, die man allgemein als „Downscaling“ bezeichnet. Dabei unterscheidet man zwischen dynamischen- und statistischen „Downscaling“-Methoden. Teilweise werden auch Kombinationen von statistischen und dynamischen Methoden angewandt.

Bei der dynamischen „Downscaling“-Methode wird zunächst ein hochauflösendes regionales Modell entwickelt, welches dann mit den Randbedingungen aus den globalen Klimamodellen betrieben wird. Für besondere Fragestellungen lassen sich in die regionalen Modelle auch noch lokale Modelle einbinden. Eine neuere Technik bei den dynamischen Modellen ist die Zeitscheiben-Methode, bei der man ein hochauflösendes globales Atmosphärenmodell für einen begrenzten Zeitraum, meist 5 bis 30 Jahre, in ein GCM einbindet. Dies hat den Vorteil, dass Wechselwirkungen zwischen den großen und kleinen Skalen mit berücksichtigt werden.

Bei der statistischen „Downscaling“-Methode verwendet man langjährige Beobachtungsreihen, wie z.B. Niederschlagsmessungen und setzt diese in Beziehung zu großräumigen atmosphärischen Variablen wie Großwetterlagen. Auf diese Art kann man die Auswirkungen der großräumigen atmosphärischen Änderungen, die die GCM's liefern, auf die lokale Ebene übertragen. Dies ist jedoch nur möglich wenn hinreichend lange Beobachtungszeitreihen vorliegen und auch nur auf ein begrenztes Gebiet übertragbar

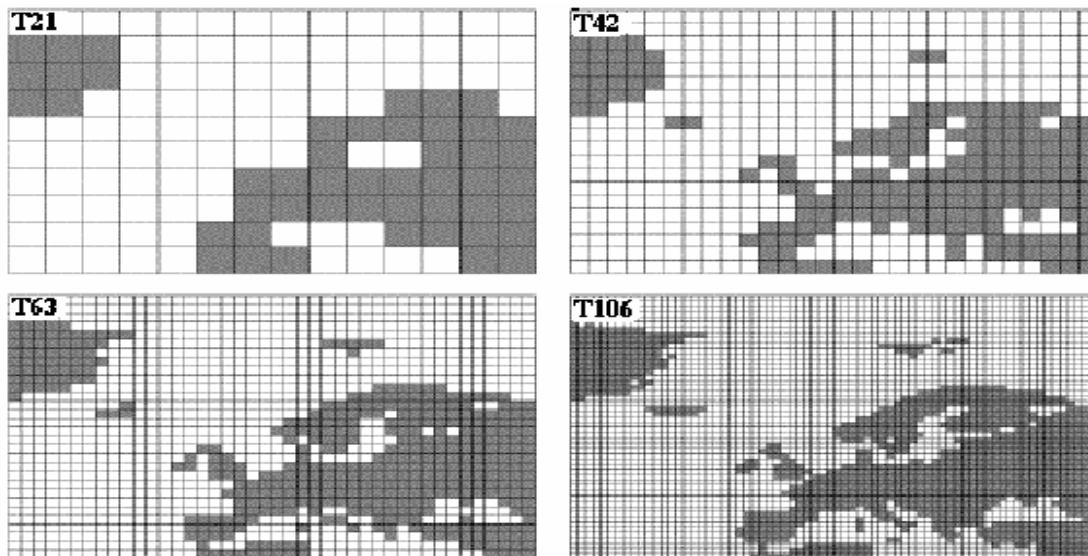


Abb. 2 Europa bei unterschiedlicher Modellauflösung (Quelle: Krupp 1995, nach Cubasch 1995)

