

Klimaschutz muss noch intensiviert werden

Klimawandel – Tatsache oder Fiktion?

Die Klimatologie ist nicht nur wissenschaftlich hochaktuell, sondern auch in der Öffentlichkeit Gegenstand heißer Diskussionen. Dies hat vor allem zwei Gründe:

- Die Menschheit und mit ihr alles Leben auf der Erde (Biosphäre) ist hochgradig von der Gunst des Klimas abhängig. Daher kann es uns nicht gleichgültig sein, was mit unserem Klima geschieht.
- Die Menschheit ist mehr und mehr dazu übergegangen, das Klima auch selbst zu beeinflussen. Daraus erwächst uns eine besondere Verantwortung.

Allerdings ist der Mensch nicht der einzige Klimafaktor. Vielmehr steht er in Konkurrenz zur ganzen Vielfalt der natürlichen Klimaänderungen. Im Folgenden soll eine kurze aktuelle Übersicht zu nachstehenden Fragen gegeben werden: Gibt es einen Klimawandel? Wenn ja, was sind die Ursachen? Welche Rolle spielt dabei der Mensch? Was lässt sich über die Klimazukunft sagen und welche Konsequenzen sollten aus unserem derzeitigen Klima-Kennnisstand gezogen werden?

Klima im Wandel

Klimawandel – eine Fiktion? Ganz sicher nicht. Denn Klimaänderungen gibt es, seit die Erde existiert [z. B. Lozán et al., 1998; Schönwiese, 1995, 2003]. Somit ist das Klima stets variabel in Zeit und Raum. So

wissen wir, dass der letzte, die Erde tiefgreifend verändernde Klimawandel vor rd. 10 000 bis 11 000 Jahren stattgefunden hat, als – von abrupten Variationen überlagert – das Klima der letzten »Eiszeit« (Würm-Kaltzeit) in das noch andauernde Klima einer Warmzeit (Holozän, Postglazial) übergegangen ist, verbunden mit einem global gemittelten bodennahen Lufttemperaturanstieg um rd. 4 bis 5 °C (was für das Wetter wenig, für das Klima aber enorm viel ist).

Dieses Warmzeitklima ist, trotz durchaus auftretender Fluktuationen, deren Wirkung nicht unterschätzt werden darf, vor allem in den letzten Jahrtausenden relativ stabil gewesen, was sich auf die kulturelle Entwicklung der Menschheit sicherlich günstig ausgewirkt hat. Doch dann hat im Industriezeitalter eine so drastische Erwärmung stattgefunden, dass das letzte Jahrzehnt zumindest nordhemisphärisch nicht nur das wärmste dieser Zeitspanne, sondern wahrscheinlich sogar der letzten 1 000 bis 2 000 Jahre gewesen ist, mit einem bisherigen Rekordwert im Jahr 1998. In *Bild 1* ist diese Entwicklung ab 1856 für die global gemittelte bodennahe Lufttemperatur ersichtlich.

Nun verlaufen die Klimaänderungen regional sehr unterschiedlich, ist die im Industriezeitalter im globalen Mittel feststellbare Erwärmung der unteren Atmosphäre durchaus auch von regional und zeitlich begrenzten Abkühlungen begleitet. Und beim Niederschlag sind diese zeitlich-regionalen Änderungsstrukturen noch viel komplizierter. Doch hat auch Deutschland am Erwärmungstrend teilgenommen (*Tafel 1*). Auffällig ist dabei vor allem die starke Zunahme von sowohl Temperatur als auch Niederschlag im Winter der letzten Jahrzehnte.

Wird das Klima extremer?

