

# Verantwortung

31.10.06\*  
27.02.07  
20.04.07

*Karl Lanius*

Wir sind Zeitzeugen einer explosionsartigen Entwicklung von Wissenschaft und Technik. Im 20. Jahrhundert wandelte sich unsere Welt in eine mit Hilfe der Technik dominierte Welt. Die heutige Technik aber ist ein Kind der modernen Naturwissenschaft. In dem Maße, wie über ihre technischen Produkte – Radio und Fernsehen, Atombombe, Computer, Raumfahrt, Gentechnik und schließlich auch über unseren Stoffwechsel mit der Natur – die Naturwissenschaft bestimmend und gestaltend in unser Leben eingriff, gewannen Wissenschaftler und ihre aktuelle Arbeit die Aufmerksamkeit einer breiten Öffentlichkeit.

Prägend für die öffentliche Wahrnehmung sollte in der Mitte des 20. Jahrhunderts die Kernphysik werden mit ihrem Produkt, der Atombombe. Am 6. August 1945 wurde über Hiroshima die erste Atombombe gezündet. Drei Tage später fiel eine zweite Atombombe auf Nagasaki. Beiden Atomwaffen töteten – direkt und indirekt – mehr als 200 000 Menschen.

Die Bomben gewannen ihre vernichtende Energie aus der Spaltung schwerer Atomkerne. Vierzig Jahre vor dem Atombombenabwurf, wußten die Physiker noch nicht von der Existenz der Atomkerne. Ihr Nachweis gelang erst 1911 Ernest Rutherford, der die im Experiment beobachtete Streuung von Teilchen an Atomen durch die Hypothese erklären konnte, daß ein Atom aus einem sehr kleinen elektrisch positiv geladenen Atomkern besteht, in dem sich die Masse des Atoms konzentriert. Die äußere Hülle des Atoms bilden die negativ geladenen Elektronen. 1923 entdeckten die Physiker, daß sich alle Atomkerne aus Protonen und Neutronen aufbauen, die eine neuartige, bis dahin unbekannte Kraft zusammenhält. Die Kernspaltung wurde 1938 entdeckt. Die Lösung des komplexen, ungemein schwierigen Problems, die Kernspaltung technisch umzusetzen, war nur durch eine neue Qualität im Zusammenwirken von Wissenschaft, Technik und Großindustrie möglich. Unter den Bedingungen des Zweiten Weltkrieges mündete in den Vereinigten Staaten das neue Wissen innerhalb weniger Jahre in den Betrieb von Kernreaktoren und in den Bau von Atombomben.

Das Beispiel demonstriert die ungeheure Dynamik von Wissenschaft und Technik, die sich im 20. Jahrhundert zu entfalten begann. Erstmals in der Geschichte der Produktion wurde die Wissenschaft selbst zur Quelle eines neuen Industriezweigs. Der Wissenschaftler war dabei der unmittelbare Produzent. Die Großforschung gab ihr Debüt. Sie demonstriert aber auch die Folgeprobleme zu denen die Umsetzung neuen Wissens in technische Verfahren und Produkte führt.

Je schneller erkannte Naturerscheinungen in gewinnträchtige Produkte und Verfahren umgesetzt werden, um so weniger Zeit und Mittel bleiben zur Klärung von Folgen und Nebenwirkungen. Betrachten wir das Beispiel der Nutzung der Kernenergie zur Energieerzeugung. In Frankreich erzeugen Kernkraftwerke 78% des Stroms. In der Wiederaufbereitungsanlage La Hague in der Normandie erfolgt eine Separierung von Uran und Plutonium aus den verbrauchten Brennelementen der Kernreaktoren. Sie werden zu neuen Mischoxid-Elementen verarbeitet. Die Reste, hochradioaktive Spaltprodukte und Aktinide, werden verglast und warten in Lagerhallen auf eine Endlagerung. In keinem Land der Erde besteht Klarheit darüber, wie diese „Abfälle“ über Jahrtausende sicher zu verwahren sind; ein Problem, das auch nach mehr als einem halben Jahrhundert ungeklärt blieb. Experten orientieren auf eine Lagerung, die eine Rückholung ermöglicht. Mittels neuer, in Entwicklung befindlicher Verfahren, will man langlebige Isotope durch Neutroneneinfang in kurzlebige Isotope umwandeln.

Ein weiteres Problem, vor dem die Menschheit am Beginn des 21. Jahrhunderts steht, ist der Klimawandel, den wir durch unseren explodierenden Stoffwechsel mit der Natur in Gang gesetzt haben. Die ersten Ausläufer, wie verstärkte Wetterextreme, beginnen wir wahrzunehmen. Sie sind nur der Beginn eines Prozesses, der die Biosphäre unseres Planeten drastisch verändern wird, zwei der vielen Problemen, die unsere, von technischen Artefakten geprägte Welt charakterisieren. Was ist erforderlich und vor allem, wieviel Zeit bleibt, um die Probleme zu lösen?

Im Mittelpunkt meiner Überlegungen steht die Verantwortung. Verantwortung bedeutet eine Ver-

---

\* Nach der Veröffentlichung einer Zusammenfassung für Politiker des ersten und des zweiten Teils des IPCC-Wissenstandsberichtes 2007 wurde das Manuskript ergänzt.

pflichtung, eine Verhaltensweise oder Entscheidung auf sich zu nehmen und für die sich daraus ergebenden Folgen einzustehen. Unmittelbar daraus ergeben sich drei Fragen: Verantwortung wem gegenüber, wessen Verantwortung und Verantwortung wofür?

- Verantwortung Wem gegenüber: Gegenüber der Menschheit in Gegenwart und Zukunft, gegenüber der Natur in all ihrem Reichtum, deren Teil wir sind und bleiben, solange es unsere Art gibt.
- Wessen Verantwortung: In erster Linie des Trägers der Macht, in dessen Händen die Verfügungsgewalt über unser Tun und Lassen liegt. Das sind sowohl die im Vordergrund agierenden Präsidenten, Regierungen, Militärs, Parteien und Parlamente, aber auch die im Hintergrund wirkenden wahren Träger der Macht, die weltweit agierenden Konzerne.  
Verantwortung jener, die mit ihrem Wissen und Können den Mächtigen dieser Erde die Mittel in die Hand geben, durch die sie unser Leben in Gegenwart und Zukunft gestalten.  
Verantwortung jener, durch deren künstlerische Werke in Literatur, gestaltender und darstellender Kunst es möglich sein sollte die Aufmerksamkeit einer breiteren Öffentlichkeit zu wecken.  
Verantwortung jener, die in den Massenmedien

wirkend, den Menschen eine Sicht der Probleme vermitteln, die entweder Aufmerksamkeit weckt oder, wie gegenwärtig die Regel, Probleme bagatellisiert oder verfälscht und das Interesse der Massen auf Nebensächlichkeiten lenkt.

Verantwortung jener, die in den Bildungssystemen von der Grundschule bis zur Universität zwar der Jugend ein brauchbares Verfügungswissen vermitteln, um sie optimal in das gesellschaftliche System zu integrieren, nicht jedoch ein Orientierungswissen, also Erkenntnisfähigkeiten, die zum eigenen Denken anregen.

Letztlich die Verantwortung jedes Menschen sich zu informieren und, falls erforderlich, zu handeln. Ernst Bloch ist zuzustimmen wenn er unsere Verantwortung nicht nur auf unser Tun beschränkt, sondern auch darauf, was wir widerspruchslos hinnehmen. Es ist der Gehorsam der Schwachen, der die Starken macht.

- Verantwortung Wofür: Für unser Tun und Lassen, für unseren Umgang miteinander und für unseren Stoffwechsel mit der Natur.

Um Antworten auf diese Fragen zu finden, betrachten wir zwei Beispiele, die *Atombombe* und den *Klimawandel*.

## Die Atombombe

Ihr Abwurf markiert den Beginn einer neuen Epoche in der Geschichte der Menschheit (Einstein). Um Motive und Reaktionen der Menschen zu verstehen, die an der Entwicklung, Fertigung und den Einsatz der Bombe teilhatten, muß man die Periode näher betrachten, in der sie entstand.

Unabhängig vom erreichten Erkenntnisstand sind die Entstehung der Bombe und die Machtergreifung Hitlers untrennbar miteinander verknüpft. Nicht nur durch den Zweiten Weltkrieg, den die Aggression des Dritten Reiches auslöste, sondern auch durch den Exodus der Wissenschaftler in Folge der Rassenpolitik.

Das erste antijüdische Gesetz des Dritten Reiches wurde bereits am 7. April 1933 erlassen, rund zwei Monate nach der Machtübernahme. Das Gesetz verpflichtete, Beamte nicht arischer Abstammung in den Ruhestand zu versetzen. Die erste Durchführungsverordnung definierte als nicht arisch jeden, der von jüdischen Eltern oder Großeltern abstamme. Es genügt, wenn ein Elternteil oder Großelternanteil nicht arisch ist. Universitäten waren Einrichtungen des Staates – Professoren Beamte. Universitäten wie Berlin und Frankfurt verloren jeweils ein Drittel des Lehrkörpers. Rund ein Viertel der Physiker Deutschlands verloren ihre Stellung und damit ihren Lebensunterhalt. Um zu überleben mußten sie emigrieren.

Einstein, der prominenteste Wissenschaftler Deutschlands, ein engagierter Pazifist, verließ Deutschland bereits 1932. Auch einige, der in Deutschland arbeitenden ungarischen Physiker verließen Deutschland vor 1933. Sie wußten aus eigenem Erleben in ihrer Heimat was der herannahende Faschismus bedeutete. Sie deuteten die Zeichen der Zeit richtig. Wichtigstes Zielland der Emigranten waren die Vereinigten Staaten. Rund hundert der aus Deutschland flüchtenden Physiker fanden hier neue Arbeitsplätze und eine Heimat.

Noch in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts wanderten angehende Physiker durch Europa, um hervorragende Gelehrte ihres Faches als Lehrer aufzusuchen. Damit knüpften sie an die Tradition von Handwerkern und Scholaren an. Um ein Gefühl für die Wissenschaft, für die Art ihrer experimentellen und theoretischen Beweisführung, für den Wert – oder Unwert – von Institutionen zu entwickeln, mußten die angehenden Physiker zunächst „zu Füßen eines Meisters sitzen“. So formte sich eine überschaubare internationale Gemeinschaft von Wissenschaftlern, die im ständigen Kontakt über ihr Netzwerk aus Briefen, wissenschaftlichen und persönlichen Kontakten und Freundschaften in unbekannte Naturbereiche vordrangen. Basis dafür waren Meinungsfreiheit und völlige Offenheit in der Kommunikation. Wis-

senschaft arbeitete wie ein gigantisches Gehirn aus individuellen, miteinander verknüpften Intelligenzen als Quelle ihrer kumulativen und scheinbar unerschöpflichen Kraft (Karl Polanyi).

Polanyi nahm an, daß das System von Meister und Lehrling die Wissenschaft vor Rigidität bewahrt. Der Lehrling übernimmt strenge Beurteilungsmaßstäbe von seinem Meister. Zugleich lernt er, seinem eigenen Urteil zu vertrauen: er lernt die Möglichkeit und die Notwendigkeit von Dissens. „Bücher und Seminare mögen Regeln lehren; Meister lehren kontrollierte Rebellion, wenn auch nur durch das Beispiel ihrer eigenen originären – und in diesem Sinne rebellischen – Arbeit“.<sup>1</sup>

Geprägt durch Ausbildung und Tätigkeit in einer „offenen Republik der Wissenschaft“ (Polanyi), in der jeder Wissenschaftler die Arbeit seiner Kollegen an allen gemeinsamen Maßstäben wertete, wurde die Erforschung des Atoms und seines Kerns vorangetrieben.

Revolutionierende Entdeckungen und Ideen verbreiten sich sehr schnell. Von Berlin, wo Hahn und Straßmann kurz vor Weihnachten 1937 die Spaltung des Urankerns unter Neutronenbeschuß beobachteten, gelang die Nachricht davon über Schweden und Dänemark schließlich in die USA. Leo Szilard, ein ungarischer Emigrant, schrieb in einem Brief vom Januar an Lewis Strauss, seinem Mäzen: „Ich fühlte mich bemüßigt, ihnen über eine höchst sensationelle neue Entwicklung in der Kernphysik zu berichten. In einem Aufsatz ... gibt Hahn an, er habe festgestellt, daß, wenn Uran mit Neutronen beschossen wird, das Uran entzweibricht. ... Das ist eine für den Durchschnittsphysiker vollkommen unerwartete und aufregende Nachricht. In der Physik-Abteilung von Princeton, wo ich die letzten paar Tage verbracht habe, ging es zu wie in einem aufgestörten Ameisenhaufen.“

Abgesehen vom rein wissenschaftlichen Interesse, könnte diese Entdeckung noch einen anderen Aspekt haben, auf den diejenigen, mit denen ich gesprochen habe, offenbar noch nicht aufmerksam geworden sind. ... Diese [Entdeckung] könnte zur Erzeugung von Energie und radioaktiven Elementen in großem Maßstab führen, unglücklicherweise vielleicht auch zu Atombomben.“<sup>2</sup>

Neben der Verifizierung der Messungen von Hahn und Straßmann beschäftigte die Physiker in den folgenden Monaten die Frage nach der Zahl der in jeder Spaltung eines Urankerns freigesetzten Neutronen. 1939 ergaben sowohl die Messungen in Paris (F. Joliot u.a.) als auch in New York (E. Fermi, L. Szilard u.a.), daß mehr als zwei Neutronen je Spaltung frei werden und damit eine Kettenreaktion möglich wurde.

Die Veröffentlichung der Pariser Untersuchungen veranlaßten den Hamburger Physiker Harteck zu einem Brief an das Oberkommando der Wehrmacht, in

dem darauf verwiesen wurde, daß die Herstellung eines atomaren Sprengstoffes möglich sein würde, der um viele Größenordnungen stärker sei als alle konventionellen Sprengstoffe. „Das Land, das als erstes Gebrauch davon macht, besitzt den anderen gegenüber eine nicht einzuholende Überlegenheit“.<sup>3</sup>

Nach Prüfung durch die deutschen Kernphysiker Diebner und Geiger befürwortete das Oberkommando der Wehrmacht entsprechende Forschungen. Parallel dazu wurde ein Ausfuhrverbot für Uran erlassen.

Zur gleichen Zeit fand in den Vereinigten Staaten auf der Frühjahrstagung der Physical Society eine Diskussion über die Probleme der Kernspaltung statt. Die New York Times schrieb darüber:

„Sichtlich erhitzte Gemüter und erhöhte Temperaturen gab es heute bei den Mitgliedern der American Physical Society, die ihren Frühjahrskongreß mit einer Debatte darüber beschloß, wie wahrscheinlich es ist, daß einer ihrer Kollegen mit einem winzigen Stück Uran – dem Element, aus dem das Radium entsteht – einen beträchtlichen Teil der Erde in die Luft jagen könnte.“

Dr. Niels Bohr aus Kopenhagen, ein Kollege von Dr. Albert Einstein am Institute for Advanced Study in Princeton/N. J., erklärte, die Beschießung einer geringen Menge des reinen Uranisotops U235 mit langsamen Neutronen ... würde eine »Kettenreaktion« oder atomare Explosion in Gang setzen, die stark genug wäre, das Laboratorium und die Umgebung im Umkreis von vielen Meilen zu verwüsten.

Viele Physiker erklärten allerdings, es werde schwierig, wenn nicht unmöglich sein, das Isotop 235 von dem häufigeren Isotop 238 zu trennen. Das Isotop 235 stellt nur einen Anteil von 1% an dem Element Uran.

Dr. L. Onsager von der Yale University beschrieb freilich eine neue Apparatur, mit der sich seinen Berechnungen zufolge die Isotope von Elementen, wenn sie gasförmig vorliegen, trennen lassen, und zwar mit Hilfe von Röhren, die an einer Seite gekühlt und an der anderen auf hohe Temperaturen erhitzt werden.

Andere Physiker gaben zu bedenken, daß ein solches Verfahren fast unerschwinglich teuer und die Ausbeute an Isotop 235 vernachlässigbar klein sein würde. Gleichwohl räumten sie ein, daß es, wenn Dr. Onsagers Separierverfahren funktionieren sollte, vergleichsweise einfach wäre, eine nukleare Explosion herbeizuführen, die eine Fläche von der Größe von New York City verwüsten könnte. Ein einziges Neutronenteilchen, das den Kern eines Uranatoms trafe, würde, so erklärten sie, ausreichen, eine Kettenreaktion auszulösen, die Millionen weiterer Atome erfassen würde.“<sup>4</sup>

Ein zentraler Diskussionspunkt unter den Physikern war der nach der Geheimhaltung ihrer Untersuchungen. (Es sei daran erinnert, daß im März 1939

Böhmen und Mähren mit dem Segen Frankreichs und Englands zum deutschen Protektorat wurden.)