4. Prognosen der Klimaänderung für Mitteleuropa

Das Klima Europas ist vor allem durch seine große Variabilität gekennzeichnet. Es weist sowohl einen Nord-Süd (arktisch zu mediterran) als auch einen West-Ost-Gradienten (ozeanisch zu kontinental) auf. Auch die Hochgebirge wie Alpen und Pyrenäen tragen zu einer weiteren Differenzierung des Klimas bei, da sie auf relativ kurzen Entfernungen starke Niederschlagsgradienten bewirken. Maßgeblich bestimmt wird das Klima in Europa durch die Nordatlantische Oszillation, welche durch Tiefdruckgebiete über Island und Hochdruckgebiete über den Azoren charakterisiert wird. Auch der Golfstrom spielt eine erhebliche Rolle im europäischen Klimasystem. So hätte eine Abschwächung des Golfstroms, als eine mögliche Konsequenz einer Klimaerwärmung über der Arktis, entgegen dem globalen Trend, eine deutliche Abkühlung des europäischen Klimas zur Folge. Auf dieses Szenario soll jedoch im Folgenden nicht weiter eingegangen werden, da hierfür noch keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen und es auch noch nicht mit gekoppelten Ozean-Atmosphären-Modellen simuliert werden konnte. Die nachfolgend beschriebenen Klimaänderungen wurden für das europäische ACACIA Projekt und die IPCC entwickelt und beruhen auf Berechnungen des in England entwickelten HadCM2 Modells. Dabei wurde eine Kopplung von dynamischen und statistischen „Downscaling“-Methoden angewandt. Die Niederschlagsänderungen sind aufgrund ihrer schwierigeren Modellierbarkeit mit einer wesentlich höheren Unsicherheit behaftet als die Aussagen zur Temperaturänderung.

4.1 Temperaturänderung

Für Europa rechnet man mit einem Anstieg der jährlichen Durchschnittstemperaturen von 0,1 bis 0,4 °C alle 10 Jahre. Der höchste Anstieg ist dabei für das südliche und nordöstliche Europa prognostiziert. Die geringsten Temperaturänderungen werden für die nördliche Atlantikküste und das zentrale und nördliche Mitteleuropa erwartet. In den Sommermonaten zeigt sich ein deutlicher Nord-Süd Gradient mit der höchsten Erwärmungsrate von 0,2 bis 0,6 °C pro Decade für das südliche Europa und der geringsten von 0,08 bis 0,3 °C für die nördlichen Bereiche. Für das zentrale und südliche Europa wird eine deutliche Zunahme von Hitzewellen in den Sommermonaten erwartet. Für das Winterhalbjahr werden die stärksten Erwärmungen für das nördliche und nordöstliche Europa vorhergesagt, mit Erwärmungsraten von 0,15 bis 0,6 °C pro Dekade. Auch das Vorkommen von als

kalt klassifizierten Wintern (1961 –1990: Einer von 10 Wintern) wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts fast vollständig verschwinden.