Während nun die relativ langfristigen Klimatrends des Industriezeitalters und davor recht gut untersucht sind, gibt es noch erheblichen Forschungsbedarf bei der Frage, ob das Klima extremer geworden ist. Die bisher vorliegenden Ergebnisse deuten an, dass auch diese Frage sehr differenziert zu beantworten ist. Beim Niederschlag, wo extreme Ereignisse in Form von Dürren oder Überschwemmungen besonders folgenschwer sind, deutet sich weltweit [IPCC, 2001] bzw. für Deutschland [Schönwiese et al., 2003] an, dass überall dort, wo er zunimmt, dies auch meist Hand in Hand mit häufigeren Extremereignissen geht. Die winterlichen Hochwässer im Rhein-Einzugsgebiet ordnen sich relativ gut in dieses Bild ein, weniger jedoch das Elbe-Hochwasser vom August 2002, weil die dortigen Pegelstände keinen systematischen Anstieg im Verlauf des Industriezeitalters erkennen lassen [Mudelsee et al., 2003; s. a. Glaser, 2001].

Anders ist das beim in weiten Teilen Mitteleuropas aufgetretenen Hitzesommer 2003, der in Deutschland mit Abstand der wärmste seit 1761 gewesen ist. Es lässt sich zeigen [Schönwiese et al., 2004], dass die Wahrscheinlichkeit dafür lange nahe Null gewesen, aber in den letzten Jahrzehnten um den Faktor 20 gestiegen ist. Damit liegt dieses Extremereignis sozusagen im Trend der Erwärmung, ist aber dennoch – bisher – als sehr extrem einzustufen (455-Jahre-Ereignis). Eine Modellstudie für die Schweiz kommt jedoch zu dem Ergebnis, dass im Zuge der anthropogenen Erwärmung, vgl. u., solche Ereignisse in rd. 100 Jahren fast zur Regel geworden sein könnten [Schär et al., 2004]. Bei Stürmen ist ein zeitlich bzw. räumlich systematisches Trendverhalten nicht erkennbar [IPCC, 2001]. Allerdings ist, global gesehen, die Versicherungswirtschaft über den drastischen Anstieg witterungsbedingter Schäden alarmiert (Überschwemmungen, Stürme usw.; [Berz et al., 2000]).

Ursachen des Klimawandels

Wie schon angedeutet, sind die Ursachen der Klimaänderungen sehr vielfältig. Selbst bei Beschränkung auf zeitliche Größenordnungen von Jahr-zu-Jahr-Variationen bis hin zu

Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese, Institut für Meteorologie und Geophysik, Johann-Wolfgang-von-Goethe-Universität Frankfurt (Main).

Kurzfassung eines Vortrags vom 12. Juli 2004 bei der NaturPur Energie AG, Darmstadt.

wenigen Jahrhunderten und großräumig betrachtet müssen mindestens berücksichtigt werden: Vulkanismus, Sonnenaktivität sowie interne Wechselwirkungsvorgänge im Klimasystem, zu denen z. B. das El-Niño-Phänomen gehört (episodische Erwärmungen des tropischen Ostpazifiks); anthropogene Einflüsse durch die Emission klimawirksamer Spurengase (Treibhausgase), allen voran CO₂ (Kohlendioxid) und schwefelhaltige Substanzen, die im Gegensatz zu den »Treibhausgasen« im globalen Mittel die untere Atmosphäre abkühlen.

Als grundlegende Orientierung dienen zunächst die Strahlungsantriebe [IPCC, 2001], d. h. die Veränderung der Bilanz aus solarer Einstrahlung und terrestrischer Abstrahlung in der unteren Atmosphäre. Eine Übersicht dazu zeigt *Tafel 2*, wobei einer solchen Betrachtung jedoch nur die externen Einflüsse auf das Klimasystem zugänglich sind und die dabei benutzten Maßzahlen ohne Rückkopplungen, z. B. durch Bewölkungseffekte, gelten.

Diese Vergleiche zeigen, dass dem anthropogenen »Treibhauseffekt« und dem Vulkanismus das größte Gewicht zukommen. Der zeitliche Verlauf der Störung, die Signalstruktur, ist jedoch ganz unterschiedlich: Während es sich beim anthropogenen »Treibhauseffekt« um einen systematischen und langfristigen Trend über das gesamte Industriezeitalter hin handelt, wirken sich explosive Vulkanausbrüche immer nur für wenige Jahre aus. Die Sonnenaktivität spielt eine geringe Rolle (was allerdings nur für das hier betrachtete Industriezeitalter gilt).

Klimafaktor Mensch

Die Wirkung der »Treibhauseffekte« dürfte weithin bekannt sein, so dass hier eine kurze Auflistung der wesentlichen Tatsachen genügen mag (Details s. [IPCC, 2001; Cubasch und Kasang, 2000; Schönwiese, 2003]).

- »Treibgase« wie CO₂, H₂O (Wasserdampf), CH₄ (Methan) usw. haben die Eigenschaft, die von der Erdoberfläche ausgehende Strahlung stärker zu absorbieren als die Sonneneinstrahlung. Nehmen die atmosphärischen Konzentrationen solcher Gase zu, wird daher die untere Atmosphäre wärmer, die Stratosphäre kälter.

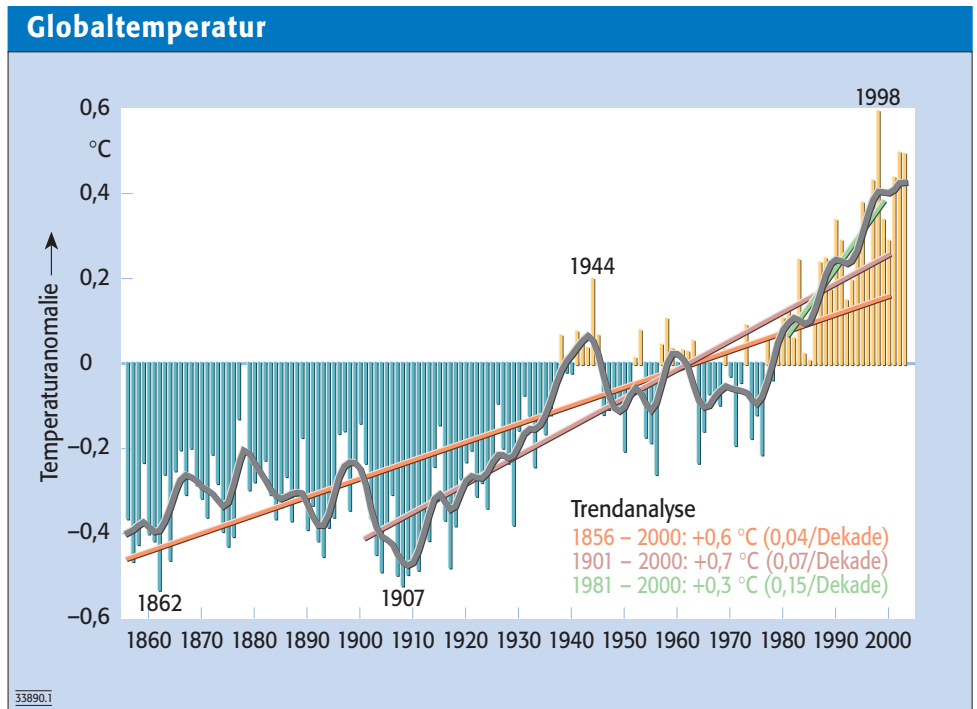


Bild 1. Jährliche Anomalien 1856 bis 2003 (Referenzintervall 1961 bis 1990) der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur (Land- und Ozeangebiete), Säulen, 10-jährige Glättung, graue Kurve, und lineare Trends für die angegebenen Zeitintervalle

Quelle: IPCC, 2001, ergänzt und bearbeitet

- Der Mensch emittiert derzeit jährlich rd. 30 Gt CO₂ in die Atmosphäre, wovon rd. 75 % auf die Nutzung fossiler Energieträger zurückgehen (Kohle, Erdöl und Erdgas, einschließlich aller Sekundäreffekte wie Verkehr), rd. 20 % auf Waldrodungen und rd. 5 % auf Brennholznutzung (Entwicklungsländer).
- Diese Emission ist im Lauf des Industriezeitalters enorm gestiegen, was mit dem Anstieg der Weltprimärenergienutzung zusammenhängt: seit 1900 in etwa um den

Faktor 12 bis 14 auf derzeit rd. 15 Gt SKE.

- Obwohl es im Rahmen des globalen Kohlenstoffkreislaufs Puffermechanismen gibt, so der Ozean jährlich rd. die Hälfte des zusätzlichen anthropogenen CO₂-Ausstoßes aufnimmt, kommt es zu einer Anreicherung der Atmosphäre mit CO₂, und zwar von vorindustriell (Holozän) rd. 280 ppm auf derzeit über 370 ppm.

Nur am Rande sei erwähnt, dass der natürliche Treibhauseffekt zum

Tafel 1					
Klimaelement	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Temperatur					
1891 bis 1990	+0,6 °C	+0,7 °C	+1,2 °C	+0,8 °C	+0,8 °C
1961 bis 1990	+0,8 °C	+0,4 °C	≈0	+1,7 °C	+0,7 °C
1981 bis 2000	+1,3 °C	+0,7 °C	-0,1 °C	+2,3 °C	+1,1 °C
Niederschlag					
1891 bis 1990	+11 %	≈0	+16 %	+19 %	+9 %
1961 bis 1990	-9 %	-8 %	+10 %	+20 %	+3 %
1971 bis 2000	+13 %	+4 %	+14 %	+34 %	+16 %

Tafel 1. Übersicht der beobachteten Temperatur- (bodennah) und Niederschlagstrends in Deutschland

Quelle: Rapp, 2000; Schönwiese 2003

Tafel 2

Klimafaktor	Strahlungs-Antrieb	Global-Signal	Deutshl.-Signal	Signalstruktur
Treibhausgase ¹⁾	(+) 2,2 bis 2,7 Wm ⁻²	0,9 bis 1,3 °C	rd. 1,5 °C	progressiver Trend (+)
Sulfatpartikel ¹⁾	(-) 0,2 bis 0,8 Wm ⁻²	0,2 bis 0,4 °C	rd. 0,6 °C	variabler Trend (-) ²⁾
Vulkanismus ³⁾	(-) max. rd. 3 Wm ⁻²	0,1 bis 0,2 °C	rd. 0,2 °C	episodisch, 1 bis 3 Jahre (-)
Sonnenaktivität	(+) 0,1 bis 0,5 Wm ⁻²	0,1 bis 0,2 °C	rd. 0,6 °C	fluktuativ (+)
El Niño	-	0,2 bis 0,3 °C	insignifikant	episodisch, Monate (+)

¹⁾ anthropogen ²⁾ vor allem rd. 1945 bis 1975 ausgeprägt

³⁾ beim Pinatubo-Ausbruch, 1991: 2,4 Wm⁻²; 1992: 3,2 Wm⁻²; 1993: 0,9 Wm⁻²

Tafel 2. Globale gemittelte Strahlungsantriebe, untere Atmosphäre (+ bedeutet Erwärmung, - Abkühlung) durch die angegebenen Klimafaktoren, vorindustriell (rd. 1750) bis heute [nach IPCC, 2001; Vulkanismus nach McCormick et al., 1995], und entsprechende Temperatureffekte (Signale) nach statistischen Modellabschätzungen (neuronalen Netze), bodennahe globale (1856 bis 1998) bzw. deutsche (1865 bis 1997) Mitteltemperatur [nach Walter und Schönwiese, 1999, 2002]

größten Teil (rd. 60 %) auf H₂O zurückgeht, der zusätzliche anthropogene, um den es hier geht, jedoch hauptsächlich auf CO₂ (zufällig ebenfalls rd. 60 %).

Mit Klimamodellrechnungen unterschiedlichster Art wird ge-

schätzt, dass – trotz quantitativer und regionaler Unsicherheiten im Detail – vor allem die globale Erwärmung der letzten Jahrzehnte mit großer Wahrscheinlichkeit dem Klimafaktor Mensch zuzuordnen ist (Bild 2). Aufgrund solcher Indizien

und Berechnungen für die Klima-Vergangenheit gewinnen die Klimamodellprojektionen in die Zukunft erheblich an Brisanz. Die wichtigsten Erwartungen sind, aufgrund von Szenarien, in *Tafel 3* zusammengestellt.

Konsequenzen

Die Konsequenz daraus kann nur lauten: Baldiger und effektiver Klimaschutz, wobei in den Diskussionen dazu die Reduzierung der anthropogenen CO₂-Emissionen mit Recht im Vordergrund steht. Der wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung »Globale Umweltveränderungen« [WBGU, 2003] hält nur noch eine weitere globale Erwärmung um 1,4 °C (somit im Industriezeitalter insgesamt rd. 2 °C) für tolerierbar und fordert folglich bis 2050 eine Reduzierung der CO₂-Emission global um 45 bis 60 % gegenüber 1990. Somit kann das Kyoto-Protokoll (1997) zum UN-Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen (Klimakonvention, 1992, seit 1994 völkerrechtlich verbindlich), das seitens der Industriestaaten eine Reduzierung einer Gruppe von »Treibhausgasen« um 5,2 % gegenüber 1990 bis 2008/2012 vorsieht, nur als Einstieg angesehen werden.

LITERATUR

- [1] Berz, G. et al.: Naturkatastrophen 1999. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Topics 2000, Eigenverlag, München.
- [2] Cubasch, U.; Kasang, D.: Anthropogener Klimawandel. Vlg. Klett-Perthes, Gotha/Stuttgart, 2000.
- [3] Glaser, R.: Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Primus + Wiss. Buchges., Darmstadt, 2001.
- [4] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton, J. T. et al., eds.): Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. University Press, Cambridge, 2001.
- [5] Lozán, J. L.; Graßl, H.; Hupfer, P. (Hrsg.): Warnsignal Klima. Wissenschaftliche Fakten. Wissenschaftliche Auswertungen + GEO, Hamburg; engl. überarbeitete Ausgabe 2001, 465 S.
- [6] McCormick, P. M.; Thomason, L. W.; Trepte, C. E.: Atmospheric effects of Mt Pinatubo eruption. Nature, 373 (1995), S. 399 – 404.
- [7] Mudelsee, M. et al.: No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. Nature, 425 (2003), S. 166 – 168.
- [8] Rapp, J.: Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. Bericht Nr. 212, Deut. Wetterdienst, Selbstverlag, Offenbach, 2000.

Vergleich

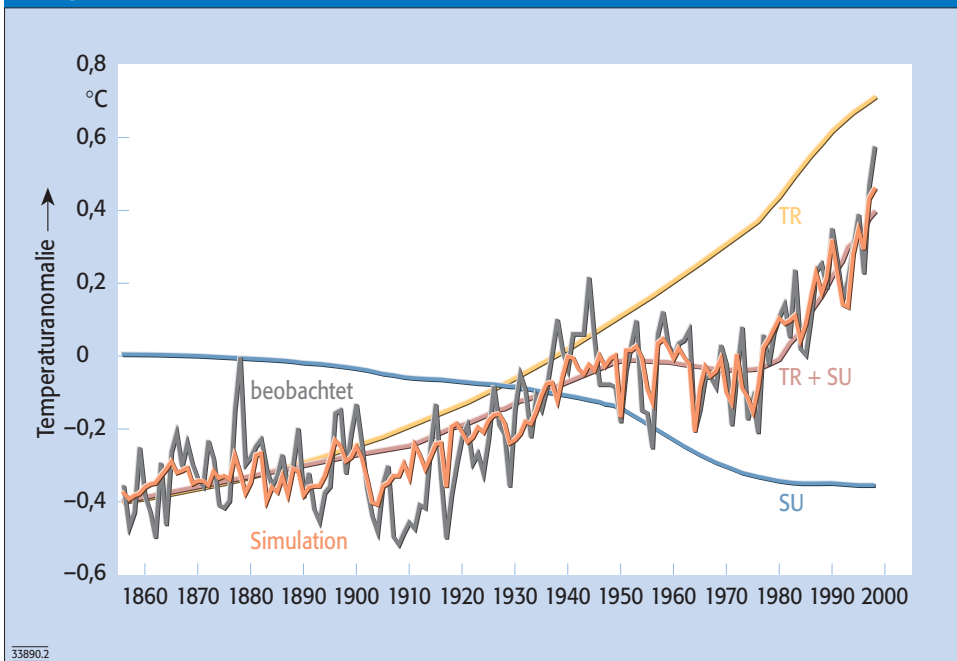


Bild 2. Vergleich der beobachteten Jahresanomalien der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur 1856 bis 1998 (entsprechend Bild 1), grau, Simulation durch ein neuronales Netz, rote Kurve, das gemäß Tafel 2 den anthropogenen Treibhaus-(TR-) sowie Sulfateffekt (SU) und weiterhin die natürlichen Faktoren Vulkanismus, Sonnenaktivität und El Niño enthält, und zugehörige TR-, SU- und (TR+SU-)Signalzeitreihen, die die Entwicklung des anthropogenen Anteils dieser Klimaänderungen angeben [nach Walter und Schönwiese, 2002]

Tafel 3

- Erwärmung der unteren Atmosphäre (global bis zum Jahr 2100 um 1,4 bis 5,8 °C; Maxima vermutlich im subarktischen Winter, in Mitteleuropa ebenfalls im Winter)
- Abkühlung der Stratosphäre (mit Begünstigung des dortigen Ozonabbaus)
- Niederschlagsumverteilungen, beispielsweise Mittelmeerregion generell trockener, Mitteleuropa im Sommer trockener und im Winter feuchter, Südkandinavien sowie Polargebiete generell feuchter
- Meeresspiegelanstieg (bis zum Jahr 2100 um rd. 10 bis 90 cm; aufgrund der thermischen Ausdehnung des oberen Ozeans und des Rückschmelzens außerpolarer Gebirgsgletscher)
- möglicherweise häufigere Extremereignisse wie Hitzewellen und Dürreperioden, aber auch Gewitter-, Hagel- und Starkniederschlagsepisoden (regional unterschiedlich), tropische Wirbelstürme, Tornados u. a. (dies im einzelnen aber sehr unsicher)

- [13] Schönwiese, Ch.-D., Staeger, T.; Trömel, S.: The hot summer 2004 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. *Meteorol. Z.*, N.F., 13 (2004), S. 343 – 347.
- [14] Walter, A.; Schönwiese, Ch.-D.: Ursachen der Lufttemperaturvariationen in Deutschland 1865 bis 1997. In *Deutscher Wetterdienst* (Hrsg.): *Klimastatusbericht 1998*, Offenbach (1999), S. 23 – 29.
- [15] Walter, A.; Schönwiese, Ch.-D.: Attribution and detection of anthropogenic climate change using a backpropagation neural network. *Meteorol. Z.*, 11 (2002), S. 335 – 343.
- [16] WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen), 2003: *Über Kyoto hinaus denken: Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert* (Sondergutachten und Presseerklärung vom 25.11.2003; http://www.wbgu.de/wbgu_sn2003_presse.html).

(33890)

Tafel 3. Wichtigste Klimamodell-Zukunftsprojektionen zum »anthropogenen Treibhauseffekt« [in Anlehnung an IPCC, 2001]

- [9] Schär, C. et al.: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427 (2004), S. 332 – 336.
- [10] Schönwiese, Ch.-D.: *Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen*. Springer, Berlin, 1995.
- [11] Schönwiese, Ch.-D.: *Klimatologie*. 2. Aufl., Ulmer (UTB), Stuttgart, 2003.
- [12] Schönwiese, Ch.-D.; Grieser, J.; Trömel, S.: Secular change of extreme precipitation months in Europe. *Theor. Appl. Climatol.*, 75 (2003), S. 245 – 250.

schoenwiese@meteor.uni-frankfurt.de

www.uni-frankfurt.de/imgf/meteor/klima

Anzeige