

# Klima als Querschnittsthema von Natur-, Ingenieur- und Sozialwissenschaften

Hans von Storch

## Vorbemerkung

Ich möchte heute über Klimaforschung sprechen. Gerade in diesem Jahr genießt das Thema sehr viel Aufmerksamkeit. Wenn man sich die jährliche Umfrage unseres Instituts ansieht, so erkennt man, dass die Hamburger Bürger sich mehr denn je sorgen über den zukünftigen Klimawandel in ihrer Stadt. Daher lohnt es sich ganzheitlich auf die Klimaforschung zu sehen, da sich die öffentliche Sorge und das öffentliche Interesse an dem Thema „Klima“ gründet auf der Kommunikation wissenschaftlicher Ergebnisse.

Dabei sind sehr verschiedene Wissenschaftsstränge involviert, insbesondere Natur-, Ingenieur- und Sozialwissenschaften. Gegenstand der physikalischen Naturwissenschaften ist das Klimasystem, sein Zustand, seine Interaktionen und Steuerungsmöglichkeiten sowie die zukünftigen Perspektiven. Die Ingenieurwissenschaften befassen sich vor allem mit dem Umgang mit dem Klimawandel, insbesondere mit den lokalen und regionalen Klimarisiken und mit Techniken, die den Klimawandel mindern. Für die gesellschaftlichen Deutungen und Präferenzen sowie die politische Umsetzung ist aber weniger der Klimawandel selbst als die Wahrnehmung davon von Belang. Tatsächlich ist das Wissen um den Klimawandel, um seine Wirkung und die Möglichkeiten des Umgangs keine Sammlung offensichtlicher Wahrheiten, sondern konstruiertes Wissen, das sich an Daten und Theorien und an tradierten Wissensansprüchen orientiert. Der Ausdruck „konstruiert“ beinhaltet dabei nicht einen Hinweis auf Beliebigkeit oder Willkür, sondern nur, dass Wissen aufgebaut und gestützt wird von Daten und Erklärungen. Neben den wissenschaftlichen Konstruktionen gibt es auch soziale oder kulturelle Konstruktionen, etwa die einer „zurückschlagenden Natur“. Diese zu erforschen, und deren Folgen für den gesellschaftliche Umgang, Diskurs und Entscheidungsmechanismen ist eine Aufgabe der Sozialwissenschaften neben der Untersuchung von gesellschaftlichen Reaktionsmöglichkeiten, also etwa die Organisation von Gesellschaft und Wirtschaft.

Damit sind nicht alle Beiträge der Disziplinen zur Klimaforschung aufgeführt. Zu nennen sind natürlich noch die Ökologie und Biologie, die sich speziell mit den Wirkungen

des Klimawandels auf Ökosysteme beschäftigen, und dem Funktionieren der Stoffkreisläufe. Aber ich will mich auch aus Zeitgründen auf die drei im Titel genannten Traditionen konzentrieren: physikalische Naturwissenschaften, Ingenieurwissenschaften und Sozialwissenschaften.

## Physikalische Naturwissenschaften

Unter Klima versteht man meist die Statistik der Wetterereignisse. Also die Häufigkeiten in einer Region von warmen oder heißen Tagen im Juni oder kalten Tagen im Januar, die Häufigkeiten von 40 mm Niederschlag an einem Ort innerhalb eines Tages, die Häufigkeit von zwölf Tagen ohne jeden Niederschlag an einem Ort, die Häufigkeit eines Sturmflutwasserstands von 6,20 m und mehr in Hamburg. Es geht also um Häufigkeiten. Klimawandel bedeutet, dass diese Häufigkeiten sich ändern. Etwa, dass es mehr heiße Tage gibt, häufigere starke Niederschläge oder auch seltener Kältewellen. Nicht dass es irgendwas gar nicht mehr gibt -also etwa kein Schnee mehr- sondern dass es solche Ereignisse seltener, vielleicht sehr viel seltener gibt. Aufgrund dieser Charakterisierung macht es wenig Sinn, ein einzelnes Ereignis dem Klimawandel zuschreiben zu wollen, wohl aber dass so ein Ereignis wahrscheinlicher geworden ist; wenn klar ist dass wir uns bewegen in Richtung auf mehr heiße Tage, dann ist das Eintreten einer Periode mit sehr heißen Tagen konsistent mit dieser Erwartung, aber kein Beweis, dass es so ist; der Beweis kann nur erfolgen indem man zeigt dass sich die Häufigkeit der heißen Tage systematisch ändert. Und dies ist in der Tat geschehen.

Aber noch einmal einen Schritt zurück: Tatsächlich erleben wir schon immer einen sehr deutlichen Klimawandel, der so normal ist, dass wir ihn als Klimawandel gar nicht erkennen - nämlich einfach den Jahresgang. Wir wissen schon im Juli, dass es sechs Monate später deutlich kälter sein wird. Wir wissen auch an einem verschneiten Januartag in Siegen, dass es sechs Monate später in Siegen kein Schnee geben wird. Dieser jährliche und ganz natürlichen Klimawandel wird der Erde aufgeprägt durch einen externen Faktor, nämlich die Stellung der Erde zur Sonne. Daneben gibt es auch noch einen Tagesgang. Fröhlichmorgens, bevor die Sonne aufgeht an einem Ort, ist es dort oft am kältesten und bis zum es späten Nachmittages wird es meist wärmer. Dies ist Klimawandel, über den keiner als „Klimawandel“ redet.

Dass man diesen Jahresgang sehr gut vorhersagt mit unseren Modellen, zeigt sehr schön, dass das manchmal gern gebrauchte Skeptiker-Argument falsch ist, wonach das Thema System so komplex und nichtlinear sei, dass eine Abschätzung der Wirkung externer Faktoren grundsätzlich nicht möglich sei.

Zunächst ist das Thema „Klima“ zunächst eine Frage an die Physik der Atmosphäre, an die Physik des Ozeans und an die Physik der Kryosphäre (also der Sphäre von Schnee und Eis). Die Fachgebiete heißen dann Meteorologie, Ozeanographie und Glaziologie. Weitere Faktoren betreffen insbesondere die Stoffkreisläufe.

Die Physik von Atmosphäre und Ozean ist die Physik von Fluiden - also Wasser- und Luftmassen, die auf einer sich drehenden Kugel liegen und die ungleichmäßig erwärmt werden durch Sonnenstrahlung - stärker in den Tropen und weniger stark an den Polen. Diese Fluide versuchen einen Ausgleich herbeizuführen zwischen den niederen Breiten und den hohen Breiten. Dazu bewegen sie sich und transportieren dabei Wärme – aber dann bemerken die Fluide, dass sich unter ihnen die Erde dreht. So bekommen wir eine komplexe Dynamik und unser typisches Wettergeschehen mit Passaten in den niederen Breiten und mit nach Osten wandernden Tief- und Hochdruckgebieten in mittleren Breiten.

Tatsächlich entfaltet sich die Dynamik auf allen räumlichen Abmessungen. Wir sprechen auch von räumlichen Skalen. So entstehen unendlich viele Mitspieler, die gemeinsam die Dynamik der Atmosphäre und des Ozeans gestalten. Man spricht auch von unendlich vielen „Freiheitsgraden“, die miteinander interagieren, oft auch nicht-linear. Aber anders als bei den schönen Bildern von nichtlinearen Systemen mit wenigen Freiheitsgraden ergeben sich keine Beschreibungen von ästhetischen Attraktoren, sondern eine Kakophonie von Variationen die wir am besten schreiben können als die eines stochastischen Systems. In diesem System wirken einerseits Zufälligkeiten und andererseits Trägheit. Dies Konzept läuft unter dem Namen „stochastisches Klimamodell“.

Demnach schwankt das Klimasystem stochastisch und jedes extern aufgeprägte Signal wird von stochastischen Schwankungen maskiert. Das System „wackelt“ aus sich heraus. Es gibt nicht für jede Auffälligkeit im Klima, etwa eine Häufung von Stürmen in Norddeutschland, eine kausale Erklärung.

Klima ändert sich aus sich selbst heraus, ohne dass es dafür externer Faktoren bedarf. Andererseits gibt es externe Faktoren, die auf das Klima wirken. Beispiele sind die veränderliche Einstrahlung der Sonne im Zuge des Jahres, die zeitweilige Gegenwart von vulkanischem Material in der Stratosphäre oder die erhöhte Konzentration von Treibhausgasen. Klimawandel ist also ein Wechselspiel interner Schwankungen und der Wirkung externer Faktoren.

Das ging all die Jahre oder Jahrmillionen so. Die wichtigsten externen Faktoren, die auf das Klimasystem wirken, waren die relative Anordnung von Sonne und Erde, die Leistung der Sonne und die Konfiguration der Erdoberfläche, wie sie etwa durch die Kontinentaldrift verändert wird.

Seit gut 100 Jahren hat sich die Situation geändert, nachdem die Menschen angefangen haben, verstärkt Treibhausgase in die Atmosphäre freizusetzen. In erdgeschichtlichen Zeiten sah man ein Zusammengehen von Konzentrationen von Treibhausgasen und Temperaturen, aber in diesen Zeiten entstand das Kohlendioxid in dem Erdsystem als Folge des Klimawandels selbst; in unserem Falle wissen wir, dass die zusätzlichen Treibhausgase von menschlichem Tun ausgehen.

Treibhausgase, vor allem Kohlendioxid, nehmen langweilige Strahlung auf und verteilen sie in alle Richtungen. Langwierige Strahlung kommt zuallererst „von unten“, also von der Erdoberfläche, und wird dann „weiter oben“ teilweise abgefangen und zurückgeschickt. „Unten“ führt dies zu einer Erwärmung und einer verstärkten Aussendung von Wärmestrahlung. Dies geht so lange weiter bis die Temperatur unten zu einer Abstrahlung von Energie ins Weltall führt, die der Einstrahlung vom Weltall entspricht. Insofern führt die Gegenwart von Treibhausgasen in der Atmosphäre zu einer Erwärmung am Boden. Dies ist eine vereinfachte Darstellung, aber beschreibt ganz gut, worum es geht.

Es gibt noch andere Faktoren die zu einer Veränderung des physikalischen Zustandes der Atmosphäre beitragen können: zu nennen die Gegenwart von Schwebeteilchen in der Luft, die kurzwellige Strahlung ins Weltall reflektieren und somit kühlend wirken (zumindest in erster Näherung). Einige Schwebeteile sind natürlichen Ursprungs, wie etwa Wassertropfen, andere aber menschliche Luftverunreinigungen etwa aufgrund vom Verbrennen von Kohle und anderen Substanzen. Eine weitere Möglichkeit bietet die Veränderung der Eigenschaften des Bodens. Einerseits die Reflexivität, auch Albedo genannt, die bestimmt wie viel kurzwellige Strahlung zurückgeworfen wird: Eisflächen reflektieren mehr als eine Ozeanoberfläche, Weizenfelder mehr als Wälder. Auch geschieht am Boden ein Austausch von Wärme und Feuchtigkeit. Wenn die Bodeneigenschaften durch eine Versiegelung der Landschaft verändert werden, hat dies auch klimatische Folgen.

Es sind diese Möglichkeiten der Veränderung des Klimas aufgrund menschlichen Tuns, die heutzutage die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf sich ziehen. Die Erforschung dieser Mechanismen, der Zusammenhänge und Folgen macht den wesentlichen Teil der gegenwärtigen Klimaforschung aus. Dies ist gut im Sinne der Bereitstellung einer wissenschaftlichen Grundlage für eine zielgerichtete und rationale öffentliche Debatte und politische Entscheidungsprozesse. Es ist aber auch eine Verarmung der Wissenschaft. Leider, denn es gibt auch wissenschaftlich interessante, aber gesellschaftlich weniger wichtige Herausforderung. Zu nennen wäre etwa die Erforschung des Zustandsraumes des Klimasystems, ob er stochastisch offene, aber niederdimensionale Untersysteme mit besonderen Vorhersage-Eigenschaften enthält.

Ein wesentlicher Wissenszugewinn für das Verständnis des Klimasystems ist die Klärung, dass Änderungen aufgrund zweier Vorgänge denkbar sind, nämlich einmal aufgrund

interner Vorgänge und zum anderen aufgrund externer Faktoren, vor allem menschlichen Tuns. Wenn wir an letzterem besonders interessiert sind, dann ist dies das „Signal“, und die natürliche Variabilität das „Rauschen“. Die Aufgabe ist dann diese beiden Teile zu trennen. Sie ist nicht trivial.

In der Öffentlichkeit und durch interessierte politische Akteure wird suggeriert, es gäbe keine nennenswerten grundlosen Variationen, und jede Auffälligkeit sei auf menschliches Zutun zurückzuführen. Das ist falsch. Andere interessierte politische Akteure dagegen argumentieren, alles sei nur Rauschen und es gäbe kein Signal und daher auch kein Grund irgendetwas zu tun. Das ist ebenso unangemessen.

Der Nachweis, dass das Signal, das von der andauernden und sich ständig erhöhenden Konzentration von Treibhausgasen ausgeht, sich deutlich herauschält, ist seit wenigen Jahrzehnten in Bezug auf das thermische Zustand des Klimas gelungen – das bedeutet: im Hinblick auf die Lufttemperatur, die Meeresoberflächentemperaturen, das Meereis in der Arktis und etwa auch in der Ostsee.

Das will ich jetzt nicht weiter vertiefen und lasse es bei der Feststellung bewenden, dass der Nachweis der Realität des menschengemachten Klimawandels gelungen ist und dass sich dieser Wandel nur erklären lässt, wenn ein wesentlicher Teil dieser Änderung von der Gegenwart der Treibhausgase in der Atmosphäre ausgeht. Die leicht misszuverstehende Aussage „The science is settled“ meint genau dies. Sie impliziert, dass in Maßen eine Steuerung des Klimazustandes möglich ist durch die Steuerung der Freisetzung von Treibhausgasen.

## **Ingenieurwissenschaften**

Damit ist ein anderes Feld von Wissenschaft auf den Plan gerufen, nämlich die Ingenieurwissenschaften. Zwei Fragen sind es vor allem, der sich die Ingenieurwissenschaften gegenübersehen: Einerseits wie man mit der Manifestation des menschengemachten, sich entwickelnden Klimawandels umgeht. Dabei geht es um neue Möglichkeiten aber auch um nachteilige Entwicklungen und Verschärfung von Risiken. Andererseits, wie es gelingen kann, die Freisetzung von Treibhausgasen zu mindern ohne den Wohlstand der Ersten Welt noch die Entwicklungsziele in den weniger weit entwickelten Ländern zu gefährden.

Ich denke, dies ist für Ingenieure offensichtlich, aber in der Öffentlichkeit wird die Signifikanz des technologischen Fortschritts für die Bewältigung des Klima-Problems oft übersehen. Es scheint, dass mancher glaubt, es reiche aus, wenn auf internationalen Konferenzen verabredet würde, die globalen Freisetzungen auf ein bestimmtes Niveau zu senken bzw. schlussendlich ganz zu beenden, ohne zu klären, wie dies denn geschehen

könne. Natürlich kann man jederzeit Kohlekraftwerke abstellen und damit die dazugehörigen Emissionen beenden, nur dann kommt eben auch kein Strom mehr aus der Steckdose und die Menschen können ihre Mobiltelefone nicht mehr aufladen.

Gerade die Universität Siegen mit ihrem wasserbaulichen Institut ist erfolgreich tätig in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Frage, wie sich Risiken an der Küste zukünftig ändern können aber auch wie sie sich in der Vergangenheit geändert haben. Die Kontinuität von Vergangenheit und möglicher Zukunft ist wichtig, denn zukünftige Entwicklung sollten sich heute schon andeuten, da wir ja schon einen deutlich erhöhten Anteil von Treibhausgasen in der Atmosphäre haben. Es reicht also nicht, nur in sogenannten Szenarien nachzusehen was 2070 geschehen könnte, sondern es gilt auch die aktuelle Entwicklung zu bewerten, ob da schon die „Schrift an der Wand“ zu sehen ist. In diesem Bereich gab es viele gute Arbeiten aus dem Hause hier. Ich gratuliere den beteiligten Wissenschaftler zu diesem Erfolg. Die Voraussetzung war gute Wissenschaft, also Sachkenntnis, kritischer Zugang zu Daten und methodische Kompetenz.

Ich bin vor vier Jahren aus dem Amt eines Leiters eines einschlägigen staatlichen Forschungsinstituts ausgeschieden. Wir haben uns mit den regionalen Folgen des Klimawandels insbesondere an den Küsten beschäftigt. Dies erforderte Zusammenarbeit der physikalischen Naturwissenschaften mit der Gemeinschaft der Küsteningenieure, wie sie in Deutschland von Professor Jürgen Sündermann vorbereitet und eingeleitet worden war. Die Zusammenarbeit mit dem Wasserbauern in Siegen war eine wesentliche Bereicherung unserer Arbeit, weil sie es uns erlaubte, unsere Ergebnisse mit unabhängigen Erkenntnissen aus Siegen zu spiegeln und kritisch zu hinterfragen, und in einen praktischen Kontext zu stellen. Andere für uns wichtige Küsteningenieure sitzen auf Norderney, in Hannover, Harburg und in Aachen.

Ich nehme die Gelegenheit wahr, mich bei meinen Kollegen in Siegen für eine konstruktive und zudem menschlich positive Zusammenarbeit zu danken. Ich freue mich feststellen zu dürfen, dass dieser Kontakt auch nach meiner Emeritierung weiterlebt.

Ich hoffe, dass auch wir gute Impulse in das Küsteningenieurwesen gegeben haben. Anfänglich dachten wichtige Vertreter dieser Gruppe, dass man mit der Abschätzung von Risiken, wie sie sich im Klimawandel ändern, genauso vorgehen könne wie bei Risiken in der Vergangenheit. Man müsse lediglich genaue Zahlen vorgeben und dann könne man problemlos in gewohnter Weise, Neubemessungen im Sturmflutschutz durchzuführen. Dabei wurde übersehen, dass es keine genauen Zahlen gibt für die Zukunft und dass das bisher stationäre Problem sich in ein instationäres Problem verwandelt hat. Das liegt daran, weil der Klimawandel nicht verstanden werden kann als der Übergang von einem stationären Punkt zu einem anderen, sondern dass sich das Regime sich andauernd und zeitabhängig ändert.

Auch wenn unser Haus in Geesthacht sich in der Frage der organisatorischen Aufstellung, was Risikobewältigung angeht, nicht engagiert hat, möchte ich auf diesem zumindest verweisen als einen originär Ingenieurwissenschaftlichen Aspekt.

Ein anderes wichtiges Arbeitsgebiet ist die Entwicklung von Technologien, die signifikant beitragen zu der Entwicklung einer kohlenstofffreien Gesellschaft. Da geht es zum Beispiel um die Möglichkeiten der Off-Shore Windenergie. Ohne diese Beiträge und deren Anwendung überall auf der Welt wird es kaum gelingen, das ambitionierte Ziel der Beendigung der Emission im Jahr 2055 zu erreichen.

Ich möchte so weit gehen zu sagen, dass die naturwissenschaftliche Klimaforschung ihre wesentlichen Leistungen für die Beratung der Gesellschaften dieser Welt erbracht hat, und dass es nun an den Ingenieurwissenschaften liegt, die gewünschten klimapolitischen Ziele erreichbar zu machen.

## **Sozialwissenschaften**

Aber effektive technologische Möglichkeiten reichen nicht aus, die Klimakrise zu entschärfen, denn dazu müssen entsprechende gesellschaftliche Willensbildungen und Umsetzungen in allen Ländern dieser Welt wirksam werden. Um die Möglichkeiten und Bedingungen dafür zu erkennen, bedarf es der Sozialwissenschaften und der Anerkennung, dass diese keine Naturwissenschaften mit anderen Mitteln sind.

Das Thema des Klimawandels nimmt eine zentrale Position in der öffentlichen Debatte ein. In der jährlich wiederholten Umfrage unter Hamburger Bürger, die das Institut für Küstenforschung im Helmholtz Zentrum Geesthacht seit nunmehr zwölf Jahren durchführt, zeigte sich in diesem Jahr ein deutlicher Anstieg der Sorgen der Bürger über den Klimawandel. Auch als wir in der vergangenen Woche unsere jährliche ein-wöchigen Good-Will Reise längs eines Abschnitts der deutschen Küsten absolvierten, wurde von unseren Besuchern an Bord die Frage nach den Klimawandel besonders intensiv gestellt. Auch da zeigte sich, dass das Thema „Klimawandel“ als Universalerklärung für alle schlechten Entwicklung verwendet wird bzw. als die Mutter aller Betrügereien der Öffentlichkeit durch manipulative Obrigkeiten und Eliten. Die Spaltung der Gesellschaft war auch bei diesem Anlass an diesem Thema gut abzulesen.

Wenn es um den gesellschaftlichen Diskurs, um die politische Willensbildung in einer Gesellschaft geht, dann ist der Zustand des Klimas und seiner Perspektiven sicher wichtig, noch wichtiger aber ist die Wahrnehmung von Klima und Klimawandel, die die Menschen agitiert. Dies sind durchaus zwei verschiedene Dinge, Zustand und Entwicklung auf der einen Seite und Wahrnehmung des Zustandes und der Entwicklung auf der anderen Seite. Die Wahrnehmung ist sozial wirkmächtig und politisch wesentlich.

Die Wahrnehmung, die Deutung von Zustand und Entwicklung, unterliegt ihrer eigenen Dynamik, ihren eigenen Antrieben. Hier kommen Sozialwissenschaften ins Spiel. Leider findet man aber in manchen Ecken der Sozialwissenschaft nicht die erforderliche kritische Distanz zum Narrativ der „Klimakatastrophe“.

Hier müssen wir einen Augenblick dem Begriff des „Wissens“ nachgehen. Was ist Wissen?

Mancher mag sagen, es handele sich um das Erkennen von Wahrheit, also ewiger Wahrheit, unumstößlicher Eckpunkte in der Deutung unserer geophysikalischen Umwelt. Aber derartige Wahrheiten gibt es nicht; Naturwissenschaft bietet „beste Erklärungen“. Phänomene und Entwicklung werden gedeutet im Lichte vergangener und aktueller Beobachtungen und im Lichte von Theorien und Erklärungen, die sich in der Vergangenheit bewährt haben. Dabei sind Wissenschaftler darauf vorbereitet, sich von dieser „besten Erklärung“ zu verabschieden, wenn neue Daten zu Widersprüchen führen. Dies ist in der Vergangenheit in anderen Fällen auch durchaus geschehen und es ist keine Schande als Naturwissenschaftler zugeben zu müssen, dass die bisherige Deutung einer Revision bedarf.

Wissen ist nach meinem Verständnis, und hier folge ich dem Wissenssoziologen Nico Stehr, die Fähigkeit zum begründeten Handeln. Oder zum Erklären, warum Dinge sind wie sie sind, und sich entwickeln wie sie es tun. In diesem Verständnis hat Wissen nichts mit Wahrheit zu tun; die Erklärung muss nicht „richtig“ sein, was auch immer „richtig“ sei. Daher gibt es verschiedene Wissensformen, die alle gemein haben, dass sie uns informieren, wie welche Entwicklung zu deuten ist und wie damit in konsistenter Weise umzugehen sei.

Das wissenschaftlich konstruierte Wissen ist eine dieser Wissensformen, die sich idealerweise dadurch auszeichnet, dass der Konstruktionsprozess in einem „objektiven“ Sinne die Erklärung auf Konsistenz mit allen vorliegenden Daten und relevanten anderen Erklärungen und Theorien prüft. Mit anderen Worten, naturwissenschaftliches Wissen besteht aus Erklärungen, die das reinigende Feuer der Falsifikationsversuche überstanden haben. Wissenschaftler selbst werden aber nicht beanspruchen, dass diese Erklärungen ewige Wahrheiten sind, sondern bereit sein, bei Vorliegen neuer Daten erneut nach besseren Erklärungen zu suchen. Üblicherweise verbindet man die wissenschaftlichen Praxis mit einem Satz von Normen – etwa jene von dem Wissenschaftstheoretiker Robert Merton, die unter der Abkürzung CUDOS bekannt wurden: also Gemeineigentum, Unabhängigkeit von der Person, Desinteresse an den Implikationen der Erklärung und organisierter Skeptizismus. Wobei die Einhaltung dieser Normen viele Ausnahmen erlebt.

Daneben gibt es andere Konstruktionen, vor allem jene, die auf Konsistenz mit den gesellschaftlichen Erwartungen und Normen sowie überlieferten Erklärungen abheben. Ich nenne sie soziale oder „kulturelle“ Konstruktionen. Die Vorstellung wonach die Natur auf Sünden der Menschen mit einem „Zurückschlagen“ reagiere, gehört in diese Kategorie.



Ebenso natürlich das Motiv, dass eine göttliche Macht auf Fehlverhalten der Menschen mit klimatischen Extremen reagiere. Als Beispiel kann man die Logik der Erklärung von Wetterextremen als Folge der Nichttätigkeit einer Gemeinde gegen ortsansässige Hexen nehmen.

Im öffentlichen Raum sind noch weitere Wissensformen vorhanden insbesondere veraltete wissenschaftlich begründete Erklärungen. Der klimatische Determinismus etwa erklärt den wirtschaftlich und vorgeblich zivilisatorischen Erfolg des Westens auf ein förderliches Klima zurück, während die Rückständigkeit der anderen Erdteile als Folge einer klimatischen Benachteiligung zu verstehen ist. Die Pflicht des Westens ist dann die eines sorgenden Kolonialismus gegenüber den klimatisch benachteiligten Weltteilen. In diese Kategorie gehört auch die Empfehlung, dass der Mensch in dem Klima leben sollte, dem er als Mitglied einer Rasse angepasst ist. Wenn sich das Klima ändert wird diese Anpassung beschädigt, wurde früher argumentiert, und die betroffenen Menschen geht es schlecht oder gehen gar ein wie vorgeblich afrikanische Sklaven, die in den Norden der USA verbracht wurden, oder britische Beamte, die allzu lange Dienst in Indien taten.

Diese Sammlungen verschiedenen Wissensformen ist nicht vollständig und bedarf der kulturspezifischen Konkretisierung. Die sozialen Konstruktionen von Klima in Deutschland sind andere als die sozialen Konstruktionen in Ghana. Aber sie haben gemeinsam, dass sie wesentlich für die politische Willensbildung und den konkreten Umgang mit Klimafahren und Klimawandel in den verschiedenen Ländern sind.

Womit ich zu einem anderen Punkt komme, nämlich das Konzept der „postnormalen Wissenschaft“, das in den 1980er Jahren von Funtowicz und Ravetz entwickelt wurde. Eine solche Wissenschaft bedient nicht mehr das Ideal des neugiergetriebenen und interessenfreien Denkens und Ausprobierens, sondern jenes der Erstellung nützlicher Erklärungen. „Nützlich“ im Sinne einer bestimmten politischen oder ökonomischen Willensbildung. In so einem Kontext fallen dann Aussagen wie „Das kann man so nicht sagen, weil diese Aussage von Skeptikern missbraucht werden könnte“. Eine postnormale Situation entsteht, wenn die Sachlage und ihre Erklärung unvermeidlich unsicher sind, es also Spielraum in der Interpretation gibt, der sich nicht kurzfristig einengen lässt. Förderlich ist auch das gesellschaftliche Entscheidungen dringend, also in naher Zukunft, gefällt werden müssen, um wirksam zu sein. Diese Entscheidungen sind in der Regel mit großem Aufwand und Risiko verbunden. Und schließlich, als nicht unwichtigstes Element, dass die Entscheidungen stark verbunden sind mit kulturellen Werten. In einer postnormalen Situation kann es daher geschehen, dass wissenschaftliches Wissen zur rein argumentativen Stützung einer vorab aus gesellschaftlichen Präferenzen abgeleiteten und für das politische Handeln determinierenden Erklärung verkommt. Wissenschaftler werden prominent, weil

sie Garanten dieser gesellschaftlichen Präferenzen werden, die über das Wissen ewiger Wahrheiten verfügen.

Klimaforschung ist offenbar in so einer postnormalen Situation. Es gibt Unsicherheiten, etwa zur Sensitivität des Temperaturanstieg beim vorgegebenen Anstieg der Konzentration von Treibhausgasen, die sich abschließend erst mindern wird, wenn mehr Zeit ins Land gegangen ist, wenn wir die tatsächliche Reaktion des Klimasystems auf eine weitere Erhöhung der Konzentration beobachten können. Der Zeitdruck ist auch offensichtlich, weil eine „Rettung“ des Klimas nur mit einer Beendigung der Emissionen bis etwa 2055 für möglich gehalten wird. Dass dies Beenden der weltweiten Emissionen mit erheblichen Investitionen und technischen Entwicklungen sowie gesellschaftlichen Umstellung verbunden ist, bezweifelt niemand. Vertreter des Klimaschutzes aber argumentieren, dass ein Nichtbeenden mit erheblich höheren Kosten verbunden wäre als das Beenden. Die gesellschaftlichen Werte sind abhängig von der betrachteten Gesellschaft. Ein widerstreitendes Wertepaar ist für zukünftige Generationen zu sorgen bzw. diesen die Freiheit zu geben, eigenverantwortlich mit den dann verfügbaren Optionen und Problemen umzugehen.

## Epilog

Soweit meine Übersicht über Beiträge der verschiedenen Wissenschaftstraditionen zum Thema Klima und Klimawandel. Diese Übersicht ist subjektiv und spiegelt meinen eigenen Erfahrungsbereich wider. Gerade was die Leistungen der Ingenieur- und Sozialwissenschaften angeht, habe ich möglicherweise zu kurz gegriffen und interessante und wesentliche Beiträge unterschlagen. Ich bitte das nachzusehen, und vielleicht jemand anderes aufzufordern, meine Einschätzung des Spektrums, der Leistungen und Potenziale zu erweitern und ggfs zu korrigieren.

Abschließend möchte ich noch meine persönliche Einschätzung des Klimaproblems skizzieren, wie ich es ausführlicher tat in der aktuellen Ausgabe der Monatszeitschrift „Cicero“.

Ein recht belastbares Ergebnis der physikalischen Klimaforschung ist das sogenannte Budgetkonzept, wonach die Summe aller Emissionen von Treibhausgasen, wann und wo auch immer in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft freigesetzt, bestimmt, mit welchen Klimaänderungen wir es zum Ende dieses Jahrhunderts zu tun haben werden. Somit können wir abschätzen wie viel Emissionen noch zulässig sind bevor wir die international verabredete Obergrenze der Temperaturänderungen überschreiten. In Paris in 2017 wurde diese Obergrenze auf 2° besser noch 1,5° festgelegt. Unter Berücksichtigung der jetzigen

Emission übersetzt sich die Obergrenze auf ein Beenden der Emissionen etwa in 2055; eine Halbierung ist angezeigt für Anfang der 2030er Jahre.

Die derzeitigen weltweiten Emissionen belaufen sich auf 38 GtCO<sub>2</sub> pro Jahr. Deutschland emittiert derzeit etwa 0,8 GtCO<sub>2</sub> pro Jahr, wobei man annehmen darf, dass ein Teil des Deutschland zuzuordnenden Konsums Emissionen im Ausland veranlasst und in den „deutschen“ 0,8GtCO<sub>2</sub> pro Jahr nicht enthalten sind. In Indien gehen derzeit etwa 2,3 GtCO<sub>2</sub> in die Atmosphäre, Tendenz deutlich steigend. Ebenso in anderen sich entwickelnden Ländern. Damit sollte klar sein, dass Einsparleistungen in Deutschland keinen wesentlichen Beitrag zur „Rettung“ des Klimas leisten können, geschweige denn Aktionen wie der Verzicht auf Flugreisen oder die Nutzung von Einweggeschirr, die ja wiederum nur für einen Bruchteil der 0.8 GtCO<sub>2</sub> pro Jahr stehen.

Es wird dann gerne argumentiert, dass Deutschland ein Vorbild sein sollte, ein Vorreiter. Auf welchem Pferd soll dieser Reiter sitzen? Ein Pferd aus symbolischen Akten wird es nicht tun, aber ein Pferd aus technologischen Neuerungen, die wirtschaftliche Attraktivität mit Klimafreundlichkeit kombinieren, könnte es tun. Wir alle könnten dazu beitragen, nicht mit einer CO<sub>2</sub>-Steuer, die den individuellen Verbrauch mindern soll, sondern mit einer Art „Soli“, die es erlaubt, diese Neuerungen zu finanzieren und in der Welt zu verteilen. Zahlen sollen der Radiologe, der sich einen Tesla leisten kann, und nicht die Hebamme, die mit einem Diesel zur nächsten Patientin unterwegs ist. Und wer soll die Neuerungen zustande bringen? Deutschlands große Ressource – unsere Ingenieure und deren ingenieurwissenschaftliches Wissen.