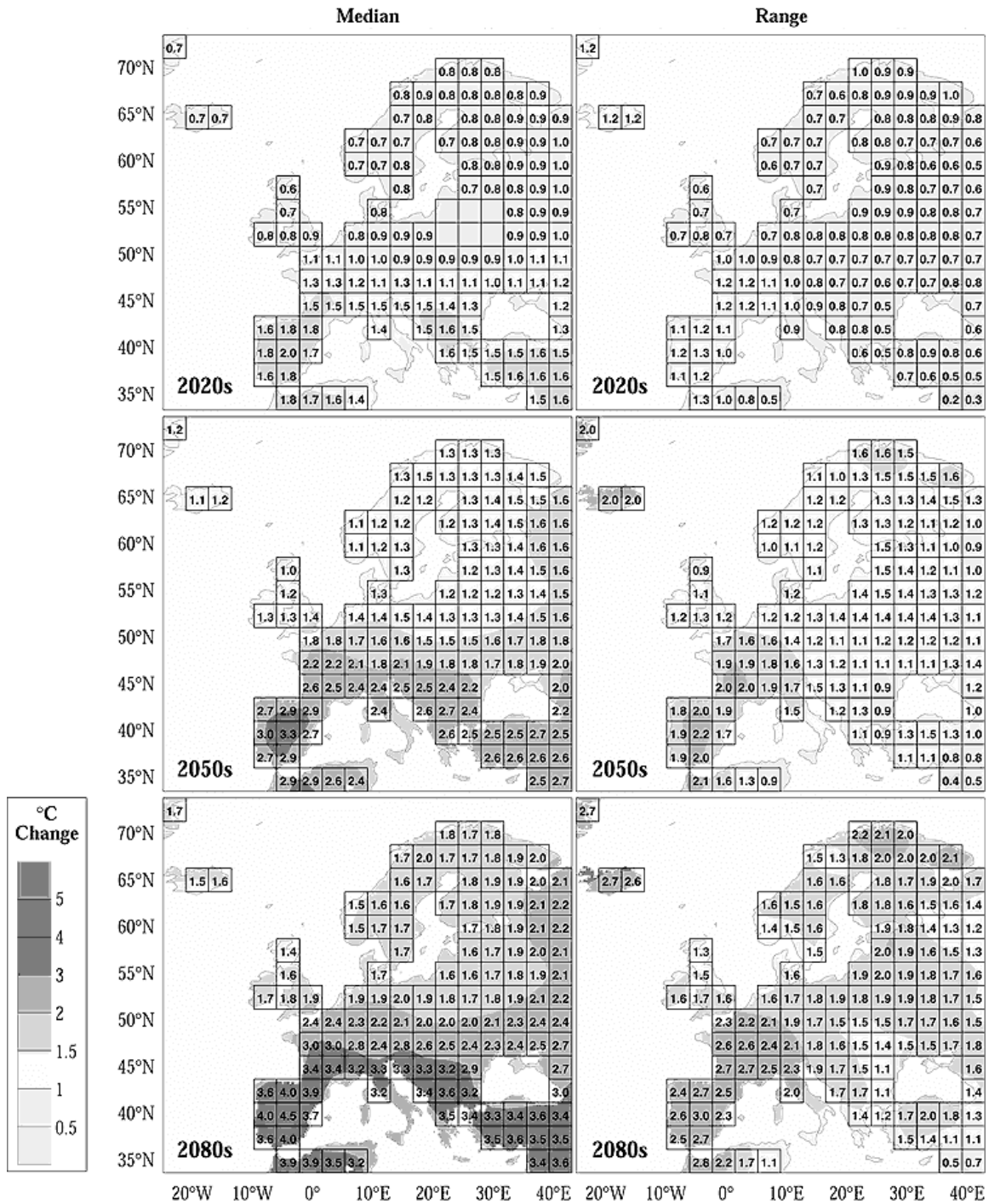


Abb. 3 Entwicklung der Sommertemperaturen, berechnet für das B 2 – Szenario. Links: Mittelwert, Rechts: Abweichung vom Mittelwert (+/-). (Quelle: IPCC 2001)

4.2 Änderung der Niederschlagsverteilung und Intensität

Die Änderung der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge stellt sich für Europa sehr differenziert dar. Für das nördliche Europa geht man von einer Zunahme der Niederschlagsmenge zwischen 1 und 2 % pro Dekade aus. In Zentralmitteleuropa werden nur geringe bis gar keine Änderungen der Gesamtniederschlagsmenge erwartet und im südlichen Europa ist mit einer leichten Abnahme von maximal 1 % pro Dekade zu rechnen. Allerdings sind in einigen südlichen Gebieten, vor allem an der Atlantikküste, auch Zunahmen des Jahresniederschlags berechnet worden. Für gesamt Europa werden deutliche Änderungen in der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge vorhergesagt. So ist für beinahe ganz Europa mit einer Zunahme der Winterniederschläge zwischen 1 und 4 % pro Dekade zu rechnen. Die größten Zunahmen werden dabei für die südliche iberische Halbinsel und das nördliche Europa erwartet, während die Zunahmen in Zentraleuropa eher geringer ausfallen. Ein deutlicher

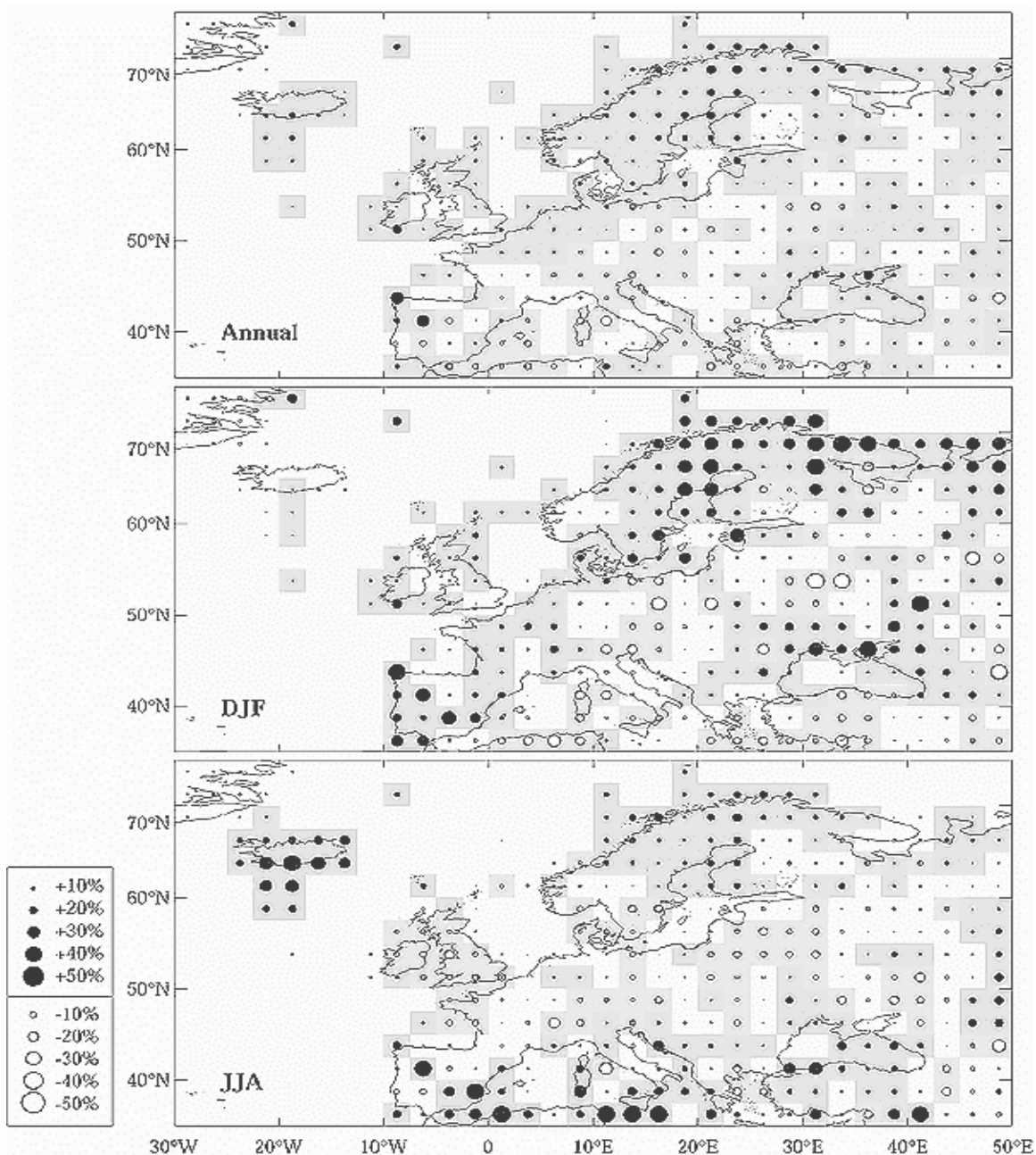


Abb. 4 Veränderung des Niederschlags in % pro Jahrhundert. Grau hinterlegte Bereiche sind Signifikant bei 90 %. Oben: Jahresdurchschnitt, Mitte: Winter, Unten: Sommer. (Quelle: IPCC 2001)

Nord-Süd Gradient ist bei der Änderung der Niederschlagsverteilung in den Sommermonaten erkennbar. Während Nordeuropa auch in den Sommermonaten feuchter wird (bis zu 2 % pro Dekade), ist im südlichen Europa mit einem Niederschlagsrückgang von bis zu 5 % pro Dekade zu rechnen. Für Zentraleuropa wird ein Rückgang von 1 bis 2 % angenommen.

Die Zunahme von Wetterextremen konnte bisher nur aus der Analyse von Zeitreihen bestätigt werden. Die verwendeten Klimamodelle lassen hierzu keine gesicherten Aussagen zu. Es wird jedoch allgemein angenommen, dass es in Zukunft vermehrt zu regionalen Starkregenereignissen kommen könnte und dass die Wahrscheinlichkeit von sommerlichen Dürreperioden zunimmt.

5. Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

Neben den bereits beschriebenen Bestandteilen des Wasserhaushalts (Temperatur und Niederschlag) sind auch die anderen wichtigen Komponenten, wie Evaporation, Transpiration, Abfluß und Grundwasser, von einer Vielzahl von Faktoren (Bodentyp, Vegetation, Landnutzung, etc.) abhängig. Grob gesehen lässt sich Europa in drei hydrologische Systeme einteilen. Im Süden Europas gibt es einen deutlichen jahreszeitlichen Unterschied zwischen langen Trockenperioden im Sommer mit teilweise versiegenden Flüssen und starkem Oberflächenabfluss im Winterhalbjahr. Im maritimen Westeuropa gibt es nur gering ausgeprägte jahreszeitliche Variationen im Abfluss, welcher während des gesamten Jahres relativ konstant bleibt. Im Norden und Osten Europas sowie in den Alpen fällt der Niederschlag im Winter weitgehend als Schnee, so dass der Hauptabfluss durch die Schneeschmelze im Frühjahr hervorgerufen wird. Die jährliche potentielle Verdunstung reicht von 300 mm im Norden bis über 1000 mm im südlichen Europa. Das Verhältnis des jährlichen Abflusses zum Niederschlag variiert zwischen 20 und 70 % in Abhängigkeit von der Höhe der Niederschläge und der Evapotranspiration (HAMBURGER BILDUNGSSERVER 2004).

Kommt es zu der unter Kapitel 4 beschriebenen Klimaentwicklung, wäre mit einer deutlichen Änderung des Wasserhaushalts zu rechnen. Wie sich diese Änderungen auswirken, hängt dabei stark von regionalen Faktoren in den jeweiligen Wassereinzugsgebieten ab. Es wird generell davon ausgegangen, dass die potentielle Verdunstung durch die Temperaturzunahme und Verlängerung der Vegetationszeit um 10 bis 20 % steigen wird. In vielen Gebieten wird die steigende potentielle Verdunstung durch die erhöhten Niederschlagsmengen jedoch nahezu ausgeglichen. Im südlichen Europa würde die steigende Verdunstung und die zum Teil niedrigeren Niederschläge in den Sommermonaten zu einer deutlichen Abnahme des Oberflächenabflusses führen. Auch in Mitteleuropa ist mit einer Abnahme des Sommerabflusses und einer Verschiebung der Abflussmaxima in die niederschlagsreicheren Wintermonate zu rechnen. Durch das Verschwinden der Gletscher in den Alpen wird das Abflussverhalten von Flüssen in diesem Bereich mehr durch die Niederschlagsverteilung bestimmt als durch die Schneeschmelze im Frühjahr. In Nordeuropa werden sich die Abflussmaxima aufgrund der früheren Schneeschmelze um etwa einen Monat vorverlegen. Die geringsten Änderungen sind in den stark maritim beeinflussten Bereichen Westeuropas zu erwarten. Der Einfluß der Klimaänderung auf das Grundwasser ist noch wenig untersucht und sehr stark von lokalen Faktoren abhängig. Man kann aber davon ausgehen das es in einigen Gebieten, auch bedingt durch steigenden anthropogenen Verbrauch, zu Defiziten in der Grundwasserneubildung kommen wird.

6. Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt

Wichtige Komponenten des Nährstoffhaushalts sind die Mineralisation, Nährstoffeinträge, Bodentyp, Nährstoffauswaschung sowie die Nährstoffaufnahme durch Pflanzen. Da ein Großteil des Nährstofftransports in gelöster Form geschieht, besteht eine enge Verknüpfung mit dem Wasserhaushalt. Die Auswirkungen, die eine Klimaänderung auf den Nährstoffhaushalt hat, sind sehr komplex und aufgrund der Vielzahl der beteiligten Faktoren kaum zu quantifizieren. Die Mineralisation von Nährstoffen wird durch die Erwärmung und die Zunahme der Niederschläge allgemein beschleunigt. Vor allem im Frühjahr und Herbst ist durch die ausreichende Bodenfeuchte und den höheren Temperaturen mit erhöhten Mineralisationsraten zu rechnen. Gleichzeitig ist in diesen Zeiträumen, durch die Verlängerung der Vegetationsperiode, auch ein verstärkter Nährstoffverbrauch zu erwarten. In den prognostizierten trockeneren Sommermonaten ist dagegen mit einer Abnahme der Mineralisationsrate und einer verminderten Nährstoffaufnahme durch Pflanzen zu rechnen. Die Auswaschung von Nährstoffen hängt stark von der Niederschlagsmenge und Intensität sowie von den Sickerraten in den unterschiedlichen Bodentypen ab. Allein 10 bis 40 % der Nährstoffauswaschung werden durch Starkregen verursacht (Boer & de Groot 1990). Sandige Böden mit hohen Sickerraten weisen die höchsten, tonige Böden die niedrigsten Nährstoffausträge auf.

Da im Zuge der Klimaänderung sowohl mit einer Zunahme der Gesamtniederschlagsmenge, als auch mit häufigeren Starkregenereignissen zu rechnen ist, kann eine deutlich verstärkte Nährstoffauswaschung und Bodenerosion erwartet werden. Durch die für die Sommermonate vorhergesagte Abnahme des Oberflächenabflusses kommt es zu einer Erhöhung der Nährstoffkonzentration in den Fließgewässern, die durch eine verstärkte Auswaschung zusätzlich gefördert wird. In der durch anthropogene Landnutzung dominierten Landschaft Europas ist ein Großteil des Nährstoffhaushalts und der Nährstoffausträge durch die direkten und indirekten Aktivitäten des Menschen bestimmt.

7. Literatur

- Allen, P. A. (1997): *Earth Surface Processes*. Blackwell Science Ltd, Oxford, 404 p.
- Berner, E. K. & Berner, R. A. (1996): *Global Environment – Water, Air and Geochemical Cycles*. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, 376 p.
- Boer, M. M. & de Groot, R. S. (eds.) (1989): *Landscape-Ecological Impact of Climate Change*. IOS Press, Amsterdam, 429 p.
- Burroughs, W. J. (2001): *Climate Change – A Multidisciplinary Approach*. Cambridge University Press, Cambridge, 298 p.
- EcoSys (1995): *Beiträge zur Ökosystemforschung: Auswirkungen einer Temperaturerhöhung auf die Ökosysteme der Bornhöveder Seenkette*. Kiel, Bd. 2, 246 p.
- Fabian, P. (2002): *Leben im Treibhaus – Unser Klimasystem und was wir daraus machen*. Springer-Verlag, Berlin, 258 p.
- Harvey, L. D. D. (2000): *Climate and Global Environmental Change*. Pearson Education Ltd, Harlow, 240 p.
- Houghton, J. (1997): *Globale Erwärmung – Fakten, Gefahren und Lösungswege*. Springer-Verlag, Berlin, 229 p.
- Hupfer, P. (1996): *Unsere Umwelt: Das Klima – Globale und Lokale Aspekte*. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 335 p.
- IPPC (2001): *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, 1032 p.
- IPPC (1998): *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, 517 p.
- IPPC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, 881 p.
- IPPC (2001): *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Cambridge University Press, Cambridge, 394 p.

- Lozán, J. L., Graßl, H. & Hupfer, P. (eds.) (1998): Warnsignal Klima. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 463 p.
- Guisan, A., Holten, J. I., Spichiger, R. & Tessier, L. (eds.) (1995): Potential Ecological Impacts of Climate Change in the Alps and Fennoscandian Mountains. Genève, 194 p.
- Krupp, C. (1995): Klimaänderung und die Folgen – Eine exemplarische Fallstudie über die Möglichkeiten und Grenzen einer interdisziplinären Klimafolgenforschung. Ed. Sigma, Berlin, 205 p.
- Mimikou, M. A., Baltas, E., Varanou, E. & Pantazis, K. (2003): Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. In: Journal of Hydrology, vol. 234, Elsevier, Amsterdam, 95-110 p.
- Moore, P. D., Chaloner, B. & Stott, P. (1996): Global Environmental Change. Blackwell Science Ltd, Oxford, 244 p.
- Parry, M. & Carter, T. (1998): Climate Impact And Adaptation Assessment. Earthscan Publications Ltd, London, 166 p.
- Schellnhuber, H.- J. & Wenzel, V. (eds.) (1998): Earth System Analysis – Integrating Science for Sustainability. Springer-Verlag, Berlin, 530 p.
- Strzepek, K. M. & Smith, J. B. (1995): As Climate Changes: International Impacts and Implications. Cambridge University Press, Cambridge, 213 p.
- Sorooshian, S., Gupta, H.V. & Rodda, J. C. (eds.) (1993): Land Surface Processes in Hydrology – Trial and Tribulations of Modeling and Measuring. Springer-Verlag, Berlin, 497 p.

PIK (2004): <http://www.pik-potsdam.de>

IPCC (2004): <http://www.ipcc.ch>

MAX-PLANK-INSTITUT (2004): <http://www.mad.zmaw.de>

HAMBURGER BILDUNGSSERVER (2004): <http://lbs.hh.schule.de/>

DKRZ (2004): <http://www.dkrz.de>

WMO (2004): <http://www.wmo.ch>