Die Gruppe der engagierten ungarischen Physiker in den USA, Leo Szillard, Eugene Wigner und Edward Teller forderten eine strikte Geheimhaltung. Dagegen stand die Ansicht Nils Bohrs. „Er setzte sich seit Jahrzehnten für den Aufbau einer internationalen Gemeinschaft der Forscher ein, die innerhalb ihrer beschränkten Wirkungssphäre ein Modell für eine zukünftige friedliche, politisch geeinte Welt abgeben könnte. Das oberste, stets gefährdete Verfassungsprinzip dieser Gemeinschaft war Offenheit; Offenheit war eine funktionale *conditio sine qua non*, genauso wie etwa die Meinungsfreiheit für eine demokratische Gesellschaft. Völlige Offenheit erforderte völlige Aufrichtigkeit: Der Forscher berichtete über alle seine Resultate, die erfreulichen wie die unerfreulichen, und zwar dort, wo alle anderen sie nachlesen könnten; nur so konnte der Prozeß der beständigen wechselseitigen Fehlerkorrektur funktionieren. Geheimhaltungsgebote in dieses System einzuführen bedeutete, eine Verfassung zu widerrufen und das politische Subsystem Wissenschaft – Polanyis »Republik« – der anarchischen Konkurrenz der Nationalstaaten zu unterwerfen. Dabei erschien niemandem die von Nazideutschland ausgehende Gefahr bedrohlicher als Bohr.“<sup>5</sup>

Im Sommer 1939 wandten sich die ungarischen Physiker an Einstein. Sie veranlaßten ihn zu einem Brief an Franklin D. Roosevelt, der den Präsidenten der Vereinigten Staaten auf die Möglichkeit zur Schaffung einer Atombombe hinwies. Der Brief erwähnte auch entsprechende Aktivitäten in Deutschland.

Die Gedanken, die die ungarischen Physiker bewegten, als sie Einstein zu seinem Schreiben veranlaßten – und auch die Feder führten – charakterisierte Wigner im Rückblick nach dem Abwurf der Bombe auf Japan mit den Worten: „Obwohl keiner von uns [in der Anfangsphase] den Behörden gegenüber viel darüber sagte – sie hielten uns auch so schon für Träumer –, hofften wir, die Entwicklung von Atomwaffen könne über die Abwehr einer unmittelbar drohenden Katastrophe hinaus noch eine andere Wirkung zeitigen. Wir erkannten, daß, wenn einmal atomare Waffen entwickelt wären, keine zwei Nationen mehr in Frieden zusammenleben könnten, ohne daß nicht eine gemeinsam bevollmächtigte höhere Instanz die Oberaufsicht über ihre Militärapparate ausüben würde. Wir rechneten damit, daß diese Kontrollinstanzen, wenn sie über genügend Macht verfügten, um Atomkriege zu verhindern, auch in der Lage sein würden, mit allen anderen Kriegen Schluß zu machen. Diese Hoffnung war für unser Vorgehen ein fast ebenso wirksamer Ansporn wie die Angst, wir könnten feindlichen Atombomben zum Opfer fallen.“<sup>6</sup>

Am 1. September 1939 begann mit dem deutschen Überfall auf Polen der Zweite Weltkrieg. Am 11. Oktober wurde Roosevelt über den Inhalt des Einsteinschen Briefes informiert. Der Präsident veranlaßte die Bildung eines beratenden Ausschusses für Uran-Fragen. Der Ausschuß empfahl dem Präsidenten ausreichende Mittel für eine gründliche Erforschung bereitzustellen. Im Vordergrund der Untersuchungen sollte die Prüfung der Möglichkeit einer kontrollierten Kettenreaktion stehen, z.B. als Energiequelle für Unterseeboote. Der Bau einer Bombe aus Uran erschien Physikern, Politikern und Militärs zu dieser Zeit als eine ferne Utopie.

Bis zum Beginn des Überfalls auf die Sowjetunion im Juni 1941 schleppte sich das amerikanische Programm mühsam dahin, ständig in Auseinandersetzungen mit bürokratischen Zweiflern. Anfang Oktober 1941 überreichten die Briten der amerikanischen Regierung einen Bericht über ihre Untersuchungen. Sie waren zu dem Schluß gekommen, daß der Bau einer Bombe aus Uran 235 machbar sei.

Roosevelt veranlaßte daraufhin die Bildung einer „Top Policy Group“, zu der neben dem Vizepräsidenten auch der Kriegsminister und der Generalstabschef zählten. Damit wurde den Wissenschaftlern jedes Mitspracherecht über den Einsatz der zu entwickelnden Waffen genommen, deren Bau sie vorgeschlagen hatten.

„Ein Wissenschaftler konnte sich nun also entscheiden, ob er mithelfen wollte, Kernwaffen zu bauen oder nicht. Der Preis, der als Eintrittsgeld für die Aufnahme in den zunehmend separat existierenden und mit dem öffentlichen Staat nur durch die Person und die alleinige Autorität des Präsidenten verbundenen Geheimstaat zu zahlen war, lautete: Aufgabe jedes weiterführenden, außerwissenschaftlichen Autoritätsanspruchs.

Bei vielen war die Entscheidung durch Patriotismus motiviert, jedoch lassen die Äußerungen der Physiker dieser Zeit ein anderes Motiv als das wichtigere erscheinen. Dieses Motiv war die Angst: Angst vor einem deutschen Sieg, Angst vor einem durch Atombomben unverwundbar gemachten Tausendjährigen Reich. Und vielleicht noch tiefer als solche Angst war ein gewisser Fatalismus verwurzelt. Die Bombe hockte in ihrem Versteck in der Natur, wie sich in den Zellen des menschlichen Körpers die Chromosomen verstecken. Und wie man sie aus diesem Versteck herausholen konnte, das würde jede Nation irgendwann herausfinden können. Deshalb ging es nicht nur um einen Wettlauf mit dem Deutschen Reich. ...

Noch hatten die Vereinigten Staaten sich nicht entschieden, die Atombombe zu bauen. Jedoch hatte man sich nun unwiderruflich dazu entschlossen, die Möglichkeiten des Baus ausführlich zu erforschen. Diese Entscheidung traf ein Mann – Franklin D. Roosevelt – im geheimen und ohne den Kongreß o-

der die Gerichte zu befragen. Seiner Ansicht nach handelte es sich um eine militärische Entscheidung, und er führte schließlich den Oberbefehl.“<sup>7</sup>

Am 7. Dezember 1941 erfolgte der japanische Luftangriff auf Pearl Harbour, die USA befanden sich im Krieg. Die Arbeiten an der Atombombe erfuhren eine deutliche Forcierung. Im September 1942 übertrug der Kriegsminister die Leitung der Arbeiten – das sogenannte Manhattan Projekt – an Brigadegeneral Leslie R. Groves.

Über folgende Etappen führte unter seiner Leitung der Weg nach Hiroshima und Nagasaki:

- Inbetriebnahme des ersten Uran-Graphit-Reaktors.
- Schaffung eines geheimen, streng bewachten zentralen Laboratoriums in der Wüste Neu Mexikos, dessen Leitung dem theoretischen Physiker Robert Oppenheimer übertragen wurde.
- Bau der industriellen Anlage zur Trennung des zum Bombenbau erforderlichen U235 aus natürlichem Uran.
- Errichtung von drei Kernreaktoren zur Erzeugung von Plutonium, dem zweiten zum Bombenbau geeigneten Element.
- Errichtung von vier riesigen chemischen Trennanlagen zur Separierung des Plutoniums aus den hochradioaktiven Brennstäben der Kernreaktoren.

Die Forschungs-, Entwicklungs- und industriellen Fertigungsanlagen, die rund zwei Milliarden Dollar gekostet hatten, mündeten in eine erste Testexplosion am 16. Juli 1945. Auf Befehl des Präsidenten der Vereinigten Staaten Harry S. Truman folgte der Bombenabwurf auf Hiroshima und Nagasaki im August.

Die Gefühle, die die Wissenschaftler beim Anblick der Testexplosion in der Wüste New Mexikos bewegten, schildert E. Rabi: „Wir lagen da, sehr gespannt, im ersten Morgengrauen; im Osten zeigten sich gerade die ersten goldenen Streifen; man konnte seinen Nachbarn sehr undeutlich erkennen. Diese zehn Sekunden waren die längsten zehn Sekunden, die ich je erlebt habe. Plötzlich gab es einen ungeheuren Lichtblitz, das hellste Licht, das ich – oder wie ich glaube, überhaupt ein Mensch – je gesehen habe. Es explodierte; es schoß auf einen zu; es bohrte sich durch einen durch. Es war ein Bild, das man nicht nur mit den Augen sah. Man sah es, und es brannte sich für immer ein. Man wünschte sich, es würde aufhören; alles in allem dauerte es etwa zwei Sekunden. Schließlich war es vorüber, wurde weniger, und wir sahen zu der Stelle, wo die Bombe gewesen war; da war ein riesiger Feuerball, der wuchs und wuchs, und während er wuchs, drehte er sich; er stieg in die Luft auf, in gelben Blitzen und zum Scharlachroten und Grünen hin. Er sah bedrohlich aus. Er schien auf einen zuzukommen. Soeben war

etwas Neues geboren; eine neue Macht; ein neues Verständnis des Menschen, das der Mensch über die Natur gewonnen hatte. ...

Natürlich jubelten wir über das Ergebnis des Versuchs. Während dieser gewaltige Feuerball vor uns war, und wir beobachteten ihn, und er wälzte sich dahin und mischte sich langsam mit den Wolken ... Dann wehte der Wind ihn langsam auseinander. Wir wandten uns einander zu und tauschten Gratulationen aus, während der ersten Minuten. Dann überlief uns ein Frösteln, das nicht von der frischen Morgenluft herrührte; es war ein Frösteln, das einen überlief, wenn man nachdachte; wenn ich zum Beispiel an mein Holzhaus in Cambridge dachte, an mein Laboratorium in New York und an all die Millionen Menschen, die dort lebten, und an diese Naturgewalt, als die wir sie zum erstenmal begriffen – hier war sie.“<sup>8</sup>

Wenige Wochen nach dem Abwurf der Bomben sagte Oppenheimer anlässlich seiner Verabschiedung aus Los Alamos: „Sollten Atombomben als neue Waffen in die Arsenale einer kriegführenden Welt oder in die Arsenale von Ländern aufgenommen werden, die den Krieg vorbereiten, dann wird die Zeit kommen, in der die Menschheit die Namen Los Alamos und Hiroshima verflucht. Die Völker der Welt müssen sich vereinen, oder sie werden zugrunde gehen. Dieser Krieg, der so große Teile der Erde verwüstet hat, hat diese Worte geschrieben. Die Atombombe hat sie für alle Menschen verständlich gemacht.“<sup>9</sup>

Die politischen Änderungen darlegend, die durch die Entwicklung der Bombe entstanden waren, sagte Oppenheimer: „Wenn man der Sache auf den Grund geht, war der Grund, aus dem heraus wir diese Arbeit gemacht haben, daß es eine elementare Notwendigkeit war. Als Wissenschaftler kann man eine solche Sache nicht aufhalten. Wenn man Wissenschaftler ist, glaubt man, daß es gut ist, herauszufinden, wie die Welt funktioniert; daß es gut ist, herauszufinden, wie die Realitäten sind; daß es gut ist, der gesamten Menschheit die größtmögliche Macht an die Hand zu geben, die Welt zu beherrschen und mit ihr umzugehen, wie es ihrem Erkenntnisstand und ihren Werten entspricht. ...

Es ist unmöglich, Wissenschaftler zu sein, ohne zu glauben, daß die Erkenntnis der Welt und die Macht, die sie verleiht, etwas ist, das für die Menschheit von wesentlichem Wert ist. ...

Doch ich glaube, die Existenz der Atombombe und die Tatsachen, die sich herumsprechen werden, daß es nämlich nicht allzu schwierig ist, sie zu bauen; daß sie weltweit Verbreitung finden wird, wenn die Menschen das wollen; daß sie für kein starkes Land eine wirkliche Belastung der Wirtschaft darstellt; und daß ihre Vernichtungskraft wachsen wird und jetzt bereits unvergleichlich viel größer ist als die jeder anderen Waffe – ich glaube, all das wird eine neue Situation schaffen, so neu, daß darin eine Gefahr liegt;

ja sogar eine gewisse Gefahr in dem Glauben, wir hätten hier ein neues Argument für Vereinbarungen, für Hoffnungen, die schon bestanden, bevor diese Entwicklung eintrat. Ich meine damit, so gerne ich es auch höre, wenn die Verfechter eines Weltbundes oder die Verfechter einer Organisation der Vereinten Nationen, die seit Jahren von diesen Dingen reden – so gerne ich sie auch sagen höre, daß hier ein neues Argument liegt, so sehr glaube ich, daß sie den Kern der Sache zum Teil verfehlen; denn der Kern der Sache ist nicht, daß die Atomwaffen ein neues Argument darstellen. Gute Argumente hat es zu allen Zeiten gegeben. Der Kern der Sache ist, daß Atomwaffen eine Wirklichkeit schaffen, eine neue Wirklichkeit und eine neue Möglichkeit, Vorbedingungen zu erkennen. Ich glaube, wenn Leute von der Tatsache sprechen, daß sie nicht nur eine große Gefahr bedeuten, sondern auch eine große Hoffnung bergen, dann sollten sie damit folgendes meinen ...: die schlichte Tatsache, daß in dieser Wirklichkeit, weil sie eine Bedrohung darstellt, weil sie eine große Gefahr ist ..., eine Möglichkeit liegt, die Veränderungen zu erkennen, im Ansatz zu erkennen, die notwendig sind, wenn es überhaupt Frieden geben soll. ...

Das Ziel kann einzig und allein eine geeinte Welt sein, eine Welt, in der Krieg nicht mehr entsteht.<sup>10</sup>

Einer der jüngeren Emigranten, der Physiker Victor Weisskopf der von Beginn an in Los Alamos arbeitete, schreibt in seiner Autobiographie: „Heute bin ich mir nicht ganz sicher, ob mein Entschluß, mich an diesem ungeheuren – und ungeheuerlichen – Vorhaben zu beteiligen, allein auf der Befürchtung beruhte, die Nazis würden uns zuvorkommen. Es war vielleicht ganz einfach der Drang, an der bedeutsamen Arbeit teilzuhaben, die meine Freunde und Kollegen taten. Sicherlich spielte auch ein Gefühl des Stolzes mit, an einem einzigartigen, sensationellen Unternehmen mitzuwirken. Zudem bot es Gelegenheit, der Welt zu zeigen, wie kraftvoll, einflußreich und pragmatisch die esoterische Wissenschaft der Kernphysik sein konnte.“<sup>11</sup>

Mit dem Abwurf der Atombomben war für Weisskopf das Ziel der Arbeiten erreicht Neben vielen anderen verließ er Los Alamos, um sich wieder der Grundlagenforschung zuzuwenden: „Wir waren stolz auf unsere Leistung, dennoch belastete uns die Erkenntnis, daß wir die Verantwortung trugen für die Herstellung der vernichtendsten Waffe, die je ersonnen wurde. Wir lebten mit dem Bewußtsein, daß unsere Arbeit den Tod von mehreren hunderttausend Menschen unter grauenhaften Umständen herbeigeführt hatte – in der gewaltigen Hitze verbrannt und durch Radioaktivität getötet oder verstümmelt.

Wir hatten den erhofften Frieden errungen. Doch mit dem Sieg der Alliierten und dem Ende des Krieges kam eine Reihe von Widersprüchen und moralischen Konflikten, für deren Überwindung manche von uns viele Jahre brauchten.“<sup>12</sup>

General Groves glaubte, wie viele andere Militärs, daß die Sowjetunion mindestens 20 Jahre benötigt, um den technologischen Vorsprung der USA aufzuholen; sie brauchte knapp vier Jahre. Ihre erste Atombombe explodierte 1949, das internationale atomare Wettrüsten begann.

Wissenschaftler wie Oppenheimer, Rabi und Fermi, die dem Beratungsausschuß der Atomenergiekommission angehörten, versuchten die Entwicklung der Wasserstoffbombe aufzuhalten. Entgegen ihren Bemühungen wurde die H-Bombe entwickelt und gebaut. Bereits 1951 gelang es nahezu gleichzeitig den Vereinigten Staaten und der Sowjetunion diese Waffe, ein Werkzeug der Ausrottung ganzer Völker, zu bauen. Die kurz darauf stattfindenden Tests waren erfolgreich, die Bedrohung der Menschheit wuchs beträchtlich.

Viele Physiker, die an der Entwicklung der Bomben Anteil hatten, beteiligten sich aktiv an Bemühungen die Öffentlichkeit über die menscheitsvernichtende Katastrophe aufzuklären, die der Einsatz von Kernwaffen bedeuten würde.

Besonders aufgeschlossen für die Bemühungen der Wissenschaftler war Cyrus Eaton, ein vermögender Industrieller. Er besaß einen Landsitz in dem Dorf Pugwash bei Halifax, Neuschottland. Szillard schlug ihm vor, eine internationale Organisation von Wissenschaftlern aus Ost und West zu unterstützen, deren Ziel die Verhinderung eines Atomkrieges und atomarer Rüstungskontrolle sei. Mit Eatons Unterstützung organisierte Szillard 1957 die erste Pugwash-Konferenz.

Einer der wichtigsten Erfolge der Pugwash-Bewegung war die Beendigung der oberirdischen Atombombentests. Insbesondere der amerikanische Chemiker Linus Pauling überzeugte die Öffentlichkeit von der Gefahr radioaktiven Niederschlags. 1962 wurde er mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnet. Auf die Entwicklung neuer Kernwaffen besaß die Beendigung der oberirdischen Tests keinen Einfluß. Die Supermächte setzten ihre Versuche unterirdisch fort.

Der polnische Physiker Joseph Rotblat, der nach Ausbruch des Zweiten Weltkrieges nach England emigrierte, zählte zur Gruppe der englischen Wissenschaftler, die am Manhattan-Projekt teilnahm. Im November 1944, als bekannt wurde, daß Deutschland über keine Atombomben verfüge, verließ Rotblat als einziger Wissenschaftler das Bombenprojekt und ging nach England zurück. Er gehörte zu den Initiatoren der Pugwash-Konferenzen. Vom ersten Treffen 1957 bis 1973 war Rotblat Generalsekretär der Pugwash-Bewegung, 1988 wurde er ihr Präsident. Fünfzig Jahre nach Hiroshima und Nagasaki wurde Rotblat und der Pugwash-Bewegung der Friedensnobelpreis verliehen: für den jahrzehntelangen weltweiten Einsatz für die Abschaffung der Kernwaffen. In seiner Nobelpreisträgerrede nahm er gegen die noch

immer wirkende „Elfenbeinturm-Mentalität“ vieler Wissenschaftler Stellung: „Wissenschaft, die Ausübung höchster Kraft menschlichen Denkens, war meiner Auffassung nach immer verbunden mit dem Nutzen für die Menschen. ... Ich habe mir nicht vorgestellt, daß ich die zweite Hälfte meines Lebens mit Anstrengungen zubringen muß, um die tödliche Gefahr zu verhüten, die durch die Wissenschaft selbst hervorgebracht wurde.“

Neben dem bereits erwähnten Teststoppvertrag von 1963 war die Pugwash-Bewegung auch am Zustandekommen des Atomwaffensperrvertrages beteiligt. Er wurde 1968 unterzeichnet und trat 1970 in Kraft. Im Vertrag verpflichteten sich die Nuklearwaffenstaaten – inzwischen waren Großbritannien, Frankreich und China hinzugekommen – den atomaren Rüstungswettlauf frühzeitig zu beenden, guten Glaubens Verhandlungen über atomare Abrüstung zu beginnen und die Nicht-Atomwaffenstaaten bei der Entwicklung der friedlichen Anwendung der Kernenergie zu unterstützen.

Abgesehen von Teilmaßnahmen zur Rüstungskontrolle, z.B. dem SALT-Vertrag zur Reduzierung strategischer Atomwaffen, ging der Rüstungswettlauf unvermindert weiter. Länder wie Indien, Israel, Nordkorea und Pakistan, die den Atomwaffensperrvertrag nicht unterzeichnet hatten, verfügen inzwischen über eigene Atomwaffen und Trägerraketen.

Auf dem Höhepunkt des kalten Krieges umfaßten die Arsenale rund 60 000 Atombomben unterschiedlichen Kalibers. Auch 15 Jahre nach dem Ende der Sowjetunion gibt es weltweit immer noch annähernd 30 000 Atomwaffen, eine Menge, die zur Vernichtung der Menschheit ausreicht.

1995, 25 Jahre nach Inkrafttreten des Atomwaffensperrvertrages fand eine Überprüfungs- und Ergänzungskonferenz statt. Der Vertrag wurde unbefristet verlängert. Im Abschlußdokument der Konferenz finden sich folgende Versprechungen:

- Abschluß der Verhandlungen über einen weltweiten umfassenden und verifizierbaren Teststoppvertrag bis 1996,
- sofortiger Beginn und schneller Abschluß von Verhandlungen mit dem Ziel eines Vertrages über ein Verbot der Produktion von spaltbarem Material,
- entschlossene Inangriffnahme von systematischen und fortschreitenden Anstrengungen durch die Atomwaffenstaaten, um diese Waffen weltweit zu reduzieren und letztlich abzuschaffen.

Der Teststoppvertrag wurde 1996 fertiggestellt. Die USA waren die ersten, die den Vertrag unterzeichneten. Der US-Senat verweigerte jedoch 1999 die Ratifizierung. Bisher erfolgte keine Wiedervorlage durch die Regierung. Auch Ägypten, China, Indonesien, Iran und Israel haben zehn Jahre nach der Unter-

zeichnung den umfassenden Teststoppvertrag nicht ratifiziert. Staaten wie Indien, die KVDR und Pakistan, die bereits über Atomwaffen verfügen, haben den Vertrag bisher nicht unterzeichnet.

Zu den beiden weiteren Empfehlungen des Abschlußdokuments von 1995 gab es im Rahmen der UN-Abrüstungskonferenz bisher keine Verhandlungen. Auch die Konferenzen zur Überprüfung des Vertrages in den Jahren 2000 und 2005 endeten ohne einen Fortschritt. Aus der ursprünglicher Zielstellung, dem Stop der Weiterverbreitung und der atomaren Abrüstung, sind zwei Welten hervorgegangen, die der „Habenichtse“ und die der „Besitzenden“. Letztere setzen in Sicherheitsfragen weiter auf die Verfügungsgewalt über einsatzbereite atomare Waffen, an deren Verbesserung laufend gearbeitet wird.

Am Beginn des 21. Jahrhunderts sind wir zu Zeitzeugen zweier imperialer Kriege geworden. Sie werden von den Vereinigten Staaten mit dem Ziel der weltweiten Hegemonie geführt: Afghanistan 2001, Irak 2003. Diese Politik dürfte kaum den Anreiz kleinerer Staaten verringern, in den Besitz atomarer Waffen zu gelangen. Staaten, die nach den Vorstellungen von George W. Bush zur Welt des Bösen zählen, wie Iran, Syrien und Nordkorea dürften im Besitz von Kernwaffen ein mögliches Abschreckungspotential sehen.

Auch wenn es gelingt, in den kommenden Jahrzehnten den Ausbruch eines Atomkrieges zu verhindern, sollten wir uns eine Erfahrung aller Naturwissenschaften und Techniken ins Gedächtnis rufen: Keine je von Menschen erbaute Apparatur, kein komplexes System, gesteuert durch Computer, arbeitet fehlerfrei. Eine absolute Sicherheit existiert nicht. Meistens passiert etwas womit keiner der Experten gerechnet hat. Es ist eine Illusion zu glauben, daß komplexe Systeme beherrschbar sind. Gegenwärtig bewegt sich die Menschheit auf einem Boden, der einem Schneefeld gleicht, auf dem jeder Schritt eine gewaltige Lawine auslösen kann.

Alle Proteste, alle Aktivitäten von Naturwissenschaftlern, – von der Göttinger Erklärung der 18 Wissenschaftler vom 12. April 1947 bis zu den über mehr als ein halbes Jahrhundert anhaltenden Aktivitäten der Pugwash-Bewegung, – haben, ungeachtet aller Teilerfolge, an der Bedrohungssituation nichts geändert.

Kommen wir auf die Ausgangsfragen zurück: wessen Verantwortung und wofür? Tragen die Wissenschaftler die Verantwortung dafür, daß 60 Jahre nach dem Einsatz der Atombombe die Menschheit unter der Bedrohung ihrer Ausrottung durch einen eskalierenden Atomwaffeneinsatz lebt? Ihre Verantwortung liegt darin, daß sie die Büchse der Pandora Politikern und Militärs in die Hände gab. Daß diese, unter den gegebenen gesellschaftlichen Bedingungen in Vergangenheit und Gegenwart weder Willens noch in der Lage sind ihre Verantwortung auf sich zu neh-

men und die Atomwaffen abzuschaffen, bleibt nach allem was wir erfahren, unbestreitbar.

Politiker und Militärs der Nuklearmächte sprechen gegenwärtig mit erstaunlicher Offenheit über ihre atomaren Einsatzpläne. Zu den Optionen zählt der Gebrauch von atomaren „Mini-Nukes“ als Bunkerknacker gegen Terroristen und sogenannte Schurkenstaaten. In der Januar/Februar Ausgabe 2006 des „Bulletin of the Atomic Scientists“ schreiben Robert Norris und Hans Kristensen:

„Happy Nuke Year! The Cold War may be over, but the United States is still keeping its powder dry, spending billions of dollars annually to maintain and upgrade its nuclear forces. As of January 2006, the U.S. stockpile contains almost 10,000 nuclear warheads. And the Bush administration’s preemption policy – which allows for the quick use of nuclear weapons to destroy ‘time-urgent targets’ anywhere in the world – is now operational on long-range bombers, strategic submarines, and presumably intercontinental ballistic missiles.“

Nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs gründet eine Gruppe von Kernphysikern, die an der Entwicklung der ersten Atombombe mitgearbeitet hatten, das „Bulletin of Atomic Scientists“. Die Zeitschrift zeigt die Weltuntergangsuhr (doomsday clock), mit der die kritischen Wissenschaftler zu Ausdruck bringen wollen – anknüpfend an die Metapher „fünf vor zwölf“ – wie groß die Gefahr eines atomaren Krieges ist. Am 27. Februar 1946 wurde sie auf sieben Minuten vor zwölf gestellt. Seither wurde die Zeigerstellung 18mal verändert. Als die USA und die Sowjetunion ihre ersten thermonuklearen Bomben testeten (1953), zeigte sie auf zwei vor zwölf. Beim Ende des Kalten Krieges (1991) wurde die Uhr auf siebzehn vor zwölf gestellt. Von Seiten der Sieger des Kalten Krieges wurde nicht einmal der Versuch unternommen, die einmalige Chance für eine weltweite kontrollierte Abrüstung zu nutzen. Die Weltuntergangsuhr rückte seitdem in vier Schritten wieder auf fünf vor zwölf. Der letzte Schritt erfolgte am 17. Januar 2007. Die Herausgeber des Bulletins begründeten das erneute Vorrücken des Uhrzeigers damit, daß „wir am Rande eines zweiten Nuklearzeitalters stehen“. Neu in der Aufzählung der Gründe ist der Klimawandel, durch den ein erhöhter Druck zur friedlichen Nutzung der Atomenergie entsteht. Dadurch könnte das Risiko der Weiterverbreitung von spaltbarem Material wachsen.

In den Industriestaaten beschränkt sich gegenwärtig das Interesse der Massenmedien nahezu ausschließlich auf die Frage, ob der Iran Atombomben entwickeln will. Die weit wichtigere Frage, wann nun endlich die „entschlossene Inangriffnahme der Atomstaaten“ einsetzt, um Atombomben abzuschaffen, bleibt ausgespart. Abgesehen von Ausnahmen (z.B. *Neues Deutschland* vom 8/9. Juli 2006) erinnerte keines der Massenmedien daran, daß am 8. Juli 1996 der Internationale Gerichtshof in Den Haag, das

höchste Rechtsorgan der Vereinten Nationen, in einem Grundsatzurteil feststellte, daß es kein Völkerrecht gibt, das einen Kernwaffeneinsatz erlaubt. Es wurde festgestellt, daß eine Androhung und Anwendung von Kernwaffen rechtswidrig ist. Sie steht im Widerspruch zu dem in der UN-Charta festgelegten Gewaltverbot und entspricht nicht allen Erfordernissen des Rechts auf Selbstverteidigung.<sup>13</sup>

Durch ständiges Verschweigen in den Medien dürfte für die Mehrzahl der Deutschen auch das Bewußtsein verlorengegangen sein, daß in unserem Land noch viele amerikanische Atombomben lagern.

Ein Ereignis wie der Einsatz der Atomwaffen ging selbstverständlich nicht spurlos an den Künstlern vorbei. Sie setzten sich in vielen Werken mit dem Problem auseinander.

Die Sicht des Schriftstellers ist zumeist nicht die des Biographen, sein Anliegen nicht die historische Wahrheit. Er will seine Wahrheit, seine Botschaft an Hand der von ihm gewählten Sujets in seiner Form mitteilen. Er verzeichnet dabei – bewußt oder unbewußt – die historische Wahrheit. Das Publikum identifiziert nicht selten das Bild des Künstlers mit der Realität. Es liegt bei uns, das Anliegen des Künstlers aufzunehmen, zu erkennen und zu werten. Dabei ist die Abweichung von der historischen Wahrheit ganz sicher nicht das Problem, sondern die Frage nach den Konsequenzen der Adaption des Kunstwerks durch das Publikum. Um das deutlich zu machen, scheint mir eine Gegenüberstellung des geschichtlichen Galilei mit seinem künstlerischen Abbild bei Brecht am Platze.

Das Galilei-Problem, ein historischer Präzedenzfall in der Auseinandersetzung zwischen Wissen und Macht, wurde wiederholt von Künstlern aufgegriffen. Für die katholische Kirche war Galilei über Jahrhunderte ein Ketzer. Goethe bezeichnet Galilei in seinen Naturwissenschaftlichen Schriften als „einen „tüchtigen Schnitter“, der zu reichlicher Ernte kam und dessen Leben zum größten Teil eine „Reihe von herrlichen glänzenden Wirkungen (hatte). Leider trübte sich der Himmel, für ihn gegen das Ende. Er wird ein Opfer jenes edlen Strebens, mit welchem der Mensch seine Überzeugungen anderen mitzuteilen gedrängt wird ... und beschließt sein Leben in einem traurigen Halbmärtyrerthum.“<sup>14</sup>

Mit der fortschreitenden Veröffentlichung der Prozeßunterlagen ab der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts wandelte sich das Galilei-Bild zu dem eines Helden, der Märtyrer seiner Überzeugung wurde und der angesichts des Inquisitionsgerichts nach der Abschwörung die Worte sprach "Und sie bewegt sich doch".

Der Abwurf der Atombombe auf Hiroshima führte allen Menschen vor Augen, zu welchen technischen Produkten das "Lesen im aufgeschlagenen Buch der Natur", wie es Galilei nannte, führen kann. Folge-

richtig verurteilt ihn Brecht in seinem Stück "Das Leben des Galilei". Mit seinem Widerruf hat Galilei der Macht sein Wissen zum Gebrauch, also auch zum Mißbrauch überlassen.

Brecht legt im Schlußmonolog seinem Galilei folgende Worte in den Mund: „Ich habe meinen Beruf verraten. Ein Mensch der das tut, was ich getan habe, kann in den Reihen der Wissenschaft nicht geduldet werden.“<sup>15</sup>

Beginnend mit V. Viviani, einem Schüler Galileis, haben sich zahlreiche Wissenschaftshistoriker mit seinem Leben, seiner wissenschaftlichen Arbeit und seinem Verhältnis zur römischen Kirche beschäftigt. Wir haben daher heute ein recht deutliches Bild von ihm.<sup>16</sup>

Um Galileis Leistung verstehen zu können, sei daran erinnert, daß bis zur Renaissance im 16. Jahrhundert die Ansichten des Aristoteles die herrschenden Vorstellungen über den Bau der Welt waren. Die als ewig und unveränderlich betrachteten Himmelskörper waren nach Aristoteles an kristallinen Sphären befestigt und bewegten sich mit ihnen auf ihren natürlichen kreisförmigen Bahnen. Die äußerste Sphäre, die das Universum begrenzte, trug die Fixsterne. Die inneren Sphären trugen sieben Planeten: Saturn, Jupiter, Mars, Sonne, Venus, Merkur bis herab zum Mond. Unterhalb des Mondes befand sich die irdische Welt, gleichfalls in konzentrischen Kugeln angeordnet. Im Innersten die ruhende kugelförmige Erde, dann folgten nach außen Wasser Luft und Feuer. Auch in der irdischen Welt hatte jedes Ding seinen natürlichen Ort, der allerdings gestört werden konnte. Ziel der natürlichen Bewegung war die Wiederherstellung der Ordnung.

Als Vorstufe zu einer einheitlichen Physik verband Ptolemäus in seiner auf dem Weltbild der Aristoteles fußenden Planetentheorie Erde und Sphären durch eine einheitliche Geometrie. Das ptolemäische Welt-system war der gelungene Versuch einer Synthese, in der die damals bekannten astronomischen Beobachtungen mit dem Ideal der natürlichen kreisförmigen Bewegung der Himmelskörper verknüpft wurden.

Das Christentum, seit dem Jahre 391 Staatsreligion des Römischen Reiches, bestimmte in wachsendem Umfang das geistige Leben in Europa und damit auch die Entwicklung der Wissenschaften. Die Kirchenväter standen einer freien Entwicklung der Wissenschaften ablehnend gegenüber. Wichtigstes Gebot eines Christen war es, für das Heil seiner Seele zu sorgen. Dazu brauchte er von der Natur nicht mehr zu wissen, als die Bibel lehrte.

Es vergingen fast 1000 Jahre, bis im 13. Jahrhundert die Kirche mit ihrer gewachsenen Macht daran ging, den Glauben durch die Wissenschaft zu stützen (Thomas von Aquin). Die religiösen Dogmen sollten nicht nur geglaubt, sie sollten auch durch die Wissenschaft bewiesen werden. Aus der Antike übernahm die christliche Kirche die aristotelische Natur-

philosophie und die Astronomie der Ptolemäus. Dieses geozentrische Weltbild stimmte mit den astronomischen Beobachtungen jener Zeit überein, und es ließ sich dem Text der Bibel anpassen.

Aristoteles als Logiker, als Meister in der Kunst des Schlußfolgerns hatte in der Scholastik – nach längerem Widerstand – Ansehen erlangt. In der Hochscholastik eröffnete er sich den christlichen Denkern als ein Philosoph der Natur und des Menschen. Die Kirchengelehrten wurden mit Erkenntnissen konfrontiert, die unabhängig vom offenbarten Glaubensgut zu Objekten des Denkens wurden. Damit sahen sie sich vor die Frage gestellt, ob in dieser Dualität die Wahrheit zur Einheit gebracht werden konnte.

Thomas von Aquin wagte den Versuch, in das theologische Lehrgebäude die Aristotelische Erkenntnislehre und Metaphysik einzufügen. Das Wagnis gelang. Das thomistische Glaubensgebäude wurde zur Norm der römisch-katholischen Philosophie und Theologie.

„Das Kennzeichen des thomistischen Systems ist die Harmonisierung aller Gegensätze: zwischen Philosophie und Theologie, Vernunft und Glaube, Natur und Gnade, menschlicher Willensfreiheit und göttlicher Gnadenwahl, natürlicher und übernatürlicher Gottesoffenbarung. Der Dom der christlichen Offenbarungslehre hat eine Vorhalle (*praeambular*) in der natürlichen Gotteserkenntnis: Gott kann durch das natürliche Licht der Vernunft nicht nur erkannt, sondern geradezu bewiesen werden. Diese natürliche Gotteserkenntnis ist universal; sie wird auch allen Heiden zuteil. Sie befähigt jedoch nicht zur Erlösung; Diese wird nur durch den Glauben an die übernatürlichen geoffenbarten Heilswahrheiten (Trinität, Inkarnation und Erlösung) geschenkt.“<sup>17</sup>

Gerade weil sich christlicher Glaube auf die in der Bibel überlieferte Offenbarung Gottes stützen kann, bietet er einen höheren Grad an Sicherheit als die Wissenschaften, die allein dem menschlichen Verstand vertrauen. Auf diese Weise bringt Thomas Glauben (*fides*) und menschliche Vernunft (*ratio*) in Einklang, unter Sicherung des Primats des ersteren.

In den ersten Jahrhunderten des 2. Jahrtausends begannen sich neue Formen des Handels und des Geldverkehrs zu entwickeln, deren Zentren die Städte und deren Träger das Bürgertum waren. Mit der wachsenden ökonomischen Stärke der Kaufleute, Geldverleiher und Handwerker wuchs das Selbstvertrauen der Bürger und damit auch ihr Herrschaftsanspruch gegenüber Feudaladel und Klerus. Sie fühlten sich verantwortlich für die Gestaltung dieser Welt, für ihre Veränderung. Diese Steigerung des Lebensgefühls fand ihren künstlerischen Ausdruck in einer Renaissance der Antike. Auch Philosophie und Wissenschaften griffen in ihrer Auseinandersetzung mit der Scholastik auf die vorhandenen antiken Quellen zurück. An die Stelle eines demütigen und gläubigen

Menschen trat als neues Ideal ein die Natur erkennender und umbildender Prometheus.

Im Mittelalter waren die aristotelische Naturphilosophie und die ptolemäische Astronomie zum Dogma geworden. Mit dem kopernikanischen Weltsystem begann die erste wissenschaftliche Revolution.

Im Weltbild der Nikolaus Kopernikus (1473 - 1543) ruht die Sonne im Mittelpunkt der Systeme. Sie ist der beherrschende Weltkörper. Mit diesem heliozentrischen Weltsystem des Kopernikus wurde das Dogma vom Unterschied zwischen Diesseits und Jenseits, zwischen Erde und Himmel in Frage gestellt. Wenn die sich drehende Erde ein Planet unter anderen ist, wäre auch die Sonderstellung der Menschen in Zweifel gezogen und natürlich sein exklusives Verhältnis zum christlichen Gott. Darin lag die große weltanschauliche Bedeutung des kopernikanischen Weltbildes.

Die von Kopernikus eingeleitete wissenschaftliche Revolution führten zwei hervorragende Naturforscher ihrer Zeit weiter, der Astronom Johannes Kepler (1571 - 1632) und der Physiker Galileo Galilei (1564 - 1642). Die Arbeiten Keplers über die Bewegung der Planeten und die Galileis über das physikalische Experiment und die mathematische Formulierbarkeit physikalischer Gesetze ergänzten einander und vertieften die Einsicht in die materielle Einheit der Welt und die Erkennbarkeit der in ihr wirkenden Naturgesetze.

Ausgehend vom heliozentrischen System gelangte Kepler bei der Beschreibung langjähriger, recht genauer Beobachtungen der Positionen des Planeten Mars zu der Erkenntnis, daß die Bewegung nicht gleichförmig auf den idealen natürlichen Kreisbahnen des Aristoteles erfolgt, sondern auf Ellipsen mit wechselnder Geschwindigkeit. Mit dieser mathematisch exakten Beschreibung der Bewegung der Himmelskörper trat Kepler einen entscheidenden Schritt, um Himmel und Erde unter der Herrschaft physikalischer Gesetze zusammenzubringen. Basis seiner Überlegungen waren die Forderungen nach mathematischer Einfachheit und exakter Übereinstimmung mit den Beobachtungen. Prinzipien, die auch heute noch Grundlage jeder exakten Naturwissenschaft sind.

Galilei, ein gleichermaßen bedeutender physikalischer Denker und Experimentator, erkannte, daß nicht nur das Naturgeschehen am Himmel, sondern auch das auf der Erde durch mathematisch fundierte Gesetze beschreibbar ist und daß Vorhersagen dieser Gesetze im Experiment verifizierbar sind.

Aristoteles lehrte über die geradlinige, aufsteigende bzw. fallende natürliche Bewegung, daß leichtere Körper langsamer fallen als schwerere Körper und daß ganz leichte Körper wie etwa das Feuer nach oben steigen. Das entspricht dem, was uns die Alltagserfahrung lehrt. Galilei stellte eine intuitive Behauptung über einen speziellen Naturvorgang, den freien Fall, auf. Alle Körper fallen gleich schnell. Er be-

diente sich der Sprache der Mathematik, um das Wesen der Fallbewegung auszudrücken. Indem er die mathematischen Folgerungen daraus zog, ermöglichte er die experimentelle Prüfung der Konsequenzen des Fallgesetzes.

Seit der Zeit Galileis wurde diese Methode des wissenschaftlichen Denkens und Arbeitens, die Verknüpfung von Mathematik und Experiment, zur beherrschenden Forschungsmethode der Physik, die in den zurückliegenden Jahrzehnten auch zunehmend in andere Wissenschaften eindrang. Durch Galilei wurden Spekulationen zu mathematisch faßbaren Naturgesetzen, Beobachtungen zu Experimenten und praktische Aufgaben zum Gegenstand wissenschaftlicher Forschungen.

Im Jahre 1609 erfuhr Galilei von der Erfindung des Fernrohrs. Dieses, unser beobachtbares Umfeld stark erweiternde Instrument, war ihm wichtig genug, um seine Untersuchungen der Fallbewegung zeitweilig zu unterbrechen und ein selbstgebautes Fernrohr auf den Himmel zu richten. Er sah die Gebirge des Mondes, die Flecken der Sonne und die Monde des Jupiters. Die Himmelskörper zeigten sich Galileis Blicken nicht, wie Aristoteles es lehrte, als ideale mathematische Körper, die aus einem besonderen himmlischen Stoff bestehen sondern als strukturierte Gebilde, die Ähnlichkeiten zur Erde aufwiesen. Auch diese Beobachtungen unterstützten in Galileis Meinung die vom heliozentrischen Weltsystem geforderte Erkenntnis der naturgesetzlichen Einheit von Himmel und Erde.

Die Kirche stand der Lehre des Kopernikus mehr als 70 Jahre neutral gegenüber. Die kirchlichen Behörden, die für die Reinheit des Glaubens zuständig waren, sahen zumindest solange keinen Anlaß, sich mit dem heliozentrischen Weltsystem zu befassen, wie öffentlich keine philosophischen Konsequenzen daraus gezogen wurden. Die neuen Entdeckungen, die Galilei am Himmel machte, wurden durch die kirchlichen Gelehrten bestätigt. Die Jesuiten der Collegium Romanum vermieden jedoch in ihrem Gutachten für Kardinal Belarmino, dem Haupt der römischen Inquisition, daraus Schlüsse gegen das überkommene Weltsystem zu ziehen. Galilei war ein treuer und gläubiger Anhänger der katholischen Kirche und ein guter Wissenschaftler. Sein Konflikt mit der Kurie begann, als er versuchte, die Kirche davon zu überzeugen, daß kein Widerspruch zwischen fortschreitender Naturerkenntnis und katholischem Glauben bestehen muß. In der Auseinandersetzung um die Frage, ob die Heilige Schrift der Annahme einer Erdbewegung widerspreche, vertrat Galilei die Meinung, daß es neben der Offenbarung durch die Schrift noch eine Offenbarung durch die Natur gibt. Letztere zu erkennen, sei Aufgabe der Naturwissenschaftler.

Für die Kirche war diese Meinung unannehmbar. Durch Galileis Wissenschaftsauffassung wurde ein

Wahrheitsbegriff formuliert, der sich der Kontrolle der Kirche entzog und der ihre Vermittlerrolle zwischen Gott und den Menschen entscheidend einengte.

Die kirchliche Hierarchie verstand kaum die neuen physikalischen Erkenntnisse Galileis, wohl aber die philosophischen und theologischen Konsequenzen des kopernikanischen Weltbildes. Im Urteil der theologischen Experten des heiligen Offiziums wurde die heliozentrische Lehre als philosophisch falsch, absurd und als formal häretisch bezeichnet sowie die Lehre von der Bewegung der Erde als Irrtum im Glauben.

Kardinal Belarmino ließ Galilei am 26. Februar 1616 in den Vatikanpalast rufen, um ihm persönlich die Verurteilung der Lehre der Kopernikus mitzuteilen. Er ermahnte ihn, diese Lehre weder zu verteidigen noch für wahr zu halten. Diese private Form der Mitteilung belegt die große Hochachtung des Kardinals für den Wissenschaftler, aber auch die günstige Meinung der kirchlichen Hierarchie hinsichtlich der Treue seiner katholischen Gesinnung.

Das heliozentrische Weltsystem, also auch Galileis Weltbild, war durch das Dekret verurteilt worden. Es traf Galilei in seiner geistigen Existenz und zwang ihn, das, was er als wissenschaftliche Wahrheit erkannt hatte, zu verschleiern.

Gegen Ende der Jahren 1618, dem Beginn des dreißigjährigen Krieges, und am Anfang des darauffolgenden Jahres waren am Himmel über Europa drei Kometen erschienen. Auf dem Höhepunkt des öffentlichen Interesses an diesen Himmelserscheinungen publizierte der Jesuitenpater Grassi, Mathematiker am Collegium Romanum, eine Schrift, in der er die Kometen unter die Himmelskörper einordnete, deren Bahn jedoch von einer Kreisbahn abwich.

Durch das Dekret war es Galilei zwar untersagt, das heliozentrische Weltbild zu verteidigen, nicht aber gegen mögliche Verfälschungen zu polemisieren. Ein Himmelskörper, der sich nicht auf einer Kreisbahn bewegt, stellte aber in seinen Augen eine Bedrohung des kopernikanischen Systems dar.

In einer 1623 in Rom veröffentlichten Streitschrift, der "Goldwaage", polemisierte Galilei gegen Pater Grassi. Wie wir heute wissen, vertrat er dabei eine falsche Kometentheorie. Nicht der wissenschaftliche Gehalt, der weit über den Kometenstreit hinausging, machte den großen Erfolg seiner Schrift verständlich, sondern ihr literarischer. Die "Goldwaage" war in einem glänzenden Stil geschrieben. In Form eines polemischen Kommentars verfaßt enthielt sie überzeugende Passagen voll beißender Ironie.

Pater Grassi und das Collegium Romanum, dem dieser als angesehener Wissenschaftler angehörte, hatten allen Grund sich beleidigt zu fühlen. So verglich Galilei beispielsweise seinen Gegner mit einer zertretenen Schlange, der keine Lebensgeister mehr geblieben sind außer in der letzten Schwanzspitze

und die sich trotz allem windet, um glauben zu machen, sie sei noch gesund und voller Kraft.

Im August 1623 wurde Kardinal Barberini, der als ein feinsinniger Intellektueller und Freund Galileis galt, zum Papst Urban VIII. gewählt. Der Erfolg der "Goldwaage" ist sicher nicht zuletzt darauf zurückzuführen, daß Urban VIII. das Buch würdigte. Mit ihm verdiente sich Galilei die Auszeichnung – in Form eines öffentlichen Breves – als "ergebener Sohn" der Kirche.

Galilei, ein Anhänger des heliozentrischen Weltbildes auf Bewährung, respektierte in der "Goldwaage" das Verbotskdekret. Nicht verboten war ihm jedoch, ein Kopernikaner in der Physik zu sein.

So enthält die "Goldwaage" auch eine Auseinandersetzung mit den Ansichten Grassis über die Physik der sinnlich wahrnehmbaren Phänomene wie etwa Farbe, Geschmack und Wärme. Galilei vertrat die Meinung, daß die Sinneswahrnehmungen mit dem wahrnehmenden Lebewesen verschwinden. Er schlug einen neuen Weg der Definition des Gegenstandes der Physik vor. Aufgabe der Physik sei die Untersuchung der Materie, also die Untersuchung solcher materieller Eigenschaften wie Gestalt, Abstand, Bewegung usw. Wenn man diese Eigenschaften nicht unmittelbar beobachten könne, solle man sie hinter dem sinnlichen Anschein suchen.

Individuelle Wahrnehmungen wie etwa "Die Flamme ist heiß" werden zu "Die Flamme vermittelt ein Gefühl der Wärme". Die Aufgabe des Physikers sah Galilei darin, die materiellen Eigenschaften der Wärme, die einer mathematisch formulierbaren Erkenntnis zugänglich seien, zu untersuchen. Damit stellte er das "Buch der Natur" gegen das Prinzip der Autorität.

Um die "Goldwaage" entspann sich eine literarische Kontroverse im römisch-katholischen Kulturbereich. Auf der einen Seite stand das Autoritätsprinzip mit den Büchern des Aristoteles, auf der anderen Seite die Offenbarungen der Heiligen Schrift und des "Buches der Natur". Die in der "Akademie der Lincei" vereinigten intellektuellen Anhänger Galileis suchten nach einem erneuerten, nicht nur gegenreformatorischen Katholizismus, der einem modernen Wissen und Erkennen aufgeschlossen gegenüberstand.

Für die Jesuiten hatten Erwägungen religiösen Charakters absoluten Vorrang gegenüber denen philosophischer und wissenschaftlicher Natur. Galileis Gegner, der Jesuitenpater Grassi, „war das, was wir heute einen Parteikaderintellektuellen nennen würden. Ohne diese Eigenschaften wäre es unmöglich gewesen, über Jahre hinweg einen der schwierigsten Lehrstühle am Collegium Romanum zu behaupten.“<sup>18</sup>

Das Collegium Romanum, das kulturelle Schaufenster der Gesellschaft Jesu war eine besondere wissenschaftliche Gemeinschaft. Um in sie als Lehrer berufen zu werden, mußte man neben einer hohen

wissenschaftlichen Qualifikation die Bereitschaft besitzen, wissenschaftliche Probleme mit den Erfordernissen der Lehre und der Apologetik in Einklang zu bringen und sie an diese anzupassen.

Das Collegium Romanum reagierte scharf auf die in der "Goldwaage" vertretene Philosophie. Wer sie unterstützte, wurde zu einem Verräter der katholischen Orthodoxie erklärt, der hinter der Front des Glaubenskrieges, die quer durch Deutschland verlief, die Gegenreformation schwäche.

Trotz der Umarmung Galileis durch Urban VIII. erging beim heiligen Offizium eine anonyme Anzeige, als deren Autor P. Redondi in seinem lesenswerten Buch „Galilei der Ketzler“ Pater Grassi vermutet. Der Denunziant sah in der "Goldwaage" einen Angriff auf das heilige Sakrament der Eucharistie. Die Weihe des Priesters beim Abendmahl bewirkte nach dem Dogma des Tridentinischen Konzils, daß sich Brot und Wein in den Körper und das Blut Christi verwandeln, ohne dabei ihre Eigenschaften wie Geschmack und Farbe zu ändern. Dem, so schien es dem Denunzianten, widersprachen Galileis Ansichten über die sinnlich wahrnehmbaren Phänomene.

Der Text der Dogmas ließ neben der streng scholastischen Interpretation, wie sie in der Anzeige zum Ausdruck kam, auch hinsichtlich von Farbe und Geschmack eine Trennung von Naturphilosophie und Glauben zu. Ob man diesem oder jenem Standpunkt den Vorzug gab, war nicht nur ein theologisches Problem, sondern weit mehr noch von der Gewichtsverteilung zwischen äußeren Zwängen und Erneuerungswillen abhängig. Zur Zeit der "Goldwaage" neigte sich die Waage zugunsten Galileis – würde dieser Zustand Bestand haben? Galilei glaubte es. Er war 1624 sechzig Jahre alt, sein Gesundheitszustand war schlecht und er sah nun die Möglichkeit, über das kopernikanische Weltsystem in einer liberaleren Atmosphäre erneut zu schreiben.

In seinem Werk, dem "Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme", das im Frühjahr 1632 im Druck vorlag, erwies sich jedoch sein Bemühen als erfolglos, das als Hypothese darzustellen, war er für wahr hielt. Im "Dialog" brachte er zwar alle Argumente der peripatetischen Schulgelehrtheit gegen das kopernikanische Weltsystem vor, aber nur, um sie mit Spott und Sarkasmus abzufertigen. Beim Lesen des Dialogs gewinnt man den Eindruck, daß der Autor sich, wider besseres Wissen, ständig selbst daran erinnert, daß er nur das "Für und Wider" von Hypothesen zu beschreiben hat. So legt er dem etwas einfältig wirkenden Vertreter der Aristotelismus, Simplicio, das päpstliche Argument in den Mund, daß die Macht und die Weisheit Gottes nicht durch die Annahme einer absoluten Gesetzmäßigkeit der Natur eingeengt und begrenzt werden dürfe.

Urban VIII., dem die Gegner Galileis sicher rasch nahebrachten, daß sein wichtigstes theologisches Argument gerade dem einfältigen Simplicio in den

Mund gelegt wurde, fühlte sich persönlich angegriffen.

Die Mißstimmung Urbans allein war jedoch kein ausreichender Grund, um gegen Galilei ein reguläres Verfahren einzuleiten. Die Veröffentlichung des Dialogs im Frühjahr 1632 war Anlaß für die Untersuchung und den anschließenden Prozeß vor der heiligen Inquisition. Die Ursache lag letztlich in der sehr kritischen Situation, in die die römische Kirche durch die Machtpolitik des Papstes geraten war.

Urban VIII. war nicht nur ein starker Oberhirt der katholischen Kirche, er war auch ein kämpferischer Weltfürst, dem es um die Stärkung der weltpolitischen Macht der Vatikans ging. Als Urban den Stuhl des Papstes bestieg, konnte er noch hoffen geistliches Oberhaupt einer wiedervereinigten katholischen Christenheit zu werden. Sein Ziel war es, mit der geistlichen auch die politische Vormachtstellung des Papsttums in Europa wieder zu errichten. Die Sache des Protestantismus hatte in Deutschland eine schwere Niederlage erlitten, Die kaiserlichen Truppen waren siegreich nach Norddeutschland vorgedrungen. In Frankreich nahm Richelieu 1628 La Rochelle, die letzte Festung der Hugenotten. Die Rekatholisierung in den österreichischen Erblanden und in Deutschland erfuhr einen starken Aufschwung. In dieser Situation verbündete sich der Papst aus durchaus weltlichen Gründen mit Richelieu gegen die entscheidende Kraft der Gegenreformation, die österreichisch-spanischen Habsburger. Richelieu ging ein Bündnis mit Gustav Adolf ein und finanzierte gemeinsam mit Venedig dessen Feldzug nach Süden. Nachdem auch die zunächst noch unentschiedenen protestantischen deutschen Fürsten sich an die Seite des Schwedenkönigs stellten, kam der dreißigjährige Glaubenskrieg erst richtig in Gang. In dieser kritischen Lage war Urban VIII. weder bereit, den Habsburger Kaiser mit Truppen und Geld zu unterstützen, noch das Bündnis zwischen dem Frankreich Richelieus und den protestantischen Ketzern zu verdammen.

Der "Dialog" erschien im März 1632 im Buchhandel auf dem Höhepunkt der politischen Krise. Gustav Adolf hatte das katholische Bayern niedergeworfen und schwedische Truppen marschierten nach Tirol in Richtung auf die Grenze nach Italien. Durch den Vertreter Spaniens beim Heiligen Stuhl, Kardinal Borgia, wurde Urban VIII. im gleichen Monat der häretischen Allianz mit dem Schwedenkönig angeklagt. Je begründeter der Verrat des Papstes in politischen Fragen erschien, um so willkommener mußte ihm die Möglichkeit sein, sich in einem Prozeß gegen Galilei als Glaubenshüter zu zeigen. Im Verfahren gegen Galilei bot sich ihm die Möglichkeit, dem Druck der Habsburger nachzugeben und sich von der Anklage eines Beschützers von Häretikern zu befreien. Daß er die öffentliche Verurteilung Galileis durchsetzte, lag sicher an dem Bemühen, sich von aller Kritik der Unterstützung, ja Freundschaft zu

diesem Ketzler rein zu waschen. Seiner verletzten Eitelkeit ist wahrscheinlich die Erniedrigung und anhaltende Unterdrückung Galileis zuzuschreiben.

Die Aburteilung des inzwischen achtundsechzigjährigen Wissenschaftlers erfolgte, wie die Prozeßunterlagen zeigen, nach einem falschen, wenn nicht gefälschten Dokument. In der öffentlichen Abschwörung mußte Galilei nicht nur seine Reue über ein Verbrechen beteuern, daß in seinen Augen keines war, sondern auch noch alle Unrechlichkeiten des Verfahrens decken.

Wie sein Schriftwechsel und sein Handeln nach der Verurteilung beweisen, war er sich des Unrechts der erzwungenen Abschwörung voll bewußt. So schrieb er beispielsweise in einem Brief vom 22. Februar 1635 an Peiresc: „ich erhoffe mir wie gesagt, keinerlei Erleichterungen, und zwar, weil ich kein Vergehen begangen habe. Ich dürfte erwarten, Verzeihung und Begnadigung zu erlangen, wenn ich gefehlt hätte; denn Fehler sind es, welche dem Fürsten Anlaß zur Ausübung von Milde und Gnade Anlaß geben könnten, während er sich gegenüber einem unschuldig Verurteilten geziemt, die ganze Strenge aufrechtzuerhalten, um zu zeigen, daß man dem Rechten gemäß vorgegangen sei.“<sup>19</sup> Im Bewußtsein des Unrechts das ihm angetan worden war, „betrieb er die Verbreitung seiner Werke nach der Verurteilung auf ebenso offene, bedenkenlose wie auch listige, wohlberechnete Weise; kurz, er hatte an Mut gewonnen wie taktisch gelernt“.<sup>20</sup>

Bereits kurz nach dem Prozeß bemühte sich Galilei um eine Übersetzung des eben verketzerten "Dialogs" und um die Veröffentlichung der Discorsi „Unterredungen und mathematische Demonstration über zwei neue Wissensgebiete, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend“, seinem Lebenswerk, in dem er sein methodisches Verständnis der Physik, wie wir es heute noch begreifen, in geschlossener Form vorlegte.

Wenn Galilei in seinem Buch den Ablauf der Bewegung als Funktion der Zeit beschreibt, erfordert dieses Vorgehen die Einbeziehung der Mathematik in die Physik. Seine Methode besteht „im intuitiven Erfassen des Wesentlichen einer Bewegung, in der mathematischen Fassung dieses Wesentlichen, im Ziehen mathematischer Folgerungen und im Vergleich dieser mit der Erfahrung“.<sup>21</sup>

Albert Einstein und Leopold Infeld bewerten rückblickend Galileis Methode mit den Worten: „Das Mittel der wissenschaftlichen Beweisführung wurde von Galilei erfunden und zum erstenmal gebraucht. Es ist eine der bedeutendsten Errungenschaften, die unsere Geistesgeschichte aufzuweisen hat und bezeichnet recht eigentlich die Geburtsstunde der Physik.“<sup>22</sup>

Mit der Abschwörung zog sich Galilei aus einem hoffnungslosen Kampf im nationalen Rahmen zurück; denn in Italien gab es keine bürgerliche Bewe-

gung mehr, deren Einfluß ausreichend gewesen wäre, ihn zu schützen. „Galilei hätte unter diesen Umständen nicht nur ein Heroe, sondern ein Titan sein müssen, wenn er sich einer Abschwörung widersetzt hätte; ein Titan deshalb, weil er gleichsam das geistige Dach der neuen Wissenschaft ohne das neue politisch-ökonomische Fundament eines starken Bürgertums hätte tragen müssen.“<sup>23</sup> International hatte Galileis Ruf durch den Prozeß bei allen wissenschaftlich Interessierten nur gewonnen. In der Meinung der fortschrittlichen Kräfte Europas wurde er zum Märtyrer seiner Epoche.

Bertolt Brecht vollendete im November 1938 im dänischen Exil sein Stück über das Leben Galileis. Es wurde unter dem Titel "Galileo Galilei" im Jahre 1943 am Züricher Schauspielhaus uraufgeführt. Unter dem gleichen Titel erfolgte die Erstaufführung am Berliner Ensemble im Februar 1978. Dieses Stück unterscheidet sich wesentlich vom "Leben des Galilei", einer Fassung, die unter dem Eindruck des Atombombenabwurfs auf Hiroshima entstanden war. Sie wurde erstmals in Beverly Hills im Jahre 1947 aufgeführt. Unter der Regie von Brecht und Engel fand die Premiere des "Leben der Galilei" am 15. Januar 1957 am Berliner Ensemble statt.

Werner Mittenzwei, der Biograph Bertolt Brechts, schreibt über die dänische Fassung: „Die Fabel des frühen Galilei-Stücks erzählt die Geschichte eines Mannes, der für ein neues Zeitalter kämpft, der aber an einem entscheidenden Punkt seines Lebens versäumt, für die Vernunft, für den Fortschritt einzutreten. Brecht schildert uns hier – ausgehend von den Erfahrungen der illegalen Arbeit gegen den Hitlerfaschismus einen Menschen, der in schwierigen Zeiten lebt, der harten Belastungsproben ausgesetzt ist. Was er will, ist nicht immer mit Gradlinigkeit, nicht auf dem ersten besten Weg durchzusetzen. Um für die Vernunft einzutreten, ist List, ist Taktik nötig. Aber im Unterschied zu 'Leben des Galilei' ist dieser Galilei am Ende des Stückes nicht geistig verlumpt, ... er ist nicht der Bruder im Verrat, der Vetter in der Gosse, sondern der Mann aus dem Dickicht der Kämpfe. Angeschlagen aber nicht zerbrochen, erreicht er die neue Zeit.“<sup>24</sup>

Im Vordergrund der dänischen Fassung steht für Brecht die Frage: Wie besteht ein Wissenschaftler, der von seiner Wahrheit überzeugt ist, in schwerer Zeit. Das Thema schließt neben der Frage nach der Verantwortung des Wissenschaftlers auch die Problematik des illegalen Kampfes ein. In jenen Jahren sah Brecht es als Aufgabe der Literatur, deutlich zu machen, wie man gegen den Hitlerfaschismus kämpft.

So wie die dänische Fassung ganz aus der politischen Situation bezogen ist, in die Brecht den fortschrittsfreudigen Menschen Ende der dreißiger Jahre gestellt sah, führte ihn ein Ereignis wie der Atombombenabwurf im August 1945 zu einer neuen Sicht

der Konfliktes Galileis mit der herrschenden Macht seiner Zeit. Im "Leben der Galilei" steht der Verrat Galileis an der Wissenschaft im Vordergrund. Der Tod von 140 000 Menschen in Hiroshima, verursacht durch ein Produkt der Physik, veranlaßte Brecht zu einer Verurteilung Galileis. In dieser Neufassung des Stückes verdeutlicht Brecht seine Ablehnung der Haltung Galileis, den er für einen Schuft hält, durch Einfügung einer Selbstbezeichnung in der 14. Szene: „Ich halte dafür, daß das einzige Ziel der Wissenschaft darin besteht, die Mühseligkeit der menschlichen Existenz zu erleichtern. Wenn Wissenschaftler, eingeschüchtert durch selbstsüchtige Machthaber, sich damit begnügen Wissen um des Wissens willen aufzuhäufen, kann die Wissenschaft zum Krüppel gemacht werden, und eure neuen Maschinen mögen nur neue Drangsale bedeuten. Ihr mögt mit der Zeit alles entdecken, was es zu entdecken gibt, und euer Fortschritt wird doch nur ein Fortschreiten von der Menschheit weg sein. Die Kluft zwischen euch und ihr kann eines Tages so groß werden, daß euer Jubelschrei über irgendeine neue Errungenschaft von einem universalen Entsetzensschrei beantwortet werden könnte.“<sup>25</sup>

„Das Politische Versagen oder die Standhaftigkeit einen einzelnen Physikers war innerhalb der großen Volksbewegung um den Frieden zu einem außerordentlichen Fakt geworden. Von seiner Entscheidung, von dem Grad seiner Einsicht hing viel ab. Von dieser neuen politischen Situation aus konnte Galileis Widerruf vor dem Inquisitionsgericht von Brecht nur als Verrat als Verbrechen gesehen werden. Galilei versagt vor den gesellschaftlichen Forderungen seiner Zeit. ... Brecht selbst schrieb in den Anmerkungen zu seinem Stück: Galileis Verbrechen kann als die "Erbünde" der modernen Naturwissenschaften betrachtet werden. ... Die Atombombe ist sowohl als technisches als auch als soziales Phänomen das klassische Endprodukt seiner wissenschaftlichen Leistung und seines sozialen Versagens.“<sup>26</sup>

Wie ein Vergleich des historischen Galileis mit der Darstellung Brechts im "Leben des Galilei" zeigt, wird hier ein Bild gezeichnet, mit dem der Künstler die in unserer Zeit so wichtige Frage nach der Verantwortung des Wissenschaftlers stark vereinfacht. Wir haben gesehen, daß der historische Galilei auch in seiner moralischen Haltung von dem Bild abweicht, das der Künstler uns zeigt. Das Bild Galileis, das der Künstler dem Publikum präsentiert, wird wohl überwiegend als authentisch gewertet und einer Beurteilung Galileis zugrunde gelegt. Brecht verführt hier sein Publikum. Damit wird dem Andenken dieses großen Menschen und Wissenschaftlers ein Unrecht getan. Sein Konflikt mit der herrschenden Macht, unter den historischen Verhältnissen seiner Zeit, brachte Galilei vor das Inquisitionsgericht. Der Mann entschied sich angesichts der drohenden Folter für ein Halbmärtyrertum, wie Goethe es nannte.

Wenn Brecht seinen Galilei im Schlußmonolog sich selbst verdammen läßt, da er das einzige Ziel der Wissenschaft verraten hat, die Mühseligkeit der menschlichen Existenz zu erleichtern, so war und ist das für viele Menschen ein Alibi, denn wenn er, der Wissenschaftler, schuldig ist, so ist man gehindert, sich die Frage der Mitschuld, der eigenen Verantwortung, vorzulegen.

Auf dem Höhepunkt des kalten Krieges, dem Jahr der Kuba-Krise (1962), veröffentlichte Friedrich Dürrenmatt seine Komödie „Die Physiker“. Im Gegensatz zu Brecht sieht Dürrenmatt keine Möglichkeit einer revolutionären Veränderung der Gesellschaft. Von seinem Helden, dem genialen Physiker Möbius, fordert er kein auf die Gesellschaft wirkendes Handeln. Die Aktionen des Helden gehen ins Leere. Weil die Welt „als Ganzes tragisch geworden zu sein scheint, kann es keine Tragödie mehr geben, sondern nur noch die Komödie – die bei Dürrenmatt ins Grotteske gesteigert wird. Die Verweigerung eines Widerrufs oder – in der Epoche des Stückeschreibers Brecht – die Weigerung der Physiker, ihre Forschung in den Dienst der Menschheitsvernichtung zu stellen, ist sinnvoll, daher notwendig. Hier spürt man bereits die Ansätze zu einem Gedankengang, den Dürrenmatt weiterführen sollte: über Brechts Galilei hinaus und gegen ihn. Wenn es nämlich schimpflich werden kann, etwas zu entdecken, läßt sich die Forderung der Galileifigur nach humanitärem Dienst nicht mehr in der überlieferten Weise erfüllen. Dann ist die Schlußfolgerung des Johann Wilhelm Möbius, des Physikers bei Dürrenmatt, nicht fern: auf Forschung zu verzichten, weil es verderblich wurde, etwas zu entdecken. Dann wurde die These der Dürrenmatt-Figur sogar von Brecht her bereits denkbar, »daß es heute die Pflicht eines Genies ist, verkannt zu bleiben«. Als Forderung an alle Physiker gerichtet: »Entweder bleiben wir im Irrenhaus oder die Welt wird eines. Entweder löschen wir uns im Gedächtnis der Menschen aus oder die Menschheit erlischt.«<sup>27</sup>

Dargestellt werden Dissonanzen, deren Lösung nicht mehr möglich erscheint. Der Versuch einer Perspektive wäre unter diesen Umständen absurd. Übrig bleibt eine Haltung humanistisch bemühter Resignation. „Eine Chance liegt allein noch beim einzelnen“ sagte Dürrenmatt. ... Indem der einzelne, bereit zum Opfer, bereit zur Erkenntnis der Lächerlichkeit all seines Bemühens, das Menschliche in der eigenen Brust zu bewahren sucht, sich – als einzelner – damit im Widerspruch zur Welt erhält, beweist er sich selbst als „tapferen Menschen“, der „noch immer“ möglich erscheint. Nur dieser tapfere Einzelne vermag noch „die Welt zu bestehen“, er kann den „schöpferischen Akt“ wagen, die Welt in Bildern zu formen, nur er kann es unternehmen, der amorphen Welt „ein Gesicht geben“ zu wollen. Damit erhält Dürrenmatt sich einen fernen Schimmer der Hoffnung; Veränderung der Welt durch den Menschen

erscheint nicht möglich, wohl aber Besinnung und Veränderung des (einzelnen) Menschen – und vielleicht mag eines Tages von dort her die Rettung kommen.<sup>28</sup>

In der Komödie wird der Salon eines Irrenhauses zum Gerichtssaal, in dem über Möbius und über den Zustand der Welt Gericht gehalten wird. Dieser Zustand hatte den Physiker letztlich ins Irrenhaus flüchten lassen, um seine Entdeckung vor einem Mißbrauch durch die „Vernünftigen“ zu schützen. Zu seiner Rechtfertigung erklärt Möbius: „Es gibt Risiken, die man nie eingehen darf: Der Untergang der Menschheit ist ein solches. Was die Welt mit Waffen anrichtet, die sie schon besitzt, wissen wir, was sie mit jenen anrichten würde, die ich ermöglichen, können wir uns denken. ... Unsere Wissenschaft ist schrecklich geworden, unsere Forschung gefährlich, unsere Erkenntnisse tödlich. Es gibt für uns Physiker nur noch die Kapitulation vor der Wirklichkeit. Sie ist uns nicht gewachsen. Sie geht an uns zugrunde. Wir müssen unser Wissen zurücknehmen, und ich habe es zurückgenommen.“<sup>29</sup> Die Rücknahme endet mit dem Resultat, daß Möbius' Entdeckung in die Hände einer Verrückten gerät, die damit die Welt beherrschen will.

In den Thesen zu seinem Stück sagt Dürrenmatt:

- Der Inhalt der Physik geht die Physiker an, die Auswirkungen alle Menschen.
- Was alle angeht, können nur alle lösen.
- Jeder Versuch eines Einzelnen, für sich zu lösen, was alle angeht, muß scheitern.

Auch hier stellt sich jedem, der die Problematik kennt, die Frage: *Was kann und muß nach dem jahrzehntelangen Aufzeigen der atomaren Menschheitsbedrohung noch getan werden?*

Unsere Zeit ist durch die Wissenschaft und ihre technischen Anwendungen geprägt. Mit ihrer zielgerichteten und spezifischen Art des Herangehens erfaßt die Naturwissenschaft die Gesetze der Natur, die Gesetze der objektiven Wirklichkeit.

In ihnen findet die sich erweiternde Erkenntnis der Welt ihren Ausdruck. Sie zählt zu den großen Errungenschaften der Menschheit. Die Worte "Wissen ist Macht" waren nie vorher von einer solchen Aktualität wie heute.

Die gewaltige Macht des Wissens in Verbindung mit der wirtschaftlichen und politischen Macht entscheidet heute sowohl über Leben und Tod der Menschheit als auch in wachsendem Maße über künftige Entwicklungslinien. Physik, wie auch jede andere Naturwissenschaft, ist eine gesellschaftliche Tätigkeit. Sie wird unter bestimmten gesellschaftlichen Verhältnissen betrieben und ihre Ergebnisse können zur Wohlfahrt, aber auch zum Schaden der Menschheit genutzt werden. Dabei darf man den Begriff der Nützlichkeit nicht zu eng fassen, ein kurzfristiger Nutzen kann zu einem langfristigen Schaden führen.

Bevor ich auf die Schlussfolgerungen eingehe, die sich aus der Existenz der Atombombe ergeben, soll ein weiteres die Existenz der Menschheit bedrohendes Problem betrachtet werden. Der Stoffwechsel der Menschheit mit der Natur erreichte im Gefolge des wissenschaftlich-technischen Fortschritts eine Intensität, die das empfindliche Klimasystem unseres Planeten merklich zu beeinflussen beginnt. Die Möglichkeiten anthropogener Einwirkungen auf die Atmosphäre haben zum Beginn des 21. Jahrhunderts ein Ausmaß erreicht, das zu einer realen Gefahr für das natürliche Gleichgewicht auf der Erde wird

## Das Klimaproblem

Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen der zurückliegenden Jahrzehnte belegen zweifelsfrei:

*Das Erdklima hat sich gegenüber der vorindustriellen Zeit (vor 1860) global und regional verändert.*

Instrumentelle Temperaturmessungen nahe der Erdoberfläche begannen vor rund 150 Jahren. Ein Vergleich der weltweit gemessenen Werte zeigt, daß der globale Mittelwert der Temperatur heute deutlich höher liegt als in der vorindustriellen Zeit. Sie lag in den zurückliegenden 50 Jahren sehr wahrscheinlich höher als je zuvor in den letzten 1300 Jahren.<sup>30</sup>

Im Laufe des 20. Jahrhunderts erfolgte die Erwärmung nicht kontinuierlich. Seit Mitte der siebziger Jahre beobachten die Forscher einen stärkeren Anstieg. Gemittelt über das 20. Jahrhundert betrug er 0,6°C. Der Anstieg wuchs in den zurückliegenden 30 Jahren auf 1,8°C pro Jahrhundert.

Die globalen mittleren Oberflächentemperaturen der Jahre 1996-2005 sind, mit Ausnahme der Jahre 1996 und 2002, die wärmsten jemals aufgezeichneten. Lag der globale Mittelwert zwischen 1961 und 1990 bei 14°, überstieg er diesen in den Jahren 1998 und 2005 um mehr als 0,5°C. Auf der Nordhalbkugel lag 2005 die mittlere Temperatur um 0,65°C über dem Mittel der Jahre 1961-1990, auf der Südhalbkugel waren es 0,28°C.<sup>31</sup>

Die Zunahme eines globalen Meßwertes wie der mittleren Temperatur wird weder von Menschen und Tieren noch Pflanzen direkt erfahren. Was wir erleben sind die jahreszeitlichen Wechsel, die regional und lokal ganz unterschiedlich verlaufen. Besonders einprägsam nehmen wir Wetterextreme wahr.

Während die globale mittlere Temperatur im 20. Jahrhundert um 0,6°C gegenüber der vorindustriellen Zeit angestiegen ist, wuchs sie in Europa um 0,95°C. Die stärksten Erwärmungen ermittelten die Meteorologen über der iberischen Halbinsel, über dem Nordwesten Rußlands und in der europäischen Arktis.

Regionale Abweichungen traten nicht nur in Europa auf. In Australien war 2005 das heißeste Jahr seit dem Beginn der systematischen Temperaturmessungen im Jahre 1910. Eine Anomalie von +3,2°C im April war die höchste, die seit 1950 für einen Monat des Jahres gemessen wurde. In Indien, Pakistan und Bangladesch führten Hitzewellen im Mai und Juni 2005 zu Maximaltemperaturen zwischen 45 und 50°C. Damit lagen sie um 5-6°C über dem langjährigen Mittel. Eine heftige Hitzewelle, wie sie nie zuvor gemessen wurde, erfaßte den Südwesten der Vereinigten Staaten. In China war der Sommer 2005 einer der wärmsten seit 1951.

Erinnert sei auch an die Hitzewelle, die im Sommer 2003 Europa erfaßte. Die Daten belegen, daß es der

wärmste bisher in Europa registrierte Sommer gewesen ist. Die Hitzewelle bewirkte den zusätzlichen Tod von 20 000-30 000 Menschen. Höhere Temperaturen und zunehmende Trockenheit ließen Zahl und Stärke von Waldbränden in Europa deutlich steigen.

Extreme Temperaturabweichungen gab es auch in den Wintermonaten. In Marokko lagen im Januar 2005 die Temperaturen bei -14°C. In Sevtilievo (Bulgarien) fielen die Temperaturen auf -34°C, so tief wie seit Jahren nicht mehr. Im Dezember lagen die Temperaturen auch in Japan, Korea, China, der Mongolei und dem Osten Rußlands deutlich unterhalb der langjährigen Durchschnittswerte.<sup>32</sup>

Starke Niederschläge führten in Teilen Europas zu Überschwemmungen, wie sie nie zuvor registriert wurden. Dazu zählen die Oderflut 1997, die Elbefluten 2002 und 2006, die Überschwemmungen im Alpenraum im Sommer 2005 und die Überflutungen in Osteuropa, insbesondere in Rumänien, Bulgarien und Ungarn in der Zeit zwischen Mai und August 2005 und das gewaltige Frühjahrshochwasser 2006.

Die Niederschlagsextreme beschränkten sich nicht auf Europa. Allein 2005 verursachte der Südwestmonsun während der Monate Juni-September große Regenfälle über Teilen West- und Südindiens, von denen mehr als 20 Millionen Menschen betroffen waren. Extreme Niederschläge, die zu Überschwemmungen führten, wurden auch in China, Thailand und Vietnam registriert. Auch sie zerstörten die Lebensräume von Millionen Menschen.<sup>33</sup>

Ein weiteres Wetterextrem, das Aufmerksamkeit in einer breiten Öffentlichkeit findet, sind tropische Wirbelstürme. Seit Beginn der Aufzeichnungen (1851) gab es über dem Atlantik jährlich noch nie so viele tropische Stürme (Hurrikane) wie 2005. Sie verursachten gewaltige Schäden in Zentralamerika, der Karibik und in den USA. Der Hurrikan Katrina traf im August 2005 mit Windgeschwindigkeiten von 250 bis 300 km/h Florida und den Großraum New Orleans (Louisiana). Er zog über Mississippi, Alabama und Tennessee hinweg. Katrina tötete mehr als 1000 Menschen und zerstörte rund 350 000 Häuser. Der intensivste je gemessene Hurrikan war Wilma im Oktober 2005. Mit 882 Millibar herrschte in seinem Zentrum der niedrigste Luftdruck, der jemals auf dem Atlantik ermittelt worden ist.

Während eine jährlich steigende Anzahl von Hurrikanen über einen längeren Zeitraum nicht erkennbar ist, wuchs ihre Zerstörungskraft. Die Energie eines tropischen Sturms steigt mit zunehmender Temperatur des Oberflächenwassers und seiner Dauer. Beide sind in den letzten Jahrzehnten deutlich größer geworden. Die Wassertemperatur der tropischen Meere stieg in

den letzten 50 Jahren um 0,5°C, die Hurrikanenergie nahm global um mehrere zehn Prozent zu.<sup>34</sup>

Wetterextreme, wie sie zuvor beschrieben wurden, sind seltene Ereignisse. Eine Beobachtungszeit von einigen Jahrzehnten reicht nicht aus, um einzelne Ereignisse dem Klimawandel zuzuschreiben. „Man kann bestenfalls zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit (oder Häufigkeit) bestimmter Ereignisse sich durch die globale Erwärmung erhöht, ähnlich wie Raucher häufiger Lungenkrebs bekommen, obwohl sich im Einzelfall nicht beweisen läßt, ob das Rauchen die Ursache war oder der Patient den Krebs auch sonst bekommen hätte.“<sup>35</sup>

Spektakuläre Katastrophen werden von den Medien stets aufgegriffen. Wetterextreme, insbesondere wenn sie möglichst viele Menschen in ihrer Existenz bedrohen, finden weltweit große Beachtung. Weit weniger Aufmerksamkeit erfahren die zahlreichen Untersuchungen, die den bereits stattgefundenen Klimawandel belegen.

Zu den sichtbarsten Auswirkungen des Klimawandels zählt der Rückgang der Gebirgsgletscher. In den Alpen verloren sie seit dem Beginn der Industriellen Revolution mehr als die Hälfte ihrer Masse und rund ein Drittel ihrer Fläche.

Die Gletscher auf dem „Dach der Welt“, dem tibetischen Hochland, gehen jährlich um sieben Prozent zurück. Den Rückgang belegen die Messungen von mehreren hundert Wetterstationen der zurückliegenden 40 Jahre. Zunächst führt die verstärkte Schmelze zu Überschwemmungen in China, Indien und Nepal. Später wird es zu einem Wassermangel kommen, da das Wasser der Himalaja-Gletscher die großen Flüsse Asiens speist.

Beispiel eines tropischen Gletschers ist die Eiskappe des Kilimandscharo. Sollte der gegenwärtige Rückgang des Eises unverändert anhalten, dürfte sie um 2020 verschwunden sein. Das wäre das erste Mal während der vor rund zehntausend Jahren begonnenen Warmzeit – dem Holozän –, daß der 5895 Meter hohe Gipfel des höchsten afrikanischen Berges eisfrei wäre.

In der Arktis ist der Klimawandel besonders deutlich wahrnehmbar. Die durchschnittliche Temperatur stieg hier in den zurückliegenden Jahrzehnten fast doppelt so stark wie im weltweiten Mittel. Weitere Belege des Klimawandels in der Arktis sind das großflächige Abschmelzen der Gletscher und des Meereises sowie das Tauen der Permafrostböden.

Der „Arktis-Klima-Report“ wurde im Auftrag des arktischen Rates, einem zwischenstaatlichen Gremium der acht Arktis-Anrainerstaaten und Vertretern indigener Völker, durch wissenschaftliche Einrichtungen der Anrainerstaaten erarbeitet und 2004 veröffentlicht.<sup>36</sup> Die nachfolgenden Daten sind dieser Analyse entnommen.

Während die Antarktis ein eisbedeckter Kontinent ist, den das Meer umgibt, besteht das Nordpolargebiet

aus einem großen Meer, das von Land umschlossen ist. Große Teile der arktischen Land- und Meeresoberfläche sind von Schnee und Eis bedeckt. Zwischen dem eisbedeckten hohen Norden und der bewaldeten Subarktis erstrecken sich weite Tundren, baumlose Ebenen über gefrorenen Böden.

Die Studie kommt zu folgenden Aussagen über den arktischen Klimawandel:<sup>37</sup>

- In den letzten Jahrzehnten haben sich die Temperaturen in einem Großteil der Region drastisch erhöht, insbesondere im Winter. Alaska und Kanada verzeichneten im letzten halben Jahrhundert einen Temperaturanstieg von rund 3-4°C.
- Die mit Schnee bedeckte Fläche hat in den vergangenen 30 Jahren um rund 10% abgenommen.
- Der Niederschlag in der Arktis hat sich im 20. Jahrhundert um durchschnittlich 8% erhöht. Ein Großteil des Niederschlags fiel als Regen, vor allem im Herbst und Winter.
- Der Permafrostboden hat sich in den vergangenen Jahrzehnten um bis zu 2°C erwärmt. Die tauende Schicht nimmt in vielen Gebieten von Jahr zu Jahr zu.
- Durch das spätere Zufrieren und das frühere Aufbrechen von Fluß- und Seeeis hat sich die Eissaison um eine bis drei Wochen verkürzt.
- Die Gletscher schmelzen in allen Teilen der Arktis. Der besonders rasche Rückgang der Gletscher Alaskas stellt weltweit rund die Hälfte des Verlustes von Gletschermasse.
- Die durchschnittliche Meeresfläche im Sommer hat in den letzten 30 Jahren um 15-20% abgenommen. Im September 2005 lag die Ozeanfläche, die durch Meereis bedeckt war, 20% unter dem Durchschnitt der Jahre 1979- 2000, ein Verlust von 1,3 Millionen Quadratkilometern.
- Das Gebiet, in dem die grönländische Eiskappe abschmilzt, hat sich von 1979 bis 2002 um rund 16% vergrößert.
- Der globale und der arktische Meeresspiegel sind in den vergangenen 100 Jahren um 10-20 cm gestiegen.
- Durch die Eisschmelze und die zunehmenden Flußeinträge gelangt vermehrt Süßwasser in den Nordatlantik. Dadurch verringern sich Salzgehalt und Dichte des Meeresoberflächenwassers

Neuere Untersuchungen ergaben, daß das Volumen des grönländischen Eisschildes zwischen April 2002 und April 2006 um rund 250 Kubikkilometer pro Jahr abgenommen hat.<sup>38</sup>

Auch beim antarktischen Eisschild zeigen sich erste Auswirkungen des Klimawandels. Da die Lufttemperaturen über dem antarktischen Eis deutlich unter Null Grad liegen, schmilzt – im Gegensatz zum Grönlandeis – das Eisschild erst im Kontakt mit dem sich erwärmenden Ozeanwasser.

Im Februar 2002 zerfiel das Larsen-Eisschelf vor der Westantarktis. Die Ansammlung der im Weddellmeer driftenden Eismassen hatten ein Ausmaß von 3250 Quadratkilometern. Eisschelfe verhindern einen schnellen Abfluß der Gletscher. Nach dem Bersten des Larsen-Eisschelfs wuchs die Geschwindigkeit, mit der das kontinentale Eis abfließt, auf das Achtfache. Der Massenverlust der Eisschilde Grönlands und der Antarktis beträgt gegenwärtig ca. 175 Gigatonnen jährlich. Er trägt 0,35 mm pro Jahr zum Anstieg des Meeresspiegels bei.<sup>39</sup>

Jede Klimaänderung zeigt tiefgreifende Auswirkungen auf Ökosysteme. Denken wir an die letzte Kaltzeit, die vor 11 600 Jahren endete. In Europa bildeten sich während der kalten Phasen gewaltige Decken von Inland- und Gletschereis. Zwischen den beiden Vereisungsgebieten im Alpenraum und in Nordeuropa lag in Mitteleuropa ein mehr oder weniger eisfreier Streifen. Er war von einer kümmerlichen Tundren- und Steppenvegetation bedeckt. Mittelgebirge, wie das Riesengebirge und der Schwarzwald, trugen keine dichten Wälder, sondern Firnfelder und Gletscher.

Wie auf die Flora wirkten sich die Klimaänderungen auch auf die Fauna aus. Aus Wald- und Steppenelefanten entwickelte sich das Mammut, eine der kalten Tundra angepaßte Spezies, die mit der Erwärmung im Holozän ausgestorben ist.

Gab es bis zum Ende des 20. Jahrhunderts erst wenige wissenschaftliche Untersuchungen zu den Auswirkungen des gegenwärtigen Klimawandels auf Ökosysteme, stieg ihre Zahl bis 2005 auf mehr als tausend. Betrachten wir einige Beispiele.

Satellitenbilder gestatten den Zeitpunkt des Blatt-austriebs im Frühling und den Beginn des Herbstes aus der Färbung des Laubs zu erkennen. Im Vergleich mit den achtziger Jahren beginnt gegenwärtig in Nordeuropa das Grünen im Frühjahr bis zu 10 Tagen früher und der Herbst setzt mehrere Tage später ein.

Im Mittelmeerraum beginnen gegenwärtig Sträucher und Laubbäume 16 Tage früher zu treiben und das herbstliche Laub fällt 13 Tage später als in der Mitte des 20. Jahrhunderts.<sup>40</sup>

Zahlreiche Arten des im Meer lebenden Zooplanktons sind, der Erwärmung des Wassers ausweichend, bis zu 1000 Kilometern nach Norden gezogen. Die Wanderung wurde südwestlich der britischen Insel seit dem Beginn der achtziger Jahre und in der Nordsee seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts beobachtet. Viele Fischarten folgen der Wanderung des Zooplanktons mit einer Geschwindigkeit von rund 250 Kilometern pro Jahrzehnt.<sup>41</sup>

Welche Auswirkungen die Wanderung auf Seevögel hat, zeigen Untersuchungen auf den Shetland-Inseln. Von den 7000 Paaren der großen Raubmöve die dort seit langem brüten, wurden 2004 nur noch wenige Jungvögel aufgezogen. Von den 24 000 Paaren der Seeschwalben und den mehr als 16 000 Paa-

ren der Dreizehenmöve wurden keine Jungtiere gefunden. Damit setzte sich 2004 eine Entwicklung fort, die bereits in den vorhergehenden Jahren beobachtet worden war. Das Hauptnahrungsmittel der Seevögel sind Sandaale. Mit ihrer Nordwanderung weg von den Küsten Westeuropas schwand die Nahrungsgrundlage der Seevögel.<sup>42</sup>

Im Uralgebirge nahm die Temperatur im 20. Jahrhundert um 4°C zu. Als Folge stieg die Baumgrenze um 20-80 Meter. Jedes weitere Anwachsen der Temperatur wird zur Reduzierung alpiner Ökosysteme führen – bis die Gipfel erreicht sind.<sup>43</sup>

Ein Klimawandel ist kein einmaliges Ereignis in der Erdgeschichte. Allein in den zurückliegenden 2,5 Millionen Jahren, dem Zeitraum der Existenz unserer Gattung des *Homo*, haben zahlreiche Klimawechsel stattgefunden. Sichtbare Zeugnisse vergangener Kaltzeiten sind Endmoränen. Sie markieren die Grenzen, bis zu denen das Eis in einer Kälteperiode vorgedrungen ist. Vor allem sind es jedoch Ablagerungen, aus denen die Klimaforscher in detaillierten Untersuchungen Aufschlüsse über den Klimawandel erhalten. Dazu zählen z.B. Pollenfolgen in Mooren und Ablagerungen am Grund von Binnengewässern sowie Sedimente am Boden der Ozeane und Schichtfolgen in Gletschern und in den Eiskappen der Pole.

So lieferten Bohrkerne vom Meeresboden Aufschlüsse über fossile Überreste des Planktons, das zu verschiedenen Zeiten dicht am Meeresboden lebte. Aus diesen erhält man Informationen über den zeitlichen Temperaturverlauf des ozeanischen Tiefenwassers. Seine Temperatur sank während der Erdneuzeit, die vor 65 Millionen Jahren einsetzte, um annähernd 15°C.

In den neunziger Jahren des 20. Jahrhunderts gelang es, mit einer hohen zeitlichen Auflösung den Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten aufzuklären. Dazu bedurfte es der Erschließung des Klimaarchivs der Eisschilde Grönlands und der Antarktis. Die in der Kryosphäre archivierten Informationen umfassen gegenwärtig mehr als 700 000 Jahre. Der zugehörige Eisbohrkern hat eine Länge von rund drei Kilometern. Er wurde in der Antarktis durch eine europäische Kollaboration erschlossen. Er dokumentiert acht aufeinanderfolgende Wechsel von Kalt- und Warmzeiten.<sup>44</sup>

Die Metamorphose von Schnee zu Eis konservierte Klimazeugnisse vergangener Perioden in einer Vielzahl von Spuren: natürliche, radioaktive und stabile Isotope, vulkanischer Staub, Aerosolteilchen und schließlich die Luft mit all ihren Komponenten, also auch die klimarelevanten Spurengase wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>). Mit verfeinerten Meßtechniken in Speziallabors gelang es, die Spuren immer genauer zu identifizieren. Im Jahresrhythmus variierende Schichtfolgen in den Eisbohrkernen ermöglichen die zeitliche Einordnung der Spuren.

Die übereinstimmenden Resultate der Analysen von Eisbohrkernen vom Gipfel Grönlands zeigen eine Folge irregulärer Klimasprünge während der letzten Kaltzeit. Zwischen dem Ende der Eem-Warmzeit vor 114 000 Jahren und dem Beginn der Neo-Warmzeit vor 11 600 Jahren ereigneten sich 25 Wechsel zwischen relativ kalten (Stadialen) und relativ milden Phasen (Interstadialen). Beim Wechsel zwischen Stadial und Interstadial änderte sich die Temperatur um fünf bis sieben Grad Celsius. Die Dauer der Interstadiale variierte zwischen einigen Jahrhunderten und wenigen Jahrtausenden. Besonders bemerkenswert ist der steile Temperaturanstieg beim Übergang von einer kalten zu einer warmen Phase. Die Abkühlung vom Interstadial zum Stadial erfolgte schrittweise über einen längeren Zeitraum. Während eines der Höhepunkte der letzten Kaltzeit vor annähernd 19 000 Jahren lag die Oberflächentemperatur im jährlichen Mittel um rund 10 Grad Celsius niedriger als heute. Die mittlere Wintertemperatur in Nordwesteuropa lag 15-20 Grad unter den gegenwärtigen Werten. Diese starke winterliche Abkühlung war durch die Meeresvereisung bedingt, die sich bis in eine Breite von 45 Grad Nord erstreckte. Die Temperatur des Oberflächenwassers der tropischen Ozeane ging um rund fünf Grad zurück. Die Temperaturwechsel waren mit einem gleichlaufenden Wechsel der CO<sub>2</sub>-Konzentration gekoppelt. Während der Warmzeiten stieg sie bis auf 280ppm, während der Kaltzeiten fiel sie auf 190ppm\*.

Mit dem Übergang vom Stadial der jüngeren Dryas zur Präborealen Phase begann vor 11 600 Jahren das Holozän, die Neo-Warmzeit. Im Bereich des Nordatlantiks stieg die mittlere Temperatur um sieben Grad Celsius. Die Grenze des Wintereises, die während der jüngeren Dryas noch in der Biskaya lag, verschob sich nordwärts in die Norwegensee.

Die Übergänge zwischen Stadial und Interstadial und zur Neo-Warmzeit stellen keine regionalen Ereignisse dar. Vergleicht man die Entwicklung der Vegetation Ostafrikas, dem Gebiet, in dem wir die Wiege der Menschheit sehen, mit den Klimavariationen während des Quartären Eiszeitalters und der Entwicklung der Hominiden, zeigt sich eine verblüffende Parallelität. Übergänge zu kühleren trockeneren Bedingungen fallen in Zeitintervalle, in denen erkennbare Übergänge in der Hominidenentwicklung stattfanden.

Um den Klimawandel verstehen und bewerten zu können, der unsere Lebensbedingungen stark beeinflussen wird, müssen wir nach den Ursachen fragen.

Im globalen Mittel muß zwischen der Energie, die als Sonnenstrahlung die Erde erreicht, und der von der Erde als Wärme abgestrahlten Energie ein Gleichgewicht herrschen. Wird mehr Energie von der

Erde aufgenommen, erwärmt sie sich solange bis ein neuer Gleichgewichtszustand bei einer höheren Temperatur erreicht ist.

Es bestehen folgende Möglichkeiten zur Änderung der Energiebilanz:

- Eine Variation der Sonnenstrahlung etwa durch eine Änderung der Erdumlaufbahn.
- Eine Variation des Anteils der Sonnenstrahlung, der direkt ins All reflektiert wird.
- Eine Änderung der Absorptionsfähigkeit der Atmosphäre – des Treibhauseffekts.

Bereits in den zwanziger Jahren stellte der Mathematiker M. Milankovič die Hypothese auf, daß Schwankungen in der Erdumlaufbahn und periodische Variationen der Erdachsenneigung die auslösende Ursache für die Klimaänderungen sind. Die Exzentrizität der Erdumlaufbahn um die Sonne ändert sich in einem Zyklus von annähernd 100 000 Jahren. Dabei bleibt die Abweichung der Ellipse von der Kreisform gering. Die Erdachsenneigung variiert in einem Zyklus von rund 40 000 Jahren zwischen 22,0 und 24,6 Grad gegenüber der Ebene der Erdumlaufbahn. Diese Neigung bewirkt die Jahreszeiten. Der Unterschied zwischen Sommer und Winter fällt um so größer aus, je stärker die Neigung der Erdachse ist. Derzeit sind es 23,5 Grad. Wie ein Kreisel ändert die Erdachse ihre Orientierung im Raum in einer Periode von rund 20 000 Jahren. Das führt dazu, daß sonnennächster und sonnenfernster Punkt der Erdumlaufbahn in unterschiedliche Jahreszeiten fallen. Zur Zeit erreicht die Erde ihren sonnennächsten Punkt im Januar. Daher sind die Winter auf der Nordhalbkugel etwas gemildert.

Unter den Klimaexperten besteht Übereinstimmung darin, daß die zyklisch wiederkehrenden Kaltphasen durch die Milankovič-Zyklen ausgelöst werden. Da jedoch die ankommende Sonnenstrahlung während der Zyklen nur geringfügig variiert, muß die Abkühlung der globalen Mitteltemperatur um 4-7°C durch andere Prozesse verstärkt werden.

Eine nur geringfügige Verringerung der Sonneneinstrahlung, die im Sommer die Nordhalbkugel trifft, reicht nicht mehr aus, um Schnee und Eis des vorhergehenden Winters zu schmelzen. Damit beginnt ein Verstärkungsprozeß. Ein wachsender Anteil der einfallenden Sonnenstrahlung wird ins All reflektiert. Die Rückstrahlung und mit ihr die Abkühlung wächst mit zunehmender Schnee- und Eisbedeckung. Die Abkühlung wird verstärkt.

Wenn jedoch die Sonneneinstrahlung während des Sommers sich auf der Nordhalbkugel verringert, muß sie auf der Südhalbkugel steigen. Ursache einer Abkühlung auch der Südhalbkugel der Erde muß ein stärkerer gegenläufiger Prozeß sein. Die Forscher identifizierten ihn im Wirken der Treibhausgase.

---

\* Der Gehalt von Spurengasen in der Atmosphäre wird in parts per million angegeben: 1ppm = 0,0001 % Volumenanteil (1ppm = 1000ppb).

Wie bereits erwähnt, zeigen die Bohrkerne aus dem Antarktiseis, daß Temperatur und CO<sub>2</sub>-Konzentration im gleichen Rhythmus variieren. Warmzeiten gehen mit höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen einher, Kaltzeiten mit geringeren. Kohlendioxid besitzt eine Jahrzehnte währende Verweilzeit in der Atmosphäre. Diese ist daher weltweit gut durchmischt und führt auch in der Antarktis zu einer Abkühlung, trotz der erhöhten Einstrahlung, da die CO<sub>2</sub>-Konzentration sich verringerte.

Wir beobachten zwei sogenannte Rückkopplungsprozesse, in denen eine geringfügige Veränderung der Ausgangsbedingungen – Verringerung der Sonneneinstrahlung und Abnahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration – zu einem Klimawandel führten.

Wenn auch noch nicht alle Details der ablaufenden Prozesse erforscht sind: „Klar ist aus den Eiskernedaten jedoch eines: Diese Rückkopplung funktioniert. Dreht man an der Temperatur (etwa durch die Milankovič-Zyklen), so folgt mit einer für den Kohlenstoffkreislauf charakteristischen Verzögerung das CO<sub>2</sub>; dreht man dagegen am CO<sub>2</sub> (wie derzeit der Mensch), so folgt wenig später die Temperatur.“<sup>45</sup>

Die abrupten Klimawechsel während der letzten Kaltzeit waren mit sprunghaften Änderungen der Meeresströmung im Nordatlantik verbunden. Auch sie wurden durch geringfügige Änderungen der Ausgangsbedingungen ausgelöst. Übersteigt der Zufluß von Frischwasser im hohen Norden einen kritischen Wert, wird die ozeanische Tiefenzirkulation dort unterbrochen. Warmes Oberflächenwasser erreicht nicht mehr die Norwegensee und eine Kältephase setzt ein.

Die Klimageschichte belegt vor allem die dramatische Wechselhaftigkeit des Klimas. Das Klimasystem ist ein sensibles System, das in der Vergangenheit schon auf recht kleine Änderungen in der Energiebilanz empfindlich reagiert hat. Es ist zudem ein nicht-lineares System, das in manchen Komponenten – zum Beispiel der ozeanischen Zirkulation – zu sprunghaften Änderungen neigt. Das Klima ist «kein träges Faultier, sondern gleicht eher einem wildes Biest», wie es der bekannte amerikanische Klimatologe Wallace Broecker einmal formulierte.

Andererseits treten Klimaänderungen auch nicht ohne Grund auf, und die Klimaforschung ist im vergangenen Jahrzehnt einem quantitativen Verständnis der Ursachen früherer Klimaänderungen sehr nahe gekommen. Viele der abgelaufenen Ereignisse konnten inzwischen auf spezifische Ursachen zurückgeführt und recht realistisch in den stets besser werdenden Simulationsmodellen dargestellt werden. Ein solches quantitatives Verständnis von Ursache und Wirkung ist die Voraussetzung dafür, die Eingriffe des Menschen in das Klimasystem richtig einschätzen zu können und deren Folgen zu berechnen. Die Klimageschichte bestätigt dabei eindrucklich die wichtige Rolle des CO<sub>2</sub> als Treibhausgas.

Das Maximum der von der Sonne abgestrahlten Energie liegt im Bereich des sichtbaren Lichts. Die von

der Erde abgegebene Strahlung liegt im Infraroten, dem Bereich der Wärmestrahlung. Während die Atmosphäre für sichtbares Licht praktisch durchlässig ist, absorbiert sie einen bedeutenden Teil der Infrarotstrahlung. Die vom Wasserdampf und den klimarelevanten Spurengasen absorbierte Strahlung wird in Sekundenbruchteilen wieder emittiert. Die reemittierte Strahlung ist ungerichtet. Ein Teil kann daher erneut vom Erdboden, den Ozeanen oder der Atmosphäre absorbiert werden. Im Wechselspiel von Absorption und Emission stellt sich in der Atmosphäre ein Zustand des thermischen Gleichgewichts ein. Letztlich bestimmt die Konzentration der klimarelevanten Spurengase, die im Infraroten absorbieren, die Höhe der Gleichgewichtstemperatur in der Atmosphäre. Diesen Vorgang der Erwärmung bodennaher Luft bezeichnet man als Treibhauseffekt. Durch Konvektion findet ein Wärmeaustausch zwischen den erwärmten unteren und den kälteren oberen Schichten der Atmosphäre statt. Ändert sich in der Atmosphäre der Anteil der klimarelevanten Spurengase – der Treibhausgase –, stellt sich ein neues thermisches Gleichgewicht bei einer anderen Temperatur ein – die Erde hat ein neues Klima.

Der Treibhauseffekt, ein natürlicher Vorgang, reguliert seit Milliarden Jahren das Klima der Erde. Die Konzentration der Treibhausgase bestimmt die Klimageschichte unseres Planeten.

Auf unserem Nachbarplaneten, der Venus, herrscht eine Temperatur von rund 250°C. Grund dafür ist ein sehr starker Treibhauseffekt, da die Atmosphäre zu 96% aus Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) besteht. Während auf der Erde durch Verwitterung von Gestein CO<sub>2</sub> gebunden wird, fehlt auf der Venus das dazu benötigte Wasser.

Die Frage, die seit Jahrzehnten die Klimaforscher beschäftigt, lautet: *Ist der gegenwärtige Klimawandel ein natürlicher Prozeß oder wird er durch den Stoffwechsel der Menschheit geprägt?*

Das wirksamste klimarelevante Treibhausgas ist Wasserdampf – die Luftfeuchte –, deren Konzentration durch verschieden Maße ausgedrückt wird. Während trockene Luft bis in große Höhen eine einheitliche Zusammensetzung hat, unterliegt die Konzentration von Wasserdampf starken lokalen und regionalen Schwankungen. Sie hängt von der Lufttemperatur ab sowie von Kontakten der Luftmassen mit den Wasserreservoirs der Erdoberfläche. Die Wasserdampfkonzentration variiert zwischen Bruchteilen eines Prozents und mehr als drei Prozent. Mit einem Anstieg der Temperatur der Atmosphäre wächst die Konzentration des Wasserdampfes und damit auch seine Absorptionsfähigkeit der Wärmestrahlung – die Temperatur kann weiter ansteigen. Wir sprechen von einem positiven Rückkopplungseffekt. Überwiegt die Absorption der Sonnenstrahlung an den Wolken wird der Temperaturanstieg gebremst. Wir sprechen von einem negativen Rückkopplungseffekt.

Die wichtigsten Treibhausgase, die durch den Stoffwechsel der Menschheit seit dem Beginn der Industriellen Revolution deutlich zunahm, sind Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid oder Lachgas (N<sub>2</sub>O) und die voll- oder teilhalogenisierten Fluorkohlenwasserstoffe (HFCs und PFCs) sowie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>).

Wie alle bisherigen Untersuchungen zweifelsfrei belegen, ist der Einfluß der Kohlendioxid-Emission aus der Verbrennung fossiler Energieträger zur Energieerzeugung dominierend für den Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration.\* Bis zu Beginn der Industriellen Revolution lag sie bei 280ppm.

Mit der Entstehung der industriellen Zentren, z.B. in Mittelengland und im Ruhrgebiet, wuchs der CO<sub>2</sub>-Ausstoß weltweit jährlich um vier Prozent. Der weitere Anstieg wurde durch Weltkriege, Weltwirtschaftskrise, Ölkrise und den Zusammenbruch der Industrien in den Ländern des Realsozialismus vorübergehend gebremst – aufgehalten wurde er nie. Gegenwärtig steigt er wieder stärker an. Zwischen 2000 und 2005 stieg die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration um rund 10ppm.

Methan (CH<sub>4</sub>) stammt überwiegend aus dem Stoffwechsel anaerober Bakterien beim Abbau organischen Materials. Insbesondere bei grasfressenden Wiederkäuern, beim Reisanbau und in Müllhalden, aber auch bei der Verbrennung von Biomasse wird Methan freigesetzt.

Lachgas (N<sub>2</sub>O) setzt Bodenbakterien frei. Es entsteht auf überdüngten Feldern und beim Humusabbau in tropischen Regenwäldern. Es bildet sich auch bei Verbrennung unter hohen Temperaturen, z.B. in Düsentriebwerken.

Viele halogenierte Kohlenstoffe, die in der Industrie erzeugt und freigesetzt werden, wirken sowohl als Treibhausgase als auch bei der Zerstörung der Ozonschicht in der Stratosphäre. Durch die Festlegung des Protokolls von Montreal und dessen Anschlußvereinbarungen wurde deren Emissionsreduktion durchgesetzt. Ersatzstoffe und weitere synthetische Stoffe wie die HFCs, PFCs und SF<sub>6</sub> erweisen sich ebenfalls als sehr effektive Treibhausgase.

Bei allen Unsicherheiten, mit denen Vorhersagen über die Klimaentwicklung im 21. Jahrhundert verbunden sind, mit Sicherheit wissen wir, daß die Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre seit dem Beginn der Industriellen Revolution wächst. Nachfolgende Tabelle zeigt die Veränderungen bei den wichtigsten klimarelevanten Treibhausgasen bis 2005 gegenüber der vorindustriellen Zeit. Die atmosphärische Konzentration von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> erreichten damit die höchsten Werte der zurückliegenden 650 000 Jahre.<sup>46</sup>

Treibhausgase	Anstieg der Konzentration
CO <sub>2</sub>	von 280ppm auf 379ppm
CH <sub>4</sub>	von 715ppb auf 1774ppb
N <sub>2</sub> O	von 270ppb auf 319ppb
HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>	globaler Anstieg in den letzten 50 Jahren

Wir können mit gutem Grund annehmen, daß der Anstieg anthropogener Treibhausgase zu einer Erwärmung in der unteren und mittleren Troposphäre bei gleichzeitiger Abkühlung in höheren Schichten führte und weiter führen wird.

Durch menschliches Tun verändern sich Konzentration und Verteilung der Treibhausgase und Aerosole in der Luft. Diese Änderungen bewirken in der Erdatmosphäre einen Strahlungsantrieb (radiation forcing), d.h. eine Störung der Energiebilanz. Er kann durch Änderung des Reflexions- oder Absorptionsvermögens der Sonnenstrahlung oder des Emissions- oder Absorptionsvermögens der terrestrischen Infrarotstrahlung hervorgerufen werden.

Ein Anwachsen der Konzentration von Treibhausgasen erhöht den Anteil der terrestrischen Infrarotstrahlung, die absorbiert wird, und die Temperatur in den unteren Schichten der Atmosphäre steigt an. In diesem Fall spricht man von einem positiven Strahlungsantrieb.

Die winzigen festen und flüssigen Teilchen der Aerosole gelangen durch Verbrennung fossiler Brennstoffe und von Biomasse in die Atmosphäre. Sie reflektieren oder absorbieren die Sonnenstrahlung. Die Teilchen wirken als Kondensationskeime und beeinflussen die Wolkenbildung und deren Reflexionsvermögen. Eine Zunahme der Aerosole in der Troposphäre bedingt in der Regel eine Abkühlung, also einen negativen Strahlungsantrieb.

Aerosole verbleiben nur einige Tage in der Luft bis sie zur Erdoberfläche absinken. Ihr Strahlungsantrieb wirkt sich daher überwiegend regional aus, beispielsweise über stark industrialisierten Gebieten. Treibhausgase verbleiben dagegen Jahrzehnte bis Jahrhunderte in der Atmosphäre. Sie werden durch Luftströmungen gleichmäßig verteilt und wirken global.

Eine veränderte Strahlungsbilanz der Erde durch Eintrag zusätzlicher Treibhausgase und Aerosole führt zu einem Strahlungsantrieb und damit zu einer Temperaturänderung. Dies kann eine Umstellung im Muster der atmosphärischen Zirkulation hervorrufen und dadurch die anderen Komponenten des Klimasystems beeinflussen. So kann ein Anwachsen der Niederschläge den Strömungsverlauf in den Ozeanen beeinflussen, der wiederum auf die Strömungsverhältnisse in der Atmosphäre zurückwirkt. Rückkopp-

\* Aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Öl, Erdgas) entstammen 75-85% des CO<sub>2</sub>-Anstiegs und !5-25% aus Waldvernichtung und Landnutzung.

lungsprozesse dieser Art charakterisieren das nichtlineare Wechselspiel zwischen den Komponenten des Klimasystems.

Wenn wir uns die Frage stellen, ob der seit Beginn des Industriezeitalters erfolgte anthropogene zusätzliche Eintrag von Treibhausgasen und Aerosolen und der dadurch hervorgerufene Strahlungsantrieb Ursache des gegenwärtigen Klimawandels ist, müssen wir anthropogen bedingte von natürlichen Klimavariationen trennen. Zu den Variablen, die das Klima charakterisieren, zählen z.B. Temperatur, Niederschläge und Höhe des Meeresspiegels.

Betrachten wir die weltweite Änderung der mittleren Temperatur in Erdbodennähe seit dem Jahr 1860. Eine Mittelung über die gesamte Periode ergibt einen klar erkennbaren Temperaturanstieg, der jedoch nicht gleichmäßig erfolgte. Deutlich zu erkennen ist eine Erwärmungsphase zwischen 1910 und 1940. Danach stagnierte die Temperatur bis in die siebziger Jahre. Der danach einsetzende starke Anstieg, über den weit bessere Meßdaten vorliegen als für die vorangegangene Zeit, erfolgte uneinheitlich. Die stärkste Erwärmung in Erdbodennähe beobachtete man auf den Kontinenten zwischen 40 und 70 Grad Nord, während über einigen nordatlantischen Gebieten bei 30 Grad Nord, eine Abkühlung auftrat.

Die Temperaturen in der unteren und in der mittleren Troposphäre stiegen im gleichen Maße wie die Oberflächentemperatur. Parallel zur Erwärmung in Erdbodennähe sank die Temperatur der unteren Stratosphäre allein in den Jahren 1979-1994 um 0,6°C.

Ein Vergleich der Klimaänderungen der letzten 200 Jahre mit denen der vorangegangenen 600 Jahre, zeigt beide von ähnlicher Größe. Die bis zum Ende des 20. Jahrhunderts beobachteten Anomalien liegen im Bereich der natürlichen Klimaschwankungen, wie sie im Holozän wiederholt aufgetreten sind. Andererseits ist es möglich, daß eine von Menschen initiierte globale Klimaänderung durch natürliche Vorgänge verringert und damit verschleiert wird. Daher ist ein kausaler Zusammenhang zwischen einem Strahlungsantrieb, beispielsweise durch wachsenden CO<sub>2</sub>-Eintrag in die Atmosphäre, und einer globalen Temperaturänderung zunächst schwer aufzudecken.

Zur Aufhellung dieses Problems bedarf es der Klimamodelle. Sie erlauben eine mathematische Beschreibung physikalischer Prozesse in Atmosphäre und Ozeanen unter partieller Berücksichtigung von Kryosphäre und Biosphäre. In den neunziger Jahren entwickelten sie sich zu wichtigen Instrumenten der Beschreibung des Klimaverlaufs in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Für das 20. Jahrhundert ergeben die Modelle eine Übereinstimmung mit den Beobachtungen, wenn man Strahlungsantriebe durch Treibhausgase und Aerosole berücksichtigt. Der Anstieg der Treibhausgase allein würde eine weit stärkere Temperaturanomalie verursacht haben. Erst die Berücksichtigung von Treibhausgasen und Aerosolen in

der Modellrechnung gibt den beobachteten Verlauf befriedigend wieder.

Alle Untersuchungen führen zu dem Schluß, daß der Erwärmungsschub der zurückliegenden 30 Jahre nicht durch natürliche Ursachen wie Veränderung der Sonnenaktivität und der Aerosolkonzentration durch Vulkanausbrüche erklärbar ist.

Durch die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) und das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) wurde 1988 der Zwischenstaatliche Ausschuß für Klimawandel (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) gegründet. Seine Aufgaben umfassen:

- Die Bewertung der verfügbaren wissenschaftlichen und sozioökonomischen Informationen zur Klimaänderung sowie die Möglichkeiten zur Vermeidung der Klimaänderungen und zur Anpassung daran.
- Auf Anfrage die Erteilung von wissenschaftlichen/ technischen/ sozioökonomischen Ratschlägen an die Vereinten Nationen.

Wesentliche Ergebnisse der Arbeit von vielen hundert Experten aus aller Welt fanden ihren Niederschlag in den bisher veröffentlichten drei Wissensstandsberichten des IPCC aus den Jahren 1990, 1995 und 2001.<sup>47</sup> Im Februar 2007 wurde die Zusammenfassung eines ersten Teilberichts des vierten Wissensstandsberichtes veröffentlicht.<sup>48</sup>

Zusammenfassend kamen die Experten in ihrem Bericht zu folgendem Resultat: „Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Erwärmung der letzten 50 Jahre wesentlich durch anthropogene Treibhausgase (hauptsächlich Kohlendioxid) verursacht worden ist“.<sup>49</sup>

Gegenwärtig laufen die Arbeiten zur Fertigstellung aller drei Teile des Berichts, die im Laufe des Jahres 2007 veröffentlicht werden. Zu ihnen zählen auch umfangreiche Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der Veränderung des Wärmegehalts der Weltmeere. Sie belegen einen Anstieg der gespeicherten Wärmemenge in den Oberflächenschichten der Ozeane um 15·10<sup>22</sup> Joule zwischen 1955 und 1998. Im Zeitraum 1993-2003 verdreifachte sich die Wärmefaufnahme.<sup>50</sup> Auch die Ozeane belegen, daß die Erde derzeit mehr Energie von der Sonne aufnimmt als sie wieder abstrahlt.

Alle bereits veröffentlichten Untersuchungen zur Strahlungswirkung der anthropogenen Treibhausgase verstärken die Sicherheit der Klimaforscher in ihren Aussagen über den durch die Menschheit in Gang gesetzten Klimawandel. Selbst bei einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration auf dem gegenwärtigen Stand, wird sich die Erwärmung in den kommenden Jahrzehnten fortsetzen.<sup>51</sup>

„Über die Störung des Strahlenhaushalts unseres Planeten durch den Menschen kann es – man möchte hinzufügen: leider – keinen Zweifel geben“.<sup>52</sup>

Wir haben einen qualitativ neuen Klimawandel in Gang gesetzt, der sich deutlich von denen der vorhergehenden Jahrtausende unterscheidet. Die letzte vergleichbare globale Erwärmung, mit der vor rund 15 000 Jahren die Kaltzeit endete und das Holozän begann, dauerte einige tausend Jahre. Wir sind auf dem besten Wege einen ähnlichen Temperaturanstieg innerhalb eines Jahrhunderts herbeizuführen.

In den zurückliegenden 700 000 Jahren fanden mehrere zyklische Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten statt. Dabei variierte die CO<sub>2</sub>-Konzentration jeweils zwischen 190 und 280ppm. Gegenwärtig beträgt sie 380ppm. Dieser Anstieg erfolgte mehr als 10mal schneller als in den vorangegangenen Zyklen. Damit stellt sich die Frage nach der Stabilität des Systems Erde. Offenbar sind wir auf dem Weg in einen neuen Systemzustand mit deutlich höherer Konzentration der Treibhausgase und damit einer weit höheren globalen mittleren Temperatur als in den zurückliegenden Warmzeiten.

Die Herausgeber der Zeitschrift „Climate Change“ Paul Crutzen (Nobelpreisträger 1995) und Will Steffen sprechen in einem Kommentar von einer neuen erdklimatischen Epoche, dem Anthropozän, die mit dem Beginn der Industriellen Revolution einsetzte.<sup>53</sup>

Nachdem der Klimawandel durch die Menschheit in Gang gesetzt wurde, stellen sich folgende Fragen:

- Welche Auswirkungen hat ein weiterer Anstieg der klimarelevanten Treibhausgase?
- Was ist erforderlich, um den fortschreitenden Klimawandel zu bremsen?

Zur Beantwortung dieser Fragen werden in der Klimaforschung Modellrechnungen durchgeführt.

Wichtigstes Ziel der weltweit durchgeführten Modellrechnungen ist es, den bisherigen Klimaverlauf zu reproduzieren, Vorhersagen über den weiteren Verlauf zu erhalten und den Einfluß anthropogener Strahlungsantriebe abzuschätzen. Wegen der Komplexität des Klimasystems mit seinen durch Kreisläufe gekoppelten Komponenten, sind selbst die umfangreichsten gegenwärtig zur Simulation der Klimaentwicklung genutzten Modelle nur begrenzt aussagefähig. Sie lassen bei anhaltendem Zuwachs von Treibhausgasen und Aerosolen einen Trend der Klimaänderung erkennen. Wie lange er anhält, läßt sich nicht vorhersagen.

Die allgemeinen Zirkulationsmodelle sind am aussagefähigsten über die globale Klimaentwicklung. Ihre Grundlage sind physikalische Gesetze zur Beschreibung dynamischer Prozesse in der Atmosphäre, hinzu kommen empirische Beziehungen. Alle finden ihren Ausdruck in einem die Zirkulation beschreibenden System mathematischer Gleichungen, das explizit unlösbar ist. Wie bei den entsprechenden Modellen zur Wettervorhersage ist eine Lösung nur mit Hilfe mathematischer Näherungsverfahren möglich.

Den Modellen zur Beschreibung der Zirkulation in Ozeanen liegen die gleichen physikalischen Gesetze zugrunde. Während die atmosphärische Zirkulation durch die Differenz in der Strahlungsbilanz zwischen äquatorialen und polaren Breiten aufrechterhalten wird, sind Winde und thermohaline Tiefenzirkulation die Antriebskräfte der oberflächennahen Strömungen im Ozean. Das mathematische Gleichungssystem zur Beschreibung der ozeanischen Zirkulation ist ebenfalls nur näherungsweise zu lösen.

Die umfassendsten derzeit verwendeten Klimamodelle sind die globalen gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modelle. Sie sind Grundlage der Projektionen des IPCC für das 21. Jahrhundert. In den Berichten des IPCC wird zwischen einer Vorhersage (prediction) und einem Entwurf (projection) unterschieden. Den Entwurf kann man als eine bedingte Vorhersage betrachten. Sie sollte sich erfüllen, falls die zugrunde liegenden Annahmen eintreffen.

Ihnen liegen unterschiedliche Szenarien über mögliche Wege der Menschheitsentwicklung zugrunde. Darin werden in der Regel folgende Komplexe berücksichtigt:

- Bevölkerungswachstum
- Ökonomische Entwicklung
- Energieerzeugung und -verbrauch
- Landwirtschaft
- Umgang mit tropischen Regenwäldern.

Lagen im IPCC-Wissenstandsbericht des Jahres 1990 vier Szenarien den Modellrechnungen zugrunde, stieg ihre Anzahl im zweiten IPCC-Bericht auf sechs.

Die neuen Szenarien, die dem dritten und dem vierten Wissenstandsbericht zugrunde liegen sind Szenarien ohne klimapolitische Maßnahmen, die die große Bandbreite zukünftiger Entwicklungen deutlich machen.

„Die insgesamt 40 Szenarien wurden in vier Familien gruppiert. Alle Szenarien einer Familie haben eine charakteristische „Geschichte“ (storyline) also eine Beschreibung der Beziehungen zwischen Einflußfaktoren und ihrer Entwicklung. Die vier Familien lassen sich vereinfacht in zwei Dimensionen unterscheiden: Die erste Dimension unterscheidet eine Welt mit starker Ausrichtung auf Wirtschaftswachstum (A) von einer Welt, die auf Nachhaltigkeit ausgerichtet ist (B). In der B-Welt werden umweltpolitische Maßnahmen etwa zur Luftreinhaltung berücksichtigt, nicht jedoch Maßnahmen, die spezifisch auf den Klimaschutz ausgerichtet sind (beispielsweise CO<sub>2</sub>-Steuern). Die zweite Dimension erlaubt die Unterscheidung zwischen einer Welt, zunehmender ökonomischer Konvergenz und sozialer und kultureller Interaktion zwischen den Regionen (Globalisierung 1) von einer Welt mit stärkerer Betonung regionaler Unterschiede und lokaler Lösungen (Regionalisierung 2).

Es ergeben sich vier Szenariofamilien:

- A1: Sehr großes ökonomisches Wachstum, Markt- und Technologieorientierung, Globalisierung, zunehmende Mobilität, Konvergenz zwischen den Weltregionen, Verringerung der globalen Energieintensität (1,3% pro Jahr)\*, niedriges Bevölkerungswachstum (9 Mrd. bis 2050, 7 Mrd. bis 2100). (Das Szenario A1T schließt die schnelle Entwicklung alternativer Energieträger ein.)
- A2: Eine heterogene Welt, in der die Regionen unterschiedliche Entwicklungspfade einschlagen, geringeres Wirtschaftswachstum, langsamere Entwicklung und Verbreiterung technologischer Entwicklungen, hohes Bevölkerungswachstum (15 Mrd. bis 2100), hohe Energienachfrage, Steigerung der Energieproduktivität um 0,5-0,7% jährlich, heterogene Energiesysteme.
- B1: Großes ökonomisches Wachstum, dynamische Technologieentwicklungen, Globalisierung, Konvergenz zwischen den Weltregionen, starke ökologische und soziale Orientierung, Wandel zu einem qualitativ neuem Lebensstil der nicht mehr vom Haben dominiert wird, niedriges Bevölkerungswachstum, Verringerung der globalen Energieintensität (2% pro Jahr), also eine globale Nachhaltigkeitswelt!
- B2: Lokale und regionalspezifische Entwicklungspfade, moderate ökonomische und technologische Entwicklung, mittleres Bevölkerungswachstum (10 Mrd. bis 2100), Verringerