
Wolfgang Schluchter & Stephan Elkins (Hrsg.)

Klima im Wandel
– Eine disziplinüberschreitende Herausforderung –

Band zur Vortragsreihe
des Humanökologischen Zentrums der BTU Cottbus, 2001

UWV

BTU Cottbus, Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Eigenverlag

Zitiervorschlag:

Schluchter, W. / Elkins, S. (Hrsg.), 2001, Klima im Wandel – Eine disziplinüberschreitende Herausforderung, BTUC-AR 10/2001, ISSN 1434-6834.

Herausgeber:**Prof. Dr. Wolfgang Schluchter**

Wissenschaftlicher Direktor des Humanökologischen Zentrums

Dipl.-Pol. Stephan Elkins

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am LS für Sozialwissenschaftliche Umweltfragen
der Fakultät 4 der BTU Cottbus

Humanökologisches Zentrum

Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Postfach 10 13 44

D-03013 Cottbus

Tel.: (#3 55) 69 30 36

Fax: (#3 55) 69 30 37

e-mail: wolf.schluchter@tu-cottbus.de

Die Aktuelle Reihe wird von der Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus im Eigenverlag herausgegeben.

ISSN 1615-7818

Geschäftsführender Herausgeber:

Prof. Dr. Lothar Knopp / Lehrstuhl für Öffentliches Recht und Umweltrecht

Inhaltsverzeichnis

<i>Autoren</i>	<i>Thema</i>	<i>Seite</i>
W. Schluchter	Vorwort	5
S. Elkins	Klima im Wandel. Einleitende Bemerkungen zu einer Herausforderung an die Humanökologie	7
E. Schaller	Klimawandel in physikalischer Sicht	17
J. Negendank	Klima im Wandel: Die Geschichte des Klimas aus geowissenschaftlichen Archiven.	32
B. Jantsch	Wie hängt die Entstehung von Hauttumoren von Klimafaktoren ab?	39
W. Bär	Die Entstehung von infektionsbedingten Erkrankungen in Abhängigkeit von Klimafaktoren	52
D. Sikorski	Die Entstehung von psychiatrischen Erkrankungen in Abhängigkeit von Klimafaktoren.	58
F. Reusswig	Syndrome globalen Klimawandels – das Zusammenspiel von Akteuren, Strukturen und Umwelt.	63
U. Katenkamp	Klimawandel und Regierungshandeln: Forschungspolitik als Brücke im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Politik.	76
U. E. Simonis	Klimawandel als Problem internationaler Kooperation.	85
G. Erdmann	Klimawandel als Problem ökonomischer Strukturen.	97
Autorenverzeichnis		114

Vorwort

Vor kurzem wurde ich im Zusammenhang mit der Evaluierung der Technischen Universität Cottbus durch den Deutschen Wissenschaftsrat gefragt, wie man Humanökologie zu verstehen habe, sei das eine bestimmte Wissenschaft oder bloß eine Kompilation verschiedener Sachthemen, die sich um einen bestimmten Problembereich herum ansammeln. Ich erklärte, dass Humanökologie weder genau das eine noch das andere darstelle. Es handele sich um das Bemühen, Erkenntnisse verschiedener Disziplinen zusammen zu tragen und miteinander zu verknüpfen, um Sachverhalte beurteilen und analysieren zu können, die in der Natur des Verhältnisses zwischen den Menschen und ihrer Umwelt liegen. Ich wies darauf hin, dass es dabei um Sachverhalte ginge, die häufig schwer zu erkennen und zu fassen seien, weil sie vielfältig komplex erscheinen und manchmal sogar gar nicht unmittelbar ersichtlich sind.

In diesem Zusammenhang wurde auch die Frage gestellt, wie es mit der Entwicklung von Grundlagenforschung für die Humanökologie aussehe, und ich musste antworten, dass es eine kanonisch orientierte Grundlagenforschung mit bestimmten Regeln und disziplinär verfassten Begrenzungen nicht gäbe, ja geradezu ein Widerspruch zu meinem Verständnis von Humanökologie sei. Für mich ist Humanökologie eine große Herausforderung an die Fähigkeit von Menschen zur Kommunikation und zum Austausch von Erfahrungen über bestimmte Vorgänge, Sachverhalte und ihre Erscheinungsformen. Mir scheint, dass es dabei nicht eindeutig richtige oder falsche Herangehensweisen gibt, und so fallen auch die Erkenntnisse und Ergebnisse humanökologisch orientierter Wissenschaft aus. Dabei liegt die Betonung auf dem Wissen, das jedem Individuum zur Verfügung steht. Denn es beeinflusst die Stoßrichtung und die Tiefe des Erkenntnisprozesses. Jedenfalls sind die Ergebnisse humanökologischer Wissenschaft nicht beliebig, denn sie widerspiegeln die Rezeption der „Mitwelt“ der Menschen, in der sie leben. Nimmt man dies ernst, ist jeder Mensch der eigene Experte für sich selbst. Als Experte kann er urteilen darüber, was aus seinen Erkenntnissen folgt, welche Entscheidungen oder Optionen fällig sind, wie er Situationen bewertet und welche persönlichen Schlussfolgerungen daraus zu ziehen sind.

Humanökologie lässt sich so am ehesten als „Bedenkenskunst“ bezeichnen, bei der es um das Begreifen der verschiedensten Wirkungen und Effekte menschlichen Verhaltens und Einwirkens auf die Umwelt und die Natur geht, deren Teil er ist. Insofern könnte man dazu auch „Begreifenskunst“ sagen. Damit ist der Anspruch vorgezeichnet, den ich selbst an die Humanökologie stelle: Menschen sollen etwas begreifen und bedenken können. Dazu sind die Beiträge der disziplinär verfassten Wissenschaften ebenso unerlässlich wie der Menschen in ihrem jeweiligen Alltag selbst. Dies in einen Gesamtprozess einzubeziehen, der Wissenschaft und Menschen praktisch zusammenbringt, ist die Aufgabe der Humanökologie, wenn sie sich als eine Humanwissenschaft versteht, die sich der Zukunftsfähigkeit und Nachhaltigkeit menschlichen Tuns und humaner Existenz widmet.

Ich glaube, dass dies nicht nur heute wichtig ist. Ohne solche Erkenntnisse sind in der Antike etliche Gesellschaften verschwunden, aber auch neue entstanden. Unter den Bedingungen der Globalisierung ist es nicht ausgemacht, dass sich Menschen immerfort in neuen Gesellschaften zusammenschließen können. Es könnte ja auch sein, dass die Menschen verschwinden, weil sie über ihre Verhältnisse gelebt haben. Das wäre auch naturgemäß das Ende der Humanökologie, aber auch jeder anderen Wissenschaft.

Die Veranstaltungsreihe „Klima im Wandel – Gefahr für den Menschen“ im Sommersemester 2001, die dieser Publikation zugrunde liegt, sollte zu diesem Verständnis beitragen.

Ganz herzlich sei den Referenten gedankt für ihre Bereitschaft, an die BTU Cottbus zu kommen, mit uns zu diskutieren und schließlich ihre Überlegungen als Beiträge zu dem vorliegenden Sammelband auszuarbeiten. Ausdrücklich sei auch das Engagement jener Vielzahl von Personen gewürdigt, die durch ihren Einsatz diese Vorlesungsreihe und Publikation überhaupt erst möglich gemacht haben. In diesem Sinne gilt der Dank der Herausgeber Jörg Becker, Tatsiana Bushyla, Mario Harz, Anika Hofmann, Stefan Lemm, Michael Pilarczyk, Stefan Rother, Steffi Richter, Helga Scharkoff, Wolfgang Serbser, Hardy Schleinitz, Maren Schroeder, Bärbel Schubert, Manja Winter und ganz besonders Kathrin Mende.

Cottbus, im Dezember 2001

Wolfgang Schluchter

Wissenschaftlicher Direktor des Humanökologischen Zentrums an der BTU Cottbus

Klima im Wandel. Einleitende Bemerkungen zu einer Herausforderung an die Humanökologie.

Stephan Elkins

Der vorliegende Band dokumentiert eine Vorlesungsreihe, die im Sommersemester 2001 vom Humanökologischen Zentrum an der Brandenburgischen Universität in Cottbus durchgeführt wurde. Das Humanökologische Zentrum hat sich des Themas Klima angenommen, nicht allein weil es sich um eine aktuelle Thematik von großer gesellschaftlicher Bedeutung handelt. Vielmehr stellt die Klimaproblematik geradezu einen paradigmatischen Fall für die Fruchtbarkeit der humanökologischen Perspektive dar.

Im Lichte der Umweltproblematik wurde das Interesse an der Humanökologie als Lehre der Mensch-Umwelt-Interaktionen neu belebt. Verfolgt man die zeitgenössische Diskussion um die Humanökologie, so wird man schnell feststellen, dass man es hier nicht mit einer Fachdisziplin zu tun hat, die sich auf der Grundlage eines mehr oder weniger klar umrissenen methodologischen und theoretischen Repertoires in spezifischer Weise in Abgrenzung gegenüber anderen disziplinären Zugängen seinem Gegenstand nähert. Den gemeinsamen Nenner der Unternehmung Humanökologie findet man vielmehr in dem vereinigenden Erkenntnisinteresse an der Aufklärung des empirisch vorfindlichen historisch gewachsenen und als problematisch wahrgenommenen Gefüges der Beziehungen zwischen Mensch und Natur, also gleichsam in dem interessierenden Gegenstand selbst.

Das Interesse an der Humanökologie speist sich dabei nicht zuletzt aus den erfahrenen Grenzen der modernen Wissenschaft. Die unbestreitbare Leistungsfähigkeit moderner Wissenschaft beruht wesentlich auf die grundlegende Operation der Steigerung durch Beschränkung. Durch die systematische Beschränkung des Blicks auf einen spezifischen Ausschnitt der Welt wird dessen virtuose Durchdringung ermöglicht. Diese Operation liegt im Kern auch der Ausdifferenzierung der wissenschaftlichen Disziplinen zugrunde. Gegenwärtig wächst jedoch das Bewusstsein, dass in dieser historisch äußerst erfolgreichen Operation offenkundig auch ein Problem steckt. Mit der gesteigerten Selektivität der Betrachtung geht zunehmend der real vorfindliche Zusammenhang der Dinge verloren. Mit genau diesem Problem sieht sich die Wissenschaft, wie die Gesellschaft insgesamt, durch die Umweltproblematik zusehends konfrontiert.

In der wissenschaftlichen Praxis kann man verschiedene Formen des Umgangs mit diesem Problem beobachten. Üblicherweise wird es schlicht ignoriert. Im Ergebnis hat man es mit fachspezifisch mehr oder weniger eleganten Analysen zu tun, die aber im Hinblick auf die Komplexität der Problemlage beziehungsweise ihrer praktisch aussichtsreichen Bearbeitung weitgehend unzulänglich sind. Ignoriert man das Problem nicht, dann sieht man sich als Virtuose eines bestimmten Fachgebiets allerdings vor die Schwierigkeit gestellt, dass einem letztlich wesentliche Bausteine für eine angemessene Problemanalyse fehlen. Dieses Problem kann man dann entweder - mehr oder weniger dilettantisch - selbst bearbeiten, es in Ermangelung eigener adäquater Lösungsmöglichkeiten delegieren (was in der Konsequenz in aller Regel auf Ignorieren hinausläuft) oder durch entsprechende disziplinübergreifende Kooperation zu bearbeiten suchen. Die Humanökologie kann im Sinne der letzten Option als Versuch interpretiert werden, einen Ansatz zu finden, diese Unzulänglichkeit durch ein problembezogenes, disziplinübergreifendes Herangehen zu überwinden.

Dass das produktive Zusammenwirken der spezialisierten wissenschaftlichen Teilstränge alles andere als einfach zu bewerkstelligen ist, muss nicht eigens betont werden. Die Schwierigkeiten eines solchen Unterfangens können hier nicht näher analysiert werden. An dieser Stelle nur soviel: Die Schwierigkeiten interdisziplinärer Kooperation sind gar nicht so grundverschieden von den Schwierigkeiten interkultureller Kommunikation. Nicht zufällig ist man auf die Idee verfallen, etwa das Verhältnis zwischen den Naturwissenschaften einerseits und den Geistes- und Sozialwissenschaften andererseits als die zweier Kulturen zu kennzeichnen.¹ Die Schwierigkeiten werden dabei sicherlich nicht dadurch einfacher, dass ein im Hinblick auf die zu bearbeitenden Problemlagen produktives integratives Zusammenwirken allenfalls auf der Grundlage von Differenzierung und Spezialisierung aussichtsreich erscheint, die als eine Voraussetzung für die Leistungsfähigkeit, aber gerade auch als Problem moderner Wissenschaft gelten müssen.

Eine zweite, nicht zu unterschätzende Schwierigkeit resultiert daraus, dass im Rahmen der Wissenschaft als soziales System kaum nennenswerte institutionelle Anreize auszumachen sind, die eine Ausrichtung des wissenschaftlichen Handelns an der erfolgreichen Bearbeitung dieser Problematik motivieren könnten. Die karrierefördernde soziale Anerkennung wird von der Gemeinschaft der Virtuosen eines jeden Faches nach den Standards der Virtuosität eben dieses Faches erteilt oder verweigert. Es erscheint unter diesem Gesichtspunkt für den Wissenschaftsakteur wenig opportun, übermäßig viele Energien auf Aktivitäten zu richten, die nicht im Zentrum fachlicher Aufmerksamkeit stehen und damit wenig reputationsträchtig sind.

Mit der Identifikation eines gemeinsamen Interesses an der Aufklärung des als problematisch wahrgenommenen Verhältnisses zwischen Mensch und Natur als integrativem Kern einer wiederbelebten Humanökologie ist weiterhin gesagt, dass sie einen normativen Ausgangspunkt in diesem Bezugsproblem hat. Die Implikation dieses gemeinsamen Bezugsproblems ist, dass die Humanökologie auch als eine handlungsorientierte Wissenschaft einen praktischen Beitrag zur Lösung der Umweltproblematik leisten sollte.² In der Konsequenz sieht sich die Humanökologie, will sie diesen Anspruch ernst nehmen, mit weiterreichenden Anforderungen konfrontiert. Humanökologische Forschung muss sich beispielsweise im Hinblick auf Praxis in besonderem Maße um Relevanz wie um Vermittelbarkeit kümmern. In der Sachdimension bedeutet das, dass ihre Erkenntnisse dem Bezugsproblem gerecht werden sowie im Kontext von Praxis nachvollziehbar und handhabbar sein müssen. Relevanz und Vermittelbarkeit stellen sich aber nicht nur als Problem der *sachlichen* Angemessenheit, sondern ebenso in der Sozialdimension als Problem der *sozialen* Angemessenheit. Das heißt, es geht bei Problemanalysen und Lösungsoptionen immer auch darum, die Bedingungen der Möglichkeit von Lösungsoptionen im sozialen Kontext mitzureflektieren.

Diese „zweidimensionale“ Anforderung verweist wiederum auf die erwähnte Notwendigkeit disziplinübergreifender Kooperation, nicht allein, jedoch insbesondere über etablierte Grenzen zwischen Natur- und Sozialwissenschaften hinweg. Sie legt aber auch in einer anderen Hinsicht Kooperationsprozesse über die institutionalisierten Grenzen des Subsystems Wissenschaft hinaus nahe. Relevanz und Vermittelbarkeit von Forschung in praktischen Kontexten wird genau besehen wohl nicht ohne die systematische Berücksichtigung „lokalen“ Wissens der die jeweilige Praxis in spezifischen Kontexten hervorbringenden Akteure auskommen.³

¹ Eine dahingehende Diskussion wurde von Snow (1959) angeregt, der die Unterscheidung von „science vs. literature“ machte.

² In diesem Sinne spricht Glaeser (1989: 37) auch von Humanökologie als Handlungswissenschaft.

³ Auch Jäger (1996) argumentiert in diese Richtung.

Konstruktive Formen einer solchen Kooperation hervorzubringen und zu fördern, muss ebenso als humanökologische Herausforderung begriffen werden.

Vor dem Hintergrund dieses knapp skizzierten Grundverständnisses der Humanökologie ist die hier dokumentierte Vorlesungsreihe konzipiert worden. Es ist das Anliegen des Humanökologischen Zentrums entsprechend problembezogene Diskurse zu fördern, die institutionalisierten Grenzen überschreiten und Perspektiven konstruktiver Kooperation eröffnen können. In diesem Sinne sind die in diesem Band versammelten Beiträge darum bemüht, die aus der Perspektive unterschiedlicher Fachdisziplinen durch die Klimaproblematik aufgeworfenen Fragen in einer Form darzulegen, die sich sachlich auf der jeweiligen Höhe des Faches bewegt, zugleich aber für ein fachfremdes Publikum zugänglich bleibt.

Im Zuge der einzelnen Beiträge entfaltet sich dem Leser Schritt für Schritt in exemplarischer Weise ein Bild der Komplexität der ineinander verschränkten Zusammenhänge, die es für ein angemessenes Problemverständnis und Problembehandlung in den Blick zu nehmen gilt und es begründet erscheinen lassen, hier von einem paradigmatischen Fall für die Fruchtbarkeit der humanökologischen Perspektive zu sprechen. Dabei lassen sich durch die vielfältigen Facetten der Beiträge hindurch mindestens zwei Aspekte identifizieren, die immer wieder thematisch sind. Zum einen belegen die Analysen der Autoren aus ganz unterschiedlichen Blickwinkeln eindrücklich, wie ein angemessenes Verständnis der Klimaproblematik, seiner potenziellen Folgen sowie der Möglichkeiten, den hier relevanten Trends zu begegnen, letztlich von disziplinübergreifender Kooperation abhängt. Da es hier zentral um Probleme im Verhältnis zwischen Mensch und Natur geht, gilt das ganz besonders für die Natur- und Sozialwissenschaften. Zum anderen werden in den Beiträgen immer wieder Fragen nach einem angemessenen gesellschaftlichen Umgang mit der Klimaproblematik aufgeworfen und damit letztlich Fragen nach „vernünftigen“ institutionellen Formen des Handelns gestellt; sei es als Frage nach dem Umgang mit (unausgeräumter oder unausräumbarer) kognitiver Unsicherheit angesichts von Entscheidungsdruck in potenziell existenziellen Fragen oder als Frage nach den Bedingungen der Möglichkeit internationaler Kooperation angesichts globaler Problemlagen. Die Frage heißt entsprechend: Wie müssen Institutionen konzipiert sein, um sachlich rationales und zugleich moralisch verantwortliches Handeln zu fördern?

Übersicht der Beiträge

In seinem Beitrag „Klimaänderungen aus physikalischer Sicht“ erläutert **Eberhart Schaller** die empirische Datenlage und das theoretische Erklärungsmodell, die zu der Hypothese vom „Treibhauseffekt“ führen, also der anthropogen verursachten, potenziell folgenreichen Erwärmung der Erdatmosphäre. Als gesichert kann demzufolge gelten, dass menschliche Aktivitäten, hier sind insbesondere Emissionen und Veränderungen der Erdoberfläche zu nennen, eine erhebliche Veränderung des irdischen Strahlungshaushaltes zur Folge haben. Weiterhin muss angesichts der bekannten klimarelevanten Wirkungszusammenhänge davon ausgegangen werden, dass diese Veränderungen des Strahlungshaushaltes die Folge einer signifikanten Erwärmung der Erdatmosphäre grundsätzlich haben *kann*. Der gegenwärtige Stand des Wissens, wie er in den Berichten des Intergovernmental Panel on Climatic Change niedergelegt ist, legt nach Auffassung des Autors die Einschätzung nahe, dass wir es mit hoher Wahrscheinlichkeit auch tatsächlich mit dem Phänomen eines anthropogen induzierten Klimawandels zu tun haben, wenngleich die Größenordnung des Problems je nach Szenario variieren mag. Allerdings können die Konsequenzen des beobachtbaren Eingriffs des Menschen in den Strahlungshaushalt der Erde angesichts der begrenzten Datenlage und dem begrenzten Ver-

ständnis des hoch komplexen Phänomens Klima - jedenfalls bislang - nicht *sicher* prognostiziert werden.

Jörg F. W. Negendank greift dieses grundsätzliche Problem unserer begrenzten Kenntnis des Klimas auf. Ähnlich wie Schaller verweist er auf den Umstand, dass einerseits unser Verständnis des Klimas notgedrungen auf einer eher schmalen empirischen Datenbasis beruht und wir es beim Klima andererseits mit einem globalen System höchster Komplexität zu tun haben, das angesichts der Vielfalt der potenziell relevanten Faktoren im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung kaum zuverlässig prognostizierbar erscheint. Das Problem der Unsicherheit unserer Wissensbasis stellt Negendank aus Sicht des Geologen noch schärfer heraus, indem er die Frage des Klimawandels in den Kontext einer erdgeschichtlichen Betrachtung der Klimavariabilität stellt. Dabei kommt er zu dem Ergebnis, dass das erhebliche Ausmaß der erdgeschichtlichen natürlichen Variabilität der Klimaentwicklung, das, was wir gegenwärtig beobachten, noch übersteigt. Dieser Umstand macht es aus seiner Sicht sehr schwierig, die Frage nach dem anthropogenen Einfluss auf das Klima eindeutig zu beantworten. Gegenüber der Einschätzung Schallers wirft Negendank implizit die provokante Frage auf, ob angesichts der Kräfte, die das Klima bestimmen, der Mensch seinen Einfluss nicht gar überschätzt.

An den von Schaller und Negendank vertretenen kontroversen Positionen tritt das gesellschaftliche Handlungsproblem klar hervor. Die handlungspraktische Crux verbleibender Unsicherheit für die Gesellschaft im Allgemeinen und die Politik im Besonderen, darauf weisen später **Ulrich Katenkamp** und **Fritz Reusswig** hin, liegt darin, dass verbleibende Unsicherheit erhebliche Spielräume der Problemdeutung eröffnet, die je nach Wertorientierung und Interessenstandpunkt zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen führen können. Im Ergebnis haben wir es mit ganz unterschiedlichen Einschätzungen der Dringlichkeit des Problems (gerade auch im Verhältnis zu anderen Problemen, wie etwa des ökonomischen Wachstums), oder gar der Existenz eines Problems zu tun. Entsprechend ergeben sich unterschiedliche Empfehlungen im Hinblick auf die angemessene Problembearbeitungsstrategie. Akzeptiert man den Umstand, dass man die offenen Fragen zumindest zum gegenwärtigen Zeitpunkt kaum wissenschaftlichen Standards genügend zweifelsfrei wird klären können, verschiebt sich das Problem für die Gesellschaft auf die Frage des besagten vernünftigen Umgangs mit dem Problem der Unsicherheit in gesellschaftlich essenziellen Bereichen. Es erscheint nicht unangemessen, in dieser Frage das gegenwärtige gesellschaftliche Kernproblem der Klimaproblematik zu sehen.

Während die Beiträge von Schaller und Negendank sich mit der Frage auseinandersetzen, ob und gegebenenfalls wie aus menschlichen Eingriffen in den atmosphärischen Strahlungshaushalt eine signifikante Erwärmung des Planeten resultiert, gehen die nachfolgenden Autoren Jantsch, Bär und Sikorski aus unterschiedlichen Perspektiven der Frage nach den möglichen Auswirkungen einer solchen Entwicklung für den Menschen nach. **Bernd Jantsch** setzt sich mit einer der in der öffentlichen Wahrnehmung wohl prominentesten Folgen der Veränderung von klimarelevanten Parametern auseinander: dem wachsenden Hautkrebsrisiko. Freilich hängt hier das Problem nicht an der Frage der Erwärmung der Atmosphäre, sondern es stellt sich als Frage, ob im Zuge anthropogener Veränderungen des atmosphärischen Strahlungshaushaltes mit einem erhöhten Aufkommen an Hautkrebs zu rechnen ist. Der grundlegende Mechanismus wird dergestalt beschrieben, dass infolge der Emission von FCKW und Halonen und der dadurch ausgelösten chemischen Reaktionen die Dichte des Ozons in den oberen atmosphärischen Schichten abnimmt und damit ein zentrales Filterelement der Atmosphäre gegenüber krebsinduzierender ultravioletter Strahlung in seiner Wirksamkeit beeinträchtigt wird. In der Konsequenz nimmt der Anteil der UV-Strahlung zu, die bis zur Erdoberfläche

durchdringt und biologisch, sprich: kanzerogen, aber auch im Hinblick auf die Schwächung des Immunsystems wirksam ist.

Empirisch sieht Jantsch einen Zusammenhang zwischen Hautkrebsvorkommen und Ozonabnahme in der Atmosphäre im Prinzip als belegt. Der Autor macht jedoch klar, dass der zugrundegelegte Kausalmechanismus in gewisser Weise kurzschlüssig ist. Als entscheidende intervenierende Variable, die diesen Zusammenhang überhaupt erst begründet, wird eine veränderte Lebenspraxis der Menschen identifiziert, insbesondere in den industrialisierten Ländern Mitteleuropas, Nordamerikas, Australien und Neuseeland. Zentral ist hier das (seit den 50er Jahren) veränderte Freizeit- und Urlaubsverhalten, das mit einer erhöhten Sonnenexposition einhergeht. Es ist diese erhöhte Sonnenexposition, die laut Jantsch als entscheidender Faktor für die beobachtete Zunahme von Hautkrebs verantwortlich ist. Ein Trend, der dann durch den Abbau von Ozon und dem entsprechenden Anstieg der biologisch wirksamen UV-Strahlung noch verstärkt wird.

Aus humanökologischer Sicht spannend ist hier, wie natürliche und soziale Faktoren sich wechselseitig bedingend ineinander greifen, um eine bestimmte Problemkonstellation hervorzubringen. Im Zuge wachsenden Wohlstandes, das sich in der Zunahme von Freizeit und Urlaubsreisen manifestiert, setzen sich Menschen zunehmend der Sonne aus. Dieses Verhalten ist dadurch motiviert, dass die so erzielte Bräune der Haut Wohlstand (Status) und Gesundheit symbolisiert. Das Problem der Folgen dieser zunehmenden Sonnenexposition (Hautkrebs) verschärft sich dadurch, dass mit dem wachsenden Wohlstand zugleich Praktiken einhergehen (Emission von Stoffen), die zur Steigerung der UV-Strahlung führen und damit das Hautkrebsproblem wiederum positiv verstärken.

Am Beispiel der Malaria fragt **Werner Bär** aus der Perspektive der Mikrobiologie nach den möglichen Konsequenzen des Klimawandels für die Entwicklung von infektionsbedingten Erkrankungen. Es muss beunruhigen, dass die Malaria sich auf dem Vormarsch befindet und die traditionellen Mittel ihrer Bekämpfung sich zunehmend als wirkungslos erweisen. Die Vermutung liegt nahe, dass der Treibhauseffekt sich hier als ein weiterer, diese Entwicklung fördernder Faktor erweisen könnte. Durch erhöhte Temperaturen und Niederschläge könnte die Ausbreitung der die Malariaerreger verbreitende Anopheles-Mücke begünstigt werden. Bär argumentiert auf der Grundlage bisheriger Untersuchungen, dass dieser Zusammenhang bislang nur unter weiteren Voraussetzungen zu beobachten ist, zu denen beispielsweise vermehrte Sumpfbildung gehört.

Wie schon in den Ausführungen von Jantsch ist auch hier aus humanökologischer Perspektive bemerkenswert, wie das Problem, hier die wachsende Verbreitung von Malaria, seine Wurzel in menschlichen Aktivitäten hat. Bär weist auf drei Komplexe hin, die hier unabhängig von der Klimaproblematik wirksam sind. Zum einen die Ausweitung malariaförderlicher Ökosysteme im Zuge von spezifischen Praktiken der Agrarproduktion (zum Beispiel weitflächiger Reisanbau in Ostasien und künstliche Bewässerungssysteme (etwa Flussumleitungen zum Anbau von Baumwolle in Südrussland)). Des weiteren die Verbreitung der Malariaträger durch zunehmende Reiseaktivitäten. Und schließlich die chemische Bekämpfung der Malaria, sowohl in Form von Pestiziden (zum Beispiel DDT) wie auch medikamentös, die beide (im letzten Fall in Kombination mit den verstärkten Reiseaktivitäten) zur Verbreitung von resistenten Erregerstämmen geführt haben und damit zur zunehmenden Wirkungslosigkeit traditioneller Kontrollstrategien.

In seinem Essay stellt **Dieter H. Sikorski** die Frage nach den Folgen des Klimawandels aus wieder einer anderen Perspektive: Welche Folgen mag diese Entwicklung für die psychische

Konstitution der Menschen haben? Die Vorstellung, dass klimatische Bedingungen einen Einfluss auf unser Gemüt haben, gehört zum Fundus weithin geteilten Alltagswissens. So wird die Aussage, dass die strahlende Sonne unser Gemüt erhellt, während trübe Novembertage depressive Stimmungslagen begünstigen, kaum auf nennenswerten Widerspruch stoßen. Der Autor illustriert anschaulich, dass die Vorstellung eines kausalen Zusammenhangs zwischen Klima und Seelenlage der Menschen auch ideengeschichtlich weit verbreitet war. Wenn es diesen Zusammenhang zwischen klimatischen Bedingungen und psychische Konstitution des Menschen gibt, stellt sich die spannende Frage, welche psychischen Folgen von einem Wandel des Klimas erwartet werden können. Können sich Mitteleuropäer etwa auf einen kulturellen Wandel zu mediterranen Lebensformen einstellen, angesichts sich allmählich einstellender subtropischer Temperaturen auch diesseits der Alpen? Diese für den einen oder anderen Zeitgenossen erfreuliche Aussicht in einer ansonsten von katastrophischen Szenarien dominierten Entwicklungsperspektive mag aufkommende Besorgnis etwas lindern. Sikorski zerstört allerdings dahingehende Illusionen, indem er auf die in der Forschung nachgewiesene Substanzlosigkeit einer solchen direkten Zusammenhangsvermutung verweist.

Die Sikorskis Essay zugrundeliegende Grundproblematik des Verhältnisses von Natur und Kultur ist freilich eine Frage, die von Anbeginn im Zentrum der Humanökologie stand (vgl. Serbser 2002) und weiterhin steht. **Fritz Reusswig** greift diese Thematik aus soziologischer Perspektive als Ausgangspunkt seines Beitrags auf und stellt sie als Frage nach dem Verhältnis von Klima und Gesellschaft. Gegenüber dem Klimadeterminismus, demzufolge das Klima bestimmenden Einfluss auf Mensch und Gesellschaft habe, und die historisch in der Soziologie weit verbreitete Gegenposition eines Soziozentrismus, der die Erklärung gesellschaftlicher Entwicklungen allein durch soziale Faktoren erlaubt, unter vollständiger Ausblendung von Naturprozessen, plädiert Reusswig für ein Verständnis des Verhältnisses von Gesellschaft und Natur als dialektische Beziehung. So sei von einem wechselseitigen Einfluss von Klima und Gesellschaft auszugehen, auf der Grundlage der relativen Eigenständigkeit beider Sphären. Diesem Ansatz zufolge sind die Entwicklungen in beiden Sphären verschränkt, entfalten ihre Wirkung in der jeweils anderen Sphäre auf der Grundlage der dort vorherrschenden Gesetzmäßigkeiten.

Als forschungspraktische Umsetzung dieses Zugangs wird der vom Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung verfolgte *Syndromansatz* vorgestellt. Als Syndrom wird hierbei eine spezifische Konstellation natürlicher und sozialer Prozesse begriffen, die in einem komplexen Wirkungsgefüge ineinander greifen, um einen bestimmten Problemtyp zu erzeugen. Aus humanökologischer Perspektive hochgradig interessant ist der Umstand, dass dieser natürliche und soziale Faktoren integrierende Ansatz notwendig disziplinübergreifend angelegt ist - Reusswig spricht von „transdisziplinär“. Zudem betrachtet er die interessierenden Phänomene, etwa den Klimawandel, nicht isoliert, sondern zugleich mit Blick auf die Folgen für Öko- und Sozialsysteme.

Mit Blick auf den Klimawandel illustriert Reusswig, wie der Syndromansatz eine weitere interessante Perspektive auf das Problem eröffnet. Ausgehend von einer Liste der Hauptsyndrome der globalen Umweltveränderung, die im Zuge dieser Forschung identifiziert wurden, stellt der Autor die Frage nach der Relevanz der jeweiligen Muster für das Klimaproblem. Fragt man einmal nach der Klimawirksamkeit einer Konfiguration von Mensch-Natur-Interaktionen, die ein Syndrom begründen, also gewissermaßen nach dem Beitrag dieser Konfiguration zur Erzeugung der Klimaproblematik, und auf der anderen Seite nach der Anfälligkeit einer entsprechenden Konfiguration von Mensch-Natur-Interaktionen, also nach dem Störpotential, das von Klimaänderungen ausgeht für ein bestimmtes Muster von Mensch-Natur-Interaktionen, so wird der Blick geöffnet für potenzielle strukturbedingte Muster von

Interessenlagen, die im Hinblick auf die politische Handhabung der Klimaproblematik, sprich: für die soziale Machbarkeit unterschiedlicher klimapolitischer Optionen hochgradig relevant sind. Beim Vorliegen bestimmter Syndrome lässt sich eher ein Interesse an „Ursachenbekämpfung“ erwarten, während bei anderen Syndromen eher ein Interesse an Anpassung an die Folgen von Klimawandel erwartet werden kann. Im Ergebnis werden neben den bekannten Interessenkonstellationen auch strukturelle Grundlagen für Allianzen in Klimafragen sichtbar gemacht, die nicht ohne weiteres ins Auge springen. Dieses Thema wird auch in dem Beitrag von **Udo E. Simonis** aufgegriffen.

In der einleitenden Skizze des humanökologischen Ansatzes wurde die These vertreten, dass die Humanökologie als handlungsorientierte Wissenschaft letztlich genötigt sei, sich auch auf die Reflektion der Bedingungen der Möglichkeit von Lösungsoptionen im sozialen Kontext einzulassen. Die letzten drei Beiträge dieses Bandes von Katenkamp, Simonis und Erdmann beschäftigen sich aus unterschiedlichen Blickwinkeln in diesem Sinne mit der *Sozialdimension* der Klimaproblematik. Ausgangspunkt von **Ulrich Katenkamp** ist dabei das im Fall der Klimaproblematik deutlich werdende Spannungsverhältnis zwischen Wissenschaft und Politik. Es hat seine Wurzel in dem Umstand, dass das Handeln in diesen Sphären jeweils nach unterschiedlichen Kriterien ausgerichtet ist. Während es Aufgabe der Politik ist, kollektiv verbindliche Entscheidungen in gesellschaftlich relevante Fragen bereitzustellen, die sowohl sachlich als auch im Hinblick auf die gesellschaftlich geltenden Wertvorstellungen angemessen sind, erwartet man von der Wissenschaft, dass sie „wahres Wissen“ über die Welt bereitstellt. In der Frage der Klimaproblematik (und das gilt für fast alle Entscheidungsmaterien in der modernen Gesellschaft) ist die Politik auf solches Wissen und damit auf Wissenschaft angewiesen, um sachlich angemessene Entscheidungen treffen zu können.

Das Problem für die Politik ist, dass die Wissenschaft solches Wissen nicht ohne weiteres in der Form und des Typs bereitstellt, wie es die Politik benötigt. Dieses Problem hat zwei Seiten: Während einerseits die Politik Wissenschaft konsultiert zur Beschaffung der notwendigen Wissensgrundlage für politisches Handeln, wird sie von der Wissenschaft mit der Unsicherheit wissenschaftlichen Wissens konfrontiert. Nicht klare, einfach handhabbare Aussagen stehen typischerweise am Ende eines solchen Konsultationsprozesses, sondern komplexe Aussagen-Sets, deren Geltung jeweils von zahlreichen ausgewiesenen Randbedingungen abhängen. Aufgrund der Komplexität der Materie können diese Aussagen auch unvollständig, teilweise widersprüchlich oder extrem variabel in Abhängigkeit eben dieser Randbedingungen sein.

Die Politik hat ein weiteres Problem mit dem wissenschaftlichen Wissen. Die Politik muss nicht nur im Hinblick auf das zu bearbeitende Problem sachlich wirksame politische Optionen finden. Sie muss zugleich sicherstellen, dass die gewählten Optionen auch in der Sozialdimension bestandsfähig sind. Das heißt die politischen Optionen müssen neben ihrer sachlichen Angemessenheit auch sozial umsetzbar sein. Das Zusammenbringen der Sach- und Sozialdimension von Politik ist eine durchaus komplizierte Angelegenheit, wenn man bedenkt, dass sie ganz unterschiedliche, zum Teil konfligierende Interessen und Wertmaßstäbe in Rechnung stellen muss. Das Problem verkompliziert sich noch erheblich durch die sachliche Verflechtung unterschiedlicher Politikfelder. Eine in einem Handlungsfeld angemessene politische Option kann in anderen Feldern zugleich erhebliche, nicht intendierte, dysfunktionale Folgewirkungen haben. In der Konsequenz lässt sich wissenschaftliche Erkenntnis nicht immer ohne weiteres in politisches Handeln umsetzen.

Vor diesem Hintergrund muss die Politik ein Interesse daran haben, ein möglichst breites Spektrum an Optionen zur wirksamen Problembearbeitung zur Verfügung zu haben, das die

Wahrscheinlichkeit erhöht, über Optionen zu verfügen, die die Verknüpfung von Sach- und Sozialdimension erlauben. Im Idealfall würde die Wissenschaft solches Optionswissen bereits mit Blick auf die Bedingungen der praktischen Umsetzbarkeit erzeugen. Problemlösungsansätze, die die Probleme politisch-praktischer Umsetzbarkeit im Blick haben, verweisen wiederum auf die Notwendigkeit bei Problemen, die den Interaktionen zwischen Mensch und Natur entspringen, diese auch unter dem Gesichtspunkt ihrer sozialen Verursachung beziehungsweise ihrer sozialen Folgen zu betrachten. Wiederum im Idealfall würde die Wissenschaft hier über disziplinäre Grenzen hinweg kooperieren, um Optionswissen auf einer solchen Grundlage zu generieren. Unglücklicherweise, so der Autor, stellt die Wissenschaft ein solches politik-affines Wissen nicht einfach von sich aus bereit. Forschungspolitik, wie sie im vorgestellten Förderprogramm der Klimaforschung DEKLIM angelegt ist, ist letztlich der Versuch der Politik, ihren spezifischen Wissensbedarf durch die Initiierung entsprechender (disziplinübergreifender) Forschungsprozesse zu decken.

Während Katenkamps Ausführungen dem Leser einen Eindruck davon vermitteln, dass Klimapolitik schon im nationalen Kontext eine verhältnismäßig komplizierte Unternehmung ist, macht der Beitrag von **Udo E. Simonis** deutlich, dass sich aus der Tatsache, dass wir es beim Klimawandel mit einem seinem Wesen nach originär *globalen* Problem zu tun haben, sich eine Reihe weiterer gravierender Komplikationen für die politische Problembearbeitung ergeben.

Die Klimaproblematik erzeugt Interessenskonstellationen und daraus erwachsende Allianzen, die teils durchaus quer liegen zu traditionellen internationalen Konfliktlinien und Bündnisachsen. Je nach potenzieller Betroffenheit von den Folgen des Klimawandels oder eben den potenziellen Folgen von Klimapolitik ergeben sich unterschiedliche Interessenlagen, die sehr unterschiedliche Sichtweisen des Problems, der anzustrebenden Zielstellung sowie der einzusetzenden Mittel befördern. Sehr schnell wird klar, dass eine Klimapolitik nach kohärenten moralischen Prinzipien, wie etwa: alle Menschen sind gleich, also haben alle Menschen das gleiche Emissionsrecht, das sich aus der global tolerablen Emissionsmenge errechnen ließe, angesichts potenziell revolutionärer Konsequenzen keinen politisch gangbaren Weg darstellt. Führt man sich die internationale Gemengelage in der Klimapolitik vor Augen, mag es gar verwundern, dass es überhaupt gelungen ist, mit dem Kyoto-Protokoll doch verhältnismäßig nah an eine international tragfähige Vereinbarung heranzukommen, die zumindest eine Perspektive eröffnet, das Klimaproblem zu begrenzen.

In einem weiteren Schritt lenkt Simonis den Blick auf ein weiterreichendes grundlegendes Defizit globaler Umweltpolitik. Wir haben es, wie im Fall der Klimaproblematik, zwar zunehmend mit globalen Umweltproblemen zu tun. Wo aber ist der soziale Ort, der institutionelle Rahmen der Bearbeitung dieser Probleme? Soweit diese Probleme international als globale Probleme angegangen werden, geschieht dies typischerweise im Rahmen der Vereinten Nationen. Allerdings ist Umweltpolitik in der Grundstruktur der Vereinten Nationen institutionell gar nicht adäquat verankert. Das UN-Umweltprogramm (UNEP) ist eben ein *Programm* mit einer organisatorisch schwachen Stellung innerhalb des Gefüges der Vereinten Nationen. Simonis plädiert daher für eine institutionelle Innovation, die Perspektiven einer integrierten Politik auf globaler Ebene eröffnet durch die Verknüpfung einer Weltumweltorganisation mit bereits bestehenden Institutionen der UN, insbesondere mit jenen, die mit Entwicklungsproblemen und Wirtschaftsfragen befasst sind, als Voraussetzung der Möglichkeit einer effektiveren politischen Bearbeitung globaler Umweltprobleme.

Georg Erdmann greift die Thematik aus Sicht der Wirtschaftswissenschaften auf. Aus dieser Perspektive stellt sich das Klimaproblem als das Ergebnis der Externalisierung von Kosten

durch ökonomische Akteure (Produzenten und Konsumenten) dar, die auf Marktversagen zurückzuführen ist. Entsprechend liegt die Lösung dieses Problems in der Schaffung von Bedingungen, die eine Internalisierung dieser Kosten durch die ökonomischen Akteure zur Folge haben. Diese Aufgabe wird typischerweise dem Staat und damit der Politik zugewiesen. Die aus Sicht der ökonomischen Theorie zu bevorzugenden Mittel sind die Besteuerung von klimawirksamen Emissionen beziehungsweise die Begrenzung dieser Emissionen über die Ausgabe von frei handelbaren Emissionszertifikaten. Solche ökonomischen Instrumente erlauben es den Akteuren, ihrer spezifischen Situation gemäß flexibel zu reagieren, und fördern die kosteneffiziente Senkung der fraglichen Emissionen.

Gegenüber dieser Standardanalyse der Wirtschaftswissenschaften argumentiert der Autor, dass es in der empirisch beobachtbaren Realität kein Beispiel für eine erfolgreiche Politik der Internalisierung externer Kosten gibt. Die Wurzel dieses Problems sieht er in dem strukturellen Versagen der Politik. Die Fähigkeit der Politik, eine kohärente und damit effektive Internalisierungspolitik umzusetzen, leidet demzufolge unter ihrer Empfänglichkeit für partikuläre Interessen, deren Einfluss letztlich die Unterminierung einer effektiven Klimapolitik zur Folge hat.⁴ Der Autor greift hier im Kern aus einem etwas anderen Blickwinkel die von Katenkamp eingebrachte Problematik des Doppelcharakters der Politik wieder auf. Aufgrund der Anforderung an die Politik, die Sach- und Sozialdimension politischen Handelns zu synchronisieren, erweist sich das sachlich Rationale nicht immer als sozial möglich und das sozial Mögliche nicht immer als sachlich rational. Katenkamp sieht nicht zuletzt hierin einen Grund für das bezeichnete Spannungsverhältnis zwischen den wissenschaftlichen (hier: wirtschaftswissenschaftlichen) Empfehlungen und der politischen Praxis.

Den Ausweg aus diesem Dilemma sieht Erdmann in einem Rückzug der Politik. Die in der Realität beobachtbaren Erfolge bei der Reduktion klimabeeinträchtigender Emissionen sind, nach Einschätzung des Autors, weniger auf Politik als auf autonome Aktivitäten ökonomischer Akteure zurückzuführen. Das führt zu der provokanten Schlussfolgerung, dass angesichts strukturellen Politikversagens effektive Klimapolitik sehr viel stärker auf die freiwillige Selbstverpflichtung ökonomischer Akteure setzen sollte. Auf die unmittelbar aufkeimende Frage, warum sich ökonomische Akteure angesichts von Marktversagen freiwillig auf Bemühungen um Emissionssenkung einlassen sollten, verweist der Autor auf zwei potenziell wirksame Faktoren. Zum einen können ökonomische Akteure durch das Damokles-Schwert politischer Regulierung motiviert werden, die einzusetzen droht, sollten die Akteure sich nicht in der Lage erweisen, autonom Problemlösungen zu generieren. Zum anderen sieht der Autor einen Faktor am Werke, den man als die „Diffusion ökologischer Sensitivität“ bezeichnen könnte. In dem Maße, wie es gelingt, im Zuge öffentlicher Diskurse ökologische Rationalitätsgesichtspunkte in den Wahrnehmungshorizont ökonomischer Akteure zu drängen, können diese in komplexen Entscheidungssituationen, die allein nach ökonomischen Kriterien nicht ohne weiteres entscheidbar sind (und das ist nach Auffassung des Autors bei langfristig wirksamen strategischen Fragen häufig der Fall), Wirksamkeit entfalten. Dass hier das Entstehen kreativer Lösungen möglich ist, illustriert Erdmann am Beispiel des hausinternen Zertifikat-handels bei BP-AMOCO.

Selbst wenn der Leser die Schlussfolgerung des Autors nicht in dieser Konsequenz teilen mag, sollte nicht übersehen werden, dass hier tiefgehende Fragen nach den Bedingungen der Möglichkeit wirksamer Klimaschutzpolitik aufgeworfen werden. Gerade in diesem letzten

⁴ Diese Lesart des beobachteten Phänomens wird im Kontext der Wirtschaftswissenschaften im Rahmen der Ökonomischen Theorie der Politik unter dem Begriff des „Rent-Seeking“ diskutiert (vgl. Buchanan u.a. (1980), kritisch: Elkins (1994)).

Gesichtspunkt der Diffusion ökologischer Sensitivität wird die von Simonis aufgeworfene Frage nach Klimaschutzpolitik als Institutionenpolitik noch einmal aus einem anderen Blickwinkel thematisch. Aufgabe einer solchen Politik müsste es demzufolge sein, an der Schaffung beziehungsweise Stärkung von Institutionen und Akteuren mitzuwirken, die die Ausweitung und Intensivierung öffentlicher Deliberationen in klimarelevanten Fragen fördern. Dies eröffnet eine viel weiterreichende Diskussion unterschiedlicher Dimensionen von Klimaschutzpolitik jenseits einer Verengung allein auf politische Instrumente. In gewisser Weise schließt sich hier wieder der Kreis dieser Ausführungen, denn bereits Schaller und Negendank hatten uns im Kern mit einer institutionenpolitischen Frage konfrontiert, nämlich die nach einem vernünftigen Umgang mit dem Problem der Unsicherheit in einer gesellschaftlich essenziellen Frage.

Die im vorliegenden Band versammelten Beiträge können notgedrungen nur Ausschnitte aus einer überaus komplexen Gesamtproblematik in den Blick nehmen. In der Gesamtschau zeigen sie allerdings eindrücklich, dass die Klimaproblematik vielfach die institutionalisierten Grenzen der Wissenschaft in Frage stellt. Die Humanökologie stellt einen Ansatz dar, der darum bemüht ist, diese Herausforderung konstruktiv anzunehmen.

Literatur

- Buchanan, James M./ Tollison, Robert D./ Tullock, Gordon (eds.) (1980): Reform in the Rent-Seeking Society. College Station: Texas A & M University Press.
- Elkins, Stephan (1994): Rent-Seeking. Zur politischen Theorie des neoklassischen Fundamentalsimus. In: Prokla 96, Jg. 24: 419-436.
- Glaeser, Bernhard (1989): Entwurf einer Humanökologie. In: Glaeser, Bernhard (Hrsg.): Humanökologie. Grundlagen präventiver Umweltpolitik. Opladen: Westdeutscher Verlag: 27-45.
- Glaeser, Bernhard (Hrsg.) (1989): Humanökologie. Grundlagen präventiver Umweltpolitik. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Jaeger, Carlo C. (1996): Humanökologie und der blinde Fleck der Wissenschaft. In: Diekmann, Andreas/ Jaeger, Carlo C. (Hrsg.): Umweltsoziologie. Sonderheft 36 der Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie. Opladen: Westdeutscher Verlag: 164-190.
- Serbser, Wolfgang (2002): Human Ecology - Entstehung und Rezeption. In: Serbser, Wolfgang (Hrsg.): Humanökologie. Ursprünge - Trends - Zukünfte. Münster: Lit (im Erscheinen).
- Snow, Charles Percy (1959): The two cultures and the scientific revolution. Hier zitiert nach der Neuauflage The Two Cultures. London/ New York: Cambridge University Press, 2000.
- Steiner, Dieter: Ein konzeptioneller Rahmen für eine Allgemeine Humanökologie. In: Eisel, Ulrich/ Schultz, Hans-Dietrich (Hrsg.) (1997): Geographisches Denken. Urbs et Regio, Sonderband 65. Kassel: Gesamthochschulbibliothek: 419-465.

Klimaänderungen aus physikalischer Sicht

Eberhard Schaller

Zusammenfassung: Aus physikalischer Sicht existiert zum Thema 'anthropogene Klimaveränderungen' folgendes gesichertes Wissen. Erstens, durch menschliche Aktivitäten sind in den vergangenen 150 bis 200 Jahren signifikante Eingriffe in den Strahlungshaushalt des Erdsystems erfolgt, die sich auch in der Zukunft fortsetzen werden. Zweitens, im Erdsystem (das heißt in Atmosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre, Kryosphäre und Lithosphäre) sind Wirkungsketten bekannt, die als Folge einer veränderten Aufteilung der Strahlungsenergie zu einer Erhöhung der globalen langzeitlichen Mitteltemperatur führen, aber auch gegenläufige Prozesse, die letztendlich eine Abkühlung des Globus nach sich ziehen. Im Ergebnis wird dies mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Erwärmung der bodennahen Atmosphäre führen. Die endgültigen Konsequenzen des menschlichen Handelns sind jedoch nicht eindeutig bestimmbar. Dies bedeutet insbesondere, dass unerwünschte Konsequenzen menschlichen Handelns, wenn überhaupt, dann nur schwer rückgängig zu machen sind. Gesellschaft und Politik müssen also mit wissenschaftlichen Aussagen zurecht kommen, die gegenwärtig noch mit einer nicht quantifizierbaren Unsicherheit behaftet sind, und ihrerseits Verantwortungsbereitschaft einbringen.

1 Einführung

Betrachtet man die in den letzten 20 Jahren erschienenen Medienbeiträge zur Frage einer Veränderung des globalen Klimas, so hat sich vordergründig nicht viel verändert. Unter Überschriften, die nach dem Beweis für das Auftreten einer globalen Klimaänderung fragen, wird seit geraumer Zeit kontrovers darüber diskutiert, ob die Menschheit durch ihre vielfältigen Aktivitäten in der Lage ist, die globale Mitteltemperatur des Planeten zu erhöhen. Die Mehrheit der Diskutanten bejaht diese Frage. Allerdings gibt es auch eine hartnäckige Minderheit von Neinsagern, die davon ausgeht, dass die Änderungen im Rahmen der natürlichen Klimaschwankungen bleiben werden, was nur heißt, dass wir so weiter machen können wie bisher.

Vor diesem Hintergrund erscheint es lohnend, das gesicherte Wissen über das Klimasystem aus der Sicht eines (Atmosphären-)Physikers zu sichten. Dabei wird versucht, Antworten auf drei Fragen zu geben:

Wie entsteht und verändert sich das Erdklima?

Welche Klimatrends können wir beobachten?

Was können wir aus beobachteten Klimatrends über das zukünftige Klima lernen?

Vorab muss noch der Unterschied zwischen den Begriffen 'Wetter' und 'Klima' verdeutlicht werden. 'Wetter' beschreibt den räumlichen und zeitlich veränderlichen Zustand der Atmosphäre, wobei wir zur Beschreibung die sogenannten Meteorologischen Elemente (Luftdruck, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windstärke und -richtung, Niederschlag, Strahlung) verwenden. Im Gegensatz dazu versteht man unter 'Klima' den mittleren Zustand der Atmosphäre über einen längeren Zeitraum sowie dessen räumliche und zeitliche Veränderung. Die Wetterdienste nehmen für diesen längeren Zeitraum dreißig Jahre. Ein mittlerer Zustand und dessen Veränderungen sind niemals an Einzelereignissen nachweisbar. Somit können spektakuläre und seltene Einzelereignisse wie die das Oder-Hochwasser bedingenden Niederschläge oder der Weihnachtssturm 'Lothar' nicht als Indizien für ein sich änderndes Klima angesehen werden. Das heißt auch, dass der heute nach größeren Wetterkatastrophen üblichen Berichterstattung in den Medien jegliche naturwissenschaftliche Grundlage fehlt.

Nun gibt es jedoch weit mehr Strahlungsquellen auf der Erde. Jeder Körper strahlt entsprechend seiner Temperatur mehr oder weniger Energie ab. Bei einer Mitteltemperatur des Erdsystems von circa fünfzehn Grad Celsius, ist diese terrestrische Strahlungsenergie - vermutlich zu ihrer Überraschung - größer als die mittlere solare Einstrahlung, nämlich etwa 390 W/m^2 oder 114 Prozent. Diese Strahlung geht nicht in den Weltraum hinaus, sondern wird von den sogenannten strahlungsaktiven Bestandteilen der darüber liegenden Atmosphäre modifiziert. Das heißt, dass Luftbestandteile (wie die Wolken, das Aerosol und einige drei- beziehungsweise fünfatomige Spurengase, vor allem Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon, Methan, Lachgas und die Fluorchlorkohlenwasserstoffe) zunächst die vom Erdboden kommende Strahlung aufnehmen. Dies geschieht gemäß dem Kirchhoffschen Gesetz, das besagt, dass die Prozentsätze der aufgenommenen (absorbierten) und der selbst wieder abgegebenen (emittierten) Strahlung gleich sind. Allerdings ist die Atmosphäre in der Regel kälter als der Erdboden, so dass die von der Luft abgestrahlte Energie - absolut gemessen - geringer ist als die vorher absorbierte Strahlungsenergie. Auf diese Weise erfolgt ein Energieaustausch zwischen der Erdoberfläche, die Energie abgibt und sich dabei abkühlt, und der darüber liegenden Atmosphäre, die netto Energie aufnimmt und sich dabei erwärmt. Die terrestrische Ausstrahlung erfolgt jedoch in alle Raumrichtungen, also nicht nur nach unten in Richtung des Erdbodens, sondern auch nach oben, so dass durch die terrestrische Strahlung schließlich siebzig Prozent wieder in den Weltraum zurück gelangen.

Bilanziert man also solare und terrestrische Strahlung gemeinsam am Oberrand der Atmosphäre, dann bekommen wir hundert Prozent von der Sonne, wovon die Atmosphäre dreißig Prozent nicht haben will, und zusätzlich schickt die Atmosphäre selbst siebzig Prozent in den Weltraum zurück. Die Bilanz ist ausgeglichen, so dass das System Erde-Atmosphäre im globalen langzeitlichen Mittel netto keine Energie gewinnt oder verliert. Wir sagen, das System Erde-Atmosphäre ist gegenüber dem Weltraum im Gleichgewicht. Wichtigste Konsequenz aus dieser Tatsache ist eine zeitlich nicht veränderliche globale Mitteltemperatur.

Weiterhin bedeutet der Unterschied zwischen der Abstrahlung des Erdbodens von 114 Prozent und der terrestrischen Ausstrahlung in den Weltraum von siebzig Prozent, dass 44 Prozent (von $342 \text{ J/(m}^2 \text{ s)}$, das heißt rund $150 \text{ J/(m}^2 \text{ s)}$) im System Erde-Atmosphäre verbleiben. Die Atmosphäre wirkt also genau so wie ein Gewächshaus, das Zuhause im Garten steht: Die solare Strahlung geht hinein, die terrestrische Strahlung geht aber nicht in vollem Umfang wieder heraus. Deshalb ist die Temperatur im Gewächshaus höher als draußen in der Luft. Entsprechend nennen wir diesen Effekt den durch die strahlungsaktiven Spurenbestandteile der Atmosphäre hervorgerufenen natürlichen Treibhauseffekt. (Die Bezeichnung 'Spurenbestandteile' rührt daher, dass der Anteil (ohne Wasserdampf) der strahlungsaktiven Atmosphärenkomponenten an der Gesamtmasse der Atmosphäre unter einem Prozent liegt). Trotzdem beträgt die dadurch auf der Erde erzielte Übertemperatur circa 33 Kelvin, das heißt ohne Atmosphäre wäre die globale langzeitliche Mitteltemperatur um diese etwa 33 Kelvin niedriger als jetzt.

Intern existieren dagegen sowohl bezüglich der solaren als auch hinsichtlich der terrestrischen Strahlung gegenläufige Ungleichgewichte im System Erde-Atmosphäre. Die solare Strahlung führt zu einer relativen Erwärmung des Bodens gegenüber der Atmosphäre, was teilweise vom Ungleichgewicht bei der terrestrischen Strahlung, das zu einer Erwärmung der Atmosphäre relativ zur Erdoberfläche führt, wieder kompensiert wird. Allerdings würde sich die Atmosphäre trotz der Erwärmung durch die terrestrische Strahlung netto immer noch gegenüber dem Boden abkühlen. Deshalb bedarf es zusätzlicher Energietransporte vom Boden in die Atmosphäre. Diese zusätzlichen Energietransporte sind mit vertikalen und horizontalen Luftbewegungen gekoppelt, das heißt das Wettergeschehen ist nicht nur eine Spielerschei-

nung der Atmosphäre. Es trägt vielmehr dazu bei, dass der unbedingt notwendige Energieausgleich zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre stattfindet. Damit ist letztendlich der Zusammenhang zwischen dem Strahlungshaushalt und dem Erdklima hergestellt.

Nun haben die Menschen mit Beginn der Industrialisierung begonnen, in den Strahlungshaushalt des Systems Erde-Atmosphäre einzugreifen, indem sie strahlungsaktive Luftbestandteile zusätzlich in die Atmosphäre hineingebracht haben. Dies gilt vor allem für das Kohlendioxid (CO_2), das als zweitwichtigste gasförmige Komponente zum natürlichen Treibhauseffekt beiträgt. Weltweit wird heute pro Jahr etwa ein Prozent der gesamten in der Atmosphäre vorhandenen Kohlenstoffmasse durch menschliche Aktivitäten freigesetzt. Dadurch hat der Anteil von CO_2 (etwa ein halbes Promille) an der Gesamtmasse der Atmosphäre in den letzten 200 Jahren messbar zugenommen. Die Auswirkung dieses zusätzlichen Kohlendioxids auf den atmosphärischen Strahlungshaushalt erfolgt über eine Größe, die wir die optische Tiefe (oder optische Dicke) nennen. Die optische Tiefe ist das Produkt aus drei Größen, nämlich der Schichtdicke, der CO_2 -Dichte in der untersuchten Schicht und einer optischen Größe, dem so genannten Massenextinktionsquerschnitt, der ein Maß für die Beeinflussung der Strahlung ist, das heißt je größer der Massenextinktionsquerschnitt, um so mehr Strahlung wird von den Molekülen aufgenommen (absorbiert). Dieser Koeffizient ist stark von der Wellenlänge der Strahlung abhängig. Da wechseln sich Bereiche, in denen der Massenextinktionsquerschnitt groß ist, ab mit Bereichen, in denen dieser Koeffizient einige Zehnerpotenzen kleiner ist.

Die Durchlässigkeit (das Transmissionsvermögen) einer Schicht für Strahlung einer bestimmten Wellenlänge ist nun gegeben durch den exponentiellen Wert der negativen optischen Tiefe. Bei einer optischen Tiefe von Null, das heißt dass entweder kein CO_2 in dieser Schicht vorhanden ist beziehungsweise dass der Massenextinktionsquerschnitt Null ist, ist nach diesem Gesetz die Durchlässigkeit Eins, während sie bei großen optischen Tiefen gegen Null geht. Die angesprochene wellenlängenabhängige Schwankung des Massenextinktionskoeffizienten um mehrere Zehnerpotenzen führt nun dazu, dass bei den gegenwärtigen atmosphärischen CO_2 -Mengen die Durchlässigkeit einer Luftschicht in den Bereichen mit großem Massenextinktionskoeffizienten bereits nach wenigen hundert Metern auf Null zurück geht. Das bedeutet weiter, dass zusätzliches CO_2 in der Atmosphäre nur noch vergleichsweise geringe Auswirkungen hat, nämlich eine weitere kleine Reduktion der Schicht, nach der die für vom Erdboden ausgesandte Strahlung vollständig absorbiert ist.

Dies hat zu der Argumentation geführt, dass man der Atmosphäre CO_2 hinzufügen kann, ohne dass dies zu einer signifikanten Erwärmungsänderung in der Atmosphäre führen wird. Diese Aussage ist jedoch falsch, weil übersehen wird, dass es im Spektrum auch Bereiche außerhalb der Absorptionszentren gibt, wo der Massenextinktionsquerschnitt viel kleiner ist. Dort führt zusätzliches CO_2 zu einer merklichen Veränderung der Durchlässigkeit der Atmosphäre und damit zu einem Erwärmungssignal. Tabelle 1 zeigt, dass das anthropogene zusätzliche Kohlendioxid etwa die Hälfte zur menschengemachten Veränderung des natürlichen Treibhauseffekts beiträgt. Die andere Hälfte wird durch Ozon (O_3), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und den in der natürlichen Umwelt nicht vorhandenen Fluorchlorkohlenwasserstoffen, von denen die beiden herausragenden Vertreter (CFC-11 und CFC-12) in der Tabelle 1 aufgeführt sind, hervorgerufen.

Tabelle 1: Kenngrößen für die wichtigsten optisch aktiven Gase in der Erdatmosphäre; der Volumenanteil der jeweiligen Substanz ist entweder in ppmv (10^{-6} Volumenanteil), ppbv (10^{-9}) oder pptv (10^{-12}) angegeben.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	O ₃	CFC-11	CFC-12
Mischverhältnis	ppmv	ppmv	ppbv	ppbv	pptv	pptv
vorindustriell (1750-1800)	280	0,8	288	5-15	0	0
1991	355	1,72	311	30-50	280	484
Änderung pro Jahr	1,8 (0,5%)	0,017 (1,0%)	0,8 (0,25%)	0,2 (0,5%)	12,6 (4,5%)	17,0 (3,5%)
Lebensdauer (Jahre)	50-200	10	130-150	0,1	60	130
Erwärmungspotenzial (mol)	1	21	206	2.000	12.400	15.800
Anteil am Treibhauseffekt	50 %	13 %	5 %	7 %	5 %	12 %

Die Tabelle zeigt weiter, dass vorindustriell (zum Anfang des 19. Jahrhunderts) der Volumenanteil von CO₂ 280 ppm, von Methan etwa 0,8 ppm, von N₂O circa 288 ppb und von O₃ so um die 10 ppb betrug. Bis zum Jahr 1991 sieht man bei allen diesen Gasen eine mehr oder weniger große Zunahme des Volumenanteils der betrachteten Gase. Für die Zukunftsprognose interessant sind die gegenwärtigen Steigerungsraten (Änderungen pro Jahr): Beim CO₂ beträgt diese 1,8 ppm/a, das sind etwa 0,5% des Volumenanteils. (Weiter oben im Text ist ausgeführt, dass die anthropogenen Freisetzungen knapp unter einem Prozent pro Jahr liegen. Wo bleibt der Rest? Nun, dieser 'verschwindet' in den Ozeanen der Erde, da CO₂ wasserlöslich ist.)

In der Tabelle ist eine weitere Größe aufgeführt, die in der Klimadebatte vor allem für die Ablehner einer anthropogenen Erwärmung eine wichtige Rolle spielt, nämlich das Erwärmungspotenzial der einzelnen Substanzen. Von den reinen Zahlenwerten fällt zunächst ein scheinbarer Widerspruch auf. CO₂, das Gas mit dem kleinsten Erwärmungspotential leistet den mit Abstand größten Beitrag zur Modifikation des natürlichen Treibhauseffekts durch den Menschen. Dieser Widerspruch löst sich sofort auf, wenn man sich klar macht, dass das Erwärmungspotenzial eine relative Aussage in zweierlei Hinsicht macht. Erstens wird die absolut vorhandene Masse der einzelnen Gase nicht berücksichtigt, das heißt zur Bestimmung des Erwärmungspotentials vergleicht man also die gleiche Stoffmenge eines jeden Gases und lässt außer Acht, dass die in der Atmosphäre vorhandene Stoffmenge an Kohlendioxid circa 200 Mal größer ist als diejenige von Methan und so weiter. Außerdem wird das Erwärmungspotential noch relativ zum Erwärmungspotential von Kohlendioxid angegeben.

Als Maß für die Stoffmenge dient das Mol, das sind $6,023 \times 10^{23}$ Moleküle bei einer Lufttemperatur von 0 °C und einem Luftdruck von 1013,25 hPa. (Die absolute Molekülzahl schwankt mit der Lufttemperatur und dem Luftdruck, was für unsere Betrachtungen jedoch keine Rolle spielt.) Die Tabelle 1 weist nun aus, dass das Erwärmungspotential von CO₂ per definitionem 1 beträgt. Methan hat (pro Mol) ein 21 Mal höheres Erwärmungspotenzial. Der entsprechende Wert für Lachgas ist 206, für Ozon 2000 und die FCKWs 10000 und mehr.

Aus dieser ausführlicheren Betrachtung wird unmittelbar klar, warum eine allein auf das Erwärmungspotenzial abgestützte Debatte um die menschengemachte Veränderung des natürli-

chen Treibhauseffekts zu kurz greift. Für eine sachgerechte Debatte sind das Erwärmungspotenzial und die in der Atmosphäre vorhandene Gesamtmenge der optisch aktiven Substanz entscheidend. Wegen der um ein Vielfaches größeren Gesamtmasse des Kohlendioxids wird von dieser Substanz trotz des kleinsten Erwärmungspotentials die größte Veränderung - etwa 50 Prozent – hervorgerufen. Die anderen in der Tabelle aufgeführten Gase teilen sich insgesamt 42 Prozent.

Zum Schluss dieses Abschnitts wird in Tabelle 2 dargestellt, durch welche menschlichen Aktivitäten in den Strahlungshaushalt eingegriffen und so zu einer potentiellen Veränderung des Klimas beigetragen wird. Im wesentlichen gibt es vier sogenannte Verursachergruppen, nämlich Energieverbrauch und Verkehr, chemische Produktionsprozesse, Vernichtung der Wälder und Landwirtschaft. Die Erhöhung der CO₂-Konzentration kommt - wie allgemein bekannt ist - aus der Energieproduktion, aus der Abnahme der Wälder sowie aus der Landwirtschaft, wobei sich diese menschlichen Eingriffe primär auf die terrestrische Strahlung auswirken. Die dabei ablaufenden Prozesse sind in diesem Abschnitt ausführlich dargestellt worden. Aber es gibt noch eine zweite Möglichkeit zur anthropogenen Klimaveränderung, und zwar die Veränderung des Rückstrahlvermögens (Reflektionsvermögen, Albedo) aufgrund einer Erdoberflächenmodifikation. Die einfallende solare Strahlung wird ja zum Teil in die Atmosphäre zurückgestrahlt, wobei die Albedo von der Natur des Untergrunds abhängt. Wir kennen das vom sichtbaren Licht, wo uns manche Gegenstände eher hell, andere eher dunkel erscheinen. Dunkle Gegenstände haben ein geringes Reflektionsvermögen und umgekehrt haben hell erscheinende Objekte eine hohe Albedo. Ein paar Beispiele: Die Albedo von Schnee liegt irgendwo im Bereich 60 bis 90 %, Sand zwischen 20 % und 50 %, Wälder so um die 10 % und Wasser etwa 7 %. Rodet man nun im großen Stil zum Beispiel Waldflächen und kommt darunter zum Beispiel ein sandiger Boden zum Vorschein, dann verändert sich das Reflexionsvermögen von circa 10% auf 20 bis 50%.

Tabelle 2: Verursacher menschengemachter Klimaveränderungen

<i>Verursacher</i>	<i>Anteil</i>	<i>Zusammensetzung</i>	<i>Quellen</i>
Energie & Verkehr	50 %	40 % CO ₂ 10 % CH ₄ und O ₃	Nutzung fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) durch Strom-, Fernwärmeerzeugung, Raffinerien, Haushalte, Kleinverbraucher, Industrie und Verkehr
Chemie	20 %	20 % FCKW Halone etc.	Emissionen der FCKW, Halone etc.
Vernichtung der Wälder	15 %	10 % CO ₂ 5 % N ₂ O, CH ₄ CO, ...	Verbrennung und Verrottung von Waldbeständen – insbesondere des tropischen Regenwaldes – und Emissionen aus Boden
Landwirtschaft	15 %	15 % CH ₄ , N ₂ O, CO ₂	Anaerobe Umsetzungsprozesse (CH ₄ aus Rinderhaltung, Reisanbau etc.), Düngung (N ₂ O)

3 Klimaänderungsmechanismen

Die in der Tabelle 2 aufgeführten menschlichen Aktivitäten finden überwiegend in der Nähe der Erdoberfläche statt. Die erste Konsequenz ist mehr CO_2 und damit mehr Absorption der vom Erdboden ausgestrahlten Energie in der erdbodennahen Atmosphäre. Das ist gleichbedeutend mit einer Tendenz zur strahlungsbedingten Erwärmung der Atmosphäre in diesem Bereich. In dem Moment, wo wir erkannt haben, dass die Strahlung die Atmosphäre in Bodennähe erwärmt, können wir fragen, welche weiteren Prozesse zu einer Temperaturänderung in der bodennahen Atmosphäre führen werden. Von Bedeutung sind hier alle mit dem Wind verbundenen Transporte, so zum Beispiel das Heranführen kälterer oder wärmerer Luft in ein betrachtetes Gebiet hinein. Wie dies im Detail funktioniert und welche Schlussfolgerungen daraus für das Erdklima zu ziehen sind, geht über den hier gegebenen (Zeit-)Rahmen weit hinaus.

Stattdessen möchte ich vier in der Atmosphäre mögliche Prozessketten einschließlich der damit verbundenen Rückkopplungsmechanismen vorstellen. Alle Prozessketten beginnen an der gleichen Stelle, nämlich einem durch mehr CO_2 in der Atmosphäre verursachten Temperaturanstieg.

Die erste Prozesskette wird als Eis-Albedo-Rückkopplung bezeichnet. Ein Ablaufplan ist im linken Teil der Abbildung 2 zu sehen. Als Folge des durch CO_2 bedingten Temperaturanstiegs wird in bisher mit Schnee bedeckten Gebieten auf dem Globus Abschmelzen stattfinden und damit der vorher verborgene Erdboden zum Vorschein kommen. Wenn Schnee- und Eisbedeckung abnehmen, sinkt auch das Reflexionsvermögen, so dass mehr solare Strahlung direkt in der Atmosphäre absorbiert werden kann. Dies hat einen Temperaturanstieg durch direkte Absorption solarer Strahlung und damit eine weitere Temperaturerhöhung zur Folge: Im Ablaufschema kommen wir auf diese Weise wieder am Anfang der Prozesskette an, und die Prozesskette kann erneut ablaufen. Die Eis-Albedo-Rückkopplung verstärkt somit die Erhöhung der Atmosphärentemperatur, weil wir nun zwei Prozesse - erhöhte Absorption terrestrischer Strahlung durch mehr CO_2 , erhöhte Albedo und dadurch erhöhte Absorption solarer Strahlung - identifiziert haben, welche die gleiche Auswirkung, eine Temperaturerhöhung, haben.

In ähnlicher Weise wird die Wasserdampf-Rückkopplung, deren Prozessabfolge im rechten Teil von Abbildung 2 skizziert ist. Steigt die Temperatur in der Atmosphäre an, erhöht sich der sogenannte Sättigungsdampfdruck für Wasserdampf, das heißt die Atmosphäre kann mehr Wasser in dampfförmiger Form enthalten. Diese physikalische Eigenschaft der Luft lässt die Verdunstung aus den Gewässern und damit den Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre ansteigen. Wasserdampf ist aber das wichtigste Treibhausgas überhaupt, so dass sich der Treibhauseffekt nun durch die zusätzliche Absorption solarer und in erster Linie terrestrischer Strahlung verstärkt und sich die Temperatur der Atmosphäre erhöht. Wie schon bei der Eis-Albedo-Rückkopplung sind wir wieder am Anfang der Prozesskette angekommen und die Prozesskette kann erneut ablaufen.

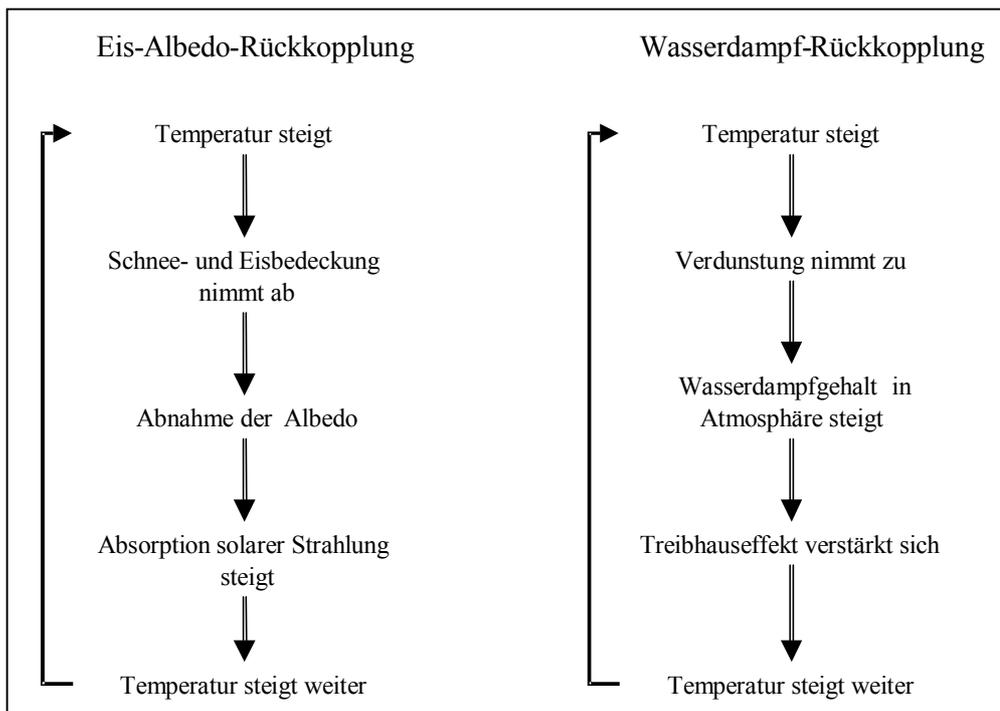


Abbildung 2: Positive Rückkopplungsmechanismen in der Erdatmosphäre, die zu einem weiteren Anstieg der durch anthropogen freigesetzte optisch aktive Gase verursachten Atmosphärenenerwärmung führen.

So weit deutet alles auf eine Erhöhung der globalen langzeitlichen Mitteltemperatur in einem zukünftigen Klima hin. Wenn wir weitere in der Atmosphäre gleichzeitig ablaufende Prozesse untersuchen, so entdecken wir auch Prozessketten, welche der durch CO_2 bedingten Erwärmung entgegen arbeiten, diese also wieder rückgängig zu machen versuchen.

Bei der im linken Teil der Abbildung 3 skizzierten Eis-Akkumulation-Rückkopplung beginnt die Prozesskette wie bei der Wasserdampfrückkopplung. Allerdings hat der erhöhte Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre nicht nur einen Effekt auf den Strahlungshaushalt, sondern auch auf den hydrologischen Zyklus. Man kann davon ausgehen, dass mehr atmosphärischer Wasserdampf auch zu mehr Wolken und Niederschlag führen wird. In den subpolaren und polaren Breiten sowie in den Gletscherregionen, in denen Niederschlag häufig als Schnee beobachtet wird, führt dies zu einem Anwachsen der Schneedecke und später dann zu einer Zunahme der Eisdicke. Diesen Prozess nennt man Akkumulation. Da die Masse des Wassers insgesamt aber nicht zunimmt, ist die Akkumulation in der Kryosphäre mit einer Abnahme des Meeresspiegels gekoppelt. Wie weiter oben ausgeführt, ist das Reflektionsvermögen von Schnee und Eis deutlich erhöht gegenüber Böden und Wasser, so dass als Folge einer verstärkten Akkumulation eine Erhöhung der globalen Albedo stattfindet. Damit bleibt weniger solare Strahlung im System Erde-Atmosphäre und die globale Mitteltemperatur wird abnehmen.

Eis-Albedo-Rückkopplung (linker Teil, Abbildung 2) und die gerade besprochene Eis-Akkumulation-Rückkopplung sind gegenläufige Effekte, die jedoch nicht alternativ, sondern gleichzeitig ablaufen. Ob dabei ein Prozess dominiert, ist nicht mit letzter Sicherheit bekannt. Es kann auch gut sein, dass zunächst die Eis-Albedo-Rückkopplung und später dann die Eis-Akkumulation-Rückkopplung dominiert.

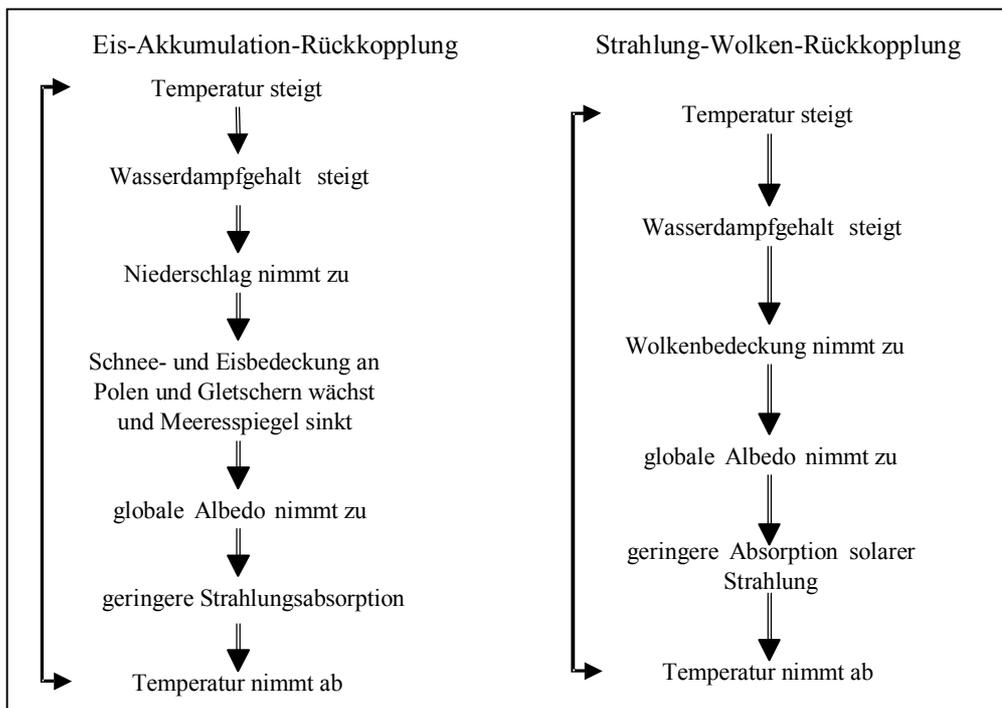


Abbildung 3: Negative Rückkopplungsmechanismen in der Erdatmosphäre, die einem Anstieg der durch anthropogen freigesetzte optisch aktive Gase verursachten Atmosphärenerwärmung entgegen wirken.

Eine weitere für die Klimaentwicklung wichtige Prozesskette, die Strahlung-Wolken-Rückkopplung, ist im rechten Teil der Abbildung 3 dargestellt. Wie bei der Eis-Akkumulation- und der Eis-Albedo-Rückkopplung beginnt die Prozesskette mit einer Zunahme von Temperatur und Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre. Damit nimmt die Häufigkeit, dass Bewölkung beobachtet werden wird, zu. Wolken, speziell in der oberen Atmosphäre, lassen das Reflexionsvermögen für die solare Strahlung ansteigen und gleichzeitig das Absorptionsvermögen abnehmen, was gleichbedeutend mit einer Verringerung der direkt aufgenommenen Strahlungsenergie und damit mit einer reduzierten Erwärmung der Luft ist.

Die beschriebenen Prozessketten, denen weitere hinzugefügt werden könnten, laufen gleichzeitig ab und stehen zudem untereinander in Wechselwirkung. Zusammenfassend ist daher festzuhalten, dass man die Auswirkungen einer einmal über die kontinuierliche anthropogene CO₂-Freisetzung angestoßene Temperaturerwärmung auf das Erdklima nicht deduktiv ableiten kann. Somit ist das Endergebnis der Veränderungen im Detail nicht vorhersehbar, was bedeutet, dass nicht bedachte und/oder nicht gewollte Auswirkungen nicht ohne weiteres zu stoppen oder gar umzukehren sind.

Vor diesem Erkenntnishintergrund ist es als nächstes interessant, einmal zusammenzustellen, wie sich das Erdklima seit Beginn der um die Mitte des 19. Jahrhunderts einsetzenden Industrialisierung verändert hat.

4 Klimaentwicklung seit Beginn der Industrialisierung

Vor 250 bis 300 Jahren hat mit dem Beginn der instrumentellen Beobachtung eine neue Epoche in der Klimatologie begonnen. Die längste kontinuierliche Messreihe der Lufttemperatur in Deutschland ist die Reihe von Berlin-Dahlem, die im Jahr 1730 startet. Eine weitere lange

Temperaturreihe, die in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts angefangen worden ist, existiert für den Hohenpeissenberg in Süddeutschland.

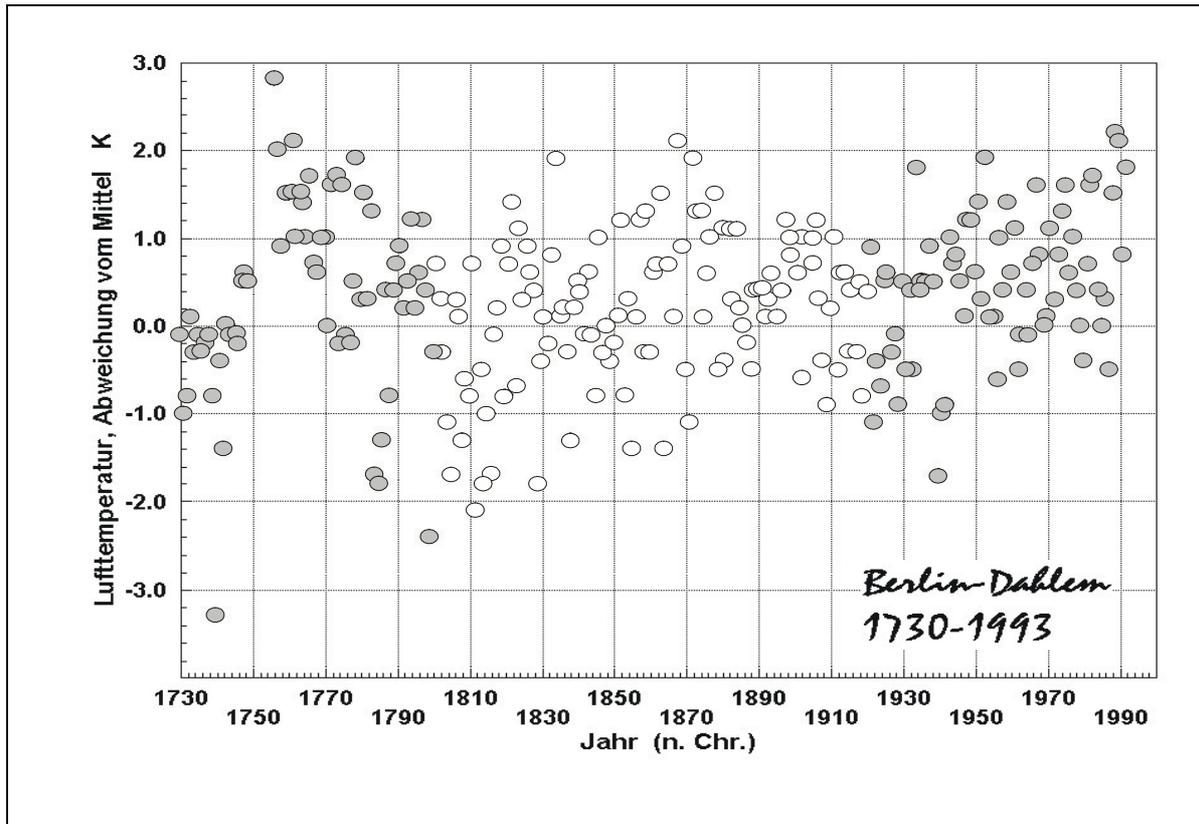


Abbildung 4: Zeitreihe der Abweichung der Lufttemperatur vom 250-jährigen Mittel (1730-1980) an der Station Berlin-Dahlem. Drei Zeiträume werden unterschieden: 1730-1800 (überwiegend positive Abweichungen, graue Symbole), 1801-1920 (vorwiegend negative Abweichungen, weiße Symbole) und 1921-1993 (erneut meist positive Abweichungen, graue Symbole).

Der Mittelwert der Lufttemperatur von 1730 bis 1980 in Berlin-Dahlem beträgt $8,7^{\circ}\text{C}$. Abbildung 4 zeigt die Zeitreihe der Abweichungen von diesem Mittelwert über 250 Jahre. Durch den Farbwechsel grau-weiß-grau unterstützt sieht man, dass der Messzeitraum in drei Perioden unterteilt werden kann: Bis 1800 liegen die Temperaturen tendenziell über, von 1800 bis 1920 eher unter und seit 1920 wieder über der langjährigen Mitteltemperatur. Macht man nun die gleiche Untersuchung mit der Zeitreihe des Hohenpeissenbergs, so entfällt der erste Teil, denn diese Messreihe beginnt erst 1781, also zu einer Zeit, als die Temperaturen in Europa vergleichsweise niedrig waren. Dies bedeutet, dass die Hohenpeissenberg-Reihe stets einen positiven Temperaturtrend zeigt. (Es wird von daher verständlich, dass diese Zeitreihe der Lufttemperatur öfter herangezogen worden ist, wenn dargestellt werden sollte, dass die Temperatur in der Atmosphäre in den letzten 200 Jahren kontinuierlich angestiegen ist.) Hätte man am Hohenpeissenberg ein paar Jahre eher mit den Beobachtungen begonnen, würde die eindeutige Tendaussage nicht länger gelten. Mit der Gegenüberstellung dieser beiden Beispiele will ich andeuten, dass Aussagen zum Klimatrend unter anderem von der Länge beziehungsweise vom gezeigten/untersuchten Ausschnitt der Zeitreihe abhängen können. Dies bedeutet nur, dass Klimareihen und aus Klimareihen abgeleitete Aussagen zunächst daraufhin geprüft werden müssen, ob die Reihe vollständig bearbeitet worden ist, mit welchen statistischen Verfahren gearbeitet worden ist, und so weiter.

Seit dem Beginn der Messungen ist eine große Zahl von Stationen entstanden, an denen nicht mehr nur die Lufttemperatur, sondern eine Reihe weiterer Klimaparameter, zum Beispiel die

Strahlungsflüsse, messtechnisch erfasst werden. Mit den Satelliten sind neue Messungen, die einen hemisphärischen oder gar globalen Überblick erlauben, hinzugekommen. Fasst man das Wissen über die Veränderung der globalen bodennahen Temperatur seit circa 1850 zusammen, so ergeben sich folgende Charakteristika:

- Die gemittelte Erwärmungsrate beträgt $(0,45 \pm 0,15)$ Grad pro 100 Jahre, das heißt die globale Mitteltemperatur liegt heute um circa 0,7 Grad höher als um 1850 herum.
- Seit 1910 findet an vielen Stationen auf der Welt ein verstärkter Anstieg (0,5 - 0,6 Grad pro 100 Jahre) statt.
- Man kann starke Schwankungen von bis zu 0,4 Grad von Jahr zu Jahr feststellen.

Beim Niederschlag sind die vorhandenen Messreihen meistens kürzer als bei der Lufttemperatur. Dennoch kann man zumindest für Europa einige generelle Aussagen über die Veränderung des Niederschlags während der letzten einhundert Jahre machen. So nehmen die Niederschläge im Winter überall in Europa um 20 bis 80 mm pro Jahreszeit (drei Monate) zu, während zumindest in Mitteleuropa im Sommer keine Veränderungen festzustellen sind. In den Übergangsjahreszeiten (Frühling, Herbst) findet man starke Unterschiede zwischen Nord- und Südeuropa. Während man in Nordwesteuropa eine Zunahme beobachtet, die in etwa derjenigen im Winter entspricht, nehmen in Südeuropa die Frühlings- und Herbstniederschläge ab.

Diese Befunde führen uns zu der Frage: Dürfen die Ergebnisse aus der Vergangenheit in die Zukunft, etwa die nächsten 50 bis 100 Jahre, extrapoliert werden?

5 Zukünftige Klimaentwicklung

Obwohl die Versuchung groß ist, einen aus den Messungen abgeleiteten linearen Trend, zum Beispiel den Anstieg der Lufttemperatur in den vergangenen Jahrzehnten, in die Zukunft fortzuschreiben, gibt es hierfür selbstverständlich keinerlei physikalisch stichhaltige Begründung. Das Risiko einer Abweichung vom festgestellten Trend nimmt mit der Zeit zu, wobei wir weder genau sagen können, wann der tatsächliche zukünftige Temperaturverlauf vom heutigen linearen Trend merklich abweicht, noch in welche Richtung diese Abweichung verlaufen wird. Positiv formuliert heißt das, dass die Interpolation vergangener Trends in die Zukunft eine akzeptable Näherung für ein bis zwei Jahrzehnte darstellen könnte.

Aus physikalischer Sicht verlässliche Aussagen über das zukünftige Erdklima zu machen, geht letztendlich nur mit Simulationsmodellen, das heißt wir packen die Atmosphäre in die Computer. Hierzu benutzt man die Erhaltung der physikalischen Eigenschaften wie Energie, Impuls, Masse und Partialmasse (das heißt die Masse eines speziellen Luftbestandteils), weil der Wind ein Maß für den Impuls und die Bewegungsenergie, die Lufttemperatur ein Maß für die innere Energie, die potentielle Temperatur - eine Größe, die aus einer Kombination von Lufttemperatur und -druck berechnet wird - ein Maß für die Entropie und die Luftdichte ein Maß für die Masse der Atmosphäre ist. Es ist qualitativ leicht zu verstehen, dass in einer bewegten Atmosphäre eine zu einem bestimmten Zeitpunkt zu beobachtende räumliche Variation in den aufgezählten meteorologischen Größen (zum Beispiel im Luftdruck, der Lufttemperatur und/oder dem Wind) aufgrund der Erhaltung von Energie, Impuls und Masse eine zeitliche Veränderung des entsprechenden Parameters am Beobachtungsort zur Folge haben muss. Man muss also die globale drei-dimensionale Verteilung der meteorologischen Elementargrößen

ßen zu einem bestimmten Zeitpunkt kennen, um mit Hilfe der Erhaltungsprinzipien die Verteilung dieser Parameter zu einem späteren Zeitpunkt - und damit auch in der Zukunft - bestimmen zu können. Auf diesem Prinzip beruhen die Wettervorhersage und ebenso die Simulation eines zukünftigen Klimas. Der Unterschied zwischen Wettervorhersage und Klimasimulation liegt darin, dass bei der Wettervorhersage für einen kurzen Zeitraum von maximal 14 Tagen die genaue Abfolge des Wetters im voraus berechnet wird, während bei der Klimasimulation nur noch statistische Kenngrößen, wie Mittelwert, Variabilität, Häufigkeitsverteilungen, extreme Werte, nicht jedoch der genaue Wetterablauf in der Zukunft abgeschätzt werden kann. Dies geschieht in kurzen Zeitschritten von einer Viertel- bis halben Stunde und erfordert einen immensen computertechnischen Aufwand. Rechnungen zum globalen Klima stellen auch heute noch eine technologische Herausforderung bezüglich der Weiterentwicklung der derzeitigen Supercomputer dar. Dadurch ist die Durchführung von globalen Klimasimulationen weltweit auf etwa ein halbes Dutzend Zentren beschränkt; eines davon befindet sich in Deutschland (Hamburg).

Nun ist die allgemeine Meinung über die Güte der Wettervorhersage aber eher negativ. Was veranlasst uns also, den Ergebnissen einer Klimasimulation über mehrere Jahrzehnte bis einige Jahrhunderte Vertrauen zu schenken? Wieso kann die statistische Verteilung der Wetterereignisse in einer Simulation richtig sein, wenn wir genau wissen, dass der exakte zeitliche Ablauf des Wetters in einer Klimasimulation nicht bestimmt werden kann? Die Beantwortung dieser Fragen fällt bei den Befürwortern einer zukünftigen Änderung des Erdklimas naturgemäß anders aus als bei der Gruppe der 'Ablehner'.

Eine erste 'Vertrauen bildende' Simulation besteht in der Nachrechnung der Veränderung des globalen Klimas in der Vergangenheit, also seit Beginn der instrumentellen Beobachtung (etwa um 1730) beziehungsweise seit Beginn der mit der Industrialisierung verbundenen signifikanten menschlichen Eingriffe in die massenmäßige Zusammensetzung der Erdatmosphäre (seit circa 1850). Für diesen Zeitraum von 150 bis 250 Jahren liegt, wie im vorherigen vierten Abschnitt kurz erläutert worden ist, eine vergleichsweise große Zahl von Messungen vor, mit denen die aus der Computersimulation abgeleiteten statistischen Größen verglichen und deren Güte beurteilt werden kann. Ich will mich vorsichtig ausdrücken: Zwar sind unsere globalen Klimamodelle bei weitem nicht perfekt, aber die vergangene Klimaentwicklung kann man schon recht gut im Computer nachbilden. Damit ist eine gewisse Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass eine Fortsetzung der Simulation über den heutigen Tag hinaus um weitere einhundert Jahre zumindest richtige statistische Werte für die meteorologischen Größen wie Lufttemperatur, Luftdruck, Niederschlag und so weiter liefern wird. Den exakten wissenschaftlichen Beweis hierfür gibt es jedoch nicht.

Vorhersagen des zukünftigen Erdklimas benötigen zunächst eine Abschätzung der anthropogenen Freisetzung von strahlungsaktiven Substanzen in die Erdatmosphäre als Eingabeparameter, das heißt diese Daten werden vom Klimamodell nicht selbst berechnet, sondern müssen diesem zu jedem Rechenzeitpunkt bekannt gegeben werden. Für die Klimaprognose müssten wir also zum Beispiel heute schon wissen, wie viele Gigatonnen CO₂ oder welche Aerosolmenge (flüssige oder feste Partikel) im Jahr 2050 auf der ganzen Welt durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre zusätzlich hinein gebracht werden. Die anthropogen freigesetzten Mengen sind jedoch eine Folge der zukünftigen wirtschaftlichen und technologischen Entwicklung, des zukünftigen Bevölkerungswachstums und der zukünftigen Verhaltensmuster und Vorlieben der Erdbevölkerung (Stichwort: Umweltbewusstsein) - und damit noch schwerer als das Klima selbst vorherzusagen. Man muss sich also bei der Beurteilung von Klimaprognosen vollständig darüber im klaren sein, dass die Unsicherheiten in der Emissionsvoraussage selbst bei einem perfekten physikalischen Modell zwar zu konsistenten, aber

dennoch unsicheren Prognosen führen werden. Allerdings ist genau bekannt, wie präzise Emissionsvorhersagen bis zum Jahr 2100 sind. Auch wissen wir wegen der Komplexität der gleichzeitig in der Atmosphäre stattfindenden Vorgänge (vgl. Abschnitt 3) nicht, wie sich diese Fehleinschätzungen im physikalischen Modell auswirken werden. Die heutigen Supercomputer verfügen zudem noch nicht über ausreichend Rechenleistung, um über sogenannte Ensemblerechnungen (mehrere Simulationen unter sehr ähnlichen Bedingungen) eine Fehlerabschätzung für die Prognosen des zukünftigen Erdklimas durchzuführen.

Man versucht, dieses Dilemma dadurch zu überwinden, dass sich zunächst internationale Experten aus den Gesellschafts-, Wirtschafts- und Naturwissenschaften sowie den technischen Disziplinen über die Entwicklung der anthropogenen Freisetzen verständigen. Dabei wird nicht nur eine einzige Emissionsprognose gemacht, sondern eine Reihe von Szenarien über die Entwicklung der menschlichen Aktivitäten bis zum Jahr 2100 entworfen. Neuere Szenarien orientieren sich dabei unter anderem am Protokoll von Kyoto. Obwohl 1997 verabschiedet hat das Kyoto-Protokoll jedoch bis heute keine verbindliche Gültigkeit erlangt. Es ist allgemein bekannt, dass sich die Nachverhandlungen zur Implementierung dieser Vereinbarung, zuletzt in Den Haag und Bonn, schwierig gestalten. Die USA, das heißt der Staat mit den weltweit höchsten Kohlendioxidemissionen, haben mehr oder weniger verbindlich erklärt, dass sie ihre 1997 gegebene Zusage zu einer Reduzierung der im Kyoto-Protokoll aufgelisteten Treibhausgasemissionen (nicht nur CO₂, sondern insgesamt sechs Gase) um sieben Prozent nicht einhalten werden. Diese politische Entwicklung erhöht das Fehlerrisiko von Emissionsszenarien, die am Kyoto-Protokoll ausgerichtet sind, erheblich.

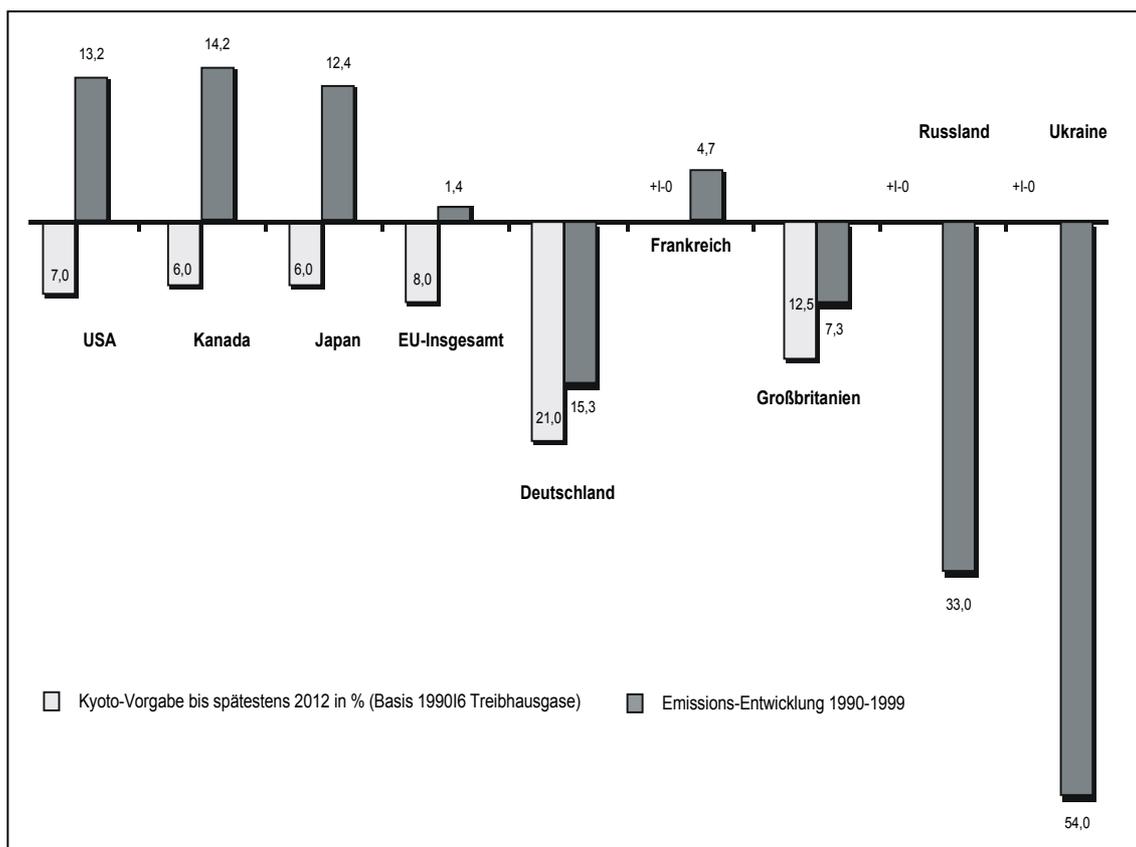


Abbildung 5: Gegenüberstellung der im Kyoto-Protokoll vereinbarten Ziele (spätestens 2012 zu erreichende Veränderung gegenüber dem Bezugsjahr 1990) und der tatsächlich zwischen 1990 und 1999 eingetretenen Entwicklung bei den Treibhausgasemissionen ausgewählter Länder.

Die in Kyoto vereinbarten prozentualen Veränderungen der Treibhausgasemissionen beziehen sich auf das Bezugsjahr 1990 und sollen im Zeitfenster zwischen 2008 und 2012 erreicht werden. Damit sind wir heute etwa in der Mitte der Zeitspanne zwischen Bezugs- und Zieljahr. Eine Überprüfung des erreichten Standes bei den Treibhausgasemissionen lässt Zweifel aufkommen, ob selbst nach einer Ratifizierung des Protokolls durch eine ausreichend große Zahl von Staaten die angepeilte globale Emissionsreduktion um acht Prozent erreicht werden wird. Abbildung 5 zeigt einige Beispiele für das Jahr 1999. Für die USA steht einem Reduktionsziel von 7 % eine Erhöhung zwischen 1990 und 1999 um 13,2 % gegenüber. Ähnliche Steigerungsraten weisen Kanada (14,2 % bei einer beabsichtigten Reduktion um 6,0 %) und Japan (12,4 % im Vergleich zu - 6,0 %) auf. Innerhalb von Europa ergibt sich ein differenziertes Bild. Deutschland hat 1999 seine Emissionen gegenüber 1990 um insgesamt 15,3 % abgesenkt, so dass das Kyoto-Ziel von 21,0 % erreichbar erscheint. Ähnlich positiv verläuft die Entwicklung in Großbritannien, wo bis 1999 immerhin eine Reduktion um 7,3 % (der vorgesehenen 12,5 %) als Zwischenstand festzustellen ist. Trotz der positiven Entwicklung in den beiden genannten Ländern bleibt die Europäische Union mit einer geringen Zunahme der Treibhausgasfreisetzungen um 1,4 % merklich hinter dem Reduktionsziel von 8,0 % zurück. Mehr oder weniger unfreiwillig tragen die Staaten der ehemaligen Sowjetunion zur Reduzierung der globalen Treibhausgasemissionen bei. Aufgrund der aktuellen wirtschaftlichen Schwierigkeiten weist Russland einen Rückgang um 33,0 % und die Ukraine einen Rückgang um 54,0 % aus, obwohl das Kyoto-Protokoll für den Zielzeitraum (2008-2012) keine Veränderung gegenüber den Werten von 1990 ausweist. Dieses zum jetzigen Zeitpunkt positive Bild wird sich vermutlich sofort verändern, wenn sich die wirtschaftliche Entwicklung in Mittel- und Osteuropa verbessert, da die finanziellen Mittel für moderne Umwelttechniken nicht vorhanden sein werden.

Die aus den Szenarien resultierende Belastung der Erdatmosphäre mit zusätzlichen strahlungsaktiven Substanzen dienen - wie erwähnt - als externe Eingabedaten für die Klimasimulationen. Klimamodelle sind Forschungsmodelle, die weltweit nur in wenigen Zentren betrieben und ausgewertet werden können. Diese Einrichtungen beteiligen sich ausnahmslos an der Prognose des zukünftigen Erdklimas. Wegen der in den Klimamodellen hinsichtlich der Berechnung der einzelnen physikalischen Prozesse und der räumlichen Auflösung der atmosphärischen Phänomene vorhandenen Unterschiede fällt die Prognose selbst bei gleichem Emissionsszenario von Modell zu Modell unterschiedlich aus. Das Mittel über alle Simulationen verstehen wir nun als den nach dem heutigen Stand unseres Wissens wahrscheinlichsten zukünftigen Zustand des Erdklimas. Die Unterschiede zwischen dem jeweils höchsten und dem jeweils niedrigsten Simulationswert definieren dessen Unsicherheit.

Auf diese Art und Weise bestimmt zum Beispiel das IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change) die wahrscheinliche Entwicklung des Erdklimas. Die letzten IPCC-Zahlen wurden im Januar 2001 in Shanghai vorgestellt. Demgemäss haben wir mit einem Temperaturanstieg in diesem Jahrhundert um bis zu 5,8 Grad zu rechnen.

6 Zusammenfassung

Aus physikalischer Sicht existiert zum Thema 'anthropogene Klimaveränderungen' folgendes gesichertes Wissen. Erstens, durch menschliche Aktivitäten sind in den vergangenen 150 bis 200 Jahren signifikante Eingriffe in den Strahlungshaushalt des Erdsystems erfolgt, die sich auch in der Zukunft fortsetzen werden. Zweitens, im Erdsystem (das heißt in Atmosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre, Kryosphäre und Lithosphäre) sind Wirkungsketten bekannt, die als

Folge einer veränderten Aufteilung der Strahlungsenergie zu einer Erhöhung der globalen langzeitlichen Mitteltemperatur führen, aber auch gegenläufige Prozesse, die letztendlich eine Abkühlung des Globus nach sich ziehen. Im Ergebnis wird dies mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Erwärmung der bodennahen Atmosphäre führen. Drittens, Aussagen über das zukünftige Klima, die in der Vergangenheit beobachtete Trends in die Zukunft fortschreiben, sind hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit unsicher. Vielmehr sind physikalisch basierte Klimamodelle - trotz des benötigten hohen computer-technischen Aufwandes und trotz noch vorhandener Wissenslücken - das einzige Werkzeug zur Klimavorhersage. Diese Klimamodelle benötigen als wichtigste Eingabegröße eine Prognose über die weltweit in den nächsten Jahrzehnten bis Jahrhunderten stattfindende Entwicklung der durch menschliche Aktivitäten in den Bereichen Energieproduktion, Industrieproduktion, Verkehr, Landnutzung und Landwirtschaft beeinflussten klima-relevanten Parameter (freigesetzte Gasmengen, Änderungen im Reflektionsvermögen). Eine solche Vorhersage wird stark von ökonomischen und politischen Entwicklungen geprägt und ist demgemäß mit großen Unsicherheiten behaftet. Folglich sind die endgültigen Konsequenzen des menschlichen Handelns auch nicht eindeutig absehbar. Dies bedeutet insbesondere, dass unerwünschte Konsequenzen, wenn überhaupt, dann nur schwer rückgängig zu machen sind. Wir können nicht davon ausgehen, dass eine signifikante Reduktion oder gar - kaum vorstellbar - eine vollständige Vermeidung der anthropogenen Freisetzungen in die Atmosphäre sofort oder gar in absehbarer Zeit zu einer Reduzierung des menschengemachten Treibhauseffektes führen wird.

Es trifft also nicht zu, was in letzter Zeit des öfteren zu hören gewesen ist, nämlich dass man über die physikalischen Ursachen der Klimaänderung ausreichend Bescheid weiß. Gesellschaft und Politik müssen vielmehr auch zukünftig mit wissenschaftlichen Aussagen zurecht kommen, die eine gegenwärtig noch nicht quantifizierbare Unsicherheit haben, und ihrerseits Verantwortungsbereitschaft einbringen.

Klima im Wandel: Die Geschichte des Klimas aus geobiowissenschaftlichen Archiven

Jörg F. W. Negendank

Zusammenfassung: Das gegenwärtige Klima der Erde ist nicht repräsentativ für die längerfristigen Klimabedingungen, die auf der Erde seit 600 Millionen Jahren geherrscht haben. Paläoklimatische Untersuchungen (geobiowissenschaftlicher Archive) zeigen, dass ein viermaliger Wechsel von "Icehouse" und "Greenhouse" stattgefunden hat. Wir leben heute seit ca. 55 Millionen Jahren in einem kalten Klimazustand (Icehouse), der sich allmählich entwickelte. Vor 30 Millionen Jahren kam es zur Eisbildung auf dem Südpol und die Vereisung beider Polkappen ist erst seit ca. 2,8 Millionen Jahren festzustellen. Die heutige Oszillation mit Perioden von jeweils ~ 100.000 Jahren mit Kalt- (80.000 Jahre) und Warmzeiten (~ 20.000 Jahre) kann mit Sicherheit erst seit ca. 800.000 Jahren beobachtet werden. Diese Klimavariabilitäten auf verschiedenen Zeitskalen sind wesentlich zum Verständnis der Klimadynamik und beherrschen auch unsere heutige Warmzeit seit 11.660 Jahren B.P. Sie geschehen auf Skalen von Jahren, die hochfrequenten Schwankungen sind in niedrigfrequenten Wechseln "genestet". Diese natürliche Klimavariabilität ist Basis für die Erkennung eines anthropogenen Einflusses, der heute in der Diskussion aufgrund von Modellen im Vordergrund steht. Die Detaildiskriminierung der Ursachen dieses multikausalen Klimageschehens steckt noch in den Anfängen. Verschiedene Versionen werden vor dem Hintergrund natürlicher Variabilitäten diskutiert.

Mit der Entstehung der Erde haben sich Lithosphäre, Pedosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre in Wechselwirkung entwickelt, wobei die Biosphäre im Übergang zur Photosynthese einen wesentlichen Sprung zur Entwicklung höherer Lebewesen gemacht, wie sie auch für die Reduzierung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre und Hydrosphäre gesorgt hat. Klima, als ein komplexes Wirkungsgefüge aller Abläufe auf der Erdoberfläche einschließlich vulkanischer Großereignisse und Meteoriteneinschläge, ist demnach als ein offenes, zum Teil chaotisches System zu begreifen, wobei sich in der längerfristigen Erdgeschichte viele Rahmenbedingungen zum Teil dramatisch verändert haben. Das Modell GAIA versucht dieses Gesamtsystem Erde als eine Art selbstregulierenden Mechanismus darzustellen. "Herausforderungen" in Form der Veränderungen klimarelevanter Parameter werden durch Antworten in der Art und Weise eines "Thermostaten" geregelt, so dass sich durch die Erdgeschichte der letzten 600 Millionen Jahre die "Klimabedingungen" in einer Weise entwickelt haben, dass man von relativ konstanten, Leben ermöglichenden Umständen sprechen kann.

Das schließt tiefgreifende Veränderungen nicht aus. So hat die Erde seit 600 Millionen Jahren vier warme und vier kalte Klimamodi durchlebt, das heißt ohne und mit Polkappenvereisungen. Seit 55 Millionen Jahren befinden wir uns in einem Modus der Abkühlung, der seit 2,8 Millionen Jahren auch zu dem heute herrschenden relativ einmaligen Zustand einer bipolaren Vereisung geführt hat.

Aus der Untersuchung der Erdgeschichte lässt sich unter anderem entnehmen, dass die Koppelung verschiedenster geologischer Prozesse, so der sich durch Kontinentaldrift (Plattentektonik und Ozeanbodenspaltung) ergebenden Wanderung von Kontinenten in Polarregionen, eine Isolation des Pols vom "ozeanisch-atmosphärischen Wärmeaustauscher" verursacht und somit Ort möglicher Abkühlung durch die Strahlungsbedingungen wird. Dies ist wahrscheinlich eine der Basishypothesen für den Klimamodenwechsel der letzten 600 Millionen Jahre, also für Zeiten mit und ohne Polkappenvereisung. Zugleich ist auffällig, dass die vier kalten Klimamodi (Pol- und Gebirgsvergletscherung) mit Zeiten von Gebirgsbildungsphasen, der unterschiedlichen Verteilung von Kontinenten und Ozeanen und gekoppelten Meeresspie-

gelschwankungen sowie der Änderung der Kontinentflächen im Verhältnis zum Meeresraum zusammen fallen. Abbildung 1 demonstriert diese komplexen Zusammenhänge für die letzten 65 Millionen Jahre, also die Zeit der "Eiszeit", in der wir heute leben.

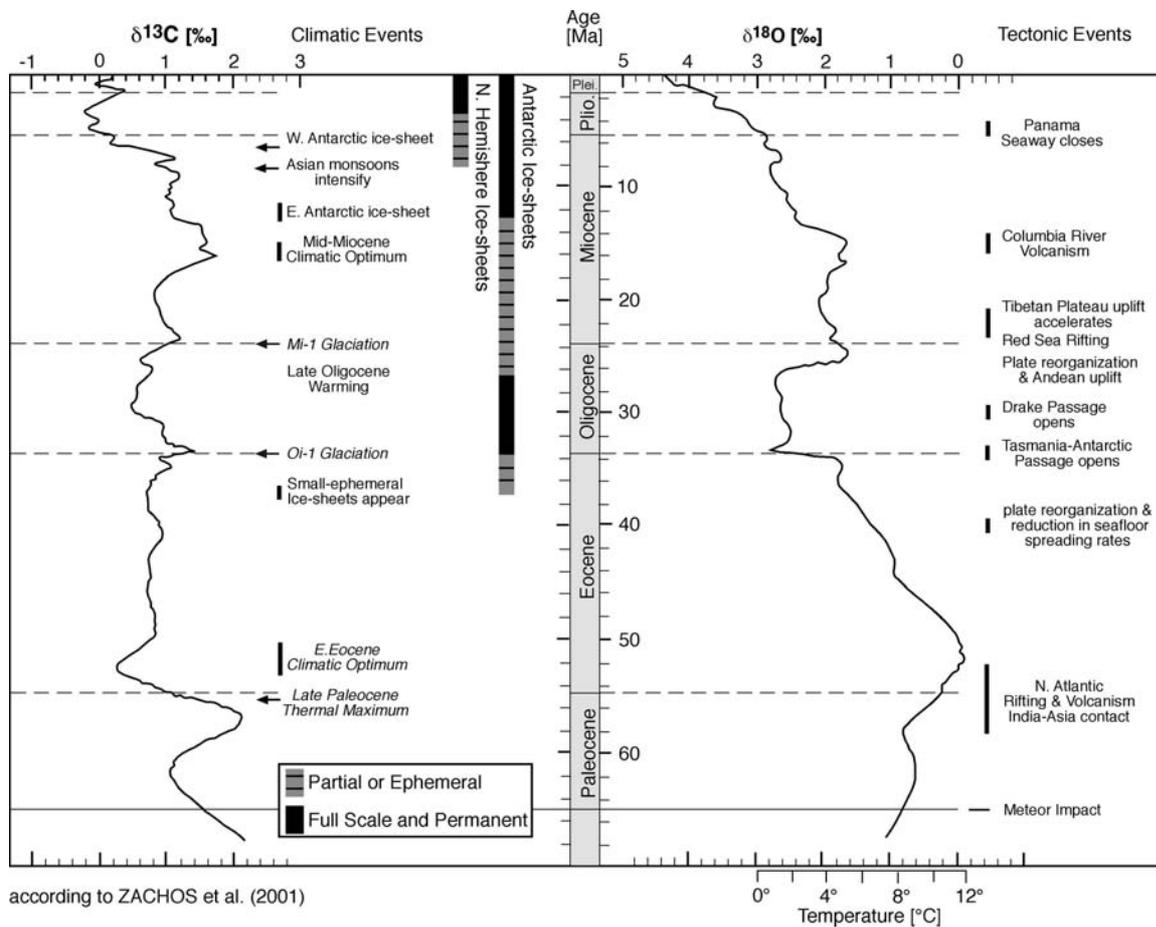


Abbildung 1: Die Klimaentwicklung während des Känozoikums (kalter Klimamodus) und ihre möglichen Ursachen.

Demnach scheinen tektonische Prozesse mit Zeitskalen von 10^5 bis 10^7 , periodische Zyklen durch orbitale Prozesse mit 10^4 bis 10^6 Jahren Zyklizität und seltene aberrante schnelle Klimaverschiebungen und extreme Klimaumschwünge mit 10^3 bis 10^5 Jahren Dauer Ursache zu sein. Besonders seit 2,8 Millionen Jahren sind die sogenannten Milankowitch-Zyklen erkennbar, seit 800.000 Jahren mit Periodizitäten von ca. 100.000 Jahren mit ausgeprägten Warmzeiten von ca. 15.000 bis 20.000 Jahren. Wir leben also heute in einem kalten Klimamodus, auch Eiszeit aufgrund der Polkappenvereisung genannt. Innerhalb einer solchen Eiszeit wechseln Warm- und Kaltzeiten mit Eis an den Polen und Grönland beziehungsweise Eis an den Polen mit weiter südlicher Ausdehnung auf den nordhemisphärischen Kontinenten ab. Diese Erkenntnisse wurden erst 1875 zur Gewissheit. Erst seit dieser Zeit gibt es eine Eiszeittheorie, die bis heute viele Unsicherheiten birgt (Tabelle 1 und Tabelle 2).

Vor ca. 21.000 Jahren war das Maximum der letzten großen Vereisung, seitdem schmilzt das Eis besonders auf der Nordhalbkugel zurück, der Meeresspiegel steigt (ist um ca. 110 m gestiegen), und die ehemals vom Eis bedeckte Fläche hebt sich heraus (zum Beispiel Hebung Skandinaviens).

Tabelle 1: Klima

<p>Klima Definition: Langzeitverhalten atmosphärischer Größen in globaler Verteilung Mittelung > 30 Jahre heute: jenseits der Wettervorhersage</p>	
<p>Was wird gemessen?</p>	
<p>seit ca. 150 Jahren</p>	<p>Meteorologische Messwerte Temperatur, Niederschlag, Feuchtigkeit etc.</p>
<p>seit ca. 3.000 Jahren (lückenhaft, zufällig, Extremereignisse)</p>	<p>Historische Aufzeichnungen über: Fluten, Dürren, Kälteperioden (zugefrorene Seen), Winterstrenge, andere Beobachtungen, Beispiel: Temperaturverlauf seit 1100</p>
<p>von heute in die Erdgeschichte zurück in verschiedenen Archiven mit 1-, 10-, 100-jähriger Auflösung (→ Millionen Jahre)</p>	<p>Proxy- bzw. Stellvertreterdaten Proxies für Niederschlag, Temperatur etc. in verschiedenen Archiven; über Multiproxy-Parameter-Netzwerke erfolgt die Ableitung von Klimavariablen</p>
<p>Klima-Archive: (als "geo-biowissenschaftliche" Messinstrumente in allen Klimaarealen)</p>	<p>Baumringe, Speleotheme, Eis, Korallen, See- und Meeresedimente</p>

Tabelle 2: Klimavariabilität

Klimavariabilität (regelmäßig – unregelmäßig)			
kurzfristig ± rezent, basierend auf meteorologischen Messreihen	mittelfristig in meteorologischen Messreihen und Proxydaten	langfristig (Proxydaten)	ultralangfristig
NAO 5 – 7 Jahre ENSO El Niño QBA 2 Jahre	Warvierte Seesedimente (Dickensvariationen), Eis, ¹⁴ C in Baumringen, Speleothemendicken, kosmogene Isotope, 11, 22, 88, 210, ~ 500, 1050, ~ 1500, 2500 Jahre z..B. kleine Eiszeit, Holozänes Klimaoptimum, Dansgaard/Oeschger-Zyklen, Heinrich-Events	Wechsel von Warm- und Kaltzeiten, zum Beispiel im Quartär 19.000, 23.000, 41.000, 100.000, 413.000	zum Beispiel: Vereisung der Nordhemisphäre seit ca. 2,7 Millionen Jahren, Entwicklung des Monsuns in Asien
Mögliche Ursachen: Rotation der Erde, Atmosphärenbewegung, Ozeanströme, Treibhausgase, troposphärische Aerosole (SO ₄), vulkan. Aerosole, CO ₂ -Senken, Albedo-Änderungen, solar	Mögliche Ursachen: Jahre – Jahreszeiten (Rotation der Erde) orbitale Parameter solar (Strahlungsdifferenzen?), da mit Sonnenfleckenaktivität korreliert Änderung thermohaliner ozeanischer Zirkulation	Mögliche Ursachen: orbitale Parameter (Insolation) Milankowitch-Zyklen Präzession, Schiefe, Exzentrizität	Mögliche Ursachen: Schließung der Panamastraße, Hebung von Tibet

Eine integrierte Klimasystemanalyse ist also immer eine Paläoklimaanalyse, da bei Prozessen über einige Jahre hinweg (> 10 Jahre) alle beteiligten Systeme (Atmosphäre, Ozean) und Klimasysteme (Eis, Vegetation, Boden etc.) und ihre externe und interne Anfachung (Insolation, Albedo, Treibhausgase) involviert sind.

Damit steht man vor zwei Problemen. Erstens gibt es keine direkten Klima-Messdaten für die Vergangenheit vor ca. 300 Jahren, und zweitens kann man keine Experimente vornehmen. Vielmehr benötigt man Klimamodelle, um Klima zu verstehen, wobei diese bisher im Wesentlichen von meteorologischen Überlegungen ausgegangen sind, also den heutigen Zustand beschreiben, aber nur vereinzelt die Vielfalt der im Klimasystem enthaltenen Komponenten einbeziehen. Das KIHZ-Projekt "Natürliche Klimavariationen in historischen Zeiten bis 10.000 Jahre vor heute" ist ein Beispiel, das zum ersten Mal versucht, eine physikalisch konsistente, räumliche und zeitliche Interpolation von Proxydaten zu erreichen, indem Klimazustände in einem globalen Computermodell in die Nähe der aus Proxydaten abgeleiteten Zustände gezwungen werden (Datenassimilation). Diese basieren auf Beziehungen zwischen Proxydaten und großräumigen Klima-anomalien mit Ausdehnungen von mehreren tausend Kilometern (upscaling).

Da Proxydaten keine meteorologischen Größen darstellen, müssen aus ihnen durch Transferfunktionen oder über das obige Verfahren Klimaparameter abgeleitet werden. Somit wird auf die in Abbildung 2 vermerkten Proxydaten zurückgegriffen, die quasimeteorologische Messreihen ergeben. Die orbitalen Parameter stellen die niederfrequenten Klimaschrittmacher dar, wobei wir heute seit 11.600 Jahren in einer Warmzeit leben. Sie ist Anfang einer möglicherweise 50.000 Jahre andauernden Warmzeit, da die Interferenz der Parameter eine Situation ergeben hat, in der die Bahn der Erde einen Kreis statt einer Ellipse darstellt, was ca. alle 400.000 Jahre auftritt (Loutre, Berger 2000).

Das Holozän, also die Zeit seit 11.600 Jahren, zeigt nicht die extremen Klimaschwankungen während der Kaltzeit, sie sind jedoch größer als bisher angenommen. So lässt sich aus verschiedensten Archiven entnehmen, dass im Früh- und Mittelholozän ein Klimaoptimum festzustellen ist, dass "wärmer" als heute war. Selbst während des letzten Millenniums hat es klare Klimaschwankungen gegeben, und in der Römerzeit muss zumindest im Alpenraum ein wärmeres Klima als heute geherrscht haben, da der große Aletsch-Gletscher weiter zurückgezogen war (Abbildung 3). Aufgrund von Archiven mit annueller und saisonaler Auflösung (Baumringe, warvierte Seesedimente) kann vermutet werden, dass solare Einflüsse bei den hochfrequenten Schwankungen des Holozäns als Ursache beteiligt waren. Verschiedene Modelle weisen darauf hin, dass von den letzten 1000 Jahren die Klimaschwankungen der ersten zwei Drittel solar, danach solar und vulkanogen und die letzten 150 Jahre immer stärker anthropogen überprägt zu sein scheinen. Das ist besonders seit 1970 der Fall, wie das eingehend im letzten Bericht des International Panel on Climate Change dargestellt wird.

Die durch Klimamodelle simulierten Szenarien durch anthropogenen Einfluss (im Wesentlichen CO₂), besonders seit 1970 sichtbar, prognostizieren einen Temperaturanstieg zwischen 1,5 und 4,5 °C, wobei man sich bewusst bleiben muss, dass es sich um Szenarien handelt, die auf vereinfachten Annahmen beruhen. Das Klimasystem ist aber bei weitem komplexer und wird auch in Zukunft Überraschungen bereithalten. Man sollte nicht übersehen, dass bisher das GAIA-System wie ein "Thermostat" gewirkt hat und dass möglicherweise "Pufferungsmöglichkeiten" entdeckt werden, die bisher übersehen wurden (unter anderem Auftreten und Verbreitung der C₄-Pflanzen mit höherem Wasserspeicherungsvermögen, somit mit geringerer Wolkigkeit verknüpft, was Abkühlung bedeuten würde [Die Wolken stellen ca. 50 % der Treibhausgase], CO₂-Speicherung in Boden und Vegetation).

ARCHIV	MESSGRÖSSE	KLIMAINDIKATION	ALTERSBESTIMMUNG	in KIHZ
Baumringe	$\delta^{13}\text{C}$ $\delta^{18}\text{O}$ $\delta^2\text{H}$ Ringbreitenindex	Niederschlag, Temperatur Niederschlag, Temperatur Niederschlag, Temperatur Niederschlag, Temperatur	Zählungen (Jahrringe) $\delta^{14}\text{C}$ Radiokohlenstoffdatierung	X (X) X (X)
Eiskerne	Cl, Na Ca ²⁺ SO ₄ ²⁻ NH ₄ CO ₂ $\delta^{18}\text{O}$	Marine Salzaerosole Mineralaerosole Vulk. Emissionen Biomasse Atmosphäre Niederschlag	Verdunstung, Wind Windrichtungen Atmosphäre Vegetation+Antropogeneffekte Atmosphäre+Antropogeneffekte Niederschlagsverteilung	Zählungen (Jahreslagen) X X X X X X
lakustrine Sedimente	Warvendicke Pollenverteilung $\delta^{13}\text{C}$	Niederschlag, Temperatur Niederschlag, Temperatur Niederschlag, Temperatur	Zählungen (Warven)	X X X
Solare Grössen	Sonnenflecken	Sonnenzyklen	Aufzeichnungen	X
Meteorologie	Niederschlag Temperatur Wind	Niederschlag Temperatur Wind	Aufzeichnungen	(X) (X) (X)
Speleotheme	Laminaedicke/ $\delta^{18}\text{O}$	Niederschlag	Zählungen	o
Historische Aufzeichnung	Eisbedeckungen, Ernteberichte, Handel, Extrem- Ereignisse (Dürre, Flut)	Temperatur, Niederschlag, Wind	Historische Dokumente	o
marine Sedimente	$\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ and planktischen und benthischen Foraminiferen Faunenanalysen (Diatom., Radiolarien, Foraminiferen) Mg/Ca an plankt. Foraminiferen U ^k ₃₇ $\delta^{11}\text{B}$ an Foraminiferen Ba/Ca an Foraminiferen $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ Cd/Ca an Foraminiferen Mg/Ca, Sr/Ca an Ostracoden	SST, SSS, Paläoniederschlags- & Nährstoffverteilung SST, Wassermassenverteilung SST pH Alkalinität pCO ₂ Nährstoffverteilung Temperatur Bodenwasser	$\delta^{14}\text{C}$, Zählungen (Biostratigraphie, Orbitaltuning)	X (X) (X) (X) (X) (X) (X) (X)
Korallen	$\delta^{18}\text{O}$ Sr/Ca $\delta^{14}\text{C}$	Sst Sst Sst	$\delta^{14}\text{C}$, Zählungen, U/Th	X X (X)

Legende:

X = in KIHZ vorhanden

(X) = in KIHZ in Arbeit bzw. fremd verfügbar

o = nicht in KIHZ vorhanden

Abbildung 2: Archive und ihre klimaindikativen Messparameter in KIHZ

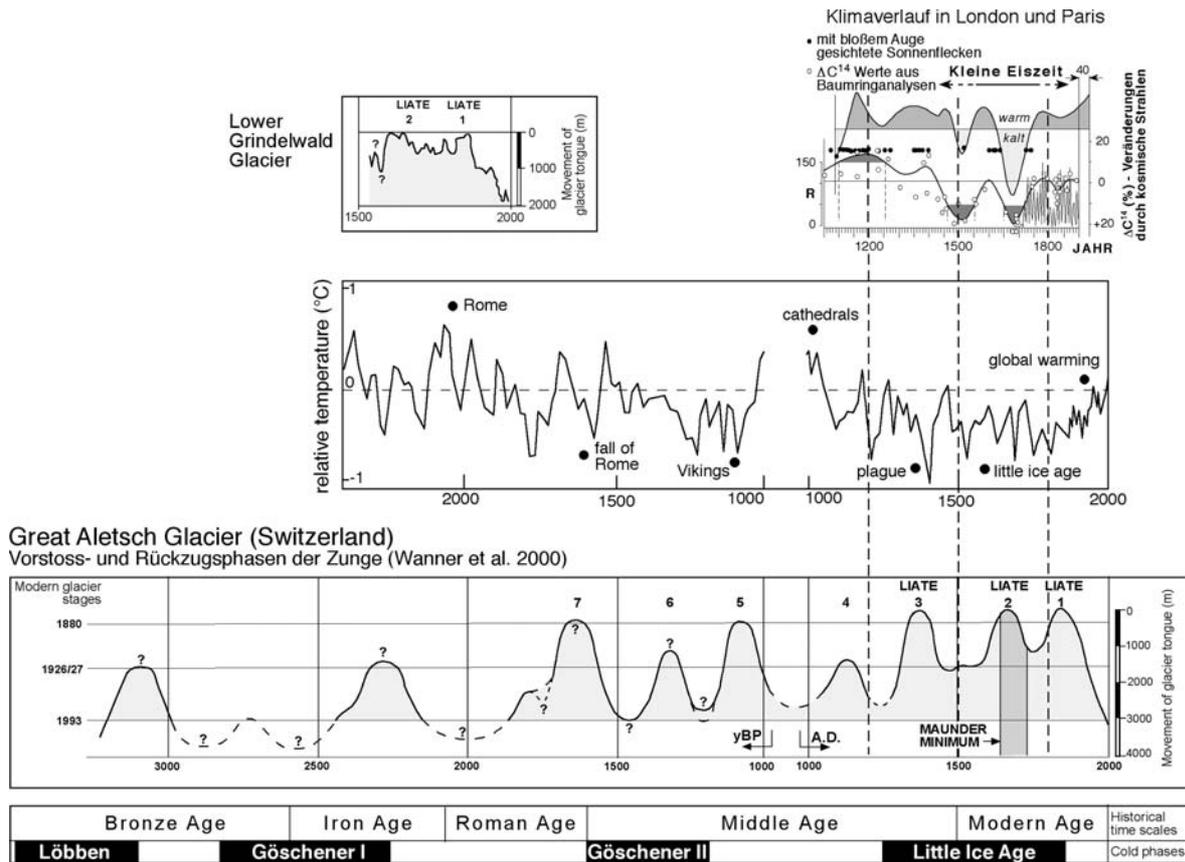


Abbildung 3: Der Aletsch-Gletscher und seine Vorstoß- und Rückzugsphasen im Vergleich zum "relativen Temperaturverlauf" des Grönlandeises und zum Klimaverlauf in London und Paris während des letzten Millenniums.

Resultat

Das Klimasystem ist ein hochkomplexes System mit vielfältigen Ursachen, die sich verstärken aber auch abschwächen können.

- Es ist fraglich, inwieweit der Mensch Klima beeinflusst hat und beeinflusst.
- Seit 1970 scheinen Temperaturwerte auf einen Einfluss zu deuten.
- Variabilitäten waren jedoch allein seit römischer Zeit bis in die kleine Eiszeit größer.
- Der Mensch reagiert zum Beispiel auf Meeresspiegelanstieg seit 1000 Jahren an der Nordsee mit Änderung von Flachsiedlung über Küstenbau bis zur Eindeichung. Der Meeresspiegel hebt sich seit 22.000 – 18.000 Jahren vor heute von -130 m auf das heutige Niveau und oszilliert. Das ist ein linearer, vom Menschen unbeeinflusster Anstieg von 20 cm pro Jahrhundert!
- Die sogenannte Eem-Warmzeit – der heutigen seit 11.600 Jahren vor heute etwa vergleichbar – hatte einen etwas höheren Meeresspiegel als heute, der generelle Verlauf war an der Nordseeküste ähnlich.
- Der Mensch ist dem Klima "gefolgt" und wird das auch in Zukunft tun.

- Jedoch: Plötzliche Klimaänderungen wie in der Jüngeren Dryas – Kälteeinbruch für ca. 1100 Jahre – könnte Systeme unanpassungsfähig machen. Die Jüngere Dryas trat innerhalb von 25 Jahren (Messwert aus Warven der Eifel) in Mitteleuropa ein (Temperaturrückgang um ca. 6 – 7 °C)! Sie endete in 60 Jahren mit einer Erwärmung auf das heutige Niveau.

Das Klima ist zur Zeit unberechen- und unkalkulierbar (Tabelle 3).

Tabelle 3: Ursachen für Klimawechsel

1.	Die Erde hat seit 600 Mio. Jahren 4 Warm- und 4 Kaltzeiten durchlaufen.
2.	Ursache für eine Eiszeit, d. h. Polvereisung, ist die Isolation der Polregion vom Wärmeaustauscher Ozean.
3.	Mechanismus: Kopplung der Kontinentdrift (Plattentektonik und Ozeanbodenspaltung) – Gebirgsbildung – Polvereisung – Meeresspiegelabsenkung – Phase der Kontinentalität.
4.	Seit 55 Mio. Jahren ⇒ Kaltzeit (Temperaturabnahme), Hebung von Tibet, Monsunentwicklung. Seit 2,8 Mio. Jahren ⇒ bipolare Vereisung (Sonderzustand), Schließung der Straße von Panama. Seit ca. 800.000 Jahren ⇒ deutliche orbitale Variabilitäten ⇒ Milankowitch-Zyklen (65° N stärkste Auswirkung, deshalb dort Gletscherbildung). Genestet: Submilankowitch-Zyklen, wahrscheinlich solar (11, 22, 88, 210, 510, 1050 Jahre) zusätzlich saisonale Variabilitäten in nördlicheren Breiten.
5.	Klimaschrittmacher:
	natürlich: Plattentektonik (langfristig)
	Orbitale Ursachen (langfristig)
	Solare Ursachen (kurzfristig)
	gekoppelt: Polare Vereisungen
	Meeresspiegelschwankungen
	Meteoriteneinschläge (groß – klein)
	Vulkanische Gase (Eruptionen) (tropisch – nichttropisch)
	Staubstürme (Sahara)
	Variabilitäten innerhalb des Klimasystems, zum Beispiel NAO (Nordatlantische Oszillation), ENSO (La Niña, El Niño)
	anthropogen: Atmosphärische Gase (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, O ₃ , CFCS), Aerosole, Vegetationsänderung durch Landnutzung

Literatur

- Loutre, M. F., Berger, A. (2000): Future climatic changes: Are we entering an exceptionally long Interglacial? *Climatic Change* 46: 61-90.
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K. (2001): Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science* 292: 686-693.

Wie hängt die Entstehung von Hauttumoren von Klimafaktoren ab?

Bernd Jantsch

Zusammenfassung: Veränderungen von klimatischen Bedingungen können zu einem vermehrten Auftreten bösartiger Tumore des Hautorgans führen. Dieses ist vor allem auf die erhöhte Exposition des Körpers mit ultravioletttem Licht in den vergangenen Jahren zurückzuführen - in erster Linie infolge veränderter Urlaubs- und Freizeitgewohnheiten, daneben auch wegen des Rückganges der schützenden Ozonschicht. Es wird in dem Beitrag auf die Veränderungen der klimatischen Bedingungen durch den Rückgang der Ozonschicht bezüglich erhöhter UV-Exposition mit resultierender Steigerung des Auftretens von Hauttumoren eingegangen. Veränderte Lebensgewohnheiten finden kritische Erwähnung, die Biologie der einzelnen Tumore wird kurz dargestellt, mögliche prophylaktische Maßnahmen werden diskutiert.

1 Übersicht zu den drei dermatologisch wichtigen Tumorarten

Etwa seit den fünfziger Jahren gilt gebräunte Haut als erstrebenswert. Sie symbolisiert Gesundheit, Jugend und Schönheit. Große Teile der Bevölkerung setzen sich deshalb bewusst verstärkt der Sonne aus. Leider führt das zu einer gehäuften Entstehung von Hautkrebsen. An der Haut werden folgende bösartige Tumore unterschieden: das Basalzell-Karzinom (oder auch Basaliom genannt), das Stachelzell-Karzinom (oder Plattenepithelzell-Karzinom, Spinaliom) sowie das Maligne Melanom (Schwarzer Hautkrebs). Daneben existieren noch einige weitere Entitäten, welche jedoch zahlenmäßig deutlich weniger sind und hier keine Erwähnung finden sollen.

Da Hauttumore sich sehr langsam entwickeln, können zwischen Auslösung und Sichtbarwerden mehrere Jahrzehnte liegen. So stieg in den letzten Jahren die Zahl der Hautkrebserkrankungen verstärkt an. Weltweit nehmen Hautkrebserkrankungen der hellhäutigen Bevölkerung alarmierend zu, in unseren Breitengraden jährlich um etwa 7 %. Das ist die höchste Zuwachsrate aller bösartigen Tumore.

1.1 Das maligne Melanom „Schwarzer Hautkrebs“

Es ist ein Tumor vor allem der Haut und Schleimhaut, an beliebigem Ort entstehend (Abbildung 1) und seinen Ausgang von den pigmentbildenden Zellen der Oberhaut (Epidermis) nehmend. Das Melanom zeigt die Tendenz zur frühzeitigen Metastasierung und ist daher als sehr bösartig (maligne) anzusehen. Heute ist der Altersgipfel im 4. bis 5. Lebensjahrzehnt zu finden. Es existieren verschiedene Risikogruppen für die Entwicklung des Melanoms (Abbildung 2).

Entwicklung maligner Melanome:

- | | |
|---|-------------------|
| - auf klinisch normaler Haut | 60% der Patienten |
| - auf präexistentem „Leberfleck“ | 20 - 35% |
| - Tochtergeschwülste (Metastasen) treten auf, der Primärtumor ist nicht nachweisbar | 5% |

LOKALISATION DER MALIGNEN MELANOME

	Männer	Frauen
Kopf/ Hals	14,5%	15,2%
Stamm	53%	20,9%
obere Extr.	9,5%	17,8%
untere Extr.	15,2%	36%
Füße	4,5%	7,2%
Sonstige	3,3%	2,9%

Abbildung 1: Lokalisationen der malignen Melanome an der Haut

Risikogruppen für die Entwicklung maligner Melanome im deutschsprachigem Raum

Relatives Risiko (RR) für Melanomenentwicklung	Deutlich erhöht (RR = 10-20)		sehr stark erhöht (RR > 100)
gewöhnliche melanoz. Nävi	> 50	> 50	> 50
aktinische Lentigines	-	ja	Ja
atypische Melanoz. Nävi	Ja	-	> 5

Abbildung 2: Risikogruppen für die Entwicklung von Melanomen

Es existieren folgende Melanomtypen:

1. Superfiziell spreitendes Melanom

- 50 - 70% der Melanome
- anfangs bräunlicher oberflächlicher („superfizieller“) Fleck, später knotige Anteile (= beginnendes horizontales [„spreitendes“], später vertikales Wachstum) (Abbildung 3)

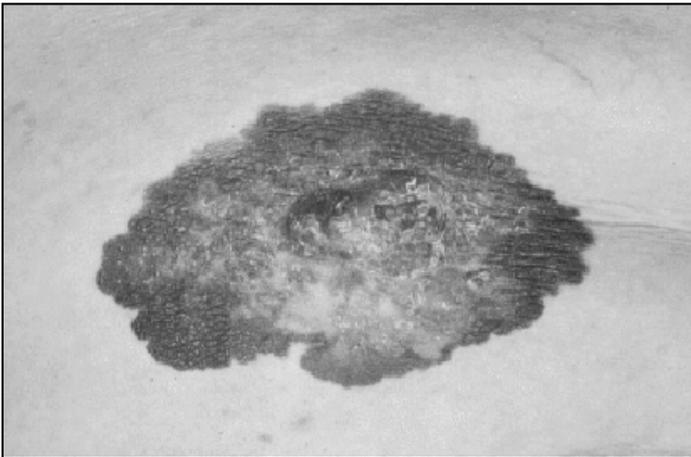


Abbildung 3: Superfiziell spreitendes Melanomen

2. Noduläres Melanom

- 15 - 20% der Melanome
- primär knotiges Wachstum („nodulär“)
- rasche Tiefenausdehnung, exophytischer Knoten
- oft auch ohne Pigmentbildung (apigmentiert) (Abbildung 4)

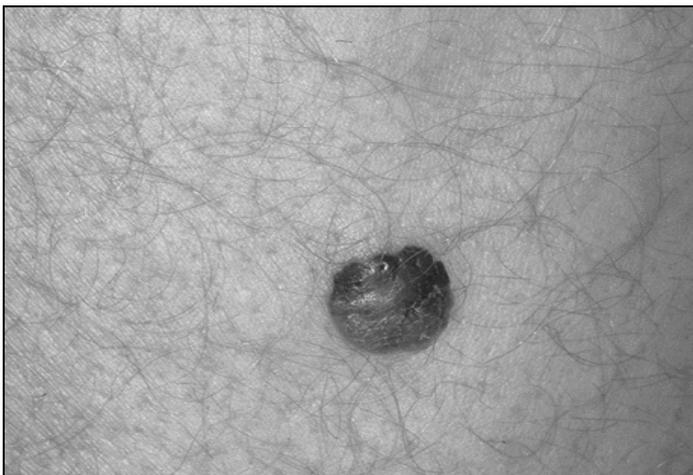


Abbildung 4: Noduläres malignes Melanomen

3. Lentigo-maligna-Melanom

- 8 - 12% der Melanome
- fortgeschrittenes Lebensalter
- primär an lichtexponierten Arealen
- anfangs bräunlicher Fleck als Vorstufe (Lentigo maligna)
- später sekundär knotiges Wachstum (Abbildung 5)

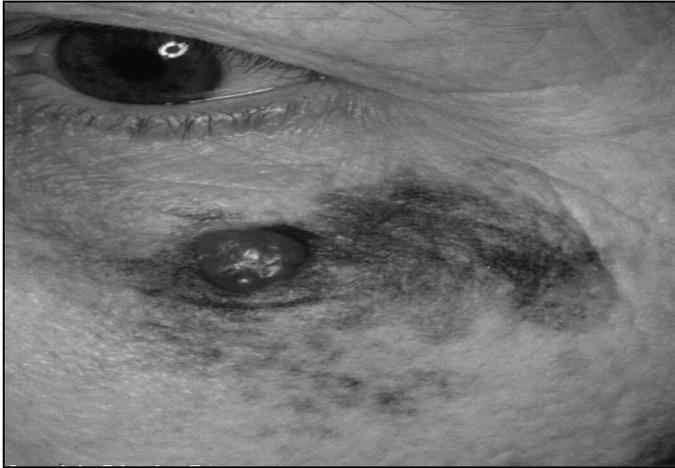


Abbildung 5: Lentigo-maligna-Melanom

4. Akrolentiginöses Melanom

- 4 - 5% der Melanome
- Lokalisation an den Akren (Hände und Füße)
- oft wenig pigmentiert (erschwerter Diagnose) (Abbildung 6)



Abbildung 6: Akrolentiginöses Melanom

Andere Melanomtypen:

- Schleimhautmelanome
- Aderhautmelanome
- Meningeale Melanome
- Okkulte Melanome u.a.

Therapiemöglichkeiten:

- Operation
- Bestrahlung
- Lasertherapie
- Kryotherapie
- Chemotherapie (Dacarbacin, Temozolomid, Vindesin, Cisplatin u.a.)
- Immuntherapie (Interferon, Interleukin u.a.)
- Vakzinierung

Um das Erkennen auffälliger Pigmentmale zu erleichtern, wurde die sogenannte ABCDE-Regel konzipiert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Die ABCDE-Regel und ihre Bedeutung

A	Asymmetrie	nicht gleichmäßig rund oder oval
B	Begrenzung	unscharf, verwaschen Ausläufer
C	Colour/ Farbe	mehrere Farbtöne, Änderungen ehemaliger Färbung
D	Durchmesser	➤ 5 mm
E	Erhabenheit	Zunahme des vertikalen/exophytischen Wachstums

Zeigen Pigmentmale diese Charaktereigenschaften oder Juckreiz, Nässen, Blutung, sollte unbedingt ein Arzt konsultiert werden.

1.2 Basaliom (Basalzellkarzinom)

Das Basaliom ist ein Hautkarzinom der älteren Haut (Altersgipfel im 6. Lebensjahrzehnt). Es findet sich vorzugsweise an den lichtexponierten Arealen – den so genannten „Sonnenterassen“ (Wangen, Nasenspitze, Stirn, oberer Rücken) (Abbildung 7).

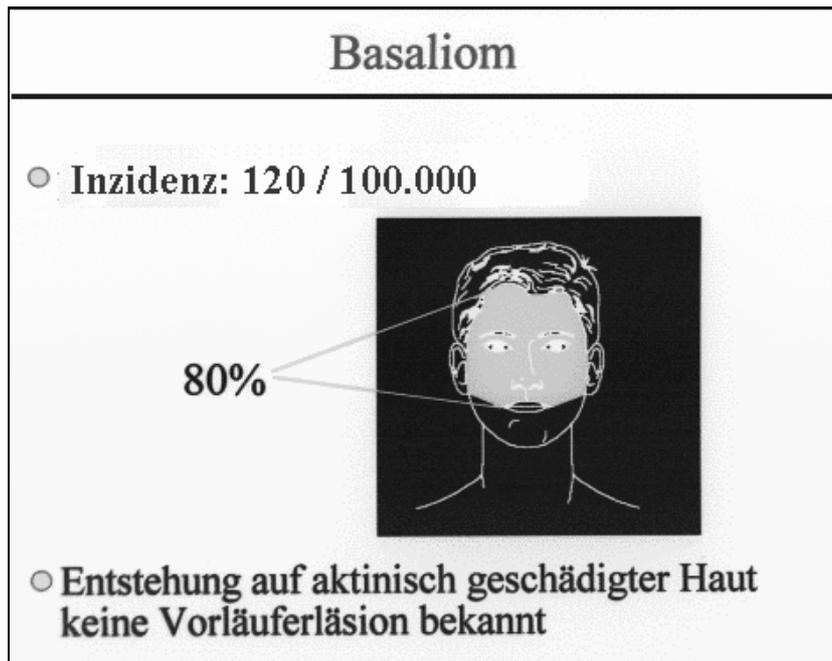


Abbildung 7: Der bevorzugte Sitz der Basaliome ist der Gesichtsbereich

Es entsteht primär ohne Vorstufen und zeigt ein oft sehr langsames Wachstum. Weil es praktisch nicht metastasiert, wird es auch als semi-maligne bezeichnet. Es wächst jedoch lokal destruktiv, zeigt oft einen typischen Randwall und Krustenauflagerungen (Abbildung 8).



Abbildung 8: Solides Basaliome im Bereich des oberen Rückens

1.3 Spinaliom (Stachelzellkarzinom, Plattenepithelkarzinom)

Auch bei diesem Hautkrebs sind vorwiegend die lichtexponierten Areale des Körpers betroffen. Meist aus der Vorstufe Aktinische Keratose (Abbildung 9), einer scharf begrenzten schuppigen Rötung, entwickelt sich dieser zur Metastasierung neigende Tumor (Abbildung 10).

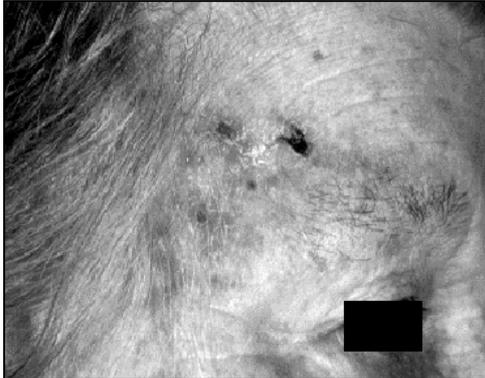


Abbildung 9: Aktinische Keratose/Schläfe



Abbildung 10: Spinaliom/Unterlippe rechte

2 Epidemiologie und Risikofaktoren

Es ist vor allem für das Melanom ein rasanter Anstieg der Inzidenz zu beobachten. Der Atlas der Krebsinzidenz der ehemaligen DDR weist einen Anstieg des Melanoms von 150% von 1961 bis 1989 aus. Dabei beobachtete man ein erhöhtes Stadt-Land-Risiko von 1,3 für Männer und 1,1 für Frauen.

Ungefähr 100 000 Fälle von Hautkrebs werden jährlich in der Bundesrepublik diagnostiziert (Abbildung 11).

	<u>Melanom</u>	<u>Spinaliom</u>	<u>Basaliom</u>
<u>Risiko</u>	familiär Dysplasien Sonnenbände Angeborene Male	UV Teer	UV Teer, Arsen
<u>Häufigkeit</u>	10000	25000	65000
<u>Lokalisation</u>	Mann: Stamm Frau: Arme/ Beine	Sonnenterasse	→
<u>Letalität</u>	20%	5%	<1%
<u>Rezidive</u>	20 – 30%	10 – 15%	5 – 10%
<u>Metastasen</u>	20 – 30 %	5 – 10%	0

Abbildung 11: Einige Risikofaktoren, die Häufigkeit des Auftretens in der Bundesrepublik und Auswirkungen der Tumoren

Die Inzidenz für Sachsen betrug 1996 für das maligne Melanom 13,8/100 000. Norwegen hat in Europa die höchste Inzidenz: Männer 13,3 und Frauen 16,9. Die höchste weltweite Inzidenz für die weiße Bevölkerung haben Australien und Neuseeland. Die Region Auckland 56,2 /100 000. In den USA stieg von 1973 bis 1994 die Inzidenz bei Männern von 6,8 auf 17,3 und bei Frauen von 6,1 auf 11,6 pro 100 000 Einwohner. Die Mortalität (Sterblichkeitsrate) stieg in Deutschland von den 70er bis in die 90er Jahre bei Männern von 1,7 auf 2,6/100 000 und bei Frauen von 1,4 auf 1,7.

3 Klimafaktor Ultraviolette Strahlung

Die von der Sonne ausgesendete optische Strahlung reicht von wärmespendender Infrarotstrahlung über die sichtbare Strahlung bis hin zur ultravioletten Strahlung. Etwa 6 % der gesamten auf die Erde treffende Sonnenstrahlung sind unsichtbare ultraviolette Strahlen. Je nach Wellenlänge werden sie in verschiedene Bereiche aufgeteilt. Je kürzer die UV-Wellenlänge ist, desto energiereicher ist die Strahlung und desto höher ist ihre biologische Wirksamkeit.

In den oberen Schichten der Atmosphäre wird die UVC-Strahlung durch molekularen Sauerstoff nahezu vollständig absorbiert. Dabei wird Ozon gebildet. Ozon ist ein sehr reaktives Gas mit der chemischen Formel O_3 . Dieses Ozon wirkt seinerseits als Filter für ultraviolette Strahlen. Die Filterwirkung von Ozon hängt wesentlich von der Wellenlänge der Strahlung ab. Im energiereichen kurzwelligeren UVB-Bereich ist sie besonders groß. Dadurch fällt bei Wellenlängen zwischen 305 nm und 295 nm die UV-Bestrahlung um das Tausendfache ab. Man spricht von einer "UVB-Kante". Besonders im Bereich der UVB-Strahlung machen sich Änderungen des Ozongehaltes stark bemerkbar, während langwelligere UVA-Strahlen fast vollständig die Erde erreichen (Abbildung 12).

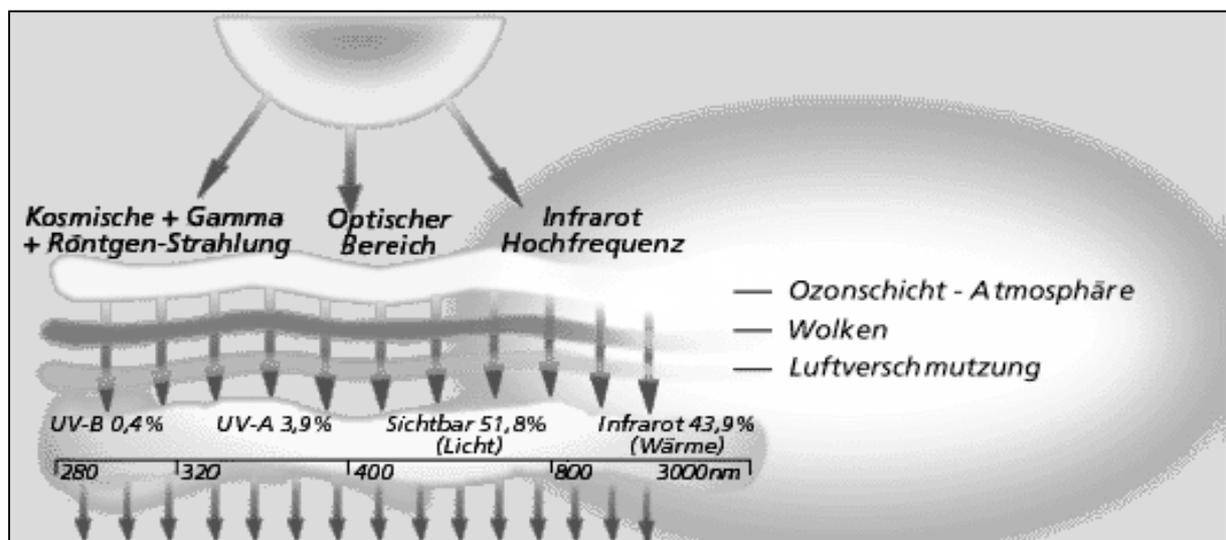


Abbildung 12: Die von der Sonne ausgehende Strahlung

Nimmt die Ozonschicht in der Atmosphäre ab, so steigt der Anteil der UVB-Strahlung, der zur Erde durchdringen kann. Dieser Bereich ist aber gerade für die Haut biologisch hochwirksam (Abbildung 13 und Tabelle 2).

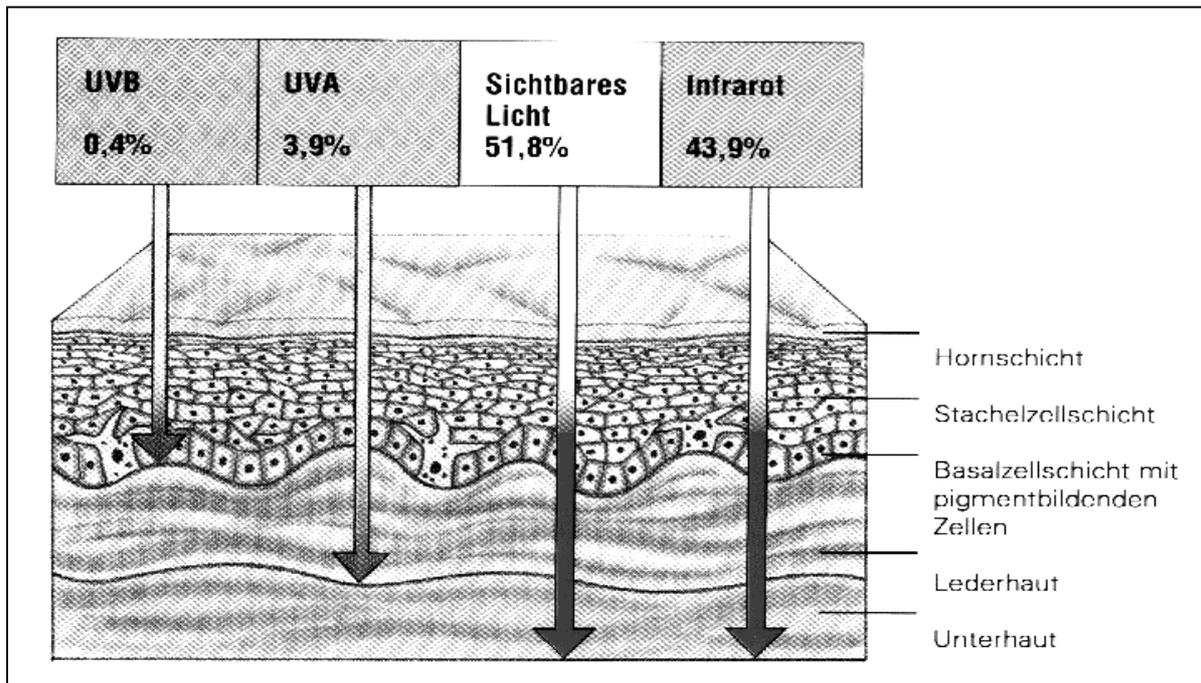


Abbildung 13: Das Eindringen der von der Sonne ausgehenden Strahlung in die Haut

Tabelle 2: Vergleich von UVA- und UVB-Strahlung

- Strahlungsmenge UVA/ UVB = 20/ 1
 - UVB im Winter geringer als Sommer (Wolken), UVA kaum verändert
 - mehr als die Hälfte der UVA-Strahlung außerhalb des Sommers
 - UVB Strahlung von 11 bis 15 Uhr maximal, davor und danach starke Abnahme
 - UVA entsprechen eher dem Verlauf sichtbarer Strahlung
- >>> hohe UVA-Belastung fast „unbemerkt“
 >>> UVB größere Bedeutung in Tumorentstehung

Je intensiver die Sonne strahlt, desto höher ist die Belastung der Haut durch UV-Strahlung. Die Intensität der UVB-Strahlung ist abhängig vom Einfallswinkel der Sonne, von der Bewölkung, dem Ozongehalt in der Atmosphäre und von der atmosphärischen Trübung. Sie ändert sich außerdem deutlich mit der geografischen Breite, der Höhenlage, der Jahres- und der Tageszeit. Streustrahlung und Reflexion, beispielsweise durch Wolkenröpfchen, Wasser, Schnee oder Sand, beeinflussen die Intensität der UV-Strahlung ebenfalls

Das ungeschützte Auge und die ungeschützte Haut unterliegen generell einem strahlenbedingten Risiko durch UV-Strahlen. Bei der biologischen Wirkung dieser Strahlen muss zwischen akuter und chronischer Wirkung unterschieden werden.

Zu den akuten Wirkungen zählen Erytheme ("Sonnenbrand") und Bindehautentzündungen der Augen. Sollte die UVB-Strahlung weiter zunehmen, könnten diese Krankheitsbilder in deutlich kürzerer Zeit auftreten als bisher. Im Sommer braucht man schon jetzt nicht lange auf

einen Sonnenbrand zu warten: Für ungeschützte und nicht lichtgewöhnte Haut kann die Zeit bis zum Erreichen der "Erythemschwelle" weniger als eine halbe Stunde betragen. Im Winter hingegen ist diese Zeit unter sonst gleichen Bedingungen wesentlich länger.

Chronische, also langzeitige Wirkungen, können vorzeitige Hautalterung oder Hautkrebs sein.

Ultraviolette Strahlen schwächen bei langfristiger Einwirkung das Immunsystem des Menschen. Eine höhere UV-Exposition kann somit neben Hautkrebs auch häufigere Infektionskrankheiten zur Folge haben (Tabelle 3).

Tabelle 3: Die Wirkung ultravioletter Strahlung auf den Menschen

akut	<ul style="list-style-type: none"> - Erythem, Entzündung, Sonnenbrand - Pigmentierung - sofort / verzögert - Lichtschwiele (UVB) - Vitamin-D-Produktion (UVB) - Immunsuppression (UVA) - Photoallergien (UVA), Mallorca-Akne
chronisch	<ul style="list-style-type: none"> - Hautalterung (Photoaging) (UVA) - Hautkrebs (UVB, [UVA]) - Grauer Star (Linsentrübung) (UVB)

Die derzeitige Situation ist also durchaus ernst zu nehmen: Steigen die UV-Werte an, nehmen gesundheitliche Risiken für den Menschen zu!

Es gibt einen deutlichen Zusammenhang zwischen Hautkrebsentstehung und Sonnenexposition. (Beim Basaliom und Spinaliom ist dieses offensichtlich. Hier sind die Lokalisationen mit der kumulativ meisten Anzahl an Sonnenstunden betroffen. Aber auch beim malignen Melanom sind Zusammenhänge erkennbar). Folgende Faktoren spielen eine Rolle:

- heller Pigmentierungstyp (Tabelle 4)
- Sonneneinstrahlung in großem Winkel
- Aufenthalt in Regionen hoher Sonnenexposition
- Vermehrte Besonnung lichtempfindlicher Areale
- **Freizeitverhalten (hohe intermittierende Strahlenmengen)**
- Induktion von Vorläuferläsionen
- Sonnenbrände in Kindheit

Tabelle 4: Die verschiedenen Hauttypen

I	2%	immer Sonnenbrand, keine Bräunung, blaue Augen, Sommersprossen, blond, Eigenschutzzeit 10 Minuten (keltischer Typ)
II	12%	fast immer Sonnenbrand, geringe Bräunung, blond, grün/graue Augen 20', (heller europäischer Typ)
III	78%	milder Sonnenbrand, gute Bräunung, dunkle Haare, braune Augen, 30' (dunkler europäischer Typ)
IV	8%	selten Sonnenbrand, tiefe Bräunung, schwarze Haare, braune Augen (Mittelmeertyp)

4 Klimafaktor Ozon

Nach neueren Hinweisen scheint zwischen der Entstehung von Melanomen, des Rückganges der Ozonschicht und der UVB-Bestrahlung ein direkter Zusammenhang zu bestehen: Die Umweltbehörde der USA geht davon aus, dass bei einer langfristigen Ozonabnahme um 1% die Häufigkeit bösartiger Melanome um 2% ansteigt. Auch andere Hautkrebserkrankungen werden häufiger: Nehmen die Ozonwerte in unseren Breiten um 1% im Mittel ab, so steigen 20 Jahre später die Nicht-Melanom-Hautkrebse um 3 % an. So die Ergebnisse wissenschaftlicher Berechnungen.

Die Entstehung von Hauttumoren wird in erster Linie durch UV-Lichteinwirkung provoziert.

Für den rasanten Anstieg der Tumore in Mitteleuropa ist dabei maßgeblich die Änderung der Lebensgewohnheiten entscheidend - weniger die Änderung von Klimafaktoren (Ausdünnung der Ozonschicht).

Unterhalb 35 km befindet sich in der Stratosphäre das gesamte atmosphärische Ozon. Die maximale Dichte wird bei 20 - 25 km Höhe erreicht. Unterhalb 10 - 15 km Höhe endet die Ozonschicht abrupt.

Das sogenannte Ozonloch tritt im September und Oktober über dem Südpol in Erscheinung (Abbildung 14). Die Ozonschicht wird derzeit durch sogenannte „Ozonkiller“ zerstört. Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) und Halone sind solche stabilen Verbindungen, welche schwerer als Luft, aber durch Turbulenzen und Diffusion die Stratosphäre erreichend, dort

durch UV-Licht aufgebrochen werden und als Radikale wirken. Sie können sich bis zu 30 Jahren dort aufhalten.

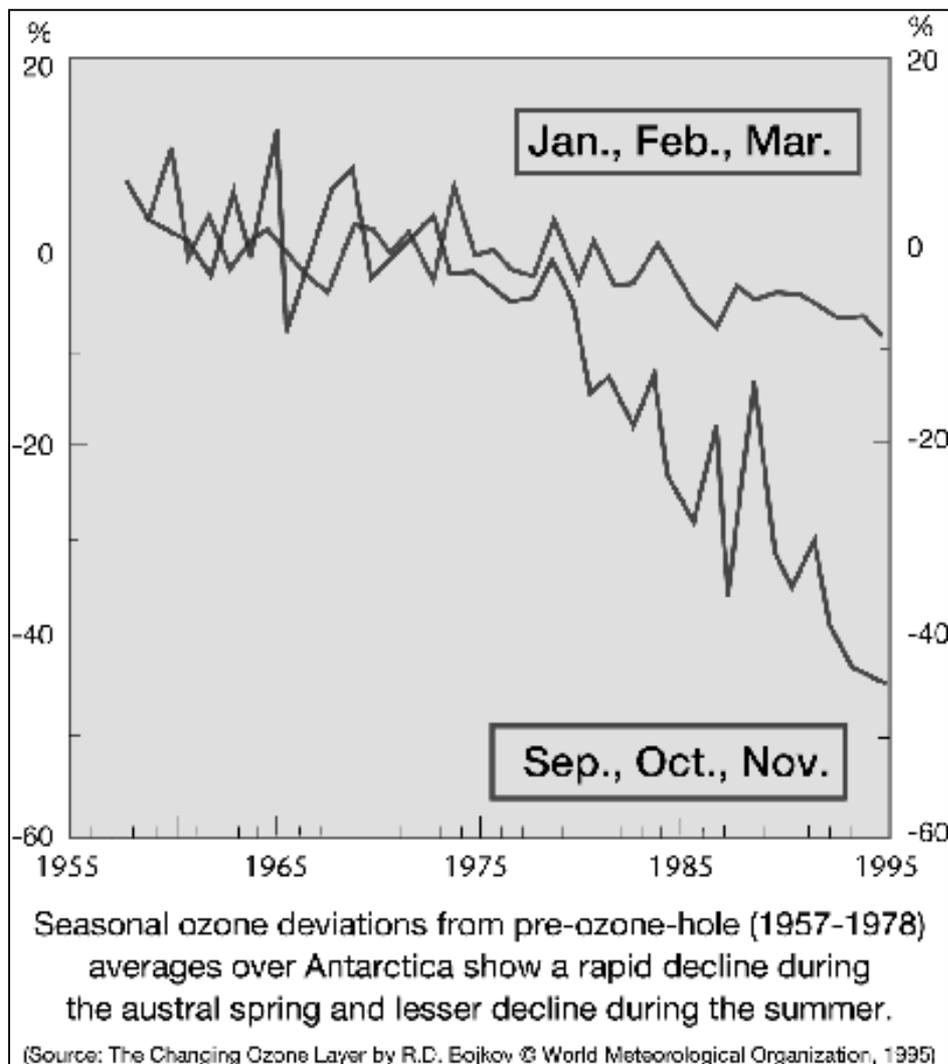


Abbildung 14: Die Veränderungen der Ozonschicht über der Antarktis

5 Prävention von Hauttumoren

Einige Regeln für den vernünftigen Umgang mit der Sonne:

- zwischen 11 und 15 Uhr Sonne meiden
- im Schatten immerhin noch 50% UV-Strahlung
- 30 min vorher Sonnenschutz auftragen (Achtung: Allergien möglich)
- Wassersport: wasserfeste Produkte, Nachauftragen (50 cm Wassertiefe: noch 62,5% UVB- und 85% UVA- Strahlung)
- Bekleidung: Hüte, Shirts, Hosen aus Baumwolle, dabei Lichtdurchlässigkeit beachten (Abbildung 15).

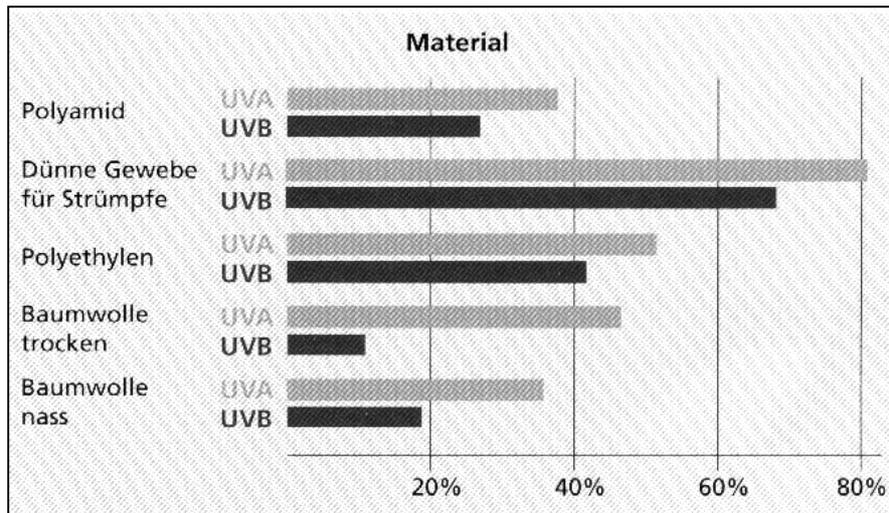


Abbildung 15: Die UV-Durchlässigkeit verschiedener Materialien

Dauer der Bestrahlung = Eigenschutzzeit x Lichtschutzfaktor

- keine Addition der Schutzzeit durch nochmaliges Auftragen
- Achtung ! Medikamente können lichtempfindlich machen
- Problemzonen behandeln (Sonnenterassen, schlechte Erreichbarkeit)
- Kinder unter 1 Jahr keine direkte Sonne, kaum indirekt
- Vorsicht bei Solarien!!

Literatur

- Braun-Falco, O., Plewig, G., Wolff, H. H. (1996): Dermatologie und Venerologie. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Diepgen, T. L., Simon, M., Bittorf, A., Fartasch, M., Schuler, G. (1999): Atlas der Dermatologie. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kaufmann, Weber, Rodermund (1989): Kutane Melanome. Klinik und Differentialdiagnose. Editiones-Roche-Verlag.
- Orfanos, C. E., Garbe, C. (1995): Therapie der Hautkrankheiten. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schmoeckel, C. (1997): Klinische Dermatologie, Lexikon und Differentialdiagnose der klinischen Dermatologie. Stuttgart: Georg-Thieme.
- Stolz, W., Landthaler, M., Braun-Falco, O. (1997): Klinische Dermatologie. Köln: Lasion.

Die Entstehung von infektionsbedingten Erkrankungen in Abhängigkeit von Klimafaktoren

Werner Bär

Zusammenfassung: Es entspricht der allgemeinen Erfahrung, dass in Ländern mit warmem Klima häufiger Infektionen erworben werden, als in gemäßigten Zonen. Dies soll am Beispiel der Malaria dargestellt werden. Sie wird heute als tropen- bzw. reisemedizinische Krankheit betrachtet. Eine historische Analyse zeigt aber, dass Malaria bis im 20. Jahrhundert in Mitteleuropa vorkam und hier historische Prozesse mitbestimmt hat.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie das Klima auf den Menschen einwirken kann, und den Mikrobiologen interessiert natürlich die Frage, inwiefern das Klima das Entstehen von Infektionen begünstigen kann und dadurch direkt den Menschen in seiner Lebensweise, aber auch in seiner ganzen geschichtlichen Entwicklung und damit auch die Kultur beeinflusst. Wir sind zur Zeit Zeugen eines gigantischen Feldprojektes, nämlich dass jedes Jahr hunderttausende von Deutschen, freiwillig in tropische Gefilde fahren und wir also als Ärzte ohne weiteres untersuchen können, was daraus wird. Und die Zahl ist derartig groß, dass man auch noch eine Reihe signifikanter Untergruppen bilden kann, zum Beispiel solche, an denen man untersuchen kann, welchen Effekt last minute Reisen auf solche Populationen haben und beispielsweise welchen Effekt die Prophylaxe und Impfungen auf den Ausgang solcher Reisen haben. Und wir sind natürlich gespannt und interessiert, zu beobachten, wie diese Feldstudie in Zukunft weitergehen wird. Wir betrachten natürlich nicht nur die Population, die wieder zurückkommt, sondern uns interessiert auch, wie es den Populationen ergeht, also sprich den Menschen, die in diesen Ländern dauerhaft leben müssen. Ich möchte ihnen die Auswertung dessen nahe bringen, was wir in Cottbus immer wieder erleben. Zunächst mal die Statistik der gesamten Reisekrankheiten. Die Reisediarrhöe, also das Mitbringsel von Durchfallerkrankungen aus diesen Ländern ist natürlich die Nummer eins der Erkrankungen, gefolgt von fast 1000 Infektionen systemischer schwere Krankheiten (meist Malaria). Dann kommt eine Reihe von weiteren Infekten, die Atemwegsinfekte, aber auch schweren Infektionen, wie das Denguefieber und Hepatitis.

Wir haben in der letzten Zeit Patienten mit Typhus gesehen, die Urlaub gemacht haben in Nordafrika zum Beispiel Ägypten. Andere Infektionen sind zahlenmäßig nicht unbedeutend. Wir sehen jährlich regelmäßig Infektionen mit Malaria. Wir hatten vor einigen Jahren auch einen Fall, der ist leider letal ausgegangen, das heißt dieser Patient gehörte zur Untergruppe **ohne** Malariaphylaxe. Und er kam zurück mit unspezifischen Symptomen (Fieber) und wurde wie immer erst mal blind mit Antibiotika behandelt. Da er aber keine Infektion durch Bakterien, sondern eben durch Malaria hatte, war das natürlich vollkommen falsch und er kam dann in einem miserablen Zustand zu uns in die Klinik. Wir konnten eigentlich nicht mehr helfen, sondern wir konnten nur die Infektion konstatieren, ihn auf der Intensivstation eine Weile behandeln, wo er letztendlich gestorben ist.

Im Folgenden möchte ich mich hauptsächlich auf Malaria beziehen. Die Malaria kommt in etwa 100 Ländern der Welt vor. Es sind doch immerhin etwa 1 Mrd. Menschen von dieser Krankheit bedroht und etwa 100 Mio. Infektionen gibt es jährlich, hauptsächlich durch **Plasmodium falciparum** - das ist die besonders aggressive Form, die in der Regel dann zu den Todesfällen führt. Laut World Health Organization (WHO) werden jährlich circa 4 bis 4,8 Mio. Tote durch diese Krankheit erwartet, es sind leider meistens Kinder. Diese Krankheit

bekommt man durch die Anopheles-Mücke. Sie ist ein ganz wichtiger Überträger für diese Krankheit. Man kann einen Zusammenhang sehen mit dem Klima, denn diese Mücken kommen natürlich nur vor, wo sie klimatisch überleben können. Es muss die richtige Temperatur herrschen, die Temperatur muss lange genug andauern und auch die Luftfeuchtigkeit muss hoch genug sein. Trockene Gebiete gestatten der Anopheles-Mücke nicht zu proliferieren. Deshalb gibt es in der Wüste keine Malariafälle.

Die Malaria läuft quasi in drei Zyklen ab. Der erste Zyklus läuft im Darm der Mücke ab. Durch den Stich dieser Mücke werden diese Formen auf den Menschen übertragen und diese Erreger gehen dann zunächst in die Leber über. Das geht asymptomatisch ab, das heißt Sie merken nicht, dass Sie Malaria infiziert sind. Es kann aber schon mal zu einem Durchfall kommen und in der Tat ist es so, dass der Durchfall häufig das erste Symptom der Malaria sein kann. Erst wenn in der Leber eine gewisse Reifung hervorgerufen wurde, können diese Keime dann in die Blutbahn übergehen und dann die Erythrocyten befallen und dann finden wir das typische klassische Bild der Malaria, nämlich die schweren Fieberanfälle und zwar immer dann, wenn die Erythrozyten auf Grund der Reifung platzen. Und wenn in dieser Phase die Mücke Sie sticht, dann wird die Mücke wieder infiziert und damit ist der Kreislauf geschlossen.

Sie kennen vielleicht das Selbstbildnis von Dürer. Er bemerkt auf einer Reise, dass er sich unwohl fühlt, hatte auch Fieberanfälle und Druckschmerz im Unterleib. Dort, wo er hin zeigt, auf der linken Seite, das ist dort, wo die Milz liegen soll. Dieses Bild hat er seinem Arzt geschickt, um als Künstler zu erklären, was ihn belästigt. Danach muss man sagen, er hatte eine Malaria. Nun werden Sie fragen, wie kommt ein Künstler, der in Nürnberg groß geworden ist, an Malaria. Dürer war damals auf einer Reise nach Holland und dort hat er sich infiziert. Und das ist der Grund, warum ich ihnen dieses Beispiel bringe, um zu zeigen, dass Malaria keine reine Tropenkrankheit ist, sondern dass die Malaria in früheren Zeiten durchaus hier in ganz Europa vorgekommen ist. Und das selbst in Deutschland bis in die 50iger Jahre hinein autochthon. Die Malaria war auch hier in Nordeuropa endemisch. Es gibt einige Fälle, die in England passiert sind, und selbst in Nordamerika ist sie stellenweise bis fast nach Alaska vorgekommen. Also keine reine Tropenkrankheit.

Hier sind ein paar Daten, um das zu verdeutlichen. Nehmen wir als Beispiel Italien, da ist die Datenlage sehr gut. Im Altertum ist es wärmer gewesen. Im Zusammenhang mit diesen klimatischen Verhältnissen hat sich natürlich auch in Italien das Klima verändert. Es wurde wärmer und durch diese Verhältnisse haben sich beispielsweise auch die Flussläufe verändert, so dass es zu Wasserstauungen gekommen ist, was zu einer Sumpfbildung geführt hat. Die haben wiederum die Brutstätten der Anopheles-Mücke begünstigt und dadurch ist es eben zu Malariaausbrüchen gekommen. Und in diesem Zusammenhang gibt es Pestum. Das ist heute eine Ruinenstadt der griechischen Kolonie südlich von Neapel. Diese Stadt wurde wegen Malaria verlassen, etwa 100 n.C.

Eine andere Begebenheit möchte ich Ihnen auch noch darstellen. Heinrich der IV unterwarf sich im Jahre 1077 in Canossa dem Papst. Das hat er ihm aber nicht vergessen. Er hat dann ein paar Jahre später, im Jahre 1085, zum Krieg gerüstet und ist mit seiner ganzen Armee nach Italien gezogen, um es dem Papst zurückzuzahlen. Und er hat auch schon ganz Rom erobert und der Papst war damals in die Engelsburg geflohen und hat sich dort verschanzt. Da kam dem Papst wie immer die göttliche Fügung zu Hilfe und dieses mal in Form der Malaria. Man sagt unter anderem auch, dass die Malaria im Mittelalter bester Verbündeter des Papstes war. Und die Eroberung der Engelsburg ist letztendlich gescheitert, weil im Heer des Kaisers eine Malaria ausgebrochen war, so dass er die Eroberung Roms in Form der Eroberung der

Engelsburg nicht komplett zu Ende führen konnte. Diese Begebenheiten haben wir im Mittelalter häufiger erlebt bis in die Neuzeit hinein. Bei Auseinandersetzung zwischen Papst und Krone ist der deutsche Kaiser mit seinem Heer nach Italien aufgebrochen, aber er musste seine Unternehmungen häufig abbrechen, weil immer wieder die Malaria das Heer so sehr dezimiert hat, dass er die Feldzüge nicht zu Ende führen konnte.

Anderes Beispiel: Leonardo da Vinci (1513), dem die Zusammenhänge zwischen Malaria und den pontinischen Sümpfen in der Nähe von Rom bekannt waren, die dort die Brutstätten der Anopheles Mücke waren, die deshalb auch das römische Fieber genannt wurde. Er hat damals Entwürfe vorgelegt, diese Sümpfe zu entwässern, um so die Stadt Rom bewohnbarer zu machen. Die Malaria war in Italien bis etwa zum Jahre 1500 bis nördlich von Rom anzutreffen. Der nördliche Teil war zunächst frei von Malaria, dann kam es aber nach den Zügen von Marco Polo, der auch den Reisanbau mitgebracht hat, zu einem dauerhaften und weit verbreiteten Reisanbau in Norditalien. Das wiederum hat zu erheblichen klimatischen Veränderungen geführt: Es wurden mehr Sümpfe gebildet, damit der Reis in diesem feuchten Milieu wachsen kann, es wurden Flüsse aufgestaut und so weiter. Diese haben dann das Klima derartig verändert, dass die Malaria auch bis nach Norditalien vorgedrungen ist. Also bis ins letzte Jahrhundert hinein war bis an die Alpen immer mit Malaria zu rechnen. So sind zum Beispiel sieben deutsche Kaiser des Mittelalters an Malaria gestorben. Das ist insofern ganz bedeutsam, denn es zeigt ja, dass der Einfluss der Malaria eben nicht nur auf die einzelne Person wirkt, sondern dass natürlich mit dem Ableben der Kaisers auch die ganze Dynastie, das ganze Verhalten eines Kriegszuges irgendwo beeinflusst wurde.

Zur Malaria, wie sie sich in den letzten Jahren im letzten Jahrhundert dargestellt hat: Am Ende des 19. Jahrhunderts wurde von Lavarán die Malaria als Entität erkannt, er hat sie als Erster beschrieben. Und später hat man dann gesehen, dass die Malaria durch diese Anopheles-Mücke übertragen wurde und natürlich den logischen Schluss gezogen, wenn wir die Mücke vernichten, kann die Malaria nicht weiter getragen werden. Das ist im Prinzip auch korrekt, aber die Methoden die man angewendet hat, waren damals natürlich nicht so fein. Man hat bis 1930 mit dem sogenannten petrolieren versucht die Malaria in den Griff zu bekommen. Und zwar verstanden man unter petrolieren, daß man einfach in diesen infizierten Gegenden Petroleum oder Benzin ausgegossen und angezündet hat. Das heißt man hat dort riesige Buschbrände entfacht, um dieser Situation Herr zu werden. Man hat natürlich kurzfristige Erfolge gesehen, aber langfristig ist alles Niederbrennen auch nicht so ideal. Deshalb ist dann die chemische Industrie aktiv geworden und hat eine Reihe von Insektiziden produziert, das bekannteste ist DDT, das also massenhaft eingesetzt wurde und das bis in die 60er Jahre hinein massenweise zum Einsatz gekommen ist. In der Tat mit dem Effekt, dass die Malaria etwas zurückgegangen ist. Aber wir haben dafür einen hohen Preis bezahlt, abgesehen von den ganzen Vergiftungserscheinungen im Zusammenhang mit dem DDT in der Umwelt, hat es auch dazu geführt, dass die Anopheles-Mücken selber resistent geworden sind gegen das DDT, so dass ab den 60er Jahren das DDT-Versprühen nicht mehr den Erfolg gezeigt hat, den man sich gewünscht hat, so dass man davon wieder abgekommen ist.

Das Aufkommen von Malaria in Südrussland stellt einen weiteren Beleg dar, dass Malaria durchaus keine spezifisch tropenmedizinische Krankheit ist. Das war eine typische Konsequenz der Oktoberrevolution, weil man dann nämlich angefangen hat, relativ unfruchtbare Gegenden fruchtbar zu machen. Man hat sie umgewandelt, zum Beispiel dort in Südrussland hat man Flüsse umgeleitet, man hat Bewässerungsanlagen gebaut und hat angefangen Baumwolle zu produzieren. Alles das hat wiederum das lokale Klima derartig stark beeinflusst, dass zum Beispiel im Jahre 1932 eine gewaltige Malariaepidemie sich im Süden Russlands abgepielt hat. Interessant vielleicht auch 1952. In diesem Jahr ist der letzte Herd an autochthoner

Malaria in Deutschland und zwar in Ostfriesland erloschen. Ab 1960 etwa hat man mit der DDT-Begasung aufgehört und prompt ist es auch gleich wieder zum Ausbreiten von Malaria gekommen. Wir sehen in dieser Zeit einen gewaltigen Vormarsch der Malaria. Wir sehen also nicht nur in den Ländern, wo sie bereits vorhanden war, dass sie wieder stärker geworden ist, sondern kennen jetzt auch eine Reihe von Ländern, die früher praktisch als malariafrei galten und die also heute wieder massiv mit Malaria durchseucht sind. Zum Beispiel ab den 70er Jahren haben wir ein starkes Ausbreiten von multiresistenten Stämmen der Malaria zu verzeichnen gehabt. Dann ab den 80er Jahren haben wir auch wieder ein Rückwandern der Malaria nach Europa und Nordamerika gesehen und diesmal so zu sagen reisemedizinisch. Man hat sie deswegen auch als „Flughafenmalaria“ bezeichnet. Der Mechanismus ist folgender: Man hat etwa ab den 80er Jahren immer wieder Malariafälle bei Patienten beobachtet, die niemals in den Tropen waren. Das heißt das Stellen der Diagnose war natürlich per se schwierig. Aber es ist dann aufgefallen, dass diese Patienten alle in der Nähe von großen Flughäfen gewohnt haben. In der Tat kann man sich vorstellen, dass bei diesen Patienten, die infizierten Anopheles-Mücken mit Hilfe dieser internationalen Jets nach Nordeuropa transportiert worden und dann ausgeschwärmt sind.

Die Rückkehr der Malaria in die Dominikanische Republik, die bis vor wenigen Jahren noch malariafrei war, ist im Zusammenhang mit gewissen klimatischen Veränderungen geschehen. In diesem Falle war es der Sturm Mitch, der als Hurricane über die ganze Karibik gefegt ist und dort durch hohe Niederschläge und die Verwüstungen, die er angerichtet hat, wieder zu Sumpfbildungen geführt hat, also die Verbreitung der Anopheles-Mücke und damit die Verbreitung der Malaria begünstigt hat.

Was sind Faktoren, die man für die Ausbreitung von Malaria verantwortlich machen kann? Zunächst mal das Entstehen der DDT-resistenten Mücken; da ist also eine schärfere Waffe stumpf geworden. Malaria hat sich postwendend ausgebreitet. Dann haben wir in vielen Fällen gesehen, dass es in verschiedenster Hinsicht zur Destabilisierung der Ökosysteme gekommen ist. Das war zum Beispiel die Beeinflussung durch Ackerbaumaßnahmen oder durch irgendwelche Katastrophen, die also zu Veränderungen von Flussläufen und so weiter geführt haben. Dann die Ausbreitung der Landwirtschaft, insbesondere beispielsweise der besonders massive Reisanbau in Ostasien, oder auch die künstliche Bewässerung, die die Brutflächen insgesamt vergrößert hat. Dann haben wir Flutkatastrophen gesehen in den letzten Jahren, von denen man annehmen kann, dass sie zu einem Ausbreiten der Malaria geführt haben. Gesehen hat man das zum Beispiel in Mosambik, wo es ja massiv geregnet hat, monatelang, wo also lange hohes Wasser gestanden hat, was zur Ausbreitung der Anopheles-Mücke geführt hat. Das Gleiche hat man auch in China beobachten können und ebenfalls in Bangladesch. El Niño wird auch verantwortlich gemacht, es gibt aber verschiedene Berichte. Es gibt wohl einigen Gebiete, wo er eine Rolle gespielt haben kann, beispielsweise in den karibischen Ländern. Es gibt aber auch einige Untersuchungen, in denen der direkte Zusammenhang nicht hergestellt werden konnte.

Ein ganz wichtiger Punkt, auf den ich bisher noch nicht gekommen bin, ist die vermehrte Reisetätigkeit. Wie kann das die Malaria verbreiten? Natürlich einmal indem man direkt die infizierten Mücken hin und her transportiert. Aber die Verbreitung ist auch deswegen relevant, weil natürlich durch die Reisetätigkeit vermehrt wohlhabende Leute durch diese Länder reisen und diese Personen nehmen natürlich eine Reihe von Medikamenten zu sich. Und diese Medikamente stehen der Bevölkerung dort aus den verschiedensten Gründen nicht zur Verfügung, so dass also gerade die Ausbreitung, aber auch die Ausbreitung von resistenten Stämmen begünstigt wird. Dann wird noch als letztes der Treibhauseffekt als bedingender Faktor angeführt. Man stellt sich das ganz einfach so vor, dass man sagt es wird einfach wärmer, wo

es wärmer wird sind einfach die Brutmöglichkeiten verbessert. Allerdings muss man sagen, der Beweis dafür steht noch aus. So sei die Malaria auch hier in Deutschland speziell auch bei uns auf dem Vormarsch. Malaria ist ungefähr bei 2% der Tropenreisenden anzutreffen. Ganz besonders schlimm ist es also in den westafrikanischen Ländern. Dort ist die Wahrscheinlichkeit, dass man sich bei einem einzigen Stich infizieren kann 30%. Wer also ohne Malariaprophylaxe nach Westafrika fährt, ist schon fast suizidal. Bemerkenswert ist demgegenüber, dass die ganzen durch Amöben und sonstigen durch Parasiten hervorgerufenen systemischen Krankheiten, die nicht zu unterschätzen sind, bei etwas unter 1% liegen. Der Typhus ist mit 10/100 000 nicht so sehr hoch. Von den febrilen Erkrankungen ist er aber eine relativ häufige Differenzialdiagnose, die man beachten muss.

Hier noch mal ein Ausblick auf die Bedeutung der Malaria, wie sie von der WHO gesehen wird. Das Budget zur Erforschung von Tropenkrankheiten, das die WHO aufgestellt hat, enthält weit über 10 Milliarden US \$ zur Erforschung der Malaria. Das ist mehr als die Mittel, die für die sonstigen typischen tropischen Krankheiten zusammen genommen zur Verfügung gestellt werden. Demnach hat die WHO der Malaria die höchste Priorität zugewiesen. Hier noch mal ein Problem, was speziell die tropenmedizinische Aspekte der Malaria hervorhebt. Ich hab schon mal darauf hingewiesen, es sind die resistenten Stämme, die wir als Problem bei der Bekämpfung der Malaria sehen. Da gibt es so klassische Mittel wie das Chlorochin, das schon seit den 80er Jahren praktisch nutzlos geworden ist. Selbst die andern bekannten Medikamente wie zum Beispiel Chinin oder Pyrrhimethamindie, die auch relativ lange als sichere Malariamittel galten, verlieren zunehmend an Wirkung. Also von hier ist keine Rettung zu erwarten. Es gibt eines der neueren Mittel (Mefloquin), das bis vor gut 10 Jahren noch relativ gut wirkte; aber zunächst in Thailand und später auch im tropischen Afrika hat man immer wieder dagegen resistente Stämme gesehen. Es wird heute als Prophylaktikum angewendet. Wenn jemand aus diesen Ländern kommt und Fieber hat, kann dieser Patient trotz regelmäßiger Einnahme seiner Malariaprophylaxe an einer Malaria erkrankt sein. Wer also mit Fieber kommt und Prophylaxe genommen hat, der muss trotzdem sorgfältig auf Malaria untersucht werden, weil er ja einen resistenten Stamm haben könnte. Es gibt noch einen anderen Aspekt, der auch auf das Problem des Klimas eingeht.

In einer Studie in Peru im Jahr 1997/98, als sich El Niño in Südamerika abgespielt hat, wurden die durchschnittlichen Wärmetemperaturen mit der Inzidenz an Diarrhöe verglichen, das heißt mit der Zahl von Patienten, die wirklich wegen Diarrhöe klinisch behandelt worden sind. Die Temperatur und die Feuchtigkeit ist etwas angestiegen, aber deutlich damit assoziiert ist auch der Anstieg der Diarrhöefälle. Also hier existiert schon ein direkter Zusammenhang zwischen der klimatischen Änderung und der Steigerung der Diarrhöe. Betrachten wir einen anderen Fall. Das ist eine Studie gewesen, die auch zur Zeit von El Niño stattgefunden hat; dieses mal in Afrika. Es wurde die Splenomegalie als Maß der Malaria gemessen und man hat zwei Zeiten miteinander verglichen: die Zeit während El Niño und die Zeit vor El Niño. Man sieht zwischen den beiden Untersuchungen keine deutlichen Unterschiede. Das heißt also, das, was man in einigen Ländern beobachtet und vermutet hat, kann man in diesem afrikanischen Land nicht nachvollziehen. Man muss also feststellen, dass der Niederschlag per se nicht unbedingt zu einer Vermehrung der Malaria führen muss. Das bedeutet bei entsprechender klimatischer Situation und weiteren Faktoren, zum Beispiel Sumpfbildung, kommt es dann doch zu einer Erhöhung von Malariafällen. Man kann daraus schließen: nicht der Niederschlag per se verursacht die Steigerung des Malariaaufkommens, sondern die damit einhergehenden Folgen.

Ein anderer Zusammenhang ist auch wichtig. Der Zusammenhang zwischen den Breitengraden und dem Aufkommen der Malaria bezogen auf die Meereshöhe. Die Breitengrade sind

natürlich stark korreliert mit der Art des Klimas. Das heißt je weiter südlich, je näher man dem Äquator kommt, um so wärmer und tropisch-feuchter wird es, und gleichzeitig steigt auch das Niveau über dem Meeresspiegel an, bei dem Malaria noch gefunden werden kann. Das heißt also am Beispiel der USA, die auf dem 40. Breitengrad liegen, dass man dort bis zu einer Höhe von 1500 m mit einer Malaria rechnen kann. Während im Bereich der Tropen, wie in Kenia und Equador, die Wahrscheinlichkeit der Malaria-Exposition bis ungefähr 2500 m hoch geht. Das heißt durch das wärmere Klima können die Anopheles-Mücken höher steigen und darum auch in den höheren Lagen durchaus eine Malariainfektion verursachen.

Die Entstehung von psychiatrischen Erkrankungen in Abhängigkeit von Klimafaktoren

Dieter H. Sikorski

Zusammenfassung: Gibt es einen Zusammenhang zwischen Klima und Psyche? Die Vorstellung, dass klimatische Bedingungen einen Einfluß auf unser Gemüt haben, gehört zum Fundus weithin geteilten Alltagswissens. Die Annahme eines solchen Zusammenhangs zwischen Klima und Seelenlage der Menschen war auch ideengeschichtlich weit verbreitet. Wirken Klima und Wetter tatsächlich auf unser Seelenheil? Wie viele andere Faktoren, mag auch das Klima als Bedingung der menschlichen Existenz diese beeinflussen. Für einen direkten Kausalzusammenhang gibt es jedoch keine Anhaltspunkte.

Sie sind sicherlich aufs Äußerste verwundert, bei einem so hoch wissenschaftlichen Thema auch einen Vertreter eines sogenannten wissenschaftlich nicht fassbaren Faches vorzufinden. Wir Psychiater und Psychotherapeuten sind aber der Meinung, im Gegensatz zu den vielen reduktionistischen Wissenschaften, dass die Psyche bei allem, was auch immer Sie tun, eine nicht unbeträchtliche Rolle spielt. Auch ein Wissenschaftler der BTU Cottbus, der über das Wetter und Klima forscht, braucht ein ausgeglichenes Seelenleben. Ist sein Familienklima vergiftet wird er sich zwar über die Maßen an der Uni aufhalten, um nicht nach Hause zu müssen, aber das, was er tut, bleibt unproduktiv. Wir wissen alle, dass die depressive Antriebsstörung bei einer Partnerschaftskrise unsere Aktivitäten hochgradig einschränkt.

Lehnen Sie sich mal bequem zurück und lassen Sie ihrer Phantasie freien Lauf. Stellen Sie sich vor, es ist ein wunderschöner Sommertagsmorgen, die Sonne scheint, der Himmel ist durch kleine Wölkchen malerisch ausgestaltet. Die Morgensonne scheint durchs Fenster. Sie haben sich gerade entschlossen, ob des tollen Wetters aufzustehen und spüren eine unbändige Energie und sind voller Tatendrang. Sie gehen zum Fenster, schauen hinaus und wissen, das ist mein Tag.

Szenenwechsel:

Es ist November, gerade klingelt Ihr Wecker. Der Wind peitscht mit einer hohen Geschwindigkeit ums Haus, es regnet und die Dunkelheit will einfach nicht weichen. Sie quälen sich im Bett und überlegen, ob Sie wirklich wegen des beschissenen Wetters aufstehen sollen. Dieser trübe November schlägt Ihnen richtig aufs Gemüt, aber Sie sind wohlgezogen, haben ein ausgeprägtes Über-Ich und stehen auf, da es ja noch einiges zu tun gibt. Der Blick aus dem Fenster sagt Ihnen, dies ist nicht mein Tag!

Ich bin mir sicher, dass Sie mir gut folgen können. Wann immer Sie zu dieser Zeit Radio hören oder die Zeitung lesen – alle behaupten, das Wetter beeinflusst auch unser Seelenklima. Leider muss ich Sie enttäuschen. Nicht nur ich halte das für groben Unsinn. Aber Sie können beruhigt sein, diesen Unsinn haben auch ganz berühmte Leute ohne jegliche wissenschaftliche Forschung einfach so in den Raum gestellt. So schrieb Hippokrates:

„Erkrankungen, die im Frühjahr erscheinen, sind Manien, Melancholien und Epilepsien, im Herbst sind es Epilepsien, Manien und Melancholien, im Winter Lethargien, Brust-, Rippen- und Lendenschmerzen sowie Schwindelanfälle sowie Apoplexien.“

Emil Kraepelin (einer der berühmtesten deutschen Psychiater) schrieb 1913:

„Nur eine kleine Minderzahl, wohl kaum mehr als 4 – 5 %, bilden die Fälle, in denen die Krankheit vom ersten Anfall in regelmäßigem Wechsel der Färbung das ganze Leben gleichmäßig und vollständig ausfüllt. Mehrfach sah ich dabei die Verstimmung im Herbst einsetzen, um im Frühjahr, wenn der Saft in die Bäume schießt, in Erregung überzugehen, in gewissem Sinne den Stimmungswandlungen entsprechend die auch den gesunden Menschen im Wechsel der Jahreszeiten überkommen.“

Die Psychiater hatten dann der Sache einen Namen gegeben und nennen es saisonale Erkrankungen. Da die sogenannte Normalität nicht zu beforschen ist, da sie nicht definierbar ist, begannen die Psychiater die sogenannten affektiven Psychosen zu beforschen. Unter affektiven Psychosen verstehen Sie die beiden Erkrankungen, die Sie unter dem Namen Depression und Manie kennen. Hier kam es zur herben Enttäuschung. Ich bin mir sicher, dass Sie tippen würden, dass Depressionen am häufigsten im Herbst auftreten und Manien am ehesten im Frühjahr. Weit gefehlt!

Die klinisch-systematische Forschung belegt, dass sowohl Manien als auch Depressionen zu jeder Jahreszeit auftreten können und in keiner Weise sich durch Jahreszeit oder Wetter beeinflussen lassen. Zu einer Zeit, wo die psychiatrische Forschung noch nicht so weit war, kam man dann auf die Idee, Patienten mit Licht zu behandeln. Diese sogenannte Lichttherapie wird von einigen meiner Kollegen noch weiterhin als wirksam betrachtet. Ein wenig bekannter, aber für uns Gemeindepyschiater extrem wichtiger Kollege, Herr Esquirol, das war der französische Psychiater, der die psychisch Kranken von ihren Ketten befreite, empfahl einem belgischen Patienten 1838, von dem er glaubte, dass er an einer saisonabhängigen Depression leiden würde, eine Reise ins sonnige Italien. Man berichtete dann, dass nach der Reise die Symptome gemildert oder teilweise verschwunden waren.

Jetzt sagen Sie mal ehrlich, wenn wir das von unserem Hausarzt verschrieben bekämen, wem ginge es da nicht besser?

Machen wir geschichtliche Betrachtungen zum Klima, so weiß der Philosoph Johann Gottfried Herder, der von 1744 – 1803 lebte, der die Frage nach dem Klima in einer ganz besonderen Weise aufgriff. Die Schrift von Hippokrates DE AERE, AXVIS, LOCIS beschäftigt sich in besonderer Weise mit dem Klima. Herder nennt deshalb Hippokrates auch den Hauptschriftsteller über das Klima. Hippokrates meinte damals, dass das Klima den menschlichen Leib durch größere und kleinere Schwankungen von Hitze beeinflussen würde. So würde die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft eine leichte oder schwere Atmung bedingen. Sie wirke auch auf einen langsameren und schnelleren Kreislauf des Blutes oder habe ein Erschlaffung oder Anspannung des Leibes zur Folge. Er war der Meinung, dass bestimmte Eigenarten bestimmter Völker, die viel oder wenig Ausdauer haben, träge oder fleißig seien, aufgeregter oder gelassener seien, Tapferkeit oder Feigheit zeigen und dergleichen stünde im direkten Zusammenhang mit der Anpassung an das jeweilige Klima, dem der Volksstamm ausgesetzt ist. Auch Aristoteles hatte ähnliche Ideen. Er behauptete, dass die Völker des kalten Nordens oder Europas von tapferem und energischem Charakter seien, aber an Intelligenz und Kunstfertigkeit zurückstehen würden. Die Völker Asiens dagegen seien sehr intelligent und künstlerisch begabt, aber äußerst kraftlos. Wie wir uns unschwer denken können, behauptet er, dass das griechische Volk, bedingt durch seine geographische Lage und das Klima, in der Mitte zwischen beiden liege. Es sei deshalb tapfer und intelligent zugleich.

Ende des 16. Jahrhunderts griff der Franzose Jean Bodin in seinem Buch „Les six livres de la République“ das Problem des Klimas wieder auf. Er bezieht den Volkscharakter eines Landes auf das dem Land eigene Klima. Besonders wichtig scheint ihm zu sein, dass jedes Klima eine jeweils unterschiedliche Arbeitsweise hervorrufe und dass dies wieder einen starken Ein-

fluss auf die natürlichen Anlagen habe. So seien in einem fruchtbaren Land der Zwang zur Arbeit weniger stark, folglich würden sich die Fähigkeiten des Leibes und des Geistes in geringerem Maße entwickeln. Ein magerer Boden hingegen fordere Leib und Geist heraus und bringe die verschiedensten Fähigkeiten, Techniken und Wissenschaften hervor.

Der Gedanke Bodins, dass der Mensch vom Klima beeinflusst werde unterscheidet sich nicht besonders von der Antike, ist aber insofern neu, als er dies in Bezug auf die Arbeitsweise als Moment der Vermittlung einführt. In diesem Punkt war er damals fortschrittlicher als der 200 Jahre später lebende und uns allen bekannte Montesquieu. Es wird behauptet, Montesquieu sei der erste gewesen, der die Bedeutung geographische Begebenheiten in Bezug auf den Volkscharakter beschrieben habe. In erster Linie ging es ihm aber um die physiologischen Einflüsse des Klimas auf die körperlichen Eigenschaften des Menschen und nicht um die Bedeutung des Klimas für die menschliche Existenz. Für ihn war das Klima lediglich ein Gegenstand naturwissenschaftlicher Betrachtung und die klimatischen Einflüsse blieben auf die Physiologie beschränkt.

Jemand, der meinen Gedanken schon näher kommt, vielleicht gar eine versöhnliche geistige Brücke schlägt, ist der schon erwähnte Johann Gottfried Herder. Er entwickelt eine Klimatologie des menschlichen Geistes. Herder führt aus, dass die Menschheit, obwohl sie in recht verschiedener Gestalt auf der Erde vorhanden, doch ein und der selbe Mensch bleibt. So sagt er, dass diese Menschheit an allen Orten der Erde sich selbst zum Klima mache. Er sagt, dass die Mongolen in der asiatischen Steppe, die Araber in der Wüste, die Ureinwohner Kaliforniens, in ihrer lebendigen Lebensgestalt durch ihr Land und ihre Lebensweise charakterisiert sind, das heißt sie sind klimatisch. Er sagt, dass die Beschaffenheit ihres Körpers und ihre Lebensweise alle Freuden und Geschäfte, an die sie von Kindheit an gewöhnt wurden, der ganze Gesichtskreis ihrer Seele klimatisch ist. Raubt man ihnen ihr Land, so hat man ihnen alles geraubt. Wer da behauptet, dass die Menschheit in dieser Weise sich selbst zum Klima mache, Seele und Beschaffenheit eines Volkes seien klimatisch, dies ist eine vorgegebene Tatsache, denn der Mensch tritt jeweils in eine vom jeweiligen Klima geprägten Gestalt auf. Darum sei es wichtig, das Verhältnis zwischen Klima und Mensch zu erhellen. Es gebe zwei mögliche Methoden, nämlich die eine – Mensch und Klima voneinander zu trennen und jeweils gesondert zu betrachten und danach erst einen kausalen Zusammenhang zwischen beiden ausfindig zu machen. Die andere Methode sei, den konkreten Sachverhalt, dass der Mensch schon immer klimatisch sei, ernst zu nehmen, den abstrakten Sachverhalt einer Trennung von Mensch und Klima gar nicht erst in Erwägung zu ziehen, sondern das Klima als ein nicht zu ersetzendes Strukturmoment des menschlichen Lebens zu betrachten.

Herder führt weiter aus, dass der menschliche Leib schon immer unter klimatischem Einfluss stehe und nicht den allgemeinen Gesetzen der Physiologie allein folge. Die Art und Weise, Wärme aufzunehmen und abzugeben sei bereits bei den verschiedenen Tierarten unterschiedlich, so auch bei den Menschen, je nach der Gegend, aus der sie stammen. Der physiologische Satz, dass der Mensch nicht in einem Klima leben könne, das die Hitze des Blutes übersteige, gelte nur für Menschen der gemäßigten Zonen, das heißt für einen durch ein bestimmtes Klima geprägten menschlichen Körper, sei dieser an selbiges adaptiert. Der Physiologie sei weit mehr unbekannt als bekannt. Deshalb sei es in der Tat höchst gefährlich, die Einflüsse des Klimas auf den solchermaßen unbekanntem Leib des Menschen so zu betrachten als handle es sich hier um ein einfaches Kausalverhältnis wie bei einem physiologischen Experiment. Wenn diese Schwierigkeit nun schon hinsichtlich der physiologischen Struktur des Menschen auftrete, um wie viel mehr in Bezug auf seine geistige Struktur. Dass Hitze den Leib des Menschen erschaffen und Kälte ihn erstarren lasse, sei zwar eine wohlbekannt Erfahrung, aber dies gestatte noch keineswegs, daraus einzelne physiologische Phänomene zu erklären

oder allgemeine Schlüsse auf ganze Völker oder Weltgegenden oder gar auf die feinsten Verrichtungen des menschlichen Geistes zu ziehen.

Herder versucht die thematische Struktur des menschlichen Geistes in fünf Schritten zu erheben:

1. Die Sinnlichkeit des Menschen ist klimatisch. Er beschreibt, dass ein Volk, welches in einer wasser- und pflanzenarmen Gegend sehr entbehrensreich aufwächst und sich darauf beschränkt, Nahrung zu beschaffen, dies lediglich zur Stillung des Hungers dient, keine Möglichkeit hat, den Geschmackssinn ausreichend zu entwickeln. In üppigen Landstrichen hingegen, in denen man mühelos viel zu essen findet und Hungersnot unbekannt ist, isst man nicht viel, ist aber sehr wählerisch. Es gibt dort gutes Öl und duftende, dem Auge wohlgefällige Speisen. In solchen Landstrichen entwickle sich ein feiner Geschmackssinn. Auch hinsichtlich des Hautgeföhles gäbe es vom nahezu empfindungslosen bis hin zum hoch empfindlichen Volk mannigfaltige klimabedingte Unterschiede. Er schreibt wörtlich:

„Je mehr ich der ganzen Sinnlichkeit des Menschen in seinen mancherlei Gegenden und Lebensarten nachspüre, desto mehr finde ich, dass die Natur sich allenthalben als eine gütige Mutter bewiesen hat. Wo ein Organ weniger befriedigt werden konnte, reizt sie es auch minder und lässt Jahrtausende hindurch es milde schlummern. Wo sie die Werkzeuge verfeinerte und öffnete, hat sie auch Mittel umhergelegt, sie bis zur Befriedigung zu vergnügen.“
2. Die Einbildungskraft des Menschen ist klimatisch. Kein sinnliches Volk kann sich einen Begriff oder eine Vorstellung von etwas machen, das es in seinem eigenen Land nicht empfindet. Es ist also bei seiner Begriffs- und Vorstellungseinbildung in hohem Maße klimatisch bestimmt und damit ist auch seine Einbildungskraft festgelegt. Diese wiederum ist stark von den Kräften der Überlieferung geprägt. Kinder hören die überlieferten Sagen und merken, dass in der Sage just das erklärt wird, was sie in der Gegenwart erfahren. Ein Schäfer sieht die Natur mit anderen Augen als ein Fischer, und seine Einbildungskraft schafft sich eine andere Welt.
3. Der praktische Verstand des Menschen ist klimatisch. Der praktische Verstand entsteht aus den Bedürfnissen der Lebensweise, er spiegelt Geist und Sitten, Gebräuche und Gewohnheiten eines Volkes wider. Nomaden zum Beispiel leben mit ihrem Vieh; sie entwickeln aus dem Umgang mit Tieren ihren praktischen Verstand, ja, durch ihre Lebensart werden sie sich ihrer eigenen Freiheit bewusst. Anders das Leben des sesshaften Bauern. Es lässt den Menschen Mein und Dein entdecken und fesselt ihn damit an den Boden. Der Mensch wird sich der Freiheit nicht mehr bewusst und deshalb konnte hier jener fürchterliche Despotismus und die Sklaverei entstehen.
4. Die Empfindungen und Triebe des Menschen sind klimatisch. Die Empfindungen und Triebe des Menschen sind durch die jeweilige Verfassung und Organisation des Lebens bestimmt. Eine besonders wichtige Rolle spielt die Liebe, die dazu führt, dass die Menschen sich miteinander verbinden. So sei es meist auch klimatisch bedingt, wie der Mann die Frau behandelt: ob sie ihm lediglich zum Genuss dient oder ob er sie auch als Person achtet. Als Beispiel nennt er die alten Germanen, die der Frau edle Eigenschaften wie Klugheit, Treue, Mut und Keuschheit zusprachen.
5. Abschließend sei die Glückseligkeit des Menschen klimatisch. Für Herder ist der Begriff der Glückseligkeit ein ganz besonders wichtiger Begriff. Wahre Glückseligkeit ist die Freude am einfachen, gesunden Leben: „Gesundheit des Leibes“, „der wachende, gesunde Gebrauch der Sinne, tätiger Verstand in wirkenden Fällen des Lebens, muntere Auf-

merksamkeit mit reger Erinnerung, mit schnellem Entschluß und glücklicher Wirkung“, „ein stilles Gefühl, das uns mit Liebe und Freude am Leben lohnt, jedes Lebendige freut sich seines Lebens; es fragt und grübelt nicht, wozu es dasei. Sein Daseyn ist ihm Zweck und sein Zweck ist das Daseyn“. Dies ist dann die Idee Herderscher Humanität. Der Mensch, der einen anderen Menschen nicht beherrsche und umgekehrt von diesem auch nicht beherrscht werde und der sich und dem anderen Glück wünsche, das sei wahre Humanität. Ganz modern wird Herder, wenn er beschreibt und warnt, dass der Europäer, der alle Weltteile in Unruhe versetzt und beraubt, davor mit der Idee der europäischen Glückseligkeit diejenige anderer Völker in anderen Erdteilen zu beurteilen. In Bezug auf die Glückseligkeit seien die Europäer nicht am fortschrittlichsten. Sie zeigten lediglich die ihnen eigene Art der Glückseligkeit. Vom Standpunkt der Humanität aus gäbe in anderen Teilen der Welt andere Formen der Glückseligkeit, die keineswegs schlechter seien als die europäische, das heißt auch die Glückseligkeit ist klimatisch.

Diese Ausführungen Herders, der das Klima alleine nicht in direkter Kausalität für menschliches Wohlergehen sieht, schafft eine Verbindung zu meinen eigenen Gedanken. Sie erinnern sich an Ihre Version zu Beginn des Vortrages. Der strahlende Sommertag und der trübe, windige Novembertag. Stellen Sie sich vor, der strahlende Sommertag, der Ihre Energie Sie so unbändig spüren lässt, ist überschattet mit einer schweren Partnerschaftskrise. Schon nützt auch die strahlendste Sonne, das beste Wetter wenig, ihre Psyche leidet, ihre Energie ist abgezogen, die Lebensfreude geht gegen Null. Und nehmen wir den trüben Herbsttag mit stürmischem Wind und viel Regen, so wird auch der Ihrem Gemüt nichts anhaben können, wenn Sie sich frisch verliebt haben, voller Freude und Emotionen sind. Wenn ihre Gedanken eingeeengt auf den Liebenden und sie sich energiegeladen und „wie im siebten Himmel“ fühlen. Sie sehen also, die Kausalität Wetter, Jahreszeit und Seelenklima ist lange nicht so linear zu betrachten wie ich es immer wieder schmunzelnd in der Lausitzer Rundschau lesen kann.

Viele von uns sind hoch suggestibel und schlagen wir die Wetterseite auf, so schreibt uns der Klimaexperte vor, wie es uns zu gehen hat. Seien Sie mal ehrlich, glauben Sie das wirklich? Unser immerwährendes Kausalitätsbedürfnis spielt uns so manchen Streich. Vielleicht sind die Ausführungen von Herder doch da versöhnlich. Das Seelenklima hat mannigfaltige Faktoren und längst sind uns noch nicht alle bekannt. Ich als Psychiater und Psychotherapeut halte das Wetter für eher zweitrangig und sehe weniger klimatische Bedingungen für ausschlaggebend als desto mehr menschliche Bezüge und Zuführungen zum Ich als ausschlaggebende Faktoren. Vielleicht sehen Sie ja das völlig anders!

Klima und Gesellschaft. Das Klimaproblem aus der Perspektive sozialwissenschaftlicher Klimafolgenforschung

Fritz Reusswig

Zusammenfassung: Der Beitrag geht die Klimaproblematik aus einer sozialwissenschaftlichen Perspektive an und stellt drei mögliche Paradigmen der Relationierung von Klima und Gesellschaft dar, die allesamt historisch vertreten worden sind und noch werden: Klimadeterminismus, Soziozentrismus und Dialektik. Der Autor verortet die moderne Klimafolgenforschung im dialektischen, nicht, wie bisweilen nahegelegt, im deterministischen Paradigma. Nach einer kurzen Darstellung der Geschichte des Klimaproblems sowie der Arbeit des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung geht er auf einen transdisziplinären Ansatz zur Beschreibung und Analyse der Ursachen- und Folgedynamik des anthropogenen Treibhauseffekts ein (Syndrom-Ansatz). Darauf aufbauend wird anschließend die Position einzelner Länder im klimapolitischen Raum skizziert. Der Beitrag endet mit einer Diskussion der beiden Optionen Mitigation und Adaption.

1 Klima und Gesellschaft – Drei Paradigmen

Zur Selbstverständlichkeit wurde, dass nichts am Verhältnis von Natur und Gesellschaft mehr selbstverständlich ist. Dies gilt ganz besonders für das Klima. In der Geschichte des Klimadiskurses lassen sich grob drei Paradigmen ihrer Interaktion identifizieren, deren Wahl – man muss sich zwischen einem der drei entscheiden – für die theoretische Zugangsweise, vor allem aber für die politische Behandlung des Themas entscheidend ist. Alle diese Paradigmen wurden und werden vertreten, und die Frage, welches davon „wahr“ ist, hängt zu einem großen Teil von den Ergebnissen der Forschung (Klimaforschung, Klimafolgenforschung, Erdsystemanalyse) ab. Allerdings lässt der jeweilige Forschungsstand aufgrund von Unsicherheiten, ungeklärten Fragen oder Interpretationsdifferenzen legitimen Raum für Entscheidungen, die aus anderen Gründen motiviert sein können (z.B. ethischen).

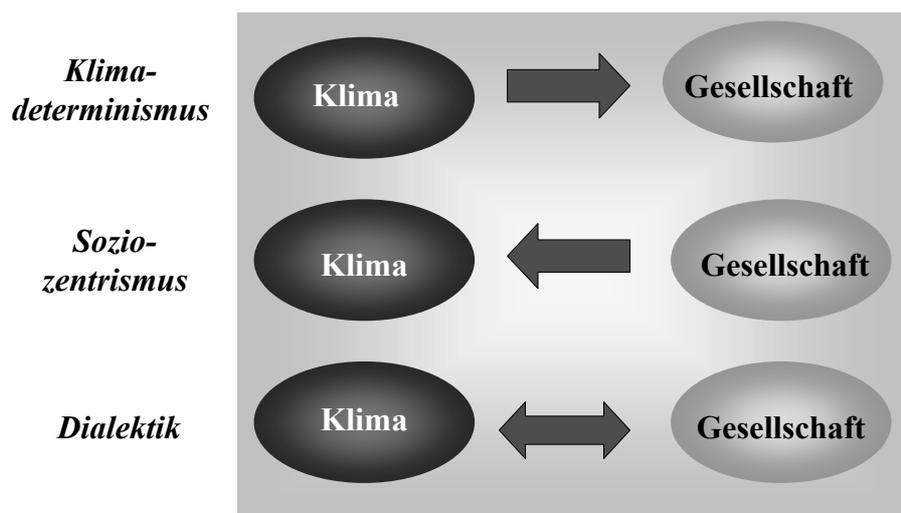


Abbildung 1: Drei Paradigmen des Verhältnisses von Klima und Gesellschaft

Das historisch älteste Paradigma ist zweifellos der Klimadeterminismus, die Vorstellung also, das Klimageschehen beeinflusst und bestimmt Mensch und Gesellschaft. Diese Position

wurde in der Antike von Hippokrates von Kos etwa vertreten: Das Klima, insbesondere der regionale Temperaturverlauf, beeinflusst den menschlichen Körper und das Wohlbefinden und bestimmen darüber die Lebensweise und den Charakter eines Volkes. Damit wurde eine der ersten humanökologischen Positionen formuliert, die den Bogen vom Klima über den menschlichen Organismus bis hin zur Gesellschaftsstruktur schlägt – auf deterministischer Grundlage freilich.

In neueren Zeiten hat der amerikanische Geograph Ellsworth Huntington einen Klimadeterminismus auf klimageographischen Grundlagen versucht. Seiner These zufolge kann sich nur in gemäßigten Zonen – auch hier spielt die Temperatur eine entscheidende Rolle – eine Hochkultur entwickeln. Er versucht dies durch die Projektion zweier Karten zu belegen: auf der einen sehen wir die Regionen hervorgehoben, in denen sich „der Mensch“ (vielleicht aber auch nur der Europäer) noch wohlfühlen und produktiv arbeiten kann. Auf der anderen Karte sind die Hochkulturen der Geschichte eingezeichnet (Europa, Mesopotamien, Nordamerika) – zumindest aus der Sicht Huntingtons. Diese Karte soll besagen: Das Klima bestimmt zuletzt darüber, wo und wie der Mensch und seine Zivilisation sich entfalten kann.

Der Klimadeterminismus ist nicht unwidersprochen geblieben. Die dezidierte Gegenposition wird vom *Soziozentrismus* eingenommen. Viele Theoretiker der Gesellschaft haben das implizit dadurch getan, dass sie dem Klima einfach keine Beachtung geschenkt haben – es galt ihnen als *qualité négligeable*. Andere haben explizit ausgeschlossen, dass der Mensch von natürlichen Bedingungen in einem theoretisch irgendwie relevanten Sinne abhängt. Was immer die wirkenden Mächte in Gesellschaft und Geschichte sein mögen: sie stammen nicht aus der Natur, sondern ausschließlich aus der Gesellschaft selbst. Eine solche Position wurde um so mehrheitsfähiger, je mehr es der menschlichen Zivilisation gelang, sich die Natur untertan zu machen oder zumindest die natürlichen Randbedingungen der menschlichen Existenz weitgehend zu kontrollieren. Mit wachsendem Fortschritt des technischen und ökonomischen Potenzials schien es immer selbstverständlicher, dass der Mensch die Natur beeinflusst – und nicht etwa umgekehrt. Sümpfe wurden trockengelegt, Wälder gerodet, Tiere und Pflanzen domestiziert, später dann beschleunigte die Verfügbarkeit über fossile Energieträger und Verbrennungs- sowie Umwandlungstechniken die Naturbeherrschung um bislang ungeahnte Dimensionen. Es verwundert nicht, dass die Theoretiker der heraufkommenden industriellen Moderne mehrheitlich einem Soziozentrismus (bisweilen auch als Kulturalismus auftretend) anhängen, demzufolge Gesellschaft nur von Gesellschaft abhängt, nicht von Natur. Emile Durkheim und Max Weber, zwei Gründerväter der Soziologie, können als Vertreter des Soziozentrismus gesehen werden, wenngleich ihr Werk hier durchaus weniger eindeutig ist als etwa der Funktionalismus Parsons oder die Systemtheorie Luhmanns.

So überwältigend war das Heraustreten aus dem Naturzusammenhang und die fortschreitende Beherrschung natürlicher Systeme und Prozesse, dass Natur schließlich unter der Perspektive des bedrohten Opfers gesehen werden konnte – eine für die Antike eher abwegige Sichtweise. Im 19., verstärkt aber im 20. Jahrhundert haben Natur- und Umweltschutzbewegung die Partei der fortschritts- und zivilisationsgefährdeten Natur ergriffen. Bisweilen geschah dies unter Reaktivierung des naturalistisch-deterministischen Paradigmas, aber dies war keine zwingende Option und sie wurde auch nicht immer gewählt.

Mit Blick auf das Klimaproblem besagt der Soziozentrismus: das Klima hat keinen Einfluss auf die interne Verfassung und Dynamik der Gesellschaft. Sofern es Einflüsse gibt – z.B. auf den menschlichen Körper oder auf agrarische Gesellschaften – sind diese entweder theoretisch irrelevant oder aber auf vormoderne Formen der Gesellschaftsentwicklung beschränkt. Wenn es einen kausalen Einfluss zwischen den beiden Größen gibt, dann funktioniert er in

der Gegenrichtung: der Mensch beeinflusst das Klima. Dieser Gedanke gehört allerdings erst der jüngsten Phase des Soziozentrismus an; in der Antike etwa war er undenkbar oder allenfalls marginal. Erst mit den Forschungsergebnissen und den darauf aufbauenden Hypothesen eines Svante A. Arrhenius wurde das Undenkbare denkbar: der Mensch verändert das globale Klima. Zwar ist damit noch nicht gesagt, welchen Charakter diese Änderung haben wird – ob die Vor- oder die Nachteile überwiegen –, aber dass das Klima aus einer unabhängigen zu einer abhängigen Variablen im Spiel der Gesellschaft geworden ist, das scheint nunmehr klar – und eine Bestätigung des Soziozentrismus.

Ein drittes Paradigma des Verhältnisses beider Größen ist denkbar: eine *dialektische Beziehung*, bei der ein wechselseitiger Einfluss neben der relativen Selbstständigkeit von Klima und Gesellschaft angesetzt wird. Auch dort, wo keine explizit dialektische Theorieposition gewählt wird, kann man angesichts der sachlich-logischen Verschränkungen doch von einer solchen sprechen. Obwohl Montesquieu etwa häufig zum Klimadeterminismus gerechnet wird, scheint er mir doch ein Vertreter der dialektischen Position zu sein: die Natur- und Klimabedingungen gehören mit in den multikausalen Satz an Einflussgrößen, der die Rechts- und Politiktradition eines Landes bestimmt und den berücksichtigen sollte, wer das Rechts- und Politiksystem bewusst ändern will. Das Klima bestimmt nicht den „Geist der Gesetze“ (obwohl sich in Montesquieus Werk so manche drastische deterministische Aussage findet), sondern gehört in den selbst beeinflussbaren Rahmen konkreter Gesellschaftsgestaltung. Ähnlich argumentiert Hegel, der in seiner Geschichtsphilosophie den „geographischen Grundlagen der Weltgeschichte“ ein eigenes Kapitel widmet, in dem es sinngemäß heißt, der Einfluss von Klima- und Naturbedingungen auf die Entwicklung des menschlichen Geistes dürfe „weder zu hoch noch zu niedrig“ angeschlagen werden. Für den vermeintlich absoluten Idealisten eine bemerkenswerte Feststellung, die meines Erachtens den richtigen Weg weist und keineswegs trivial ist. Das Klima ist relevant für die (moderne) Gesellschaft, es hat Wirkungen, die durch die interne Verfassung und Dynamik der Gesellschaft mitbestimmt, aber keineswegs alleine bestimmt werden. Umgekehrt wird das Klima durch menschliche Handlungen auch selbst beeinflusst, obwohl auch es eigenen Gesetzmäßigkeiten unterliegt. Wichtig sind die Rückkopplungen, die dabei entstehen – und die ihrerseits einer Eigendynamik unterliegen. Selbstverständlich ist Hegel weit von der späteren Klimafolgenforschung entfernt – die Nutzung fossiler Brennstoffe im Zuge der Industrialisierung hat noch gar nicht richtig begonnen, Arrhenius Entdeckung liegt knapp hundert Jahre in der Zukunft. Dennoch: die Art, wie Hegel sich die Sache gedanklich zurechtlegt, eröffnet eine Alternative zu Klimadeterminismus *und* Soziozentrismus.

Ein weiterer Vertreter einer dialektischen Position ist Karl Marx. Der von ihm vertretene historische Materialismus mag aus gesellschaftstheoretischen und politischen Gründen problematisch oder gar überholt sein – mit Blick auf die Relationierung von Natur und Gesellschaft ist er es nicht. Marx betont, dass die technisch-wirtschaftlich möglich gewordene Beherrschung der Natur stets nur mit Rückgriff auf die aus ihr heraus entnommenen und bearbeiteten Mittel und Formen geschehen kann – und eben dadurch an die Prozessdynamik der Natur zurückgebunden bleibt. Im dritten Band des „Kapital“ fragt er sich, warum es nur in den gemäßigten Zonen zur Entwicklung des modernen Kapitalismus gekommen ist. Max Weber hat diese Frage ganz kulturalistisch unter Rückgriff auf die arbeitsethischen Grundsätze des Protestantismus calvinistischer Prägung beantwortet. Die bei ihm feststellbare Dialektik von Kultur und Gesellschaft funktioniert ohne Natur. Huntington argumentiert bei seiner Antwort auf diese (oder doch auf eine sehr verwandte) Frage, indem er den bestimmenden Einfluss des Klimas ins Spiel bringt. Marx hält Äquidistanz zu beiden Positionen und sagt sinngemäß: die Natur erlaubt dem Menschen allein in den gemäßigten Klimazonen, dass der Einsatz von

kulturellen, gesellschaftlichen und technischen Ressourcen auch zu Erträgen führt, die jenseits zu großer Knappheit *und* zu großer Fülle liegen. Wäre Natur überall so freigiebig wie in den Tropen – Marx kannte die natürlichen Begrenzungen in den bisweilen sehr traurigen Tropen wohl nicht gut genug, um hier nicht einem gewissen Romantizismus der Europäer seiner Zeit anzuhängen –, so würde es der technisch-kulturellen Anstrengungen gar nicht bedürfen, deren Freisetzung die westlich-kapitalistische Zivilisation global so wirkmächtig hat werden lassen. Wäre Natur umgekehrt überall so knauserig wie in den Polarregionen – sie würde uns Übermenschliches abverlangen und zuletzt in die Resignation treiben, die viele zeitgenössische Beobachter für das Schicksal des extremen Nordens oder auch Russlands hielten. Die dialektische Position Marxens besteht also darin: nur die Gesellschaft, nicht die Natur ist verantwortlich dafür, dass es ein Mehrprodukt – den aneigenbaren Überschuss von Aufwand und Ertrag menschlicher Arbeit – überhaupt gibt. Aber: nur die Natur, nicht die Gesellschaft ist verantwortlich dafür, dass dieses Mehrprodukt an bestimmten Orten ursprünglich realisiert werden konnte. Dass der technische Fortschritt und die Akkumulation des Kapitalstocks es später erlauben wird, die „Naturschranke“ immer weiter hinaus zu schieben – und mithin auch in den extremen Klimazonen Kapitalismus möglich ist, wie wir es heute beobachten können – wird dadurch gar nicht ausgeschlossen. Aber: diese Naturschranke lässt sich eben nur hinaus schieben, sie lässt sich nicht grundsätzlich aufheben – und davon geht der Soziozentrismus gleichsam paradigmatisch aus.

Ich gehe im Folgenden davon aus, dass eine vernünftige Forschungsperspektive (z.B. eine inter- und transdisziplinär ausgerichtete Klimafolgenforschung) nur unter Zugrundelegung des dritten, dialektischen Paradigmas möglich ist und möchte diese These ein wenig plausibilisieren.

2 Der anthropogene Klimawandel – von der Hypothese zur Tatsache

Der bereits erwähnte Arrhenius geriet mit seinen Entdeckungen aus der Zeit um 1900 rasch wieder in Vergessenheit. Es waren ein paar Außenseiter in Klima- und Atmosphärenforschung, die der Hypothese weiter nachgingen, das Verbrennen fossiler Energieträger führe aufgrund der veränderten Strahlungsbilanz der Erde zu einer allmählichen Erwärmung des Klimas. Einem solchen Außenseiter haben wir es etwa zu verdanken, dass wir auf längere Zeitreihen der Messung des Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre auf Mauna Loa (Hawaii) zurückgreifen können. Der Mainstream der Forschung schenkte dieser Hypothese keine Beachtung. Es war ein kleiner Kreis von Physikern innerhalb der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, die die Hypothese, zusammen mit ersten Beobachtungen und Vermutungen, im Jahre 1976 erstmals der Öffentlichkeit bekannt machte. Vor dramatischen Folgen – etwa einer Erhöhung des Meeresspiegelanstiegs um mehrere Meter – wurde gewarnt, nach raschen Umkehrmaßnahmen gerufen. Dazu zählte auch der Ausbau der Kernenergie als energiepolitischer Option.

Die Medien haben diese Stellungnahme aufgegriffen und mit zusätzlichen dramatischen Zügen versehen. Der „Spiegel“ brachte am 11. Oktober 1986 ein berühmtes Titelbild, auf dem er den Kölner Dom unter Wasser zeigte. Dieser Hang zum Katastrophismus, der dem Klimathema noch lange anhing, darf aber aus drei Gründen nicht verwundern: erstens befanden wir uns in Deutschland seinerzeit auf dem Höhepunkt der „Öko-Welle“, die auch in anderen Themenfeldern („Waldsterben“!) deutlich katastrophische Züge aufwies. Zweitens können (Massen-) Medien scheinbar nur dann Aufmerksamkeit erzeugen und Marktanteile gewinnen, wenn sie einem Ereignis oder Zusammenhang den Charakter des Einmaligen, Fürchterlichen

oder doch sehr Bedrohlichen geben. Drittens schließlich war die wissenschaftliche Basis der Hypothese zum damaligen Zeitpunkt auch höchst unsicher. Es gab noch keine Klimamodelle, es gab noch keine Klimafolgenforschung. Ein anderer Kreis von Physikern – und zwar gerade ein Kreis, der sich nicht mit Energiefragen, sondern mit Wetter- und Klimafragen beschäftigte – relativierte denn auch sofort das Statement der Kollegen und mahnte zu mehr Vorsicht und zu mehr Forschung. Nicht auszuschließen übrigens, dass auch der Konflikt um die Kernenergie, der damals hohe Brisanz hatte, die Lancierung eines Statements beförderte, das vor den Gefahren der Nutzung fossiler Energieträger warnte.

Öffentlichkeit und Politik jedenfalls reagierten besorgt – und es waren gerade die katastrophischen Untertöne aus Wissenschaft und Medien, die diese Besorgnis auslösten und zu ersten Reaktionen führten. Dazu gehörte vor allem die Lancierung wissenschaftlicher Forschungsprogramme und –einrichtungen, die sich speziell zwei Fragen widmen sollten. Erstens: wie steht es um die Hypothese, wonach der Mensch das Klima ändern soll – was sind die physikalischen und chemischen Grundlagen dafür in der Atmosphäre, wie funktioniert das Klimasystem, welche Antriebskräfte haben einen Einfluss darauf? Zweitens: was werden die möglichen Folgen des (hypothetischen) Klimawandels sein – überwiegen die Nach- oder die Vorteile, welche Sektoren und Regionen sind besonders betroffen? Klima- und Klimafolgenforschung waren geboren und wurden mit erheblichem finanziellen Aufwand auf den Weg gebracht. Zwanzig Jahre später gab es all das, was es zu Beginn der (öffentlichen) Debatte nicht oder nur sehr unzureichend gegeben hatte: Klimamodelle (und zwar gleich mehrere), Messungen, Folgeabschätzungen. Und natürlich auch: Streit, Debatte, Auseinandersetzungen – über die „richtigen“ Modelle, über die „richtige“ Interpretation der Daten, über die „richtige“ Abschätzung der Folgen.

Die Debatte und das Abwägen von Pro- und Contra-Argumenten gehört zum Kern des menschlichen Unternehmens Wissenschaft in seiner spezifisch modernen Form. Von daher kann es nicht verwundern, dass auch die Klima- und Klimafolgenforschung Debatten kannte und in die Debatte geriet. Von manchen, die der Klimahypothese skeptisch bis feindlich gegenüber standen – schließlich geht es auch um wirtschaftliche Interessen, falls sich etwa der Umbau des planetaren Energiesystems als nötig oder klug erweisen sollte –, wurde diese (interne) Debatte jedoch zum Anlass genommen, an der wissenschaftlichen Ernsthaftigkeit des ganzen Unterfangens zu zweifeln – in leichter Verkennung dessen, was eine „normale“ Wissenschaft auszeichnet (wenn sich die Klimaforschung nicht sogar in einer vor-normalen Phase der Paradigmenfindung befand) und was wir in allen anderen innovativen Forschungsbereichen (man denke nur an Bio- und Genforschung, wo die Dinge quasi täglich im Fluss sind) ohne große Bedenken zu akzeptieren bereit sind.

Nicht verwunderlich ist ferner auch, dass die weltweit auf den Weg gebrachte Forschungsmaschinerie zu neuen Erkenntnissen, zur Einsicht in größere Komplexität, zu komplizierteren Modellen und Wirkungsverkettungen sowie zu differenzierteren Folgeabschätzungen kam. Die Angaben über die Höhe des Meeresspiegelanstiegs wurden z.B. – verglichen mit den ersten Vermutungen – etwas nach unten korrigiert. Dafür wurde der Sicherheitsgrad der Aussagen verbessert und das Klimasystem im Zusammenspiel mit anderen Erdsystemkomponenten (Biosphäre, Ozeane) besser verstanden. Der Hauch des Katastrophalen schwächte sich deutlich ab, die wissenschaftlichen Normalitäten – einschließlich der Etablierung von Fachöffentlichkeiten – stellten sich ein, man konnte den Eindruck gewinnen, es sei ja alles nicht so schlimm. Der Normalisierung der Ökologie (Karl-Werner Brand) folgte die Normalisierung der Klima“katastrophe“.

Dieser Eindruck ist ebenso verständlich wie fatal. Verständlich: wer die Welt im Horizont der unmittelbar bevorstehenden Katastrophe (die von vielen aufgrund der besonderen Verantwortung des industrialisierten Nordens zudem untergründig als verdiente Strafe für eine Schuld empfunden wurde) sieht, wird das vorläufige Ausbleiben derselben mit Erleichterung, wenn nicht gar mit einer gewissen Enttäuschung (Katastrophentourismus!) zur Kenntnis nehmen. Fatal: die Evidenzen dafür, dass die zugrunde liegende Hypothese zutrifft, wurden immer deutlicher. Die Häufung von Wetterextremen gegen das Ende des 20. Jahrhunderts etwa wird von immer mehr Experten mit dem anthropogenen Treibhauseffekt in Verbindung gebracht. Die dabei auftretenden Schäden – sie treffen vorwiegend, aber keineswegs ausschließlich die Länder des Südens – zeigen, dass wir über eine vor unseren Augen ablaufende, keineswegs nur erst möglicherweise kommende riskante Entwicklung sprechen. Auch gemessen an den sehr langen paläoklimatischen Zeitreihen lässt sich der Verdacht erhärten, dass der Mensch einen „Fingerabdruck“ am Klimasystem hinterlassen hat, der Rückwirkungen auf traditionale und auf moderne Gesellschaften hat und noch haben wird.

In diesem Zusammenhang ist es bemerkenswert, dass die internationale Staatengemeinschaft, die das Klimathema im Zusammenhang mit dem Umwelt- und Entwicklungsgipfel in Rio de Janeiro 1992 auf die Agenda gesetzt hat, einen interessanten Weg der Einspeisung des wissenschaftlichen Wissens in den Politikprozess gefunden hat. Es kam zur Bildung des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), eines internationalen Expertengremiums, das in regelmäßigen Abständen über den weltweiten Forschungsstand in Sachen Klima und Klimawirkungen berichtet und die Politik beraten soll. Viele „Klimaskeptiker“ äußern sich sehr kritisch, bisweilen auch sarkastisch dem IPCC gegenüber: hier habe eine interessierte Forschergemeinschaft sich die Politik zum Büttel gemacht und strebe auf der Basis des Konsensprinzips nach Weltherrschaft. Meines Erachtens wird damit die Funktion des IPCC völlig verkannt. Er soll gerade nicht über die Wahrheit der Hypothese vom anthropogenen Klimawandel abstimmen. Er soll allein den Forschungsstand in seiner ganzen Breite, aber auch in dem, worin es Konsens gibt, aufarbeiten und darstellen, damit Politik und Gesellschaft auf der Basis des derzeit best verfügbaren Wissens – und nicht eines zufällig oder interessiert gewählten Ausschnitts daraus – entscheiden. Angesichts der möglicherweise erforderlichen Konsequenzen, die aus der Klimathematik für Wirtschaft und Gesellschaft resultieren, gewiss eine notwendige Aufgabe. Welche Alternative sollte es denn zu diesem Verfahren geben? Dass die Politiker der Wissenschaftsfraktion glaubt, die den anthropogenen Klimawandel für eine Schimäre hält und alle beobachtbaren Änderungen den natürlichen Schwankungen des Erdsystems – oder gar den Aktivitäten der Sonne? Und wenn sie Unrecht hätten? Welche Abhilfemaßnahmen auf der Basis von Emissionsreduktionen hätten wir dann möglicherweise verpasst, welche Anpassungsmöglichkeiten gar nicht erst erwogen?

Meines Erachtens haben die Regierungen eine relativ kluge Entscheidung getroffen, als sie die politikberatende Wissenschafts-Institution des IPCC geschaffen haben. Hier wird nicht Wahrheit durch Abstimmung ersetzt, sondern willkürliche Präferenz für wissenschaftliche Meinungen durch die Bündelung und Auswertung des gesamten Forschungsstandes.

3 Klimafolgenforschung am PIK: Das Beispiel der Syndrome

Das *Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung* (PIK) ist Teil und Produkt des soeben erwähnten Etablierungsprozesses der Klima- und Klimafolgenforschung. Gegründet wurde es 1992 auf Initiative der Bundesregierung, die im Rahmen des Rio-Prozesses dokumentieren wollte, dass sie das damals weltweit heiß diskutierte Klimaproblem ernst nimmt und ihm

zugleich wissenschaftlich auf den Grund gehen will. Der ursprüngliche Auftrag lautete: erforscht den möglichen Klimawandel und seine Folgen für Mensch und Natur. Und: berätet Politik und Öffentlichkeit über mögliche Handlungsoptionen. Dieser Auftrag war nur transdisziplinär zu erfüllen.⁵ Deshalb waren im PIK von Anfang an Natur- und Sozialwissenschaften beteiligt, wenngleich die naturwissenschaftliche Seite das quantitative Übergewicht hatte. Dieser Zustand hat sich erfreulicherweise in den letzten beiden Jahren verbessert.

Der Ausdruck „Klimafolgenforschung“ enthält eine doppelte Irreführung. Es geht nicht nur ums Klima, und es geht nicht bloß um Folgen. Es geht zuletzt um das Erdsystem als Ganzes, und es geht auch um die Ursachen und die Handlungsoptionen für die Zukunft. Das Klimasystem der Erde ist für sich zwar komplex genug, aber es kann ohne den Einfluss des Menschen – dieser stellt ja das Ausgangsproblem des Forschungsauftrags dar – sowie ohne die Berücksichtigung anderer Teilkomponenten des Erdsystems – wie z.B. die Ozeane, die Biosphäre, den Wasserkreislauf, Eisbildung etc. – in seiner Dynamik nicht verstanden werden. Und da sich mit dem Erdsystem im Ganzen im Wesentlichen keine Experimente veranstalten lassen – außer dem Großexperiment, das wir gleichsam als unbeabsichtigte Nebenwirkung unserer Zivilisationsentwicklung seit einigen Jahrzehnten betreiben –, und weil sich die Zukunft am besten durch Modellbildung und Simulationen begreifbar machen lässt, spielen Computermodelle und –simulationen am PIK eine besonders wichtige Rolle.

Am PIK gibt es aus allen diesen Gründen nicht nur eine Klimaabteilung, sondern auch eine Abteilung für natürliche Systeme, eine für soziale Systeme, eine für integrierte Systemanalyse sowie eine für wissenschaftliches Rechnen, die daneben auch die enormen Datenbestände pflegt, die am PIK systematisch ausgewertet werden. Die Modellierungsarbeit am PIK wird durch einen Hochleistungsparallelrechner unterstützt. Das Institut gehört zur Forschungsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (früher „Blaue Liste“) und seine Grundfinanzierung wird durch den Bund und das Land Brandenburg zu gleichen Teilen gewährleistet. Im Laufe der Zeit konnte der Drittmittelanteil kontinuierlich gesteigert werden und übertrifft mittlerweile die Grundfinanzierung deutlich. Dadurch, dass die Abteilungsleiter des PIK gleichzeitig auch Professoren an Universitäten in Potsdam und Berlin sind, sowie durch eine Reihe von Kooperationsbeziehungen auf Forschungsebene und im Lehrbereich, ist das Institut auch an das Universitätssystem der Region angeschlossen.

Knapp zehn Jahre nach seiner Gründung steht das PIK heute als äußerst erfolgreiche Forschungseinrichtung mit internationalem Ruf, ja Vorbildfunktion da. Mitarbeiter des PIK publizieren regelmäßig in „*Nature*“ sowie in internationalen Fachzeitschriften, die Medien nehmen das PIK als Kompetenzzentrum in Klimafragen wahr, und die Beratungsfunktion für die Politik – in jüngster Zeit zunehmend auch für die Wirtschaft sowie den Bereich der Non-Governmental-Organizations (NGO) – wird mit großer Aufmerksamkeit betrieben. In jüngster Zeit haben wir begonnen, diese Seite durch den Aufbau spezifisch sozialwissenschaftlicher Kompetenz noch zu intensivieren. Das PIK ist in die Phase eines kontinuierlichen Austauschs mit Interessen- und Entscheidungsträgern getreten, der sich nicht erst auf die Phase der Ergebnisvermittlung beschränkt, sondern bereits bei der Formulierung von Forschungsfragen einsetzt (*Stakeholder Dialogue*). Das Leitbild für uns ist dabei die Idee einer „Argumentprüf-

⁵ Unter „Interdisziplinarität“ verstehe ich jede Form der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen. „Transdisziplinarität“ ist ein anspruchsvollerer Spezialfall von Interdisziplinarität, weil dabei zusätzlich (a) Natur- und Sozialwissenschaften zusammenarbeiten müssen und dies (b) im Rahmen von problemorientierter Forschung geschieht, die sich an gesellschaftlich relevanten Aufgaben und Fragestellungen orientiert. Häufig (aber nicht immer) wird dabei (c) sowohl Grundsatz- als auch angewandte Forschung betrieben. Dies scheint mir der harte Kern dessen zu sein, was seit einiger Zeit über Transdisziplinarität geschrieben wird.

anstalt“ – in Anlehnung an die Materialprüfung -, nicht das wissenschaftliche Bedienen von Interessen. Jede argumentative Position zum Klimaproblem – natürlich auch die, es stelle kein ernsthaftes Problem dar – soll auf ihre Stimmigkeit, ihre Voraussetzungen sowie ihre Folgen geprüft werden. Die transdisziplinäre Kompetenz des PIK soll mobilisiert werden, um über kontroverse Deutungen der Sachzusammenhänge im Rahmen eines Dialogs begründeter befinden zu können – nicht zuletzt auch um deutlich zu machen, wo es sich nicht um Unterschiede in der Wahrnehmung von Sachzusammenhängen, sondern um wert-, interessen- oder sonst wie bedingte Unterschiede zwischen Personen oder Organisationen handelt.

Dieses Grundsatzprofil wird in einer Vielzahl konkreter Forschungsprojekte mit Leben gefüllt. Das PIK verfolgt dabei die Strategie, disziplinen- und fächerübergreifende Fragestellungen besonders zu fördern. Zudem wird der Forschungsprozess so organisiert, dass möglichst klar definierte Teilaufgaben von zeitlich begrenzt kooperierenden Teams angegangen werden, um hinreichend Flexibilität für neue Fragestellungen zu behalten und nicht dem impliziten Konservatismus langjährig etablierter Projektstrukturen zu verfallen. Globale, regionale und sektorale Fragen werden parallel bearbeitet. Ein regionales Projekt untersucht beispielsweise die Frage, wie das Land Brandenburg auf einen möglichen Klimawandel reagieren würde (Vulnerabilität, Reaktionspotenzial); ein regelrechter „Brandenburg-Simulator“ ist auf dem Weg. Ein weiterer Schwerpunkt stellt die Frage dar, inwiefern Europa eine führende Rolle im Klimaschutz spielen könnte, wobei nicht nur das (durchaus begrenzte) Umweltentlastungspotenzial einer solchen pro-aktiven Rolle im Blick ist, sondern nicht zuletzt auch das technologische Innovationspotenzial sowie die wirtschaftlichen Chancen, die sich aus seiner Entwicklung und Nutzung ergeben. Das Institut leistet sich in begrenztem Maße auch „verrückte“ Projekte, solche also, deren unmittelbarer Nutzen nicht sofort auf der Hand liegt und die sich mit fernen Zukünften oder auch der Vergangenheit (z.B. wie breitete sich die Pest im Mittelalter über Europa aus und was war die Rolle des Klimas dabei?) beschäftigen. Schließlich achtet das Institut bewusst stärker als andere Einrichtungen, die ich kenne, auf Fragen des „internen Klimas“, also der Forschungsorganisation, der Atmosphäre zwischen den beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie mit Blick auf die Gäste des Hauses.

Ein konkretes Projekt möchte ich im Folgenden herausgreifen, um die Art und Weise zu illustrieren, wie am PIK Klima und Gesellschaft verzahnt werden: die Syndromforschung. Der Begriff „Syndrom“ wurde zuerst vom *Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen* (WBGU) vorgeschlagen, um die grundlegenden Ursache-Wirkungs-Konstellationen für typische, regionenübergreifende Muster globaler Umweltveränderungen beschreiben und analysieren zu können. Am PIK wurde diese Idee im Rahmen eines transdisziplinären Projekts umgesetzt und fortentwickelt. Wichtig – neben der Transdisziplinarität – dabei ist vor allem zweierlei: Erstens wird das Klimaproblem nicht isoliert betrachtet, sondern von vornherein mit anderen Umweltproblemen verknüpft. In der Tat ist ja die spannende Frage, ob beziehungsweise wie ein Klimawandel zu mehr Desertifikation, zu regionalen Wasserknappheiten, zu Migrationsströmen, zu Änderungen der Vegetation und der Agrarwirtschaft etc. beiträgt. Gefragt ist dann eher nicht ein detailliertes Klimamodell – solche werden am PIK durchaus benutzt, Modelle intermediärer Komplexität werden im Klimabereich auch selbst entwickelt -, sondern vielmehr ein grobes Trendmodell des Klimas, das die wichtigsten Systemänderungen beschreibt und mit den analogen Trends in anderen Sektoren verknüpft. Zweitens wird die Klima- und Umweltproblematik systematisch mit den gesellschaftlichen Ursachen und Trends verbunden, die zum anthropogenen Klimawandel unmittelbar und mittelbar beitragen. Die weltweiten Muster globaler Umweltveränderungen sollen sinnfällig auch mit Blick auf typische Nutzungs- und Entwicklungsphasen in den gesellschaftlichen Naturverhältnissen sein.

Die folgende Liste gibt einen Überblick über die derzeit von uns beobachteten Syndrome des Globalen Wandels. Sie haben plakative Namen nicht deshalb erhalten, weil sie nur in einer Region oder in einem Bereich der Gesellschaft auftreten – das Gegenteil ist der Fall -, sondern einfach um sich die dahinter steckenden komplexen Wirkungsgeflechte besser merken zu können, die in den Kurzbeschreibungen der zweiten Spalte auch nur angedeutet werden können.

Tabelle 1: Hauptsyndrome des Globalen Wandels

Syndromgruppe „Nutzung“
1. Landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte: <i>Sahel-Syndrom</i> 2. Raubbau an natürlichen Ökosystemen: <i>Raubbau- Syndrom</i> 3. Umweltdegradation durch Preisgabe traditioneller Landnutzungsformen: <i>Landflucht-Syndrom</i> 4. Nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern: <i>Dust-Bowl-Syndrom</i> 5. Umweltdegradation durch Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen: <i>Katanga-Syndrom</i> 6. Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke: <i>Massentourismus-Syndrom</i> 7. Umweltzerstörung durch militärische Nutzung: <i>Verbrannte-Erde-Syndrom</i>
Syndromgruppe „Entwicklung“
8. Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten: <i>Aralsee-Syndrom</i> 9. Umweltdegradation durch Verbreitung standortfremder landwirtschaftlicher Produktions-verfahren: <i>Grüne-Revolution-Syndrom</i> 10. Vernachlässigung ökologischer Standards im Zuge hochdynamischen Wirtschaftswachstums: <i>Kleine-Tiger-Syndrom</i> 11. Umweltdegradation durch unregelmäßige Urbanisierung: <i>Favela-Syndrom</i> 12. Landschaftsschädigung durch geplante Expansion von Stadt- und Infrastrukturen: <i>Suburbia-Syndrom</i> 13. Singuläre anthropogene Umweltkatastrophen mit längerfristigen Auswirkungen: <i>Havarie-Syndrom</i>
Syndromgruppe „Senken“
14. Umweltdegradation durch weiträumige diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen: <i>Hoher-Schornstein-Syndrom</i> 15. Umweltverbrauch durch geregelte und unregelmäßige Deponierung zivilisatorischer Abfälle: <i>Müllkippen-Syndrom</i> 16. Lokale Kontamination von Umweltschutzgütern an vorwiegend industriellen Produktionsstandorten: <i>Altlasten-Syndrom</i>

Der Syndrom-Ansatz fokussiert auf nicht-nachhaltige Entwicklungen, nicht auf positive Leitbilder für Nachhaltigkeit, die komplementär dazu entwickelt werden können und sollen. Aber auch die positive Leitbildentwicklung muss sich an dem orientieren, was in der Vergangenheit nicht funktioniert hat oder doch zu kritischen Entwicklungen führte. Was immer an positiven Zielen formuliert wird: sie müssen sich im Rahmen der durch die Syndrome umschriebenen Leitplanken für Nicht-Nachhaltigkeit halten. Katastrophendomänen müssen vermieden wer-

den. Innerhalb der Leitplanken tun sich Entwicklungskorridore auf, die beschriftet werden können – und oft sind ganz unterschiedliche Pfade des Übergangs in eine nachhaltige Gesellschaft (*Sustainability Transition*) möglich.

Man kann sich nun die Frage stellen, was diese Muster mit dem Klimaproblem zu tun haben. Dafür kann nach zwei Hauptdimensionen unterschieden werden: der Klimawirksamkeit und der Klima-Vulnerabilität eines Syndroms. Klimawirksam ist ein Syndrom, das zu hohen oder in Zukunft rasch wachsenden Emissionen anthropogener Treibhausgase – global gesehen ist hier neben dem Kohlendioxid vor allem auch auf Methan zu achten – führt. Vulnerabel für Klimaänderungen sind alle diejenigen Mensch-Natur-Interaktionen, in denen klimatische Parameter (Temperatur, Niederschläge, singuläre Ereignisse) eine bedeutsame Rolle spielen und infolgedessen auch durch externe Störungen beeinträchtigt werden können. Skaliert man diese beiden Dimensionen qualitativ jeweils nach „hoch“ und „niedrig“, dann lassen sich mehrere Cluster von Syndromen identifizieren: solche, die zum Klimawandel beitragen, von ihm aber nicht beeinträchtigt werden, solche, die anfällig sind für einen Klimawandel, dazu aber kaum einen Beitrag leisten und so weiter (vgl. Abbildung 2).

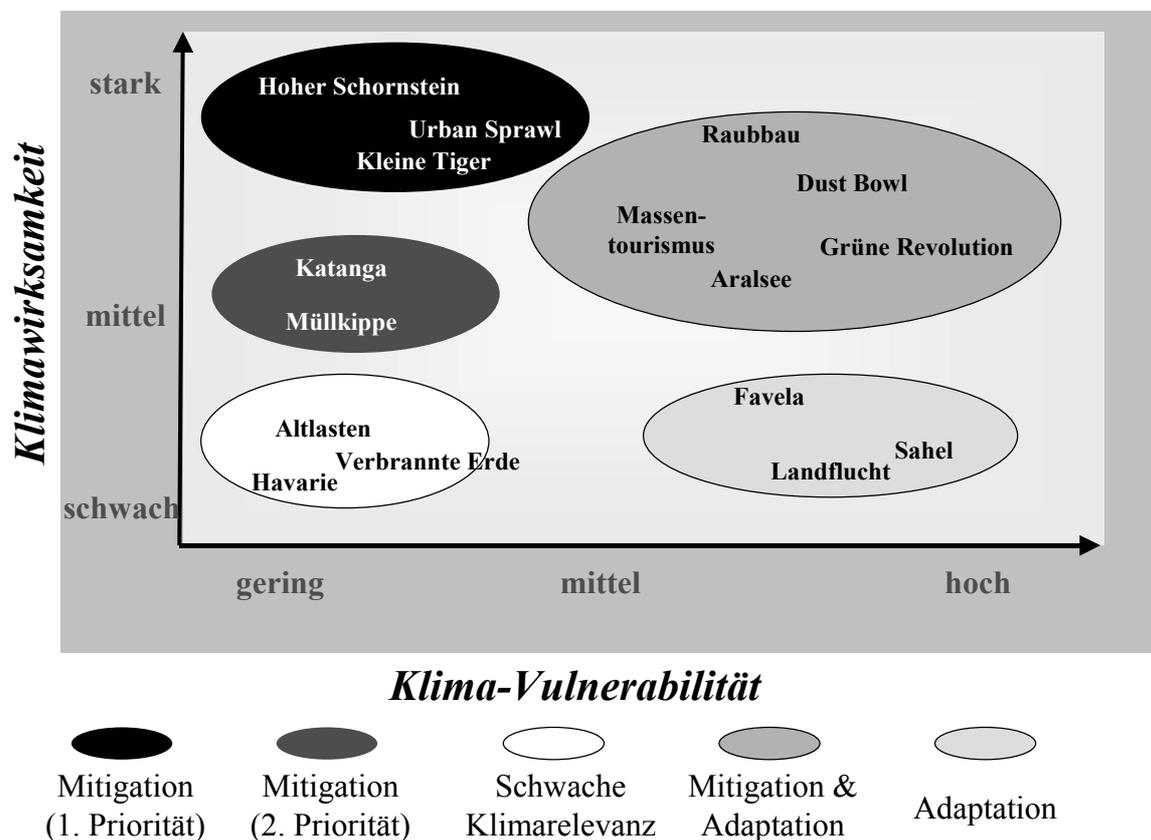


Abbildung 2: Klimawirksamkeit und Klima-Vulnerabilität von Syndromen

Zusätzlich habe ich die Handlungsoptionen „Mitigation“ (Ursachenbekämpfung) und „Adaption“ (Anpassung an den Klimawandel) unterschieden. Je nach Lage eines Syndroms im klimapolitischen Raum lassen sich Handlungsprioritäten definieren. Dabei wird davon ausgegangen, dass hohe Verwundbarkeit die adaptive Option (Präventionsmaßnahmen, Reduktion der Vulnerabilität) angezeigt sein lässt, während eine hohe Klimawirksamkeit die Mitigationsoption sinnvoll macht. Auch hier liegen – wenn man so will – Wertentscheidungen zugrunde

(man könnte ja von vornherein nur für Adaption optieren), auf die weiter unten eingegangen wird.

Diese Strukturierung ist insofern interessant, als sie es erlaubt, die Positionierung eines Landes im klimapolitischen Feld vorzunehmen – sofern man nämlich identifiziert hat, welche Syndrome in einem Land vorliegen, und welche unter Umständen dominant sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Land, das ausschließlich vom Klimawandel betroffen ist, aber nicht viel zu ihm beiträgt, Mitigationsmaßnahmen ergreift, ist eher gering. Es wird im Gegenteil die Verursacherländer zu solchen Maßnahmen auffordern. Wenn ein Land lauter Syndrome aufweist, die den Klimawandel antreiben, aber nicht betroffen (vulnerabel) ist, dann wird es – vorausgesetzt die Vorteile der Emission klimawirksamer Gase überwiegen die Nachteile, wovon meist auszugehen ist – versuchen, solche Aufforderungen abzuweisen (alles unter der Voraussetzung, dass Reduktionsmaßnahmen teurer sind – auch dazu weiter unten etwas differenzierter). Besonders interessant sind Länder, die eine hohe Zahl an solchen Syndromen aufweisen, die sowohl klimawirksam als auch klimaanfällig sind (wie Raubbau, Dust Bowl, Grüne Revolution, Massentourismus, Aralsee). Sie haben zwar einerseits ein Interesse an der Fortsetzung ihres emissionsintensiven Entwicklungspfades, sind aber andererseits auch daran interessiert, dass es global zur Reduktion der Verwundbarkeit kommt – und eine Reduktion von Emissionen auch bei ihnen könnte dazu einen Beitrag leisten. Länder wie Indonesien, Indien oder Brasilien sind in dieser Lage. Sie wären wichtige Kandidaten für Bündnisse mit reduktionsbereiten Industrieländern. Insbesondere angesichts der Haltung der USA zum Kyoto-Protokoll – dessen Reduktionsziele im Übrigen noch sehr bescheiden sind gemessen an dem, was notwendig für die Stabilisierung des Weltklimas auf einem nachhaltigen Pfad wäre – sind solche Länder etwa für die Mitgliedsstaaten der EU interessant, die – aus welchen Gründen auch immer – eine pro-aktivere Haltung im Klimaschutz einnehmen.

In letzter Zeit mehren sich die Stimmen derer, die *Adaptation* (Anpassung) als die einzig mögliche Antwort auf einen sich bereits abzeichnenden Klimawandel propagieren. In der Tat: es wäre fahrlässig, wenn sich Politik und Gesellschaft nicht darauf einstellten, dass ein Klimawandel bereits im Gange ist. Um so mehr, als sich das Klima aufgrund interner Trägheiten im Erdsystem auch dann noch ändern würde, wenn wir hier und heute die Emission von Treibhausgasen vollständig einstellen. Anpassung ist also ein Gebot der Klugheit. Eine gänzlich andere Frage ist, ob wir deshalb die Anstrengungen hinsichtlich der Minderung von Emissionen (*Mitigation*) aufgeben sollten. Manche fordern genau dies. Anpassung sei nicht nur ohnehin geboten, sondern auch das einzig Machbare, darüber hinaus deutlich billiger als ein drastisches Reduktionsprogramm. Zudem habe sich der Mensch schon immer durch Anpassungsfähigkeit ausgezeichnet. Ich halte diese Position für falsch. Und dies aus mehreren Gründen:

1. *Moralische Verantwortung*. Angesichts der Tatsache, dass die Industrieländer eine historische Verantwortung für einen Großteil der Klimaänderungen tragen, deren negative Folgen weit eher in Entwicklungsländern auftreten, scheint es mir ein Gebot der Moral und der Fairness, auf Emissionsreduktionen vor allem im Norden hin zu wirken. Das ist ein wichtiges, aber keineswegs das entscheidende Argument.
2. *Adaptionskosten*. Anpassung ist nicht kostenlos zu haben, sondern setzt vielfältige technische, organisatorische und verhaltensbezogene Maßnahmen und Änderungen voraus (Deichbau, sturmsicheres Bauen, Frühwarnsysteme, Versicherungswirtschaft, Steigerung des Risikobewusstseins etc.). Dass diese Maßnahmen kostengünstiger sein sollen als Reduktionsstrategien ist vorerst eine Behauptung. Da die gravierendsten Klimafolgen in Entwicklungsländern auftreten dürften, deren Anpassungsfähigkeit e-

benfalls deutlich begrenzt ist, können auch bei der Wahl dieser Option teilweise massive Transfers von Nord nach Süd notwendig sein.

3. *Riskanter Strukturkonservatismus.* Wer an der Ursachendynamik des Klimawandels nicht rühren will, sondern nur an den Folgewirkungen herumlaborieren möchte, schreibt all jene Strukturen fest, die mit der Ursachendynamik verknüpft sind, die aber auch aus nicht-klimapolitischen Gründen unerwünscht oder doch problematisch sind. An erster Stelle sei hier auf die geopolitische Dimension der Ressourcenproblematik hingewiesen. Abweichend von dem, was der „Club of Rome“ in den 1972 erschienenen „Grenzen des Wachstums“ postuliert hat, werden die fossilen Energieträger sich in absehbarer Zeit nicht erschöpfen – zumal der technische Fortschritt im Explorationssektor enorm ist. Das heißt aber nur, dass sich die Industrieländer bei konstant gesetzter fossiler Energiebasis auf unabsehbare Zeit in die Abhängigkeit von den Förderländern von Kohle, Öl und Gas begeben. Die Industrieländer müssen damit auch ein starkes ökonomische Interesse an der politischen Stabilität und Geneigtheit dieser Länder haben – von Ländern mithin, die aufgrund ihrer Tradition, Kultur und geostrategischen Position durch große Unsicherheiten, Konfliktpotenziale und eine hohe Störanfälligkeit gekennzeichnet sind. Damit aber wächst die Gefahr militärischer Konflikte und Interventionen – und damit auch die Anfälligkeit des Westens bis hin zum Terrorismus.
4. *Innovationsvorsprung durch Mitigation.* In der Tat: wir dürfen die Anpassungs-, aber auch die Innovationsfähigkeit des Menschen nicht unterschätzen. Mir scheint aber das innovative Potenzial der Adaptionen deutlich geringer als das der Mitigationsstrategie. Die Innovationen, die im Rahmen von Adaption notwendig werden, haben einen defensiven und additiven Charakter – häufig fügen sie einer bestimmten Technologielinie nur einen besonderen Zug hinzu. Dagegen setzt die Reduktionsstrategie – scheinbar paradoxerweise sogar gerade dann, wenn sie besonders radikal ausfällt – viel mehr auf technologische Basisinnovationen. Die Vision einer solaren Wasserstoffwirtschaft etwa, bei der es tendenziell überhaupt keine fossilen Brennstoffe mehr geben muss (was weit mehr Reduktion bedeuten würde als im Kyoto-Prozess angedacht), wäre eine solche Basisinnovation, die auf verschiedenen Technologiefeldern Synergien erzeugen würde und zudem dem Land oder der Ländergruppe – ich denke hier in erster Linie an die Europäische Union – globale Wettbewerbsvorteile verschaffen könnte, das beziehungsweise die sich zuerst in die entsprechende Richtung bewegen („*first mover advantage*“). Die ökonomischen Ziele Wachstum und Beschäftigungssicherung könnten so mit einem sehr anspruchsvollen Umweltziel vereinbart werden und würden zudem der moralischen Forderung an die Industrieländer gerecht, von der bereits die Rede war.

Es scheint mir unabweisbar: Mitigation ist nicht nur ein Gebot der globalen Gerechtigkeit und Fairness, sondern auch und vor allem ein Gebot der ökonomischen und politischen Klugheit. Vor allem dann, wenn man nicht von einer statischen, nur marginal innovationsfreudigen Ökonomie ausgeht, sondern von einer dynamischen Ökonomie, die Wachstums- und Wettbewerbsvorteile gerade aus drastischen Reduktionszielen zieht.

Dies hätte übrigens auch Implikationen für die Ebene der ökonomischen Instrumente, mittels derer diese emissionsmindernden Basisinnovationen freigesetzt werden könnten. Derzeit fokussiert sich die nationale Debatte stark auf das Instrument der Ökosteuer: der Faktor Energie soll verteuert, der Faktor Arbeit entlastet werden, um beschäftigungswirksame Investitionen zu generieren und den Einsatz energieintensiver Techniken zurückzufahren. So notwendig

dies als Einstiegsmaßnahme in eine nachhaltigere Energiewirtschaft auch sein mag: die einzige Option ist es keineswegs. Die Geschichte ökonomisch ertragreicher technologischer Umbrüche ist voll von Beispielen dafür, dass es nicht die staatlich induzierte Änderung der Preisrelationen war, die zu Markt- und Technologieveränderungen geführt hat, sondern die angebotsseitige Suche nach neuen Märkten mit höheren Gewinnen. So wurde die Schreibmaschine nicht deshalb durch den PC verdrängt, weil der Staat die Preise für Schreibmaschinen sukzessive erhöht hat, sondern einfach deshalb, weil für das überlegene Produkt sehr rasch ein größeres Marktpotenzial entstanden ist. Die Beeinflussung des technologischen Wandels durch Forschungs- und Technologiepolitik ist damit ein weiterer Kandidat, der neben Steuererhöhungen für energie- beziehungsweise emissionsintensive Technologien/Produkte erwogen werden muss.

Ich möchte abschließend unterstreichen, dass Klimafolgenforschung keineswegs eine Neuauflage des Klimadeterminismus darstellt, wie es bisweilen nahegelegt wird. Klimafolgenforschung – zumindest der Typus, für den das PIK steht – kann als moderne, gleichsam computerisierte Form der dialektischen Auffassung der Verhältnisse von Klima und Gesellschaft verstanden werden. Die Suche nach transdisziplinären Mustern nicht-nachhaltiger gesellschaftlicher Naturverhältnisse ist ein besonders anschauliches Beispiel dafür. Betrachtet man die klimapolitischen Positionierungen und Optionen, so gibt es durchaus Raum für eine proaktive Klimaschutzpolitik, die das Ziel drastischer Reduktionen – ein auch ethisch gebotenes Ziel – mit den Anforderungen einer modernen, dynamischen Wirtschaft verbindet. Der Aufgabe, ein stimulierendes und unterstützendes wirtschafts-, forschungs- und gesellschaftspolitisches Klima für umwelt- und klimaentlastende technologische Basisinnovationen zu schaffen, kommt dabei eine Schlüsselrolle zu.

Klimawandel und Regierungshandeln: Forschungspolitik als Brücke im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Politik

Ulrich Katenkamp

Zusammenfassung: Ziel der Klimaforschung ist ein besseres Verständnis des Klimasystems und der Klimaentwicklung. Dies ist wegen der Folgeerscheinungen einer globalen Erwärmung und der Notwendigkeit von Klimaschutzmaßnahmen von hohem gesellschaftlichem Interesse. Die Politik ist auf wissenschaftliche Ergebnisse angewiesen, wenn sie angemessen reagieren will. Sie ist zugleich konfrontiert mit der Unsicherheit wissenschaftlicher Aussagen über das komplexe Zusammenspiel vieler klimarelevanter Faktoren und insbesondere hinsichtlich der Klimaprognosen. Die Bundesregierung unterstützt daher mit vielfältigen Maßnahmen entsprechende Aktivitäten der Klimaforschung, um deren Aussagen sicherer zu machen. Sie tut dies sowohl durch institutionelle Förderung großer Einrichtungen als auch durch spezielle Projektförderprogramme. Im folgenden Beitrag wird über das neue Förderprogramm DEKLIM des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) berichtet und erste Erfahrungen bei seiner Umsetzung.

1 Einleitung

Das Thema „Klimawandel und Regierungshandeln“ ist in mehrfacher Hinsicht kompliziert. Dies betrifft die wissenschaftliche Untersuchung des komplexen Klimasystems und die vielen Seiten der in Gesellschaft und Wirtschaft geführten sogenannten „Klimadiskussion“. Dies betrifft aber auch die Schwierigkeiten, auf der Basis ‚unsicheren Wissens‘ zu politischen Entscheidungen – sowohl national wie auch international – zu kommen und diese umzusetzen.

Das natürliche Klimasystem ist ein Zusammenspiel vieler, zum Teil noch nicht völlig verstandener Prozesse in der Atmosphäre, den Ozeanen, den Eis- und Landoberflächen sowie der Biosphäre. Der äußere „energetische Antrieb“ dieses Systems erfolgt durch die Sonne als wesentliche Eingangsgröße für die Strahlungsbilanz der Erde. Modulierend wirken der globale Wasserkreislauf sowie verschiedene Spurenstoffkreisläufe, wie der des Kohlendioxids- des am häufigsten diskutierten Treibhausgases.

Der Mensch beeinflusst dieses komplexe System in zunehmendem Maße – Bevölkerungs- und wirtschaftliches Wachstum verbrauchen Ressourcen und produzieren Folgen, die die natürlichen Systeme beeinflussen, wie beispielsweise die Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre infolge der Verbrennung fossiler Brennstoffe oder anderer durch den Menschen ausgelöster Prozesse. Nach jüngsten Einschätzungen werden die durch den Menschen verursachten Veränderungen („anthropogener Einfluss“) immer sichtbarer. Die Auswirkungen eines geänderten Klimas werden in den nächsten Jahrzehnten zu einer ernststen Herausforderung werden, vor allem für die Entwicklungs- und Schwellenländer in südlichen Regionen.

Klimaforschung steht immer dann im Rampenlicht der Öffentlichkeit, wenn Wetterkapriolen oder extremere Ereignisse, wie Wirbelstürme, Überflutungen oder Schneelawinen in die Schlagzeilen geraten. Sind diese schon die Vorboten der globalen Erwärmung? Welche Gegenmaßnahmen müssen ergriffen werden, in welchen Bereichen ist eine Anpassung an veränderte Klimaverhältnisse unabdingbar? Dies sind auch Fragen an die Politik, die sich ratsuchend an die Wissenschaft wendet, doch von dieser Antworten erhält, die oft nur unter bestimmten Randbedingungen bzw. Annahmen gelten oder mit gewissen Wahrscheinlichkeiten

verknüpft sind. „Handeln unter Unsicherheit“ ist in der Politik kein seltenes Thema, gleichwohl aber eine schwierige Randbedingung.

Auf Grund der Langfristigkeit ausgelöster Veränderungen im Klimasystem ist eine Vorsorgepolitik vonnöten. Die Frage, wie schnell und in welchem Umfang unter Umständen kostspielige, die Wirtschaft und den Bürger belastende Gegenmaßnahmen zu ergreifen sind, ist jedoch nicht einfach zu beantworten. Das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung umfasst nicht nur den Umwelt (oder Klima-)schutz, sondern ebenso Aspekte der ökonomischen und sozialen Entwicklung. Bundesforschungsministerin Bulmahn hat bei ihrem Amtsantritt 1998 das weltweit nachhaltige Wachstum zum Leitmotiv für die Schwerpunktsetzung in der Forschungsförderung des BMBF erklärt.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, wie wichtig eine zielgerichtete und auf die gesellschaftlichen Erfordernisse ausgerichtete Klimaforschung ist, wie wichtig solide Ergebnisse und wiederum deren Aufbereitung ist, damit Akteure aus Politik und Gesellschaft hiermit umgehen können. Dies begründet den hohen Stellenwert der programmatischen Projektförderung der Klimaforschung durch das BMBF – dies begründet deren forschungspolitische Ausrichtung.

2 Forschungspolitik

Dieser Begriff verknüpft zwei Aspekte, die in einem gewissen Spannungsverhältnis zu stehen scheinen (Abbildung 1).

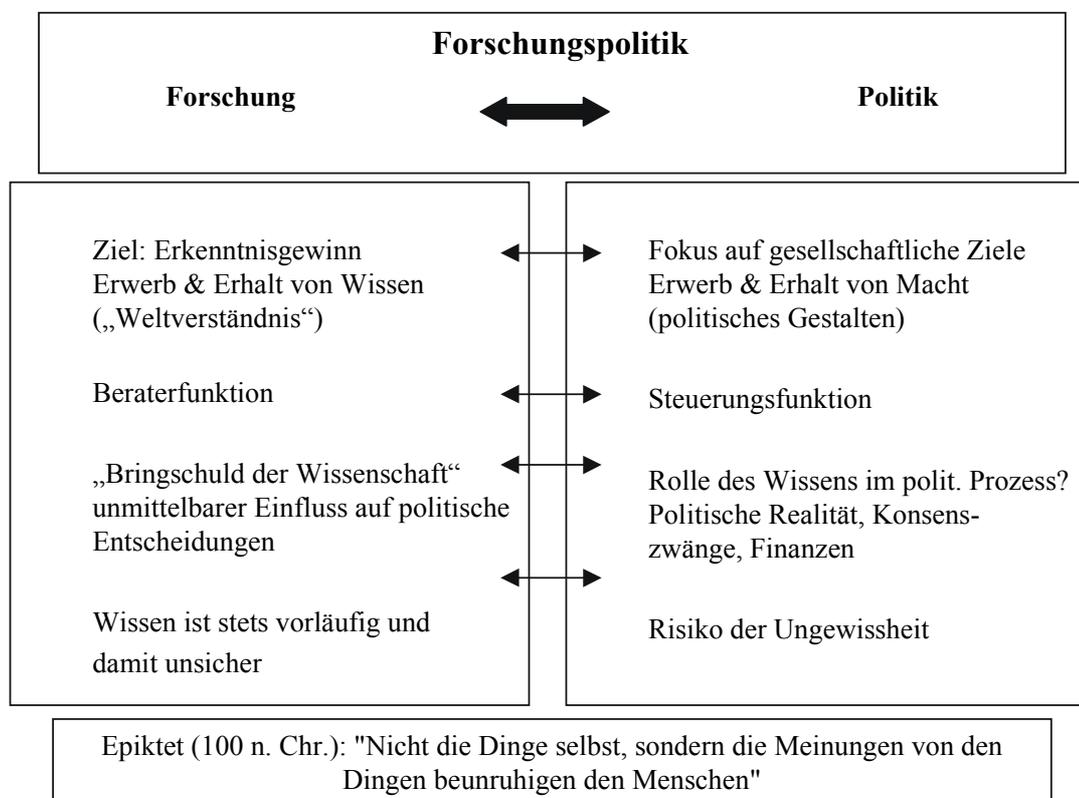


Abbildung 1: Forschungspolitik

Die Forschung hat notwendigerweise ein anderes Interesse als die Politik. Die Forschung zielt darauf, das Klimasystem besser zu verstehen und zu erklären - zu verstehen beispielsweise, wo natürlich bedingte Klimavariabilität aufhört und durch den Menschen verursachte Klimaänderung anfängt.

Die Politik beschäftigt sich mit gesellschaftlichen Prozessen. Es geht hier also nicht um den Erwerb von (vorrangig naturwissenschaftlichem/geisteswissenschaftlichem) Wissen, sondern um das politische Gestalten der gesellschaftlichen Entwicklung. Wie bewältigt die Gesellschaft langfristig die Herausforderung einer Klimaänderung? Welche Rolle fällt dabei der Wissenschaft zu? Alt Bundeskanzler Helmut Schmidt hat von der „Bringschuld der Wissenschaft“ gesprochen und damit wohl gemeint, dass die Wissenschaft mehr tun muss als eben einfach nur Erkenntnisse zu vermehren - sie muss auch tatsächlich Wissen für die Öffentlichkeit bereitstellen, wissenschaftliche Erkenntnisse „übersetzen“ und einbringen in praktische, politische Prozesse.

Die Vorstellungen der Wissenschaft über politische Entscheidungsprozesse sind manchmal überraschend einfach: jedes wichtige wissenschaftliche Ergebnis werde wohl mehr oder minder unmittelbar Berücksichtigung finden bei politischen Entscheidungen. Sind Ergebnisse einmal publiziert und damit weltweit verfügbar, sei es nun Aufgabe der Politik, diese aufzugreifen und umsetzen.

Die Wirklichkeit jedoch ist, wie der ‚Normalbürger‘ ahnt, anders: die Politik hat oftmals sehr komplexe Probleme zu lösen, die nicht allein mit wissenschaftlichen Ergebnissen zusammenhängen. Außerdem bestimmen in der Realität politischer Entscheidungsfindung oftmals Sach- oder „Konsenszwänge“, die Verfügbarkeit von Haushaltsmitteln oder der internationale Spielraum für nationale Entscheidungen den Ausgang. Und all dies hat im Zweifelsfall nur noch wenig mit den wissenschaftlichen Ergebnissen zu tun. Diese werden möglicherweise auch durchaus für einige Zeit nicht aktiv wahrgenommen, zumindest solange, bis sie wieder in das jeweilige politische Handlungsfeld passen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der, dass Wissen eigentlich immer nur eine „Momentaufnahme“ ist, vorläufig also und daher – in grundsätzlicher Weise - nicht sicher sein kann. Beispiel Klimasystem: welche Ursachen hatte die Klimaentwicklung während der vielen Jahrtausende der Erdgeschichte, was hat natürliche, das heißt vom Menschen unabhängige Hintergründe, und welche Folgen hat in den letzten einhundert Jahren das rasante Entwicklungstempo von Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum? Hier hat sich unser Wissen im letzten Jahrzehnt erheblich erweitert, und neue Fragen sind in den Mittelpunkt gerückt.

Unbestreitbar sind wir auch heute noch nicht dort, wo wir alles wissen über das Klimasystem und seine Entwicklung. In 10 oder 20 Jahren wird es aus wissenschaftlicher Sicht die eine oder andere Antwort geben, die aus heutiger Sicht überraschend sein wird. Daneben gibt es aber auch allgemein nachvollziehbare und für die Politik hiervon unabhängig gültige Grundprinzipien des Handelns, wie etwa das des Ressourcenschutzes (sparsamer Umgang mit fossilen Rohstoffen). Die Politik muss nun auf dieser Basis Entscheidungen treffen. Das ist keine einfache Aufgabe, kennzeichnet sie doch das Spannungsverhältnis von Wissenschaft und Politik.

Diese Aufgabe wird zudem nicht einfacher dadurch, dass es in der Öffentlichkeit und den Medien eine vielfältige Wahrnehmung zum Thema ‚Klimawandel‘ gibt. In Abbildung 2 ist dies nur angerissen mit einigen exemplarischen Überschriften journalistischer Beiträge. Die

zum Teil sehr polarisierenden Darstellungen der Medien und die hierdurch ausgelösten Diskussionen finden auch Eingang in den politischen Raum.

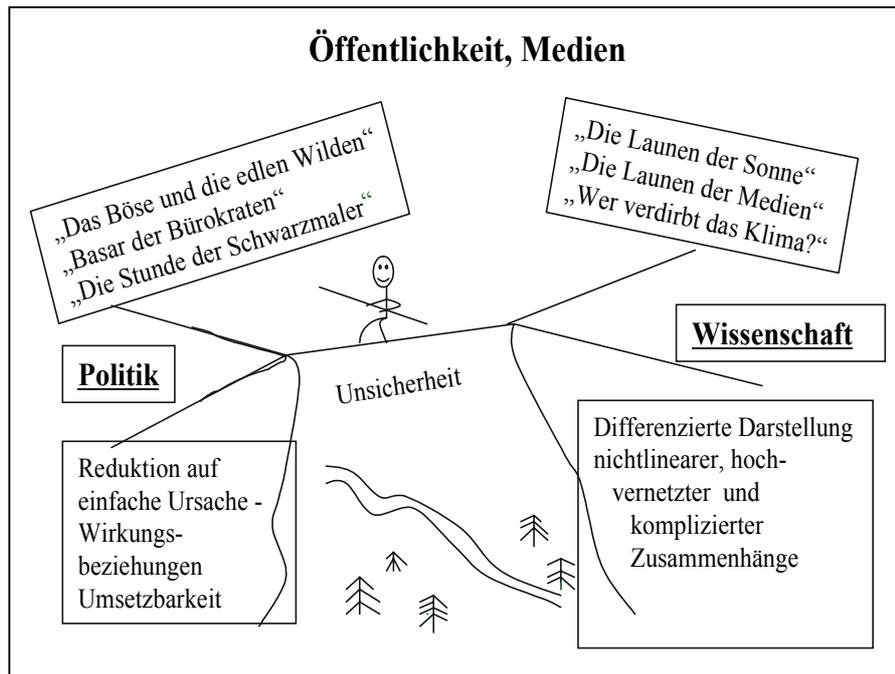


Abbildung 2: Politik – Öffentlichkeit/Medien – Wissenschaft

Natürlicher Angriffspunkt ist die nötige Transformation der wissenschaftlichen Erkenntnisse über einen sehr komplexen Gegenstand – das Klimasystem, seine Mechanismen und ihre Beeinflussbarkeit durch den Menschen – in einfachere, handhabbare Aussagen. Vereinfachungen bergen aber auch immer die Gefahr in sich, zu sehr zu simplifizieren und damit wichtige Aspekte außer Acht zu lassen.

Insgesamt ergeben sich aus dieser Auflistung der Probleme, im Bereich des Klimawandels durch Forschung zu soliden und ausgewogenen politischen Handlungsempfehlungen zu kommen, große Herausforderungen für eine angemessene Forschungspolitik und Forschungsförderung.

Thesenartig kann man hieraus die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

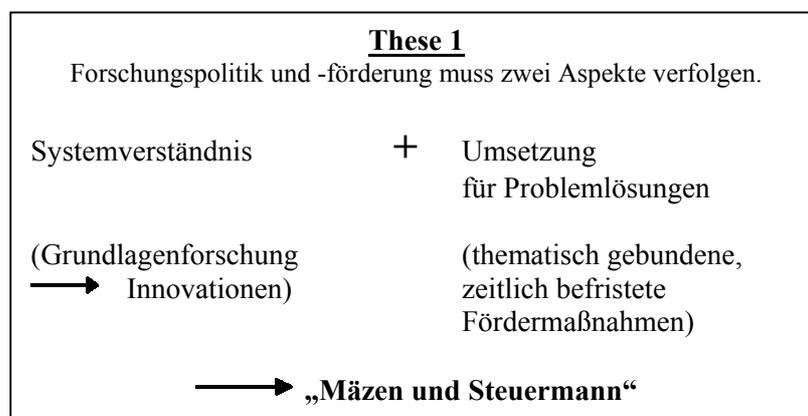


Abbildung 3: These 1

Forschungspolitik muss auf zwei Aspekten beruhen. Sie muss in nötigem Umfang eine weitere Verbesserung unseres Systemverständnisses ermöglichen („Mäzen“). Sie muss aber auch durch geeignete Fördermaßnahmen vor allem solche Beiträge unterstützen, die auf die Aufbereitung und Umsetzung der Forschungsergebnisse zielen und sie damit einsetzbar machen für konkrete Problemlösungen („Steuermann“).

These 2
Forschung zum Klimawandel darf nicht allein naturwissenschaftliche Aspekte behandeln
Das Verständnis der Wechselwirkung zwischen natürlichen und menschlichen Systemen muss verbessert werden.
Dies kann nur durch stärkere Berücksichtigung der sozioökonomischen Forschung gelingen.

Abbildung 4: These 2

Aus den angedeuteten komplexen Zusammenhängen im Bereich des Klimawandels, was insbesondere den Zusammenhang zwischen natürlichem Klimasystem und zunehmender Beeinflussung durch menschliche Aktivitäten betrifft, folgt, dass Forschung zum Klimawandel nicht allein (und dies in fortschreitendem Maße) auf naturwissenschaftlichen Forschungsansätzen beruhen darf. Nur eine stärkere Einbeziehung sozioökonomischer Forschung kann ein ausgewogenes Verständnis der Klimaentwicklung ermöglichen. Hier sind also vor allem Soziologen, Ökonomen, Politikwissenschaftler und Rechtswissenschaftler gefragt und deren Beiträge zur weiteren wirtschaftlichen und politischen Entwicklung.

Wirtschaftswachstum (Emissionen klimarelevanter Treibhausgase) und Landnutzungsänderungen greifen über die Veränderung globaler Spurenstoffkreisläufe in das Klimasystem ein. Wie werden hierdurch Gesellschaften und Wirtschaftssysteme beeinflusst – welche Maßnahmen müssen ergriffen werden (welche sind durchsetzbar) und wie wirken diese wieder zurück auf die natürlichen Systeme? Derartige Fragen, die letztlich auf die Erforschung der Wege zu einer nachhaltigen Entwicklung zielen, können nur beantwortet werden, wenn es gelingt, enge Forschungsverbünde zwischen ganz unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen zu bilden und in einem transdisziplinären Ansatz gemeinsam voranzukommen.

Diese Feststellung führt zu These 3.

These 3
Forschung (und Förderung der Forschung) zum Klimawandel muss auf einen integrativen Ansatz beruhen, der

- Klimasystemanalyse
- Forschung zur Auswirkung/ zu den Folgen des Klimawandels umfasst.

.... Interdisziplinarität, Internationalität, Nachwuchs

DEKLIM

Abbildung 5: These 3

Ich möchte im Folgenden auf ein neues BMBF-Förderprogramm der Klimaforschung eingehen, in dessen Rahmen die Umsetzung dieser Grundzüge angestrebt wurde. Zuvor sei jedoch darauf hingewiesen, dass derartige Programme nur einen kleinen Ausschnitt der Klimaforschung und deren Förderung berühren. Als Beispiel für andere Forschungsstrukturen, die ebenfalls vom BMBF unterstützt werden, seien hier die Forschungsinstitute der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft genannt (HGF, „Großforschungseinrichtungen“), deren Haushalts-
etat zu 90% von Bundesmitteln getragen wird.

3 Deutsches Klimaforschungsprogramm des BMBF (DEKLIM)

Die inhaltlichen Schwerpunkte dieses Förderprogramms sind in Abbildung 6 dargestellt (siehe auch www.dlr.de/PT/Umwelt/F70000/F71000/DEKLIM.htm) - ihr direkter Bezug zum Klimawandel wurde bereits angesprochen (natürliche Klimavariabilität und anthropogener Einfluss, globale Betrachtung und regionale Prozesse, Klimamodellierung, Klimawirkungsforschung unter Einbeziehung sozioökonomischer Ansätze) – ich möchte hierauf im Einzelnen nicht eingehen.

Hinweisen möchte ich allerdings noch auf die neuen Maßnahmen zur Nachwuchsförderung, die zum einen ausgewählten jungen Wissenschaftlern die Leitung einer eigenen Forschungsgruppe ermöglichen, zum anderen die Kooperation zwischen jungen Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen fördern sollen (Netzwerkgruppen).

DEKLIM	
1	KLIMASYSTEMANALYSE <ul style="list-style-type: none"> ◦ Klimavariabilität (Dekadische Schwankungen, NAO, tropische Variabilität Folgen für höhere Breiten, anthropogene & abrupte Änderungen, Paläoklimatologie/Modellierung) ◦ Regionale Prozessstudien im Ostseeraum (Wasser- u. Energiezyklus, integrales Modellsystem, Messkampagnen) ◦ Weiterentwicklung von Modellen (Anwendungsorientierung, Daten für Modell-Validation, GCM/regionale/einfache Modelle)
2	KLIMAWIRKUNGSFORSCHUNG (natürliche Variabilität/anthropogen verursacht, Ökosphäre + sozio.-ökon. Systeme, Maßnahmen, Widerstandsfähigkeit/Rahmenbedingungen) Bedingung: Einbindung Sozioökonomie
3	Nachwuchsförderung (Themen aus 1, 2) <ul style="list-style-type: none"> - einzelne Nachwuchsgruppen - Netzwerkgruppen

Abbildung 6: DEKLIM

Projektförderprogramme, wie DEKLIM, werden im BMBF über eine längere Zeit sorgfältig vorbereitet. In einem ersten Schritt wird auf der Basis einer Analyse des gegenwärtigen Forschungsstandes eruiert, in welchen Bereichen weiterer dringender Forschungsbedarf besteht. Hierzu werden mit den führenden Wissenschaftlern in Deutschland Gespräche geführt. In Arbeitskreisen (bei DEKLIM zu den Themen Klimavariabilität, Klimamodellierung, BAL-TEX) oder größeren Veranstaltungen (bei DEKLIM Workshop „Klimawirkungsforschung auf dem Prüfstand“) findet ein intensiver Gedankenaustausch statt, der zur Formulierung inhaltlicher Schwerpunkte führt.

Die sich hieran anschließenden Überlegungen zielen auf die Frage einer förderpolitischen Schwerpunktsetzung. Dies unterscheidet grundsätzlich die Fördertätigkeit des BMBF von der

der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Es geht also nicht nur um die Förderung guter wissenschaftlicher Projekte per se, sondern auch um die Berücksichtigung eines spezifischen Bundesinteresse an dieser Förderung (siehe These 1 „Steuermann“, vgl. S. 78 f.).

Im Falle von DEKLIM wurden folgende förderpolitischen Anforderungen gestellt:

- Integrative Verbindung zwischen den Bereichen Klimasystemanalyse und Klimawirkungsforschung
- Interdisziplinäre Ausrichtung der Forschungsverbünde
- Stärkere Einbindung in internationale Forschungsprogramme
- Einbeziehung sozioökonomischer Forschungsgruppen (Klimawirkungsforschung)
- Kopplung zwischen Modellen und Daten (Klimamodellierung, Paläoklimatologie)
- Nachwuchsförderung

(Im Laufe des späteren Verfahrens hat neben qualitativen Kriterien die Nichtbeachtung dieser Vorgaben in Teilbereichen zur Ablehnung zahlreicher gestellter Förderanträge geführt.)

Nach Abschluss dieser Vorbereitungsarbeiten wird das Förderprogramm formuliert und öffentlich bekannt gegeben. Danach können – entsprechend den ausgeschriebenen Förderungsschwerpunkten - Anträge auf Förderung von Forschungsprojekten gestellt werden. Hieran schließt sich die Begutachtung an und danach - im positiven Falle - einige Zeit später die „Zuwendung“ von Fördermitteln – die Forschungsprojekte können nun beginnen (Laufzeit in der Regel drei Jahre).

Dieses in kurzen Sätzen geschilderte Verfahren ist in Wirklichkeit wesentlich komplizierter und vor allem aufwendiger, dies trifft insbesondere auch für die Vorbereitung und Umsetzung von DEKLIM zu (Abbildung 7).

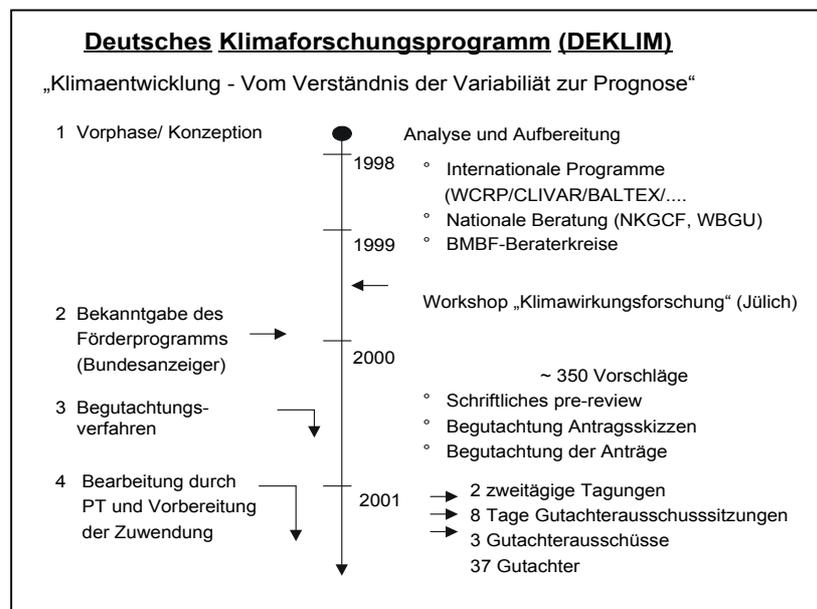


Abbildung 7: Deutsches Klimaforschungsprogramm (DEKLIM)

Besondere Mühe haben wir uns bei einer qualifizierten Bewertung der eingegangenen Förderanträge gegeben (Begutachtung). Bei der schriftlichen Vorbegutachtung der eingegangenen

350 Projektvorschläge waren 41 Gutachter aus 15 Ländern beteiligt, die Hauptbegutachtung wurde von 37 Gutachtern aus Deutschland und 5 Nachbarländern durchgeführt.

Es liegt nahe, dass es hierzu vieler gemeinsamer Anstrengungen bedurfte, und der gesamte Prozess wäre nicht möglich gewesen ohne die engagierte Mitwirkung der vielen Wissenschaftler in den Gutachterausschüssen. Für die Rahmenbedingungen (Vorbereitung, Organisation und Durchführung der einzelnen Arbeitsschritte und Veranstaltungen) zeichneten die Mitarbeiter des Projektträgers (PT) verantwortlich, ebenfalls mit hohem Arbeitseinsatz.

Was ist nun herausgekommen nach über einjähriger Vorbereitungszeit und nach einem weiteren Jahr des schrittweisen Abarbeitens der einzelnen Programmpakete?

4 Ergebnis des DEKLIM-Verfahrens

Die Ergebnisse des Begutachtungsverfahrens sowie einer begleitenden Prüfung durch den Projektträger sind in Abbildung 8 zusammengestellt.

DEKLIM						
Climate development — from understanding variability to forecasting						
DEKLIM research projects						
to be funded by BMBF within the period 2001 — 2005						
Key field	Applied for		Granted		Success rate (%)	
	#	Amount Million DM	#	Amount Million DM	# of projects	
1	Climate system	33	42.1	6	7.5	18.2
2	Paleoclimate	20	32.7	6	13.6	30.0
3	BALTEX	15	32.1	5	12.9	33.3
4	Climate impact	25	82.7	2	6.0	8.0
5	Mitigation	10	26.3	2	4.2	20.0
6	Modelling	10	19.3	8	13.3	80.0
7	"Young scientists"	13	37.8	8	14.9	61.5
Total:		126	273.0	37	72.4	29.4

Summarised	Applied for		Granted		Success rate (%)	
	#	Amount Million DM	#	Amount Million DM	# of projects	
Classic climate research (climate system, paleoclimate, BALTEX & modelling)	78	126.2	25	47.3	32.1	
Climate impact research (impact & mitigation)	35	109.0	4	10.2	11.4	
"Young scientists"	13	37.8	8	14.9	61.5	
Total:	126	273.0	37	72.4	29.4	

Abbildung 8: DEKLIM research projects to be funded

Als wichtigstes Ergebnis bleibt festzuhalten: im Rahmen des neuen BMBF-Förderprogramms werden nun 37 Verbundprojekte (mit jeweils mehreren Forschergruppen, insgesamt über 100 Einzelprojekte) hauptsächlich in den nächsten drei Jahren gefördert werden (nur wenige Projekte haben längere Laufzeiten). Die gesamte Fördersumme beträgt 72.4 Mio. DM, der jährliche Durchschnitt liegt bei ca. 20 Mio. DM.

Ein Blick auf die thematische Zuordnung der künftigen Projekte liefert interessante Aufschlüsse:

Die Erfolgsrate im Bereich der Klimasystemanalyse ist mit 32% sehr gut (Zahl der bewilligten zur Zahl der beantragten Vorhaben) – auch ein Beweis für das hohe Qualitätsniveau in diesem Bereich. Andere Bereiche (auch frühere Programme) weisen im Vergleich hierzu niedrigere Werte auf (20-25%).

Von 13 Nachwuchswissenschaftlern konnten 8 in das Nachwuchsförderprogramm von DEKLIM aufgenommen werden – ebenso eine sehr erfolgreiche Bilanz. Allein für diese 8 Gruppen werden in den nächsten Jahren rd. 15 Mio. DM eingesetzt werden.

Ein anderes Bild ergibt sich im Bereich der Klimawirkungsforschung, der mit durchschnittlich 11% Erfolgsrate deutlich abfällt.

Als Fazit (Abbildung 9) bleibt festzustellen, dass die Integration der sozioökonomischen Beiträge in die von den Naturwissenschaften dominierte Forschung zum Klimawandel weiterhin als große Herausforderung bestehen bleibt. Diese Herausforderung muss aber bewältigt werden, sollen wirklich relevante Beiträge zur Erforschung des Klimawandels, seiner Auswirkungen und entsprechender Strategien zu seiner Bewältigung geliefert werden.

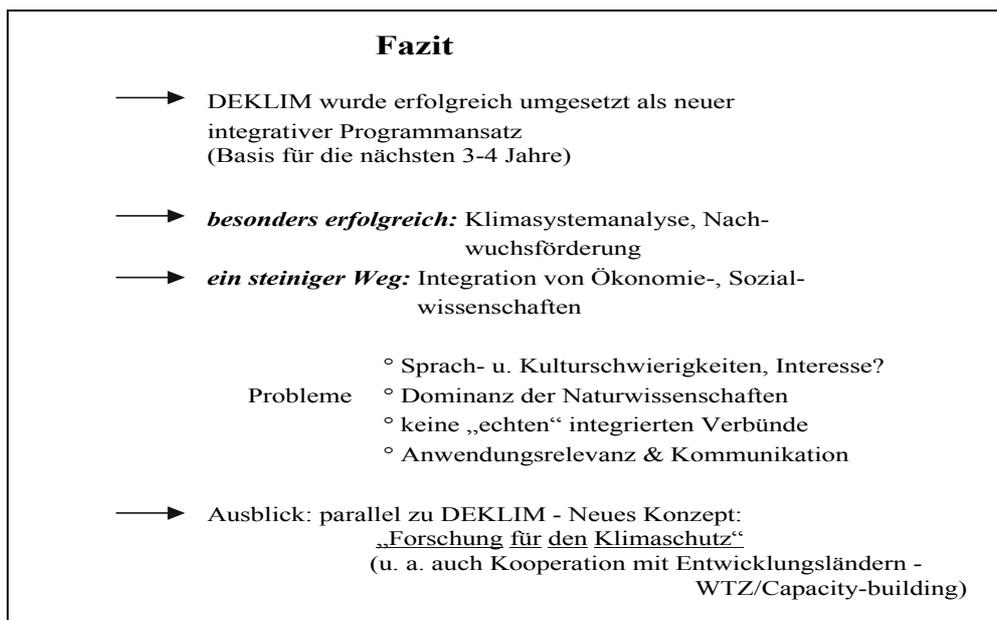


Abbildung 9: Fazit

Sicher sind die Probleme bei der Bildung wirklich integrativer, transdisziplinärer Forschungsverbünde, gerade unter Einbeziehung ökonomischer und soziologischer Forschung, verschieden begründet. Groß sind die Unterschiede in den Sprach- und Denkweisen der einzelnen Disziplinen, unterschiedlich stark auch deren Interesse an der Frage des Klimawandels.

Aus Sicht der Förderorganisation, die ihre eigenen Ansätze und Mechanismen überprüfen und der Entwicklung anpassen muss, ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass die bisher praktizierten Verfahren zur Erstellung von Förderprogrammen und ihrer Umsetzung überdacht werden müssen, zumindest dort, wo die Grenzen einzelner Forschungsdisziplinen oder der Naturwissenschaften insgesamt übersprungen werden müssen.

Transdisziplinäre Forschung vorzubereiten, wird in Zukunft bedeuten, bereits alle Akteure schon im Vorfeld intensiver einzubeziehen. Dies bedeutet konkret die Beteiligung der Gesellschaftswissenschaften bereits bei der Definition von Forschungsansätzen zur sozialen, ökonomischen und politischen Dimension des Klimawandels. Schließlich muss auch das Begutachtungsverfahren der Herausforderung transdisziplinärer Forschung stärker Rechnung tragen.

Mit dem DEKLIM-Bereich Klimawirkungsforschung wurde ein erster Schritt in die richtige Richtung gemacht, weitere müssen folgen. Verfahren, Ergebnisse und die hierdurch in der Wissenschaft ausgelösten Diskussionen haben wichtige Impulse und Anregungen für künftige förderpolitische Ansätze ergeben.

Auf deren Umsetzung wird man nicht lange warten müssen, denn parallel zu dem Anlaufen des DEKLIM-Programms sind bereits wieder neue Überlegungen gestartet worden, die auf eine sehr praktische und handlungsorientierte Seite im Umfeld des Klimawandels zielen: „Forschung für den Klimaschutz“ lautet der Arbeitstitel einer neuen, weiteren Programminitiative des BMBF.

Klimawandel als Problem internationaler Kooperation

Udo E. Simonis

Zusammenfassung: Der Klimawandel ist in seinen Ursachen wie in seinen Auswirkungen ein globales Problem *sui generis*. Anpassungs-, Minderungs- und Vermeidungsstrategien bedürfen der internationalen Kooperation und einer global konzipierten Klimapolitik.

1 Zunehmende globale Umweltprobleme

Ich möchte mit einer Frage beginnen, die man berühmten Leuten zu Anfang des Jahres gestellt hatte. Drei Fragen waren es:

- Was hätten Sie gerne vor zwei-, dreihundert Jahren studiert und erforscht?
- Was machen Sie jetzt?
- Woran würden Sie gern in Zukunft arbeiten?

Paul Crutzen, der Nobelpreisträger, gab darauf eine interessante Antwort: Er hätte Watson zuvorkommen müssen, der die Dampfmaschine erfand, die uns heute politisch in große Bedrängnis und das Klima morgen aus dem Gleichgewicht bringt, und stattdessen die Solarzelle erfinden sollen. Bei der Frage, was er heute mache, ging Crutzen auf seine Arbeiten zum Treibhauspotenzial der Entwicklungsländer ein. Und bei der Frage, was er wohl in Zukunft machen werde, zitierte er die Prognosen der Klimaforscher, zu denen er selbst gehört, und erinnerte an seine frühe Zeit als Deichbau-Ingenieur. Die Deiche müssten erhöht, neue Deiche müssten gebaut werden, gegen den Treibhauseffekt.

Nun mögen Sie jetzt schon fragen, was zu befürchten ist, was an Reaktionen auf den Klimawandel konzipiert ist und wie die Erfolgsaussichten einer international abgestimmten Politik sein könnten. Auf diese Frage sind mir zunächst drei vereinfachende, hypothetische Antworten eingefallen:

1. Es könnte sein, dass der „ökologische Fußabdruck“, den die Menschen und insbesondere die aus den Industrieländern auf dieser Welt hinterlassen, einfach zu groß ist für das Klimasystem.
2. Es könnte zum anderen sein, dass die „Nischentheorie“ von Herman Daly relevant wird, dass nämlich die Wirtschaft als Subsystem des globalen Ökologiesystems immer stärker expandiert hat und die Nischen, die da verbleiben, zu klein werden.
3. Sodann ist mir die Formel eingefallen, die von dem Ehepaar Anne und Paul Ehrlich zuerst formuliert wurde und als IPAT-Formel in die Literatur einging: Die Umweltwirkungen (*impacts*), mit denen wir es zu tun haben, sind eine Funktion dreier Kräfte: der zunehmenden Bevölkerung (*population*), des Verbrauchs an Gütern und Diensten (*affluence*) und der ökologisch nicht angepassten Technologie (*technology*).

Die Triebkraft Bevölkerungswachstum ist weiterhin sehr stark. Nach der neuesten Prognose der Vereinten Nationen (mittlere Variante) werden im Jahre 2050 9,4 Milliarden Menschen

auf der Erde leben, rund fünfzig Prozent mehr als heute. Die Spannbereite dessen, was möglich erscheint, ist allerdings sehr groß – je nach dem, wie weit man in die Zukunft schaut. Doch niemand erwartet eine Stabilisierung der Weltbevölkerung vor dem Jahr 2050. Weil das so ist und weil auch die Triebkräfte Ökonomie und Technologie jedes Jahr weiter expandieren, sind politische Reaktionen entstanden, die etwas abgeben könnten, was ich mit dem Begriff „Bausteine einer Welt-Umweltpolitik“ kennzeichnen möchte.

Je nachdem, wie man zählt, kommt man bei den internationalen Kooperationsvereinbarungen auf eine Größenordnung von sechs- bis neunhundert Verträgen, die in irgendeiner Weise mit ökologischen Problemen zu tun haben, wobei diese Probleme Gott sei Dank nicht alle globaler Natur sind wie das Klimaproblem, aber doch zumindest ubiquitär auftreten. Eine sektoral-aggregierte Sicht der Dinge ergibt das Bild von sechs bis acht Problembereichen und entsprechenden Politikfeldern (oder Bausteine einer Welt-Umweltpolitik). Es beginnt mit dem Ozonproblem und dem „Montrealer Protokoll“, es geht weiter mit dem Thema Klima und dem „Kyoto-Protokoll“, über das ich heute vor allem sprechen will; es umfasst die Überlegungen, wie man die Biodiversität der Welt stabilisieren könnte und die Sicherheit der Meere und auf den Meeren verbessern kann. Auch die Frage der zunehmenden Wüstenbildung in Teilen der Welt ist durch einen entsprechenden Vertrag in Angriff genommen worden. Zum Thema Wasser wird derzeit intensiv diskutiert, aber eine Konvention im Sinne eines völkerrechtlich verbindlichen Vertrages ist noch nicht in Sicht. Ebenso ist es mit dem Bodenschutz, während eine vertragliche Regelung zu den Persistent Organic Pollutants (POPS), zumindest in Bezug auf das sog. Schmutzige Dutzend (*dirty dozen*) an Chemikalien vor kurzem auf den Weg gebracht worden ist.

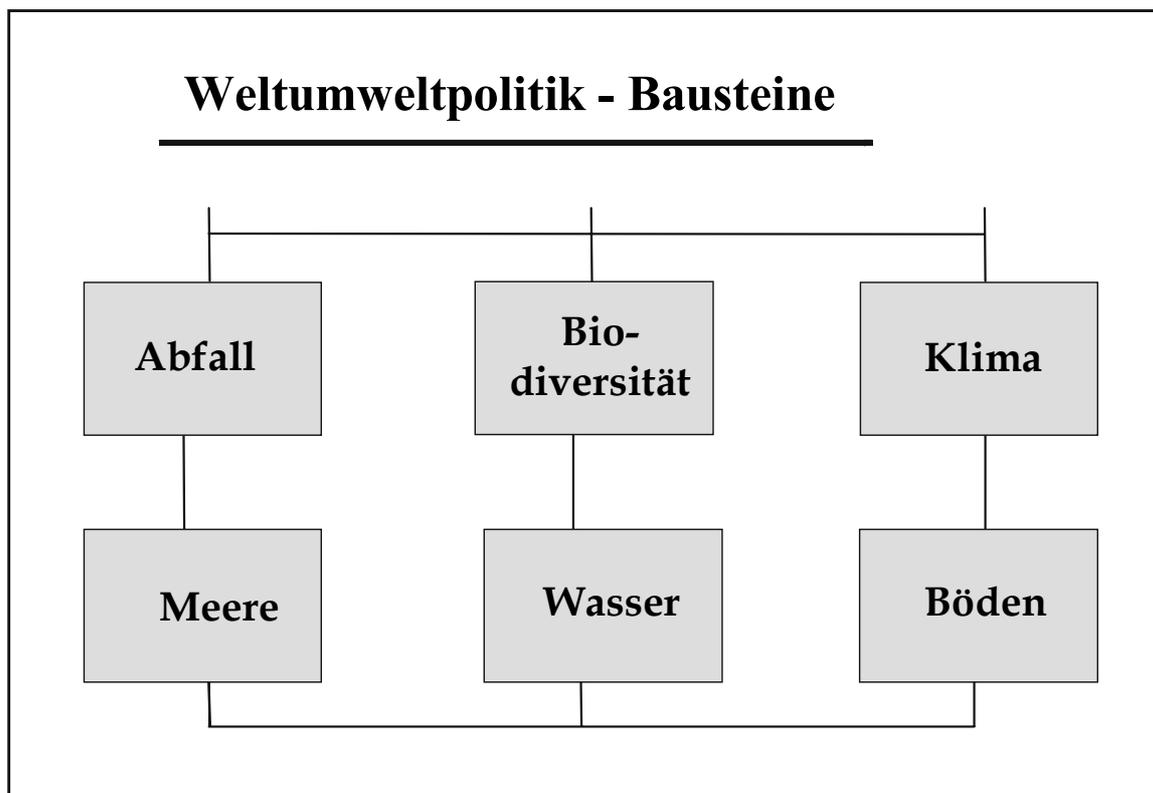


Abbildung 1: Bausteine einer Weltumweltpolitik

Nun kann das alles nicht mein Thema sein, obwohl alles mit allem zusammenhängt. Es geht hier primär um den Klimawandel als Problem internationaler Kooperation.

2 Das Klimaproblem und die Klimapolitik

Das Klimaproblem ist vor allem eine Folge der enorm angestiegenen und weiterhin ansteigenden Kohlendioxid-Emissionen. Es steht aber auch in einem Zusammenhang mit anderen Schadstoff-Emissionen und den Antworten, die darauf gefunden wurden. Der internationale Politikprozess begann mit einem relativ schnell erarbeiteten Vertrag über das Schwefeldioxid. Als die Diskussion über das Waldsterben zu Beginn der 80er Jahre virulent geworden war, wurde unter dem Dach der Vereinten Nationen in Europa ein SO₂-Vertrag beschlossen, der auf dreißig Prozent Emissions-Reduzierung innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums angelegt war. In ähnlicher Weise ist man vorgegangen bei den Stickoxid-Emissionen. Dann kam 1987, auf Basis einer UN-Konvention, die in Wien unterzeichnet worden war, das „Montrealer Protokoll“ zum Schutz der stratosphärischen Ozonschicht in Gang. Dieser Vertrag führte nach verschiedenen Verschärfungen in den Folgejahren in den Vertragsstaaten zu einem völligen Ausstieg aus der Produktion der Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Historisch war dies der erste Fall, dass im Konsens beschlossen wurde, aus etwas auszusteigen, was einmal als sehr nützlich gegolten hatte.

Die Emissionen an Kohlendioxid und anderer Treibhausgasen aber sind das Thema, auf das ich mich hier heute konzentrieren will – und das im Rahmen des „Kyoto-Protokolls“ angegangen werden soll. Zuvor müssen Sie allerdings noch etwas erfahren über die allgemeinen Tendenzen, die sich in Bezug auf den Klimawandel ergeben.

Das IPCC, das *Intergovernmental Panel on Climate Change*, hat zu Beginn des Jahres 2001 seinen dritten Sachstandsbericht vorgelegt. Dieses Gremium, der versammelte klimatologische Sachverstand, geht davon aus, dass unter Beachtung vielfältiger Annahmen bezüglich der ökonomischen, der demographischen und der technologischen Entwicklung es im Laufe dieses Jahrhunderts zu einer Steigerung der durchschnittlichen Erdtemperatur zwischen 1,5 und 5,8 Grad Celsius kommen wird und dass daraus gravierende Veränderungen entstehen werden – für bestimmte Regionen und Sektoren der Welt im Besonderen. Einer der gravierenden Effekte des sich verändernden Klimas wird der Anstieg des Meeresspiegels sein, der bis Ende des Jahrhunderts bis zu 88 Zentimetern betragen könnte. Die tiefliegenden Inselstaaten und die großen Flussdeltas werden davon besonders betroffen sein, aber auch viele Städte, die an der Küstenlinie liegen. Ich kann und will den IPCC-Bericht nicht weiter darstellen, doch sei der Hinweis gestattet, dass Sie sich das alles im Internet näher ansehen können.⁶ Drei Kurzberichte für Politiker waren bereits zu Beginn des Jahres verfügbar: Der eine beschreibt die Projektionen zum Klimawandel selbst, der zweite handelt von den damit einhergehenden Auswirkungen, die sowohl regional als auch sektoral betrachtet werden; der dritte Teilbericht enthält die eigentliche Politikantwort, er beschreibt die Maßnahmen, die man ergreifen könnte, um mit den prognostizierten Problemen umgehen zu lernen.

Dabei geht es vor allem um das, was die Politikwissenschaft in ihrer Sprachgewandtheit „Umweltregime“ nennt. Vom Grundsatz her gibt es hierbei höchst verschiedene Möglichkeiten. Eines der Beispiele, das ich vorhin nannte, war das Abkommen über das Schwefeldioxid. Dies war eine relativ spontane internationale Vereinbarung, weil man die Brisanz des Problems erkannt hatte und sagte, wir müssen schnell etwas tun. Die Frage, ob es aus mangelnder Einsicht aber auch erzwungene Vorgaben geben könnte, muss ich sehr wohl stellen. Wer nicht schnell genug lernt, den bestraft das Leben – dieser Gorbatschow'sche Grundsatz dürfte auch in der Klimapolitik gelten. Die andere Frage ist, ob und in welchem Umfange sich Poli-

⁶ <http://www.ipcc.ch/pub/tar/index.htm>

tik durch internationale Verhandlungen ergeben kann und umsetzen lässt. Dabei geht es nicht nur um die allgemeine Politikformulierung, sondern auch darum, welche Strategien dabei zum Einsatz kommen. Über was wird man sich zunächst und vor allem verständigen? Was sind die Ziele, Instrumente und institutionellen Mechanismen, auf die man sich einlässt?

Diese Frage nach den möglichen Strategietypen könnte man einerseits im Sinne einer pessimistischen Variante beantworten, indem man sagt: das Klimaproblem ist eigentlich gar nicht mehr lösbar, aber wir müssen uns anpassen. Das Beispiel des Deichbaus wäre hier in Erinnerung zu rufen. Es gibt aber auch die andere, die optimistischere Variante: also einiges ist schon noch zu machen, da kann man das ein oder andere noch verbessern. Vielleicht wäre es aber auch denkbar, dass das Vorsorgeprinzip international zum Zuge kommt, dass es um die Ursachen des Problems und nicht nur die Anpassung an die Folgen geht. Dies ist das strategische Spielfeld, in dem wir uns klimapolitisch befinden. Je nach der Voreingenommenheit beziehungsweise Interessenlage der Akteure, die dabei mitspielen, wird sich die eine oder die andere Strategie durchsetzen. Und das hat dann Konsequenzen und macht das ganze Feld höchst dynamisch.

3 Der Politikprozess

Wann kommt es überhaupt zu internationalen Vereinbarungen über Umweltthemen, wie geht das eigentlich vonstatten? Wer ist da derjenige, der etwas anstößt und was folgt daraus? In Bezug auf die Probleme, von denen ich bisher sprach, sind die Vereinten Nationen in aller Regel die Impulsgeber. In der Generalversammlung, in der alle Staaten dieser Welt vertreten sind, erfolgt der Anstoß, wenn sich eine überschaubare Interessenlage ergibt. Zumeist wird dann ein Komitee beauftragt, den Politikprozess in Gang zu setzen, was im Erfolgsfall zu einer Reihe von Vertragsstaatenkonferenzen (*Conferences of the Parties* – COP) führt, für die wiederum Arbeitsgruppen komplizierte Fragen aufgreifen, vertiefen und entscheidungsreif machen. Ein wichtiger Bestandteil dieses Prozesses kann in der Vereinbarung einer Berichtspflicht der Vertragsstaaten bestehen, wodurch das Problem eine gewisse Transparenz erfährt – und zur Mobilisierung von Öffentlichkeit führt.

Vielleicht sollte ich diese Vorgehensweise am Beispiel des Klimavertrages näher vorstellen. Hierzu wurde im Gefolge der UN-Konferenz über Umwelt- und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 eine Rahmenkonvention entworfen und verabschiedet, eine Art Absichtserklärung, in der das Klimaproblem in allgemeiner Form beschrieben ist.⁷ Das erste Umsetzungsprotokoll im Rahmen dieser Konvention ist das sogenannte Kyoto-Protokoll von 1997.⁸ Solche Umsetzungsverträge werden, was die laufenden Verhandlungen angeht, von einem Sekretariat vorbereitet und von einem Beirat begleitet. Es gibt also einen Mechanismus zum Ausgleich der zu klärenden offenen Fragen. Und es gibt vielleicht auch, aber nicht notwendigerweise, einen entsprechenden Finanzierungsmechanismus.

Dies ist die normale Vorgehensweise in der globalen Umweltpolitik – und sie hat, was die Klimaproblematik angeht, zu verschiedenen Stufen der internationalen Kooperation geführt. COP 1 fand 1995 in Berlin statt. Diese Konferenz hatte ein Mandat zur Folge, das heißt den Auftrag, ein Umsetzungsprotokoll vorzubereiten. Das Mandat wurde in Genf 1996 noch ein-

⁷ <http://www.unfccc.de/resource/docs/convkp/convger.pdf> (Englisch)
<http://www.unfccc.de/resource/docs/convkp/convger.pdf> (Deutsch)

⁸ <http://www.unfccc.de/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

mal verstärkt. Auf COP 3 in Kyoto kam es dann zum Abschluss des Vertrages (*Kyoto-Protokoll*). Bei den Folgekonferenzen COP 4 bis 6 ging es dann um die Frage, wie man den Vertrag im Detail interpretieren sollte und umsetzen kann.

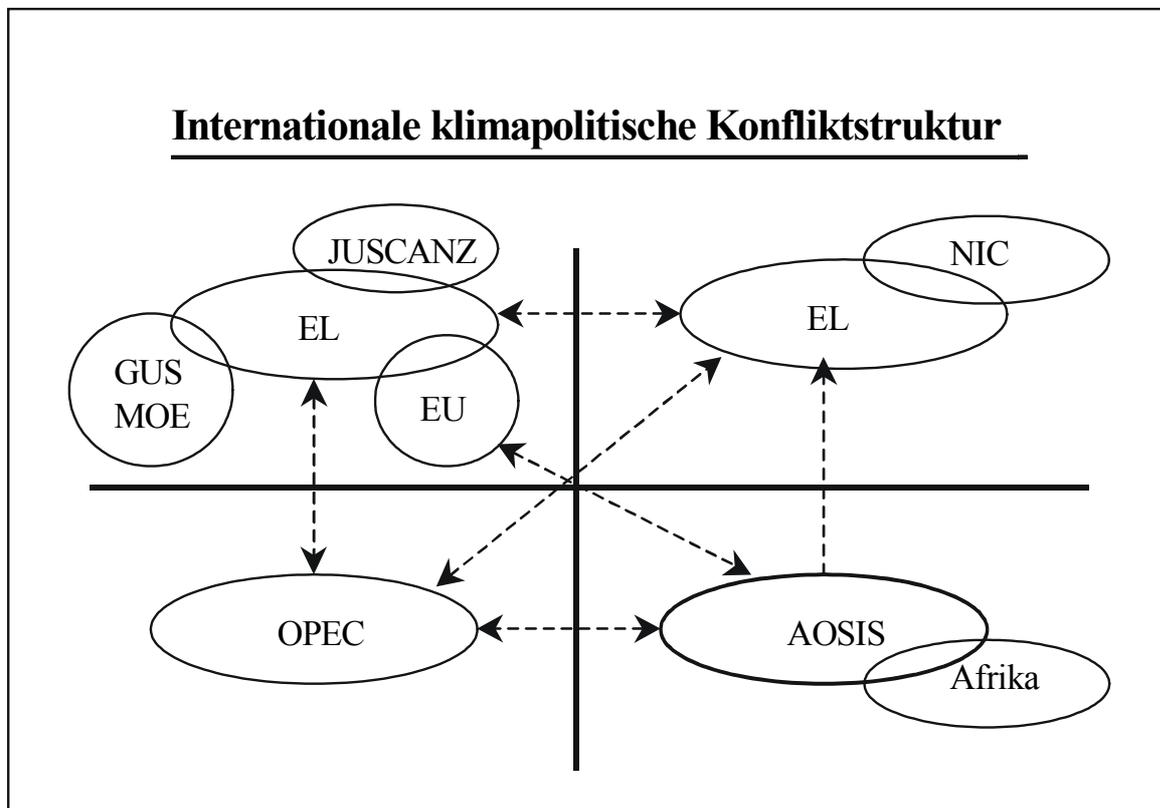
Wichtig in der UN-Klimarahmenkonvention ist zunächst die Zielformulierung des Artikels 2. Sie besagt, dass es darum geht, die Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre zu stabilisieren, auf einem Niveau, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung vermieden wird. Wenn man sich diese Formulierung durch den Kopf gehen lässt, könnte man hier schon sagen, dass man offensichtlich nicht mehr davon ausgeht, dass der Klimawandel noch aufzuhalten sei; es geht nur noch darum, dass er nicht gefährlich werden soll. Hinzu kommen noch verschiedene Nebenbedingungen, die in ähnlicher Weise ambivalent sind: Eine Nebenbedingung bezieht sich auf die Ökosysteme, die sich auf natürliche Weise an das sich ändernde Klima anpassen sollen. Die Frage ist, was das wohl bedeutet. Die andere Nebenbedingung besagt, die Nahrungsmittelerzeugung solle nicht von dem sich ändernden Klima bedroht werden. Hier ist sicherlich die Frage berechtigt, von welcher Nahrungsmittelerzeugung man ausgeht – sind das die Vegetarier oder sind das die Fleischesser? Die Beantwortung dieser Fragen der Nebenbedingungen hat dann wiederum Effekte auf die Treibhausgaskonzentration selbst.

Wie die allgemeine Zielformulierung des Kyoto-Protokolls konkretisiert werden kann, dazu hat es viele verdienstvolle und bedeutsame Arbeiten gegeben, unter anderem die Vorschläge der Klima-Enquete des Deutschen Bundestages von 1990. Bedeutsam, weil sie so etwas bewirkt haben wie einen ersten Konsens unter den Wissenden. Die Richtung und die Größenordnung, um die es dabei gehen muss, sind klarer geworden: Für die Welt als Ganzes (die globalen Emissionen) steht eine Halbierung der CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 an, auch wenn man den Entwicklungsländern ein nachholendes wirtschaftliches Wachstum zugestehen muss. Das bedeutet für die Industrieländer – und damit für uns – ein Reduktionserfordernis von 80 Prozent. Wir müssen also um einen Faktor 4 in der Energie-Effizienz (bzw. in der CO₂-Produktivität) besser werden *oder* um 80 Prozent schlanker - je nachdem, welches Bild Ihnen besser gefällt.

Nun werden Sie fragen, wie schlank oder wie fett sind wir denn? Dazu habe ich ein paar Beispiele mitgebracht. Hierbei stellen die USA ein großes Problem dar, vielleicht das größte: Mit nur 4,6 Prozent der Weltbevölkerung verursachen sie mehr als 25 Prozent der globalen CO₂-Emissionen. Auch die Bundesrepublik Deutschland ist ein Problem – sie liegt mit ihren Emissionen pro Kopf drei- bis viermal über dem, was das Klimasystem als Ganzes auf Dauer aushält. Wenn ich auf das Bild des „ökologischen Fußabdrucks“ noch mal verwenden darf: Wir leben CO₂-mäßig definiert etwa drei- bis viermal über unsere Verhältnisse, wissen das aber nicht, weil wir ja der Meinung sind, wir seien sehr erfolgreich – wirtschaftlich und kulturell verstanden. Wir sind also klimapolitisch ein großes Problem für die Welt. Ein Deutscher verbraucht im Durchschnitt zweimal so viel Energie wie ein wirtschaftlich ebenfalls recht erfolgreicher Japaner, aber neunmal mehr als ein Chinese und 105mal mehr als ein Bangladeshi – um nur wenige Beispiele zu nennen.

Hier, in der Emittentenstruktur, liegt also ein großes Konfliktpotenzial der internationalen Klimapolitik. Zunächst einmal gibt es den traditionellen Konflikt zwischen Industrieländern und Entwicklungsländern; die Industrieländer mit ihren hohen Pro-Kopf-Emissionen, die Entwicklungsländer und Schwellenländer mit ihren hohen wirtschaftlichen Wachstumserwartungen. Wir haben aber auch den alten Konflikt zwischen den Industrieländern als Konsumenten billiger fossiler Energien und den gewinnorientierten Anbietern, den OPEC-Staaten. Wir haben zudem keine Einheitlichkeit unter den Industrieländern und auch keine unter den Entwicklungsländern. Hier ist insbesondere die Ausdifferenzierung der klimapoliti-

schen Interessenlage im Vergleich zur entwicklungspolitischen Interessenlage zu erkennen durch die Bildung der AOSIS-Gruppe, jener Inselstaaten, die vom Anstieg des Meeresspiegels besonders bedroht sind und sich damit aus der Phalanx der G77 verabschiedet haben, was die Klimapolitik angeht. Doch das politisch Interessante sind die neuen Allianzen: Es gibt viele gemeinsame Interessen zwischen einigen fortschrittlichen Industrieländern und einer Gruppe der potenziell am stärksten bedrohten Entwicklungsländer.



Legende:

AOSIS	Allianz der kleinen Bundesstaaten	JUSCANZ	Japan, USA, Kanada, Australien, Neuseeland
EL	Entwicklungsländer	MOE	Mittel- und Osteuropäische Länder
EU	Europäische Union	NIL	Neue Industrieländer
GUS	Gemeinschaft unabhängiger Staaten	OPEC	Erdölexportländer
IL	Industrieländer		

Abbildung 2: Internationale klimapolitische Konfliktstruktur

Ich erwähnte soeben die Unterschiede in der Gruppe der Industrieländer. In der Doktorarbeit eines holländischen Kollegen stand die Frage im Mittelpunkt, wie es um die Opfer-, die Verschmutzer- und die Helferinteressen bestellt ist. Das Ergebnis des Vergleichs der USA, Englands und Deutschlands: Es gibt sehr starke Verschmutzer-Interessen in England und in den USA im Vergleich zur Industrie in Deutschland, die ökologisch sensibel geworden ist und weiß, dass es klimapolitisch ein Problem gibt. Was die Helfer-Interessen angeht, insbesondere auch die Rolle der Wissenschaft, so gibt es ebenfalls eine unterschiedliche Situation: sehr stark in Deutschland und England, sehr schwach in den USA. Was die Frage der Solidarität mit den potenziellen Opfern des Klimawandels angeht, ist auffallend, dass nicht einmal Deutschland und England einer Meinung sind. In den USA scheint die Frage der internationalen und intergenerativen Solidarität klimapolitisch einfach nicht vorhanden zu sein.

„America first“, das ist die Position der neuen US-Regierung und die ist eindeutig. Doch auch wenn man die klimapolitischen Eliten von Deutschland und USA befragt, stellt man erhebliche Unterschiede fest. Wir kommen nicht zueinander, weil die Sichtweisen des Problems zu unterschiedlich sind; von der Grundsatzfrage, wie was mit wem zusammenhängt bis zum Grundansatz der zu ergreifenden Politik, Markt oder Staat, Steuern oder Zertifikate.

4 Das Kyoto-Protokoll

Wir haben jedoch das Kyoto-Protokoll von 1997, das nach der erforderlichen Ratifizierung (mindestens 55 Vertragsstaaten und 55 Prozent der Industrieländer-Emissionen) wohl im Jahre 2002 in Kraft treten wird. Es enthält eine Zielkonkretisierung, nämlich die Reduzierung der CO₂-Emissionen von 21,7 Milliarden Tonnen im Jahre 1995 auf 20 Milliarden Tonnen in der ersten Budgetperiode 2008-2012. Das entspricht im Vergleich zur Ausgangslage 1990 einem Reduzierungssatz von 5,2 Prozent. „Das ist zu wenig“, sagen alle Wissenschaftler und alle Umweltverbände. „Das ist nicht realistisch“, sagen fast alle Vertreter der Wirtschaft, weil die globale Wirtschaft weiter zunimmt und damit auch die mit dem Wachstum verbundenen Emissionen. Unter Status-quo-Bedingungen wäre für den Zeitraum 2008-2012 nicht mit 20 Milliarden, sondern mit etwa 30 Milliarden Tonnen zu rechnen. Wenn man diesen Status-quo-Ansatz von etwa 30 Prozent Steigerung mit dem förmlich beschlossenen 5,2 Prozent Reduzierung vergleicht, steht das Kyoto-Protokoll gar nicht so schlecht da. Das Ergebnis von Kyoto beruht zudem auf einer Differenzierung, das heißt der Frage: Wie gehen wir miteinander um? Von den 190 Staaten dieser Welt wurden 38 Länder zur Emissionsreduzierung verpflichtet - allesamt Industrieländer. Für die internationale Klimapolitik gilt also das Prinzip der „gemeinsamen, aber differenzierten Verantwortung“.

Diese Differenzierung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern bildet zugleich einen der entscheidenden Einwände, die Präsident Bush vorgebracht hat: „I oppose the Kyoto Protocol“. Die Beteiligung der Entwicklungsländer ist für ihn, aber auch für andere eine Kernfrage, um die es in Zukunft immer wieder gehen wird. Man hat umgekehrt aber auch nicht den Weg gewählt zu sagen: Jeder Mensch hat ein gleiches Emissionsrecht, das sich aus der global zulässigen Emissionsmenge ergibt. Das hieße klimapolitisch Gleichheit vor dem Gesetz, so wie es in der Präambel der Vereinten Nationen steht: Alle Menschen sind gleich!

Wenn alle Menschen gleich wären, klimapolitisch gesehen, dann hätten jene Länder, die 20 Tonnen CO₂ auf dem Buckel haben (wie die USA) im Vergleich zu jenen, die eine Tonne tragen (wie Indien), ein Problem. Gleichheit in diesem Sinne zu verlangen, hieße wohl die Revolution einzufordern. Das also ist nicht Wirklichkeit geworden. Man hat sich auf eine eher undurchsichtige, zufällige Differenzierung geeinigt: Island hat man zehn, Australien acht und Norwegen ein Prozent zusätzlicher Emission eingeräumt, Russland und Ukraine erhielten eine Status-quo-Vorgabe, was wegen des wirtschaftlichen Rückgangs dieser Länder einer absoluten Privilegierung gleichkommt. Deutschland hat sich nach dem Kyoto-Protokoll zu einer Reduzierung von 8 Prozent verpflichtet, auf Minister-Ebene jedoch auf minus 21 Prozent innerhalb der EU, während Griechenland, Spanien und Portugal (unter einer europäischen Glocke sozusagen) zusätzlich emittieren dürfen.

Das war ein kurzer Überblick über die Zieldebatte. Daneben geht es aber auch und vor allem um die Instrumente. Wenn man sich über Ziele einigt, muss man ja wissen, welche Instrumente man einsetzen will. Umweltpolitisch lassen sich eine Reihe möglicher Instrumente vorführen. Da gibt es die Möglichkeit der Direkt-Regulierung der Technologie, durch Leistungs-

standards, durch Mengenbegrenzung oder Verbote, da gibt es ökonomische Anreize, im Sinne von Abgaben vielfältiger Art, von Pfandsystemen und handelbaren Zertifikaten. Und da gibt es andere Instrumente, wie das der strikten Haftung. Dies ist also ein komplexes Feld. Die Frage, worauf man sich international einigen kann, ist dagegen eher begrenzt.

International rückte das Thema „Handel mit Emissions-Zertifikaten“ (*emissions trading*), das heißt eine Mengelösung, in den Vordergrund. Wenn man dagegen eine Preislösung (also eine Emissionsabgabe oder eine Energiesteuer) präferiert, dann haben wir das Akzeptanzproblem, das sich um die „Öko-Steuer“ rankt. Da muss ich Ihnen nicht viel erzählen. Dass man dieses Instrument aber sehr wohl einsetzen kann und vielleicht sogar in einer klugen Kombination von Energiesteuer und CO₂-Abgabe, das machen uns die skandinavischen Länder vor. Der Steuersatz ist dort allerdings unterschiedlich, in Schweden sehr hoch, in Dänemark relativ niedrig, und auch die Kombination einer Steuer auf Energie einerseits und einer Abgabe auf Emissionen andererseits ist sehr unterschiedlich ausgefallen. Warum verhandelt man aber nicht über eine weltweite Steuer, sei es eine Emissionsabgabe oder eine Energiesteuer? Ich denke die Antwort liegt darin, dass man sich darauf nicht einigen könnte, weil man nicht weiß, was die mengenmäßigen Effekte einer solchen Steuer sind. Je nach Marktverhältnissen sind ganz unterschiedliche Mengeneffekte zu erwarten. Auf einem Markt, wo die Nachfrage und das Angebot relativ unelastisch sind, wird der Reduzierungseffekt sehr viel kleiner sein als auf einem Markt, wo relativ flexible Verhältnisse herrschen. Man wüsste also den Steuersatz, aber man kennt nicht den CO₂-Minderungseffekt. Deswegen präferieren fast alle Ökonomen, mich eingeschlossen, die Zertifikate-Lösung: Handel mit Emissions-Zertifikaten bedeutet eine genau definierbare mengenmäßige Vorgabe, die man exakt einhalten kann. Was bei der Emissions-Zertifikate-Lösung aber offen bleibt, ist die Frage des Preises eines Zertifikats. Man weiß also nicht, wie teuer einen das zu stehen kommt. Fazit: Bei einer Steuer weiß man, wie hoch der Steuersatz ist, aber nicht, wie stark der Mengeneffekt ist. Bei einem Emissions-Zertifikat hat man die Menge definiert, aber man weiß nicht, was es kostet. Und deswegen kann man leicht dafür oder dagegen sein.

Doch wo es *pro* und *contra* gibt, da fällt einem meistens noch was Drittes ein. Im Kyoto-Protokoll hat man sich zwar nicht auf eine Steuer geeinigt, aber auf etwas Ähnliches, den *clean development mechanism* (CDM). Das ist das Angebot an die wenig entwickelten Länder, klimapolitisch zu kooperieren, wenn sie dafür einen Finanzausgleich erhalten. Hier geht's um Entwicklungshilfe, also Nord-Süd-Politik, unter dem Gesichtspunkt des Klimaschutzes. Dagegen geht es beim Emissions-Zertifikate-Handel zunächst nur um Handel zwischen den Industrieländern. Beim dritten Element der Kyoto-Mechanismen, bei *joint implementation*, geht es um Beziehungen zwischen den reichen Industrieländern und den weniger reichen, also beispielsweise Deutschland und Russland. Die mit gemeinsamen Projekten zu erzielenden Emissions-Reduzierungen – beispielsweise in Russland – sollen ganz oder teilweise anderswo – beispielsweise in Deutschland – auf dem nationalen Klimakonto gutgeschrieben werden können, eine Kooperation ganz eigener Art.

5 Institutionelle Innovation auf globaler Ebene

Ziele sind das eine, Instrumente und Maßnahmen das andere. Das Dritte, was bei jeder internationalen Politik dazu gehört und worüber man sich auch im Klaren sein muss, ist der institutionelle Rahmen, in dem Politik geschieht. Was waren die Marksteine solcher institutionellen Vorkehrungen, was ist auf den großen internationalen Konferenzen jeweils herausgekommen – und: was könnte auf der UN-Konferenz über Nachhaltige Entwicklung („Rio +

10“) in Johannesburg im Jahr 2002 herauskommen? Das große institutionelle Ergebnis der ersten Stockholm-Konferenz von 1972 war das UN-Umweltprogramm (UNEP). Das „Montrealer Protokoll“ von 1997 hat einen Multilateralen Finanzfonds hervorgebracht,⁹ der sehr erfolgreich ist, mit dem man inzwischen nahezu 2000 Projekte finanziert hat. So wurde unter anderem der Ausstieg aus der FCKW-Produktion in Indien finanziert, kürzlich erhielt China 200 Millionen US Dollar für die Umstrukturierung ozonschädigender Produktionen. Was aber geschieht institutionell bei „Rio + 10“?

Dass etwas geschehen muss, zeigt der Blick auf die Vereinten Nationen selbst. Umweltpolitik kommt in der Grundstruktur der Vereinten Nationen eigentlich nicht vor. Neben der Generalversammlung gibt es den Wirtschafts- und Sozialrat und den Sicherheitsrat. Es gibt auch noch den Treuhandrat, der aber keine Aufgabe mehr hat. Und dann gibt es das Sekretariat und den Generalsekretär. Auch in zahlreichen unterbreiteten UN-Reformvorschlägen ist das Ökologie-Thema kaum zu finden. Was man findet sind gewisse untergeordnete Sekundäraktivitäten, wenn ich das mal so nennen darf. Dem Wirtschafts- und Sozialrat untersteht beispielsweise das UNEP; dies ist aber keine Behörde, wie in deutschen Zeitungen immer wieder falsch berichtet wird, es ist nur ein Programm. Programm heißt, es hat viele gute Absichten, aber nicht einmal ein festes Budget. Das, was UNEP an Mitteln zur Verfügung hat, ist jedes Jahr höchst unterschiedlich. Es gibt keine Pflichtbeiträge, es gibt keine regulären Einnahmen, das Programm ist abhängig von gutmeinenden Zuwendungsgebern. Und deren Absichten wandeln sich. Je nachdem, was man für eine Politik macht, wird man unterstützt oder nicht. Das ist, so denke ich, ein unhaltbarer Zustand. UNEP hat, je nachdem wie man zählt, zwischen 350 und 530 Mitarbeiter. Wie viel Mitarbeiter hat dagegen das Umweltbundesamt in Berlin – ungefähr 1 100. Die Environment Protection Agency der USA hat sogar mehr als 10 000 Mitarbeiter. Wie also will man mit dem schwachen UNEP die globale Ökologie retten?

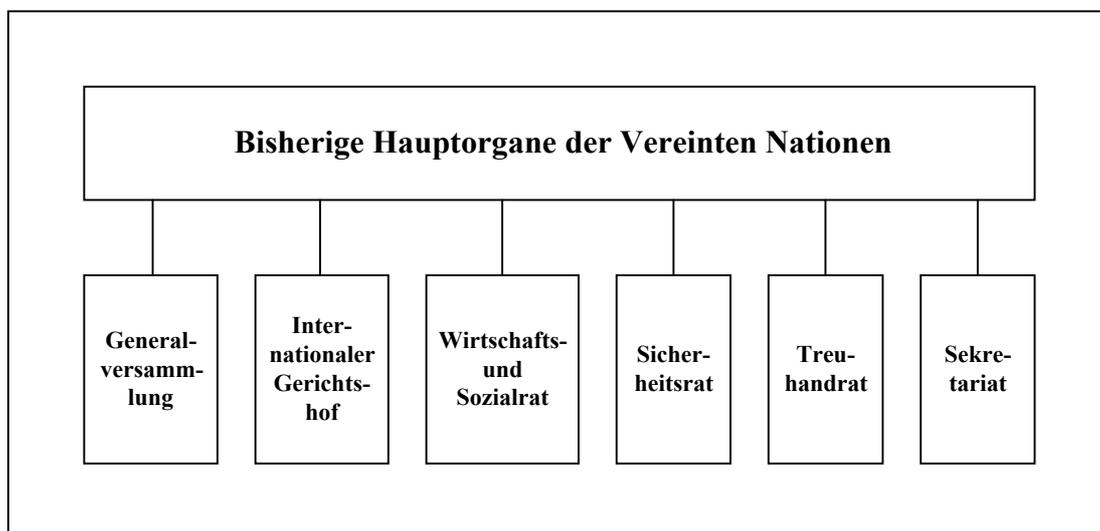


Abbildung 3: Hauptorgane der Grundstruktur der Vereinten Nationen

In Rio de Janeiro hatte man 1992 die Kommission für Nachhaltige Entwicklung (*Commission on Sustainable Development*) beschlossen, ein mehr oder weniger regelmäßiges Treffen der Umwelt- und Entwicklungsminister aus 55 Staaten der Welt. Daneben gibt es seit 1994 in veränderter Form einen globalen Finanzmechanismus – die *Global Environment Facility* (GEF), ein an die Weltbank angehängter Fonds, bei dem das UN-Umweltprogramm (UNEP) und das UN-Entwicklungsprogramm (UNDP) mitreden dürfen – von vielen verdächtigt, nur

⁹ <http://www.unep.ch/ozone/Montreal-Protocol/Montreal-Protocol2000.shtml>

ein Weltbank-Ableger zu sein, von anderen immerhin wohlwollend betrachtet, weil es nichts Anderes gibt.

Was nun die Frage der Reform des UN-Systems angeht, und insbesondere der Verbesserung seiner umweltpolitischen Kompetenz, so würde ich drei Möglichkeiten unterscheiden wollen: (1) Man könnte sagen, wir brauchen bessere Koordination; das ist das Mindeste. Es ließe sich (2) aber auch sagen, UNEP ist nicht stark genug, um gleichberechtigt zu kooperieren – beispielsweise nicht mit der Welthandelsorganisation (WTO), nicht mit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) – und das sind Kategorien, die doch eigentlich zusammenkommen müssen: die Ökologie, die Ökonomie und die Gesundheit der Menschen. Sodann aber gibt es (3) die Idee, dass etwas grundsätzlich besser werden muss, dass es einer echten institutionellen Innovation bedarf. Wir müssen zu einer integrierten Politik auf der globalen Ebene finden. Je nachdem, ob man sich eine Globale Umweltorganisation (*Global Environment Organization*) vorstellt oder eine Weltumwelt- und Entwicklungsorganisation (*World Environment and Development Organization*), mit der die Interessen der Entwicklungsländer mit in den Blick kommen, ist das Ergebnis ein anderes.

Das ist das Thema, an dem ich selbst (und andere) seit einiger Zeit arbeite – und für das ich auch hier und heute werben möchte. Dass man aus UNEP eine schlagkräftige Weltumwelt- und Entwicklungsorganisation machen sollte, beinhaltet auch die Frage, wie das mit den anderen bestehenden Institutionen verknüpft werden könnte, beispielsweise mit den relativ gut funktionierenden UN-Organisationen wie FAO, WHO, WMO und ILO. Da geht es aber auch und besonders um den Zusammenhang mit der Weltbank und der Welthandelsorganisation, ein großes Konfliktthema. Die Welthandelsorganisation wird von den meisten Umweltschützern in die Ecke gestellt – nicht erst seit Seattle und Genua. Es gibt keinen echten Dialog, es gibt nur aggressive Ablehnung. Dass sich das ändern muss, der Ökonomie wie der Ökologie zuliebe und auch in Bezug auf die Rolle der UN-Generalversammlung als Vertreterin globaler Interessen, das ist ein Zusammenhang, in dem man vielleicht sinnvoll argumentieren könnte.

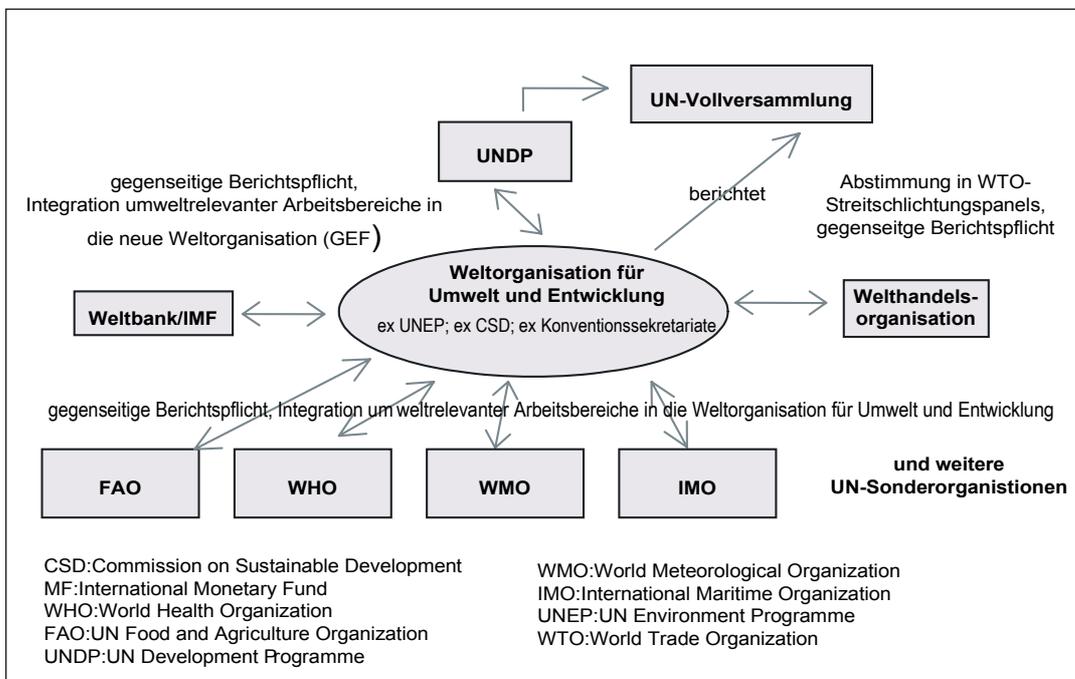


Abbildung 4: Strukturvorschlag für eine stärkere organisatorische Verankerung von Umweltpolitik im Rahmen der Vereinten Nationen

Literatur

- Benedick, R. E. (1998): Ozone Diplomacy. New Directions in Safeguarding the Planet, Cambridge, Mass., London: Harvard University Press.
- Biermann, F. (1998): Weltumweltpolitik zwischen Nord und Süd. Die neue Verhandlungsmacht der Entwicklungsländer, Baden-Baden: Nomos.
- Gehring, Th., S. Oberthür (Hg.) (1997): Internationale Umweltregime. Umweltschutz durch Verhandlungen und Verträge, Opladen: Leske + Budrich.
- JAHRBUCH ÖKOLOGIE 1992-2002 (1991-2001): München: C.H.Beck.
- Kaiser, K., H.P. Schwarz (Hg.) (2000): Weltpolitik im neuen Jahrhundert, Baden-Baden: Nomos.
- Kreibich, R., U. E. Simonis (Hg.) (2000): Global Change – Globaler Wandel. Ursachenkomplexe und Lösungsansätze. Causal Structures and Indicative Solutions, Berlin.
- Simonis, U. E. (Hg.) (1996): Weltumweltpolitik. Grundriß und Bausteine eines neuen Politikfeldes, Berlin: Edition Sigma.
- Stiftung Entwicklung und Frieden (2000): Globale Trends 2001, Frankfurt a. M.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2001): Welt im Wandel. Neue Strukturen globaler Umweltpolitik, Berlin.

Klimawandel als Problem ökonomischer Strukturen

Georg Erdmann

Zusammenfassung: Aus Sicht der Wirtschaftswissenschaften ist das Klimaproblem auf die Externalität von Kosten zurückzuführen: Weil die mit klimabedingten Schäden verbundenen Kosten nicht in den aktuellen Energiepreisen enthalten sind, werden sie für die Marktteilnehmer nicht fühlbar und können damit auch nicht deren Verhalten beeinflussen. Zur Überwindung dieses Marktversagens ist die Internalisierung der Kosten notwendig, etwa durch CO₂-Steuern oder handelbare Emissionszertifikate. Gefragt ist hier der Staat, wegen der Globalität des Klimaproblems insbesondere die internationale Politik. Doch gibt es bislang kein einziges Beispiel für eine wirklich erfolgreiche Internalisierungspolitik auf nationaler oder internationaler Ebene. Das einzige bislang mit messbarem Erfolg eingesetzte Instrument beruht auf sogenannten freiwilligen Maßnahmen der Industrie. In Deutschland beispielsweise hat die Industrie ihre Zusagen für 2005 bereits erreicht beziehungsweise übererfüllt. Diese aus theoretischer Sicht paradoxe Beobachtung ruft nach einem Überdenken des umweltökonomischen Modells.

1 Einleitung

Die Kernthese meines Vortrags lautet: Es ist offensichtlich erfolgversprechender, wenn die Wirtschaft dazu motiviert werden kann, die Klimaverpflichtung freiwillig und in eigener Regie umzusetzen, als wenn der Staat mit einem mehr oder weniger breitem Fächer von Instrumenten und Maßnahmen versucht, Klimaziele umzusetzen.

Bevor ich diese These näher diskutiere, möchte ich mich beziehungsweise mein Fachgebiet Energiesysteme zunächst kurz vorstellen. Wir sind noch nicht sehr alt, denn erst 1995 wurde dieser Lehrstuhl an der TU Berlin als neues Fachgebiet im Institut für Energietechnik gegründet. Ich interpretiere die Energiesystemanalyse als Aufgabe, Energietechnik unter dem Gesichtspunkt der Märkte zu betrachten und dabei das wirtschaftswissenschaftliche Instrumentarium einzusetzen. Im Rahmen unserer Forschungsaktivitäten schauen wir uns an, wie Energiemärkte funktionieren und wie sich neue Technologien auf diesen Energiemärkten einführen lassen. Auch die umgekehrte Frage interessiert uns: wie wirkt die Markteinführung neuer Techniken, zum Beispiel Brennstoffzellen, auf die vorhandenen Energiemarktstrukturen. Im Rahmen dieser Forschungsorientierung haben wir bereits in kurzer Zeit eine ganze Reihe von Projekten durchgeführt, die meisten davon in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft. Wir sind daher ein stark anwendungsorientiertes Fachgebiet. Vor etwa einem Jahr haben wir eine neue Initiative gestartet, die wir Prognoseforum nennen und zwar in Verbindung mit einem eigenen Internet-Auftritt (www.prognoseforum.de). Unser Schwerpunkt sind Energiepreise, insbesondere die Preisentwicklung der soeben liberalisierten Strom- und Gasmärkte. Dies ist im Moment ein sehr spannendes Thema, welches wir durch Diskussionsbeiträge und Prognosen auf unserer Homepage aufgreifen und in Form von Workshops zu Energiepreisen und deren Prognose mit interessierten Personen diskutieren.

2 Reduktion der Treibhausgasemissionen

Aber unser Thema hier sind die Treibgasemissionen. Vor der Diskussion politischer, insbesondere wirtschaftspolitischer Maßnahmen möchte ich kurz den Stand der Maßnahmen zur

Treibhausgasreduktion in Deutschland und der Europäischen Union verdeutlichen. In dem vom Kyoto-Protokoll definierten 6 Treibhausgasen ist das Kohlendioxyd (CO₂) zweifellos das bedeutsamste, aus energetischer Sicht spielt aber auch das Methan CH₄ (praktisch unverbranntes Erdgas) und das Lachgas N₂O eine Rolle. Gegenüber einem CO₂-Molekül hat ein Erdgas-Molekül eine 21 mal so starke Klimawirksamkeit und deswegen ist es gerade im Hinblick auf das Umweltgefährdungspotenzial sehr wichtig, sich auch mit Methan zu beschäftigen.

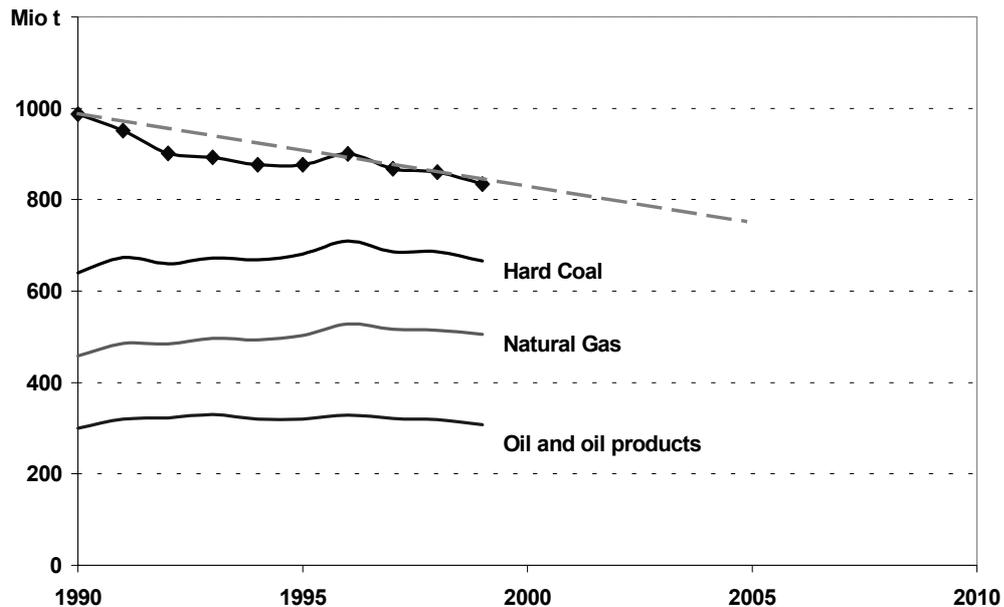


Abbildung 1: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Deutschland

Abbildung 1 zeigt die CO₂-Emissionen seit 1990 für Deutschland. Die gestrichelte Linie bezeichnet hier das Klimaziel der Bundesregierung aus dem Jahr 1990 (25%-Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2005 gegenüber 1990), und es ist eigentlich schon ziemlich erstaunlich, wie nah man sich bislang entlang dieser Ziellinie bewegt hat. Kaum ein Experte hätte dies im Jahr 1990 für möglich gehalten, die Meinung war seinerzeit, daß ein solch ehrgeiziges Ziel ohne besonders einschneidende politische Maßnahmen nicht verwirklicht werden könnte.

Nun hat es den Zusammenbruch der DDR-Wirtschaft nach der Deutschen Vereinigung gegeben, und dabei ist die Nutzung von Braunkohle stark zusammengeschrumpft. Ohne diese Entwicklung wäre man in Deutschland klimapolitisch zweifellos noch nicht so weit wie in der Figur dargestellt.

Aber auch innerhalb der letzten 5 Jahre, wo dieser vereinigungsbedingte Effekt keine Rolle mehr spielt, ist ein weiterer trendbehafteter Rückgang zu verzeichnen. Die letzte Zahl aus dem Jahr 2000 deutet auf einen erneuten Anstieg der Treibhausgasemission von 0,5% gegenüber dem Vorjahr hin. Aber das Jahr kann eine Ausnahmeerscheinung sein, und wenn man nicht – wie in den letzten beiden Jahren – auf Bundesebene zu viele Fehler macht, die zu einem weiteren Ansteigen der Treibhausgasemissionen führen, halte ich das 25-Prozent-Ziel jedenfalls von der Größenordnung her für erreichbar.

Die Europäische Union (EU) hat sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls verpflichtet, die Emissionen der sechs Treibhausgase zwischen 1990 und 2010 um insgesamt 8,5% zu reduzieren. Diese Verpflichtung bezieht sich – anders als das Ziel der Bundesregierung aus 1990 – auf den Korb von 6 Treibhausgasen. In einem kürzlich erschienenen Report der Europäischen Umweltagentur EEA wird deutlich, dass auch dieses Ziel durchaus in Reichweite ist, wenn sich die Trends der letzten 10 Jahre (wo es praktisch noch keine wirklich griffige Treibhauspolitik gab) fortsetzen lassen. Wir befinden uns weitgehend auf einer Trajektorie, die jedenfalls in der Größenordnung in die richtige Richtung weist. Die dunkle Linie in Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der EU für den Korb aus den drei wichtigsten Treibhausgasen, die helle Linie zeigt die Entwicklung der CO₂-Emissionen. Man erkennt, dass es vor allem Erfolge bei den Methan- und den Lachgas-Emissionen sind, denen der bisherige Reduktionserfolg zu verdanken ist.

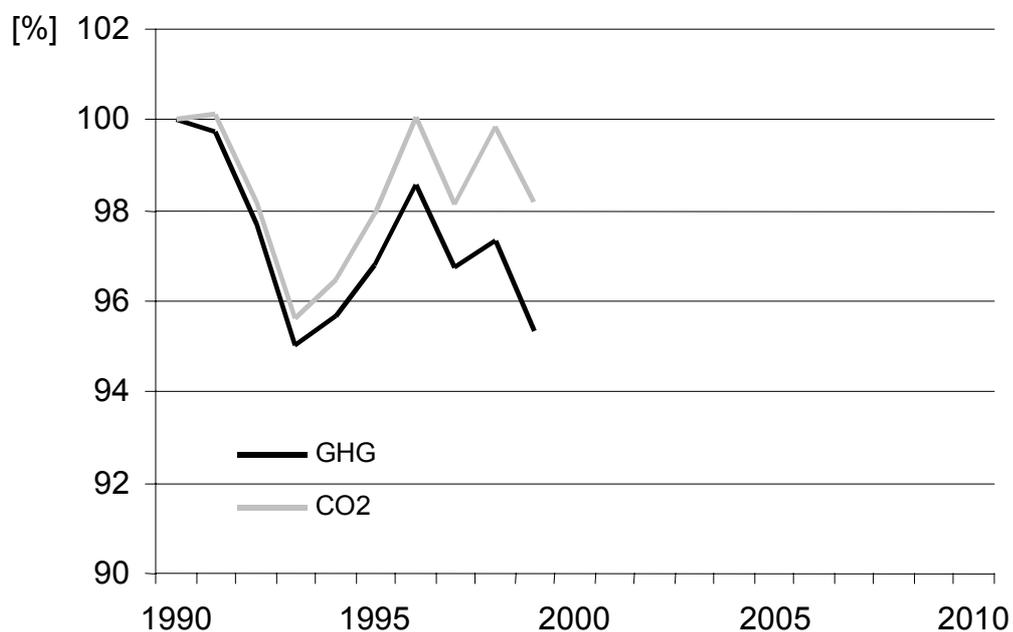


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union (EU₁₅)

Das Treibhausziel der EU wurde im Rahmen des sogenannten *Burden-sharings* auf die 15 Mitgliedsländer aufgeteilt, und zwar dergestalt, dass die einzelnen Länder unterschiedliche Reduktionsverpflichtungen gegenüber 1990 zu erfüllen haben (dunkle Säulen in Abbildung 3). Deutschland muss beispielsweise -21% leisten, andere Länder haben sich zu geringeren Reduktionen verpflichtet (Frankreich beispielsweise 0%), und dann gibt es noch Länder wie Griechenland und Spanien, die in Rahmen dieser Verpflichtung ihre Emissionen noch vergrößern dürfen.

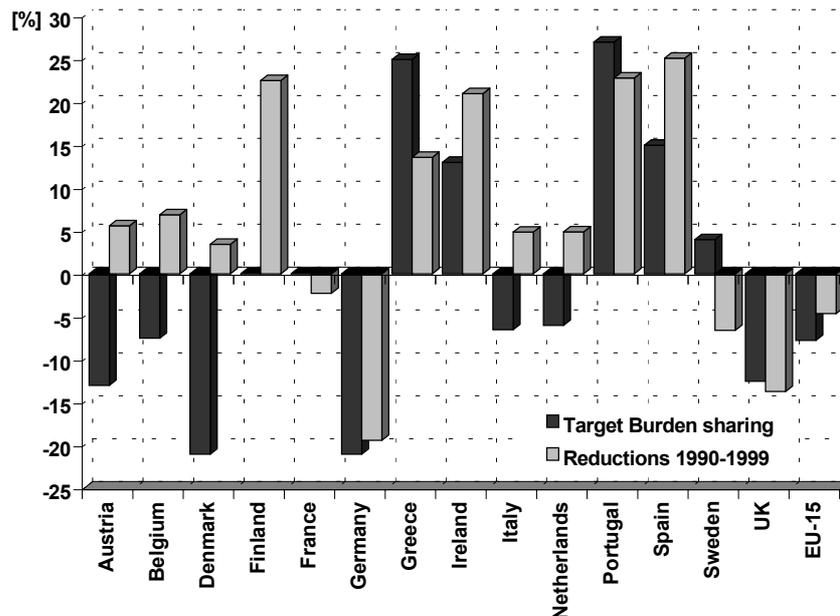


Abbildung 3: Burden sharing beim Klimaschutz in der EU₁₅

Wenn man sich die Entwicklung bis 2000 anschaut (das sind die hellen Säulen in Abbildung 3), so gibt es eigentlich nur wenige Länder, die sich erkennbar an ihre Verpflichtungen halten, insofern sie dem richtigen Trend folgen. Nun müssen die Verpflichtungen erst in rund 10 Jahren erfüllt sein, und eine Trendumkehr ist über einen solchen Zeitraum immer noch möglich. Doch wird das Ziel *de facto* um so anspruchsvoller, je weiter sich ein Land von der Ziellinie entfernt, und entsprechende Fehlentwicklungen in der Vergangenheit müssen notgedrungen auch die Glaubwürdigkeit des gesamten Kyoto-Prozesses untergraben.

Ich halte es in diesem Zusammenhang für bemerkenswert, daß gerade Länder wie Dänemark und die Niederlande, die in unserer Graphik negativ auffallen, von einigen Experten gerne als klimapolitische „Musterknaben“ hervorgehoben werden, während über Länder wie Großbritannien und Frankreich kaum gesprochen wird, die sich vergleichsweise gut an ihre Verpflichtungen halten. Besonders pervers ist die Entwicklung in Spanien: dieses Land hatte im Rahmen des *Burden-sharings* eine Zunahme der Emissionen zugestanden bekommen, überschreitet diese Vorgabe jedoch schon heute bei weitem.

3 Ökonomische Interpretation des Treibhausgas-Problems

Soweit der Ist-Zustand in Deutschland und Europa. Jetzt möchte ich zur ökonomischen Analyse des Treibhausgasproblems überleiten. Aus ökonomischer Sicht stellt sich der Sachverhalt vereinfacht wie folgt dar: Treibhausgasemissionen sind mit Kosten verbunden, die in Zukunft anfallen werden, und zwar in Form von Schädigungen der zukünftigen Menschheit. Diese Schädigungen, die bedeuten letztendlich ökonomisch gesehen Kosten, diese Kosten sind extern, weil sie bei heutigen Energiepreisen nicht enthalten sind. Dadurch werden sie vom Verursacher, also unserer heutigen Generation der Energieverbraucher, nicht getragen. Der gegenwärtige Marktprozess ignoriert folglich diese Schädigungen. Weil es sich bei den (möglichen) zukünftigen Folgen der Treibhausgas-Emissionen also um einen externen Effekt

handelt, der in den gegenwärtigen Marktpreisen keine Berücksichtigung findet, versagt der Markt.

Nun gibt es in der ökonomischen Theorie einen Ansatz – das Coase-Theorem –, wie mit diesem Problem umzugehen ist. Dieses Theorem besagt, dass sich das Marktversagen beseitigen ließe, sofern es Verhandlungen zwischen den Verursachern der Schädigungen und den Betroffenen geführt werden könnten. Die Verursacher sind wir, die heutige Generation; die Betroffenen sind die zukünftigen Generationen, die unter der Klimaerwärmung zu leiden haben. Wenn es zwischen diesen Gruppen faire Verhandlungen geben könnte, dann ließe sich das Marktversagen beseitigen, indem die Betroffenen mit den Verursachern einen Ausgleich für die Schäden vereinbaren würden.

Aber diese Theorie ist reine Fiktion, denn solche Verhandlungen lassen sich nicht führen: die Betroffenen sind ja zumeist noch nicht einmal geboren. Doch selbst wenn die Betroffenen des Treibhausgas-Problems am Verhandlungstisch Platz nehmen könnten, wäre eine Verhandlungsführung noch nicht trivial: Einerseits gibt es sehr viele Verursacher und sehr viele Geschädigte, die sich darüber einigen müssten, wer wie viel an dem Transfer aufbringen soll und wie viel von dem gesamten Ausgleich erhalten soll. Schließlich ist der Nachweis von Ursache-Wirkungs-Beziehungen gerade beim Treibhausproblem sehr schwierig. Man denke nur an das Problem, bei einem Hochwasser oder einer anderen Naturkatastrophe entscheiden zu müssen, ob und in welchem Ausmaß diese auf die Zunahme der Treibhausgase in der Atmosphäre zurückzuführen sind.

Wenn aber Verhandlungen gemäß dem Coase-Theorem nicht geführt werden können, kann der Markt, über den die Verhandlungen letztendlich geführt werden müssten, das Treibhausproblem gar nicht angehen, es muss also der Staat eine Antwort finden auf das Treibhausgasproblem. Wir brauchen also den Staat zur Lösung des Problems Treibhausgase.

Nun gibt es eine ganze Reihe von Strategieansätzen, die der Staat zur Überwindung des Marktversagens einsetzen könnte. Als erstes sei hier das Ordnungsrecht genannt. Ein aktuelles Beispiel dazu ist die geplante Energiesparverordnung für den Gebäudebereich. Der Staat legt dabei getrennte Grenzwerte für den spezifischen Energieverbrauch von Neubauten und für sanierte Altbauten fest, um auf diesem Weg die Energienachfrage und damit die Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Ein zweiter Strategieansatz ist der Übergang von der Verursacherhaftung zur Gefährdungshaftung. Das bedeutet, dass der Schädiger in jedem Fall haften muss, unabhängig davon, ob er die Schädigung schuldhaft verursacht hat oder nicht. Der Schädiger wird sich in diesem Fall überlegen, ob er das mögliche Risiko mit der späteren Zahlung von Schadenersatz eingehen soll oder ob er nicht besser auf Energiekonsum und Emissionen verzichtet und den möglichen Schaden erst gar nicht eintreten lässt. Das funktioniert natürlich im Klimaschutz allenfalls sehr beschränkt.

Die derzeit mit Priorität diskutierten Strategieansätze sind die Einführung einer Emissionssteuer (CO₂- oder Energiesteuer), die Einführung handelbarer Emissionszertifikate nach dem sogenannten Standard-Preis-Ansatz, sowie freiwillige Selbstverpflichtungen von Unternehmen und Verbänden. Ich möchte zu allen diesen drei Ansätzen eine Erläuterungen geben und die grundlegenden Unterschiede verdeutlichen.

4 Quantifizierung und Internalisierung der externen Kosten

Der Energiesteueransatz beruht im Wesentlichen auf den bereits erläuterten externen Kosten, sprich Schäden, die andere Menschen und zukünftige Generationen erleiden, aber in den Energiepreisen nicht enthalten sind. Sofern sich diese Kosten quantifizieren lassen, kann man sie in Form von Energiesteuern dem Verursacher, also dem Energieverbraucher, auferlegen, womit diese externen Schäden internalisiert, das heißt in den Preisen spürbar sind. Die ökonomische Theorie ist im Grunde genommen hier sehr einfach. Die Theorie unterstellt, dass wir eine negativ geneigte Nachfragefunktion für Energie haben. Das heißt, die Energienachfrage sinkt mit steigenden Energiepreisen. Umgekehrt sieht es aus mit dem Angebot: je größer der Energiepreis, desto mehr Energie wird auf dem Markt angeboten. Im Modell gibt es dann einen Gleichgewichtspreis, bei dem das Angebot und Nachfrage sich gerade decken. Das wäre der sogenannte markträumende Preis $P(0)$, bei dem der aggregierte Energieverbrauch eines Jahres der Menge $Q(0)$ entspricht.

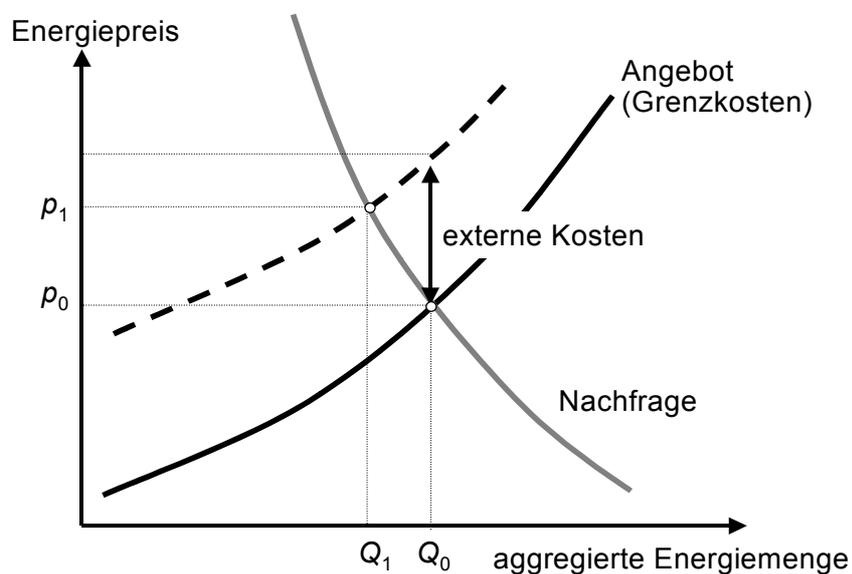


Abbildung 4: Korrektur externer Kosten durch sogenannte Pigou-Steuern

Wenn in diesem Modell auf den Marktpreis die externen Kosten in Form einer Steuer draufgelegt werden, verschiebt sich die Angebotskurve um den Steuersatz nach oben. Alle Energieverbraucher müssen jetzt einen höheren Preis bezahlen, und dabei werden einige den Energieverbrauch reduzieren. Im Ergebnis stellt sich ein neues Marktgleichgewicht ein mit dem Preis $P(1)$ und einer gegenüber dem Ausgangspunkt reduzierten Menge $Q(1)$. Der neue Preis $P(1)$ liegt nicht um den Steuersatz über dem alten Preis $P(0)$, weil die Reduktion der Energienachfrage dazu führt, dass die teuren Energieanbieter vom Markt ausscheiden. Nicht nur die Energieverbraucher, sondern auch die Energieanbieter werden sich als Folge der Energiesteuer einschränken. Wie stark dieser Effekt ist, hängt unter anderem vom Verlauf der Nachfragefunktion ab. Je steiler die Nachfragefunktion ist, desto weniger stark sinkt die Energiemenge, desto stärker steigt demgegenüber der Preis.

Zur Anwendung dieses Modells müsste man nun nur noch die Höhe der externen Kosten kennen. In den letzten Jahren hat sich die Wissenschaft sehr intensiv mit diesem Problem befasst, und dabei hat man immerhin das Verfahren festlegen können, wie die externen Kosten im Prinzip zu berechnen sind.

Der erste Schritt besteht darin, die zu internalisierenden Schäden vom Grundsatz her zu definieren. Aber was sind eigentlich die möglichen Schäden der Klimaerwärmung? Man sollte zumindest wirtschaftliche Schäden, zum Beispiel Ernteverluste, sowie die Schäden an Menschenleben und Gesundheit (durch Hochwasser, Seuchen etc.) erfassen. Manche gehen noch einen Schritt weiter und beziehen den Verlust an Umweltgütern, sowie den Verlust an Lebensqualität mit ein. Eine weitere Schadenskategorie ist der (vorübergehende) Ausfall von gesellschaftlichen Institutionen, etwa im Katastrophenfall. Allerdings stellt sich hier sofort die Frage, wie man das überhaupt messen kann.

Der zweite Schritt bei der Bestimmung der externen Kosten ist die Messung der Emissionen, das heißt die Zusatzbelastung der Atmosphäre mit Treibhausgasen, sowie der Immissionen, das heißt die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre; für den Bereich der Treibhausgase werden dabei große Klimamodelle eingesetzt, über die im Rahmen der Veranstaltungsreihe bereits gesprochen wurde.

Der dritte, sehr schwierigere Schritt ist die Beantwortung der Frage nach den Dosis-Wirkungs-Beziehungen. Gerade in CO₂-Bereich bestehen sehr starke Verzögerungswirkungen, so das heute noch sehr wenig empirisch gesagt werden kann, was eigentlich genau die Auswirkungen eines Anstiegs der Treibhausgase in der Atmosphäre sein wird.

Im vierten und letzten Schritt müssen sie dann auch noch in Geldeinheiten umgerechnet, das heißt monetarisiert werden. Dabei muss unter anderem die Frage nach dem Wert des menschlichen Lebens beantwortet werden, denn ansonsten kann es keine quantitative Angabe über die Höhe von externen Kosten geben. Hat man ein Ergebnis erzielt, so wird die gefundene Höhe der externen Kosten auf eine heute konsumierte Energieeinheit bezogen, woraus sich ein Anhaltspunkt über die Höhe der notwendigen Energiesteuern ergibt.

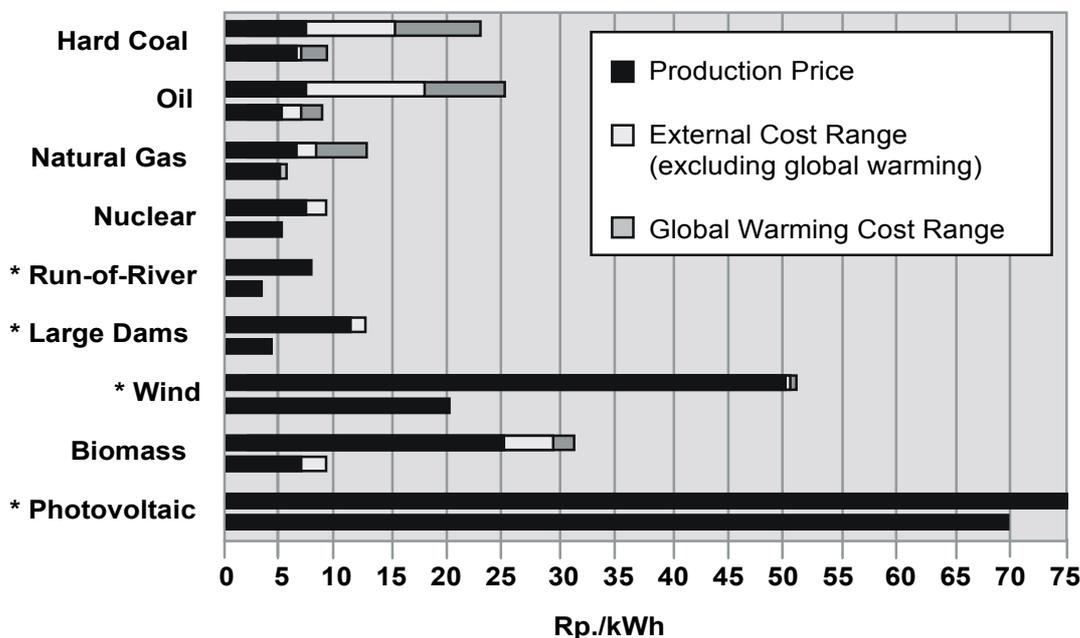


Abbildung 5: Schätzung der externen Kosten der Stromproduktion (Quelle Donges et al 1996)

Entsprechend diesem Forschungsprogramm sind in der letzten Zeit einige Studien veröffentlicht worden. Ein typisches Ergebnis ist in Abbildung 5 gezeigt. Es handelt sich um eine Studie aus der Schweiz, bei der die Kosten in Rappen pro kWh angegeben sind. Die dunkeln Säulen sind die tatsächlichen Kosten für Strom aus Steinkohlekraftwerken, Ölkraftwerken,

Erdgaskraftwerken, Kernkraftwerken, Flußkraftwerken, Windkraft, Biomasse und Photovoltaik, so wie sie heute bezahlt werden müssen. Die hellen Flächen zeigen die externen Kosten ohne den Effekt der Treibhausemissionen, also beispielsweise lokale Schäden durch Schwefeldioxyd-Emissionen, Staubemissionen und so weiter. Die grauen Flächen sind die geschätzten Global warming costs, also die Höhe der vermuteten Treibhauskosten der verschiedenen Technologien. Wie zu erwarten sind diese besonders hoch bei den Kohlekraftwerken, weil bei der Kohleverbrennung in heutiger Form besonders hohe CO₂-Emissionen entstehen.

5 Ökosteuern

Aus Sicht dieser Kenntnisse müsste Kohle am stärksten besteuert werden, am zweitstärksten müssten Erdölprodukte besteuert werden und am wenigsten Erdgas und natürlich sollten die regenerativen Energien und die Kernenergien von der Steuer freigesetzt werden, dann wäre es eine echte CO₂-Steuer. Wenn wir uns aber die Realität der Energiebesteuerung in Europa (ohne Mehrwertsteuer und Konzessionsabgaben) ansehen, so ist man offenbar noch ziemlich weit davon entfernt von einer solchen CO₂-Steuer. Es gibt einige wenige Länder in Europa, die tatsächlich die Kohle (in Tabelle 1 in den letzten beiden Spalten dargestellt) stärker besteuern als das Heizöl und das Erdgas, aber es gibt viele Länder, unter anderen auch Deutschland, die es genau umgekehrt machen und Erdgas stärker besteuern als Kohle. Damit hat man natürlich indirekt eine falsche Lenkungswirkung der Energiesteuer, denn sie begünstigt relativ den Einsatz von Kohle gegenüber dem Einsatz von Erdgas und verhindert damit die stärkere Verwendung eines CO₂-freundlichen Energieträgers.

Tabelle 1: Energiesteuern in den Ländern der Europäischen Union 2000 (Quelle: Energie Informationsdienst 2001)

Energiesteuern [EURO/MWh H ₀]	Erdgas		Strom		Kohle	
	Haushalte	Industrie	Haushalte	Industrie	Haushalte	Industrie
Belgien	1,22	-	1,36	-	-	-
Dänemark	23,94	2,17	87,22	3,73	32,32	6,09
Deutschland	3,48	2,17	15,34	3,07	-	-
Finnland	1,63	1,63	7,02	4,33	5,77	5,77
Frankreich	-	1,18	7,65	-	-	-
Griechenland	-	-	-	-	-	-
Großbritannien	-	-	-	-	-	-
Irland	-	-	-	-	-	-
Italien	16,15	1,20	27,01	5,23	-	0,38
Niederlande	9,34	1,20	45,79	0,11	1,56	1,56
Österreich	3,93	1,57	15,00	13,50	-	-
Portugal	-	-	-	-	-	-
Schweden	12,79	3,74	20,32	-	28,54	9,91
Spanien	-	-	5,62	2,45	-	-

Bei der Deutschen Energiesteuer kommt als ein weiteres Handicap hinzu: Die Steuersätze sind davon abhängig, von wem und für welchen Zweck die Energieträger eingesetzt werden: Wenn beispielsweise Erdgas für private Heizzwecke eingesetzt wird, wird eine Steuer von 6,80 DM/MWh erhoben, wenn der gleiche Energieträger bei industriellen Verbrauchern eingesetzt wird, sind es nur 4,20 DM/MWh. Wenn Erdgas für die Stromerzeugung eingesetzt wird, dann sind es unter bestimmten Bedingungen 3,60 DM/MWh. Eine derartige Differenzierung macht aus Umweltsicht keinen Sinn, denn es ist nun einmal egal, von welchem Ver-

ursacher Treibhausgase emittiert werden. Ursache für die aus Umweltsicht inkonsistente Differenzierung bei den Ökosteuern ist der Einfluss politischer Interessengruppen, die einen wesentlichen Einfluss auf die Ausgestaltung der Ökosteuer in Deutschland haben.

Ich möchte hier den Interessengruppen nicht das Recht abstreiten, für ihre Interessen politisch zu kämpfen – dies zu tun gehört zu den wesentlichen Elementen freier Gesellschaften. Aber angesichts der Tatsache, dass staatliche Entscheidungsträger immer häufiger derartigen Vorstößen nachgeben und damit das anvisierte Umweltinstrument in ihren umweltpolitischen Wirkungen verwässern und sogar in ihr Gegenteil verkehren, muss man sich fragen, ob Ökosteuern wirklich eine geeignete Strategie zur Lösung des Treibhausgasproblems sein können. Die Einführung einer Ökosteuer findet nicht einfach im luftleeren Raum statt, sondern in einem komplexen Geflecht aus Interessengruppen, Umwelt- und Finanzzielen, und daher ist nicht zu erwarten, dass über dieses Instrument der reinen Lehre entsprechend zu einer Internalisierung von externen Kosten führen kann.

6 Handelbare Emissionszertifikate

Der zweite Ansatz zur Lösung des Treibhausproblems aus der Sicht des staatlichen Handels wäre der sogenannte Standard-Preis-Ansatz. In der Praxis läuft er darauf hinaus, dass entsprechend der maximal zulässigen Emissionsmengen eines Jahres Zertifikate ausgegeben werden, die zur Emission von Treibhausgasen innerhalb dieses Zeitraums berechtigen. Zusätzlich ist ein Kontrollsystem erforderlich, welches sicherstellen muss, dass niemand über die zugeteilten oder erworbenen Zertifikate in der entsprechenden Periode hinaus Treibhausgase emittiert.

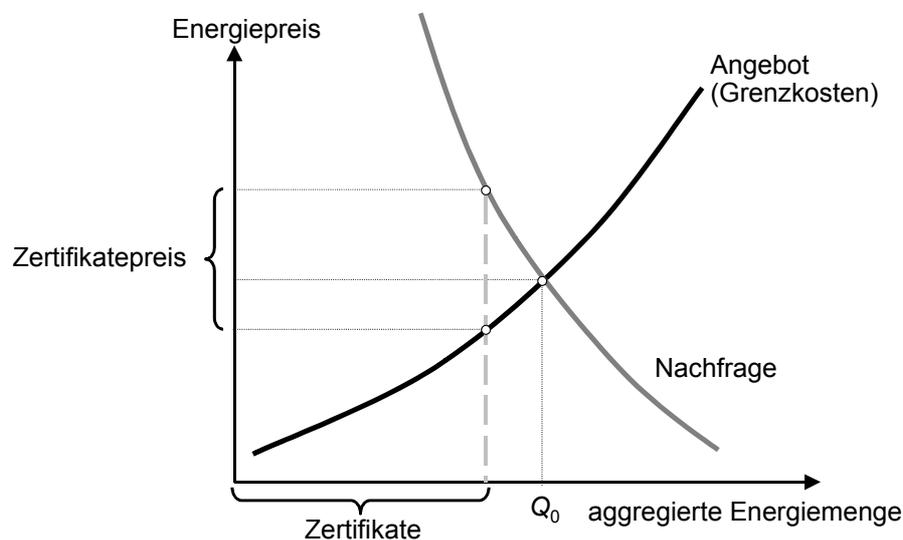


Abbildung 6: Standard-Preis-Ansatz

Die Auswirkungen eines Zertifikatesystems sind in Abbildung 6 skizziert: Der Energieverbrauch sinkt von $Q(0)$ auf das durch Zertifikate vorgegebene Volumen, das heißt die Lenkungswirkung der Zertifikate ist sicher (sofern die Kontrolle funktioniert). Es gibt einige Energieverbraucher, die bereit sind, für die Nutzung von Energie einen höheren als den bisherigen Marktpreis (Schnittpunkt der Angebots- und Nachfragekurve) zu bezahlen, und diese werden die verfügbaren Zertifikate erwerben. Andere, die den Zertifikatepreis nicht bezahlen können oder nicht wollen, werden vom Markt verdrängt. Auf der Anbieterseite scheiden wie-

derum die teuren Unternehmen vom Markt aus. Im Ergebnis entspricht der Zertifikatspreis gerade der Differenz zwischen dem Preis, den die Nachfrager bereit wären zu bezahlen, und den Kosten des teuersten gerade noch am Markt verbleibenden Energieanbieters. Wenn die Regierung die Zertifikate über ein Versteigerungsverfahren am Markt anbietet, würden ihre Finanzmittel entsprechend dem Rechteck (Zertifikatmenge mal Zertifikatspreis in Abbildung 6) zufließen.

6.1 Grundlagen

Eine Alternative für die Versteigerung von Zertifikaten durch den Staat wäre der Zertifikatshandel, das heißt Unternehmen beziehungsweise die Energieverbraucher bekommen die Zertifikate nach einem vorgegebenen Schlüssel zugeteilt, beispielsweise dem sogenannten *Grandfathering* (Maßstab sind die getätigten Emissionen eines Basisjahres). In diesem Fall resultieren keine finanziellen Zusatzbelastungen der Wirtschaft und keine zusätzlichen staatlichen Einkünfte. Die Regierung kann im Laufe der Zeit die Menge der zugeteilten Zertifikate reduzieren und damit den Druck auf die Unternehmen und die Verbraucher vergrößern, klimafreundliche Technologien einzusetzen.

Nun wird die Zuteilung von Zertifikaten dazu führen, dass einige Unternehmen vergleichsweise großzügig ausgestattet sind, andere dagegen gerne noch weitere Zertifikate erwerben würden. Durch einen Zertifikatshandel lassen sich diese Wünsche erfüllen. Im Beispiel von 0 gibt es zwei Unternehmen mit unterschiedlichen Kosten für die Emissionsvermeidung. Die dargestellten Funktionen geben an, wieviel Geld jedes der beiden Unternehmen für die Vermeidung einer zusätzlichen Emissionseinheit aufwenden müsste. Statt Unternehmen könnte es sich hier auch um zwei Länder handeln.

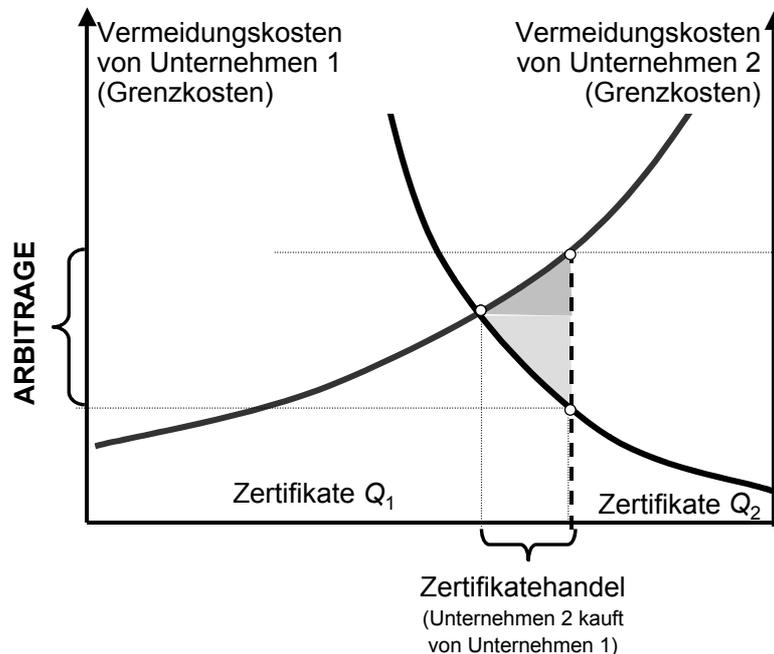


Abbildung 7: Prinzip des Zertifikatshandels zwischen zwei Unternehmen

Grundlage für den Zertifikatshandel ist immer ein Kostenunterschied bei der Emissionsvermeidung (der Fachausdruck dafür lautet Arbitrage). Ohne den Erwerb weiterer Zertifikate müsste nach Abbildung 7 das Unternehmen 2 hohe Vermeidungskosten tragen, während Un-

Unternehmen 1 mit geringen Zusatzkosten weitere Emissionen vermeiden könnte. Indem Unternehmen 2 von Unternehmen 1 Zertifikate erwirbt, sinken die insgesamt erforderlichen Emissionsvermeidungskosten, um die durch die Zertifikate vorgegebenen Emissionswerte einzuhalten, und zwar in Höhe der markierten Flächen in Abbildung 7. Bei Unternehmen 2 liegt der Vorteil darin, auf Reduktionsmaßnahmen verzichten zu können, die teurer sind als der Zertifikatspreis. Auch das Unternehmen 1 hat einen Vorteil, es kann nämlich zusätzliche Reduzierungsmaßnahmen durchführen, die billiger sind als der Zertifikatspreis, und dadurch einen Nettovorteil (in Höhe der hellen Fläche) erzielen. Wenn solch ein Handelssystem für Treibhausgaszertifikate eingeführt wird, werden die zu Emissionsreduktionen verpflichteten Unternehmen also insgesamt weniger stark belastet, weshalb sie sich im politischen Lobbying-Prozess auch nicht mehr so stark gegen eine wirksame Klimaschutzstrategie wehren werden. Die Politik hätte damit eher die Chance, griffige Klimaschutzziele durchzusetzen und könnte vermutlich schneller und effizienter zu wirksamen Ergebnissen gelangen.

Die Wissenschaften haben dieses Modell nicht nur in seinen theoretischen Eigenschaften zu analysieren versucht, sondern auch Abschätzungen über die denkbaren Zertifikatspreise vorgelegt. Ein Beispiel dafür ist eine Untersuchung des Zentrums für europäische Wirtschaftsforschung aus dem Jahr 2000 über die vermutlich erforderlichen Reduktionskosten (Grenzkosten pro Tonne Treibhausgas) in den USA, in Europa (inklusive Schweiz), in den Ländern der ehemaligen Sowjetunion sowie in Japan, um die ursprünglichen Ziele des Kyoto-Protokolls zu erreichen. Dabei wird ein weiteres wirtschaftliches Wachstum und – damit verknüpft – weitere autonome Emissionssteigerungen unterstellt, wodurch die Kyoto-Ziele natürlich anspruchsvoller werden.

Tabelle 2 zeigt die entsprechenden Grenzvermeidungskosten der genannten Ländergruppen: Wie viel kostet die letzte eingesparte Tonne CO₂-Äquivalent, wenn sich die jeweiligen Ländergruppen an die ursprünglichen Kyoto-Ziele halten? Die ehemalige Sowjetunion braucht keine weiteren Reduktionsmaßnahmen durchzuführen und hat daher Grenzvermeidungskosten von Null, da durch den Zusammenbruch der Wirtschaft heute schon weniger Treibhausgase emittiert werden als im Kyoto-Protokoll vereinbart (nämlich eine Reduktion von Null). Russland und die anderen Länder der ehemaligen Sowjetunion hätten demzufolge mehr Zertifikate zur Verfügung als sie selbst benötigen und könnten diese entsprechend international verkaufen.

Tabelle 2: Treibhausgas-Grenzvermeidungskosten (Quelle: Böhriunger und Rutherford 2000)

Region	Kyoto-Reduktionsziel	Reduktion bis 2010 gemäß BAU-Szenarium	Grenzvermeidungskosten [USD/t CO ₂]
USA	-7 %	-30,4 %	287
EU / EFTA	-8,5 %	-18,2 %	170
Ex-UdSSR	0 %	27,2 %	0
Japan	-6 %	24,3 %	455

Würde in einem solchen System ein internationaler Treibhausgashandel stattfinden, würden Verpflichtete in den USA oder Europa nur solche Reduktionsmaßnahmen durchführen, die weniger als etwa 170 USD pro Tonne CO₂-Äquivalent kosten. Die darüber hinausgehenden Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls würden durch den Zukauf von Emissionszertifikaten von Russland und den Ländern des ehemaligen Ostblocks erfüllt. Durch diesen Handel würden allerdings keine weiteren Treibhausgas-Reduktionen erfolgen, weil die Emissionen in

Russland gegenüber 1990 bereits stark zurückgegangen sind. Umweltkreise sprechen in diesem Zusammenhang auch von Handel mit heißer Luft (Hot air), ohne zusätzliche Vorteile zu Gunsten der Umwelt. Nichts desto trotz ließen sich auf diesem Weg die Ziele des ursprünglichen Kyoto-Protokolls erreichen, und zwar zu erheblich geringeren gesamtwirtschaftlichen Kosten. Für die Wirtschaft in Japan oder den USA wäre es schon ein erheblicher Unterschied, ob die erforderlichen Reduktionsmaßnahmen bis zu rund 300 USD kosten oder nur rund die Hälfte aufgewendet werden müsste.

6.2 Probleme der Zertifikatezuteilung

Ein schwierig zu lösendes Problem beim Zertifikatesystem ist die Erstausrüstung mit Zertifikaten. Weil wir hier im VEAG-Versorgungsgebiet sind, habe ich ihnen eine Beispielrechnung für dieses Unternehmen mitgebracht, um ihnen dieses Problem zu verdeutlichen. Ausgehend vom VEAG-Kraftwerkpark des Jahres 1990 lagen die spezifischen CO₂-Emissionen bei durchschnittlich 1,49 Tonnen CO₂/MWh. Wenn man das Jahr 2000 zugrunde legt, dann sind es nur noch 1,15 Tonnen CO₂/MWh. Innerhalb von 10 Jahren ist es der VEAG also gelungen, durch Investitionsmaßnahmen in ihren Kraftwerkspark die spezifischen CO₂-Emissionen um 0,34 Tonnen CO₂/MWh zu reduzieren.

Wenn nun von der VEAG AG eine Treibhausgasreduktion von weiteren 20 Prozent in den nächsten 20 Jahren verlangt wird, hätte dieses Unternehmen – angesichts des gerade modernisierten Kraftwerksparks – derzeit kaum mehr die Möglichkeit, dies durch weitere Investitionen in die eigene Erzeugung zu realisieren. Um ein Abschalten der einzelner Braunkohlekraftwerke zu vermeiden, müsste die VEAG entsprechend der Reduktionsverpflichtung Zertifikate zukaufen: im ersten Jahr 1 Prozent, im zweiten Jahr 2 Prozent und so weiter, bis im 20. Jahr der Reduktionssatz von 20 Prozent erreicht ist. Bei einem durchschnittlichen Zertifikatepreis von 10 EURO/Tonne CO₂ und einem Kalkulationszins von 7 Prozent bedeutet das eine durchschnittliche Belastung in den nächsten 20 Jahren von umgerechnet 0,96 EURO/MWh oder – bei einem Strompreis 30 EURO/MWh – etwa drei Prozent der Herstellkosten.

Wenn aber die VEAG AG Emissionszertifikate entsprechend der ursprünglichen Emission von 1990 zugeteilt bekommt, dann hätte das Unternehmen im Augenblick fast 30 Prozent mehr Zertifikate zur Verfügung als erforderlich und könnte diese am Markt verkaufen. Werden auch in diesem Fall die Zuteilungen ein Prozent jährlich gekürzt, könnte die VEAG für einen längeren Zeitraum immer noch Zertifikate verkaufen und dadurch einen Erlös erzielen. Bei einem Zertifikatepreis von wiederum 10 EURO/Tonne CO₂ läge der Gegenwartswert dieses Vorteils über die nächsten 20 Jahre bei 2,49 EURO/MWh, was bei einem Strompreis 30 EURO pro MWh eine Förderung von ungefähr 8% bedeutet.

Es kommt also sehr auf die Art der Ausgestaltung dieses Zertifikatesystems an, um zu entscheiden, welche Belastung ein solches System für das einzelne Unternehmen haben wird. Entsprechend kompliziert wird auch hier der politische Entscheidungsprozess werden. Bei einer gesetzlichen Einführung eines Emissionshandelssystems dürfte es den Unternehmens- und Verbändevertretern erfahrungsgemäß wiederum gelingen, für ihre Interessengruppen massive Vorteile herauszuhandeln – gerade auch deshalb, weil das System relativ kompliziert und für viele undurchschaubar ist.

6.3 Zertifikatehandel bei BP-AMOCO

Während ein staatlich getragener beziehungsweise organisierter Handel von Treibhausgas-Zertifikaten erst angedacht wird, aber noch nirgendwo umgesetzt wurde, haben einzelne Unternehmen der Energiewirtschaft bereits freiwillig damit begonnen, einen In-house-Zertifikatehandel zu betreiben. Das bekannteste Beispiel ist der BP-AMOCO-Konzern. Dieses Unternehmen (wie auch der Wettbewerber Shell) hat im Jahr 2000 einen Zertifikatehandel aufgenommen nach dem Prinzip des Alone trading; demnach darf jede Betriebseinheit (Business unit) in 2000 zunächst nur so viele Treibhausgas-Emissionen (incl. Methan, Lachgas) verursachen wie im Jahr 1998. In den kommenden Jahren werden diese Grenzwerte um jährlich 2% reduziert.

Der Zertifikatehandel bei BP-AMOCO begann am 1. Januar 2000. Wenn jetzt eine Business unit nicht in der Lage ist, die eigenen Treibhausgase entsprechend der unternehmensinternen Vorgaben zu reduzieren, dann kann sie versuchen, von anderen Business units der BP-AMOCO Zertifikate zu kaufen, was voraussetzt, dass anderen Units über die eigenen Verpflichtungen hinausgehende Treibhausgasreduktionen vornehmen. Auf diesem Wege möchte BP-AMOCO innerhalb von 10 Jahren 10 Prozent der in 1998 emittierten Treibhausgase reduzieren. Dass man momentan die zulässigen Emissionen jedes Jahr um 2 Prozent zusätzlich reduziert (und damit in 10 Jahren 20 Prozent Reduktion schaffen würde) dient dem Ziel, Erfahrungen zu sammeln und später vielleicht flexibel mit den betrieblichen Reduktionszielen umgehen zu können.

Eine spezielle Eigenschaft des BP-Handelssystems ist, dass man Treibhausgasemissionen auch für spätere Perioden „speichern“ (sogenanntes Banking) kann: Wenn eine Unit in einem Jahr eigentlich sagen wir mal 500 Tonnen CO₂ emittieren dürfte, in diesem Jahr aber nur 450 Tonnen CO₂ emittiert, können diese überschüssigen 50 Tonnen CO₂ als Zertifikat verkauft werden oder aber für ein späteres Jahr verwendet werden, um die dann zu erfüllenden Reduktionsverpflichtungen zu erreichen. Das ganze System muss natürlich überwacht werden, dafür sind externe Wirtschaftsprüfer beauftragt worden.

Für den Ökonomen besonders interessant ist natürlich der resultierende Zertifikatepreis. Auf der Homepage von BP-AMOCO wird für das Jahr 2000 ein Durchschnittspreis von 7,60 USD pro Tonne CO₂-Äquivalent angegeben, und dies bei einem erstaunlich hohen Handelsvolumen von insgesamt 2.7 Mio. Tonnen CO₂.

Insgesamt also ein überraschend erfolgreiches System. Ein Grund dafür ist meiner Ansicht nach, dass mit dem Zertifikatesystem das Klimaproblem in jeder einzelnen Business unit auf die Agenda gebracht wurde. Seither müssen sich die Manager ernsthaft mit diesem Thema auseinandersetzen, und dabei werden vielfältige Erkenntnisse gesammelt, wie man mit Energieressourcen effizienter umgehen kann und wie allenfalls Produktionsprozesse klimafreundlicher gestaltet werden können. Ein Weiteres kommt hinzu: Bei BP-AMOCO hängt das Einkommen der Manager unter anderem davon ab, ob sich diese an die CO₂-Verpflichtung halten, das heißt wenn eine Business unit die CO₂-Regeln missachtet, dann müssen die Manager mit Gehaltseinbußen rechnen. Dies ist zweifellos ein besonders nachhaltiger Anreiz, sich an das CO₂-Regelwerk zu halten. Bezeichnenderweise gibt es beim Zertifikatshandelssystem der BP-AMOCO keine staatlichen Vorgaben oder Interventionen. Das Unternehmen hat das System aus freien Stücken eingeführt, vielleicht um einer staatlichen Regulierung zuvorzukommen, und scheint damit erfolgreich zu sein. Es hat den Anschein, dass mit solchen Ansätzen schon in kurzer Zeit bedeutende Reduktionen erreicht werden können, ohne dass die Wettbe-

werbsfähigkeit des Unternehmens darunter leidet. Man wird sehen, wie sich das System weiterentwickelt, wenn die Zielvorgaben strenger werden.

7 Freiwillige Selbstverpflichtungen

Meine Ausführungen über die staatliche Klimaschutzpolitik lassen sich pointiert auf den Punkt bringen: Staatliche Entscheidungsträger versagen im Klimaschutz, weil sie sich auf Instrumente einlassen, die es Interessenvertretern von Wirtschaft und Verbänden außerordentlich leicht machen, die geplanten staatlichen Maßnahmen und Eingriffe im politischen Entscheidungsprozess zu verwässern und zu pervertieren.

Wir haben in Deutschland die Ökosteuerreform, wir haben das Stromeinspeisegesetz, wir haben das KWK-Vorschaltgesetz und demnächst das Kernenergieausstiegsgesetz. Keines dieser energiepolitischen Maßnahmen ist ein wirklich gezielter Schritt zugunsten des Klimaschutzes; teilweise geht von diesen Gesetzen sogar eine entgegengesetzte Wirkung aus:

- Bei der Ökosteuer findet beispielsweise eine Besteuerung von Erdgas, nicht aber eine der klimaschädlicheren Kohle statt. Geradezu absurd ist die Besteuerung von Strom aus Windkraft und anderen regenerativen Energien.
- Beim Stromeinspeisegesetz werden unter anderem Techniken gefördert, die mit CO₂-Vermeidungskosten von fast 1700 DM/t CO₂ verbunden sind – eine Geldverschwendung, wenn es um eine rasche und nachhaltige Reduktion von Treibhausgas-Emissionen geht. Grundsätzlich besteht eine sinnvolle Klimaschutzstrategie darin, zunächst einmal die billigen Vermeidungsmaßnahmen zu realisieren, dann kann mit den vorhandenen Geldmitteln und Ressourcen ein Maximum an Klimaschutz erreicht werden.
- Das seit Mai 2000 wirksame KWK-Vorschaltgesetz mit einer Förderung von 9 Pf/kWh Strom (plus einiger anderer merkwürdiger Effekte des Gesetzes) hat dazu geführt, das alte zum Teil sehr ineffiziente Kraftwerke „aus der Mottenkiste“ geholt wurden, sofern sie als Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen betrieben werden können. Damit führt dieses Gesetz in der Wirkung dazu, dass in Deutschland mehr anstelle weniger CO₂ emittiert wird.
- Bei dem Ausstieg aus der Kernenergie wird einer CO₂-freien Form der Stromerzeugung die Zukunftsperspektive, zumindest in Deutschland, genommen.

Fragt man nach den Ursachen des Staatsversagens im Klimaschutz, so muss man genauer in den politischen Prozess hineinschauen. Dabei stellt man dann fest, dass sich das CO₂-Thema hervorragend eignet für alle möglichen Interessengruppen, um ihre spezifischen Interessen durchzusetzen. Sei es die Entlastung von Sozialabgaben, die Subventionierung bestimmter Technologien, die Förderung von Arbeitsplätzen, der Schutz kommunaler Unternehmen auf den liberalisierten Energiemärkten und so weiter. Das Treibhausproblem ist im Grunde genommen ein argumentatives „Mädchen für alles“ zur politischen Begründung und Durchsetzung von Partikularinteressen.

Aber dort, wo sich der Staat praktisch herausgehalten hat, konnten – in Deutschland – erstaunliche Erfolge bei der Reduktion der Treibhausgase erzielt werden. Die Reduktion um 31 Prozent im industriellen Sektor muss vor dem Hintergrund der „freiwilligen Selbstverpflichtung von –25 Prozent gesehen werden: Die Industrie hat das Reduktionsziel bis 2005 nicht nur schon heute erreicht, sondern bereits übertroffen. Dasselbe gilt auch für Gewerbe und

Dienstleistungen. Auch da ist mit – 32 Prozent ein enormer Rückgang der Treibhausgasemissionen zu verzeichnen. Bei der Energiewirtschaft spielt das bereits besprochene VEAG-Phänomen eine entscheidende Rolle.

Tabelle 3: CO₂-Emissionen 1998 gegenüber 1990 in Deutschland (Quelle: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung 2001)

Industrie	-31 %
Gewerbe und Dienstleistungen	-32 %
Energiewirtschaft	-16 %
Haushalte	+6 %
Verkehr	+11 %

Um den erstaunlichen Erfolg von Selbstverpflichtungen zu analysieren, sollte man sich an die intensive wissenschaftliche Diskussion über freiwillige Selbstverpflichtungen in den 90er Jahren erinnern. Das Ergebnis dieser Diskussion war, dass mit Selbstverpflichtung nicht mehr erreicht werden kann als die Erschließung des sogenannten *No regret*-Potentials – das, was die Unternehmen aus anderen als Klimaschutzpolitischen Gründen an Reduktionsminderungen leisten, etwa bei der Einleitung von Maßnahmen zur Rationalisierung und Kostensenkung. Dabei hat man offensichtlich übersehen, dass dieses Potential keine Konstante ist. Aus meiner Sicht gibt es eine Reihe von Argumenten dafür, die ich ihnen zum Abschluss meines Vortrages erläutern will.

Als erstes haben Unternehmen Angst vor zusätzlich staatlicher Regulierung, obwohl – wie gesehen – eine zusätzliche Regulierung bei geschickter Einwirkung auf den politischen Entscheidungsprozess den eigenen Vorteil mehrern kann. Den Hauptgrund dafür sehe ich darin, dass der Markt „atmet“. Der Markt ist nicht stationär, sondern verändert sich laufend. Wir sehen das momentan an den Ölpreisen. Der Markt ist mit seinen Instrumenten vergleichsweise starr, und wenn der Staat seine Eingriffsintensität vergrößert, so wird den Unternehmen letztendlich die Luft für das Atmen genommen. Unternehmen bevorzugen flexible Instrumente, weil sie dann beispielsweise das *Timing* von eigenen Reduktionsmaßnahmen an den Investitionszyklen orientieren können.

Außerdem ist das mit Selbstverpflichtungen erreichbare Potential vermutlich weitaus größer als ursprünglich erwartet, vor allem wenn man einen längeren Zeitraum zugrunde legt. Selbst als in der Vergangenheit die CO₂-Frage noch ignoriert wurde, konnten die spezifischen Treibhausgasemissionen um über 10 Prozent in den letzten 30 Jahren gesenkt werden. Seit etwa 1990 diskutieren wir politisch über CO₂ und seit dieser Zeit beginnen manche Unternehmen das CO₂-Thema wirklich ernst zu nehmen. Durch die Beschäftigung mit diesem Thema werden neue Klimaschutzlösungen entdeckt, an die bislang niemand gedacht hatte. Natürlich werden solche Maßnahmen nur dann ergriffen, wenn sie auch betriebswirtschaftlich Sinn machen. Aber der Handlungsraum zum betrieblichen Klimaschutz wird zunehmend größer, und dabei treten immer wieder neue Handlungsmöglichkeiten zutage, die dem Klimaschutz nutzen und gleichzeitig anderen Zielen dienen zum Beispiel der Kosteneffizienz oder der Modernisierung von Industrieanlagen.

Dann kommt noch etwas anderes hinzu: Situationen, wo über Investitionspläne und andere Fragen mit strategischem Zeithorizont beraten wird, sind häufig durch ein besonders hohes Maß an Unsicherheit gekennzeichnet. Es müssen vielfältige, nur schwer vorhersehbare Faktoren berücksichtigt werden, und dadurch werden solche Entscheidungen komplex. Die Kom-

plexität beruht hauptsächlich darauf, dass ein Unternehmen, welches über zukünftige Investitionen entscheidet, im Grunde genommen sehr wenig Beurteilungsrelevantes weiß. Mit dem Treibhausproblem kann diese Komplexität vermindert werden. Versetzen Sie sich beispielsweise in eine Situation, wo entschieden werden soll zwischen zwei alternativen Investitionsprojekten, deren Auswirkungen auf zukünftige Gewinne und *Shareholder value* aber keine eindeutige Rangordnung zulassen. Wie soll man entscheiden? In solch einer Situation kann ausschlaggebend sein, dass eine der Alternativen mit klaren Klimaschutzvorteilen aufwarten kann. Das Argument des Klimaschutzes kann in dieser Situation die wahrgenommene Komplexität des Entscheidungsproblems reduzieren. Das mit der Selbstverpflichtung akut gewordene CO₂-Thema vereinfacht letztendlich die Entscheidung. Das ist vielleicht der wesentliche Grund dafür, warum man mit freiwilligen Maßnahmen viel weiter kommen kann als man ursprünglich gedacht hat.

Ein letzter Punkt: Wenn die Regierung eine Entscheidung durchsetzen will, dann muss sie das Parlament überzeugen und dabei auf die Interessen von diversen Gruppen Rücksicht nehmen, wodurch eine Verwässerung der Entscheidung droht. Anders bei hierarchisch organisierten Unternehmen wie BP-AMOCO oder VEAG: Wenn der Vorstand etwas beschlossen hat, kann er es im Allgemeinen ohne Einschränkungen durchsetzen – wem's nicht passt, kann ja gehen. Bei der Durchsetzung von Zielen innerhalb des Unternehmens spielen Interessengruppen nicht die Rolle des Bremsers und Verhinderers wie dies in der Politik oft der Fall ist. Die Leistungsfähigkeit und Durchsetzungsfähigkeit der Führungsgremien möchte ich als *Command and control*-Potential bezeichnen. Wenn es der Politik gelingt, ein Thema wie das Treibhausgasproblem im Bewusstsein der Unternehmensführung zu verankern, so setzt sie damit explizit auf dieses Potential, um die Klimaschutzziele durchzusetzen. Gegenüber diesem indirekten Ansatz sind direkte Eingriffe des Staates oft weniger effizient, weil sie – jedenfalls in demokratischen Gesellschaften – immer durch Interessengruppen drohen verwässert zu werden.

Literatur

- Böhringer, C., Rutherford, T. (2000): *Decomposing the Cost of Kyoto. A Global CGE Analysis of Multilateral Policy Impacts*. Mannheim: Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung. Die Berechnungen beruhen auf GTAP-Daten 1998 (Global Trade, Assistance and Protection) der Universität of Colorado, Boulder.
- BP-AMOCO (2001): *Greenhouse Gas Emissions Trading in BP Amoco* (<http://www.bp.com>).
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz (BMU) (2000): *Das Nationale Klimaschutzprogramm: Anspruchsvolle Ziele und wirksame Maßnahmen*. Berlin.
- Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) (2000): *Freiwillige Vereinbarungen und Selbstverpflichtungen*. Berlin: BDI.
- Donges, R., Hirschberg, S., Doka, G, Knoepfel, I. (1996): *Environmental Inventories for Future Electricity Supply Systems for Switzerland*. Project GaBE. Würenlingen: PSI Beri 96-07.
- European Environmental Agency (2001): *Assessment Report April 2001* (reports.eea.eu.int/Technical-report_No60/en/).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1995): *Second Assessment Report on Climate Change*. Nairobi: UNEP.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (1996): *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Nairobi: UNEP (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>).
- International Energy Agency (IEA) (1997): *Voluntary actions for energy-related CO₂ abatement*. Paris: IEA.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft (Hrsg.) (2000): *Grünbuch zum Handel mit Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union*. KOM(2000) 87 endgültig. Brüssel: EU-KOM.
- Shell Royal Dutch (2000): *The Shell Tradeable Emission Permit System (STEPS)* (<http://www.shell.com/download/steps/steps.pdf>).
- Swider, D.J. (2001): *Anforderungen eines CO₂-Emissionszertifikatehandels an Energieversorgungsunternehmen*. Diplomarbeit. TU-Berlin: Fachgebiet Energiesysteme (www.tu-berlin.de/~energiesysteme).

Autorenverzeichnis

Werner Bär, Dr. med., Chefarzt, Institut für Medizinische Mikrobiologie und Krankenhaushygiene, Carl-Thiem-Klinikum, Thiemstr. 111, 03048 Cottbus, Tel.: (03 55) 46 25 38, e-mail: baer@ctk.de

Stephan Elkins, Dipl. Pol., wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sozialwissenschaftliche Umweltfragen, Fakultät 4 – Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Postfach 10 13 44, 03013 Cottbus, Tel.: (03 55) 69 29 69, Fax: (03 55) 69 30 37, e-mail: elkins@tu-cottbus.de

Georg Erdmann, Prof. Dr., Lehrstuhl Energietechnik/ TA 8, Technische Universität Berlin, Einsteinufer 25, 10587 Berlin, Tel.: (0 30) 31 42 46 56, Fax (0 30) 31 42 69 08, e-mail: Erdmann@ensys1.fb10.tu-berlin.de

Bernd Jantsch, Dr. med., Oberarzt, Hautklinik, Carl-Thiem-Klinikum Cottbus, Welzower Straße 25a, 03048 Cottbus, Tel. (03 55) 46 23 49, Fax: (03 55) 46 31 50, e-mail: B.Jantsch@ctk.de

Ulrich Kartenkamp, Dr., Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Heinemannstr. 2, 53175 Bonn, Tel.: (0 18 88) 5 78 31 89, e-mail: Ulrich.katenkamp@bmbf.bund.de

Jörg F. W. Negendank, Prof. Dr., GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Tel.: (03 31) 2 88 13 00, Fax: (03 31) 2 88 13 02, e-mail: neg@gfz-potsdam.de

Fritz Reusswig, Dr., Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung, Postfach 60 12 03, 14412 Potsdam, Tel.: (03 31) 2 88 25 73, Fax: (03 31) 2 88 26 00, email: fritz@pik-potsdam.de

Eberhard Schaller, Prof. Dr., Lehrstuhl Umweltmeteorologie, Fakultät 4 – Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Postfach 10 13 44, 03013 Cottbus, Tel.: (03 55) 69 11 05, Fax: (03 55) 69 11 28, e-mail: schaller@tu-cottbus.de

Dieter H. Sikorski, Dr. med., Chefarzt, Klinik für Psychiatrie, Psychotherapie und Psychosomatik, Carl-Thiem-Klinikum, Thiemstr. 111, 03048 Cottbus, Tel.: (03 55) 46 28 11, e-mail: D.Sikorski@ctk.de

Wolfgang Schluchter, Prof. Dr., Lehrstuhl für Sozialwissenschaftliche Umweltfragen, Fakultät 4 – Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Postfach 10 13 44, 03013 Cottbus, Tel.: (03 55) 69 30 36, Fax: (03 55) 69 30 37, e-mail: wolf.schluchter@tu-cottbus.de

Udo E. Simonis, Prof. Dr., Forschungsprofessur Umweltpolitik, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Reichpietschufer 50, 10785 Berlin, (0 30) 25 49 12 45, (0 30) 25 49 12 47, e-mail: simonis@medea.wz-berlin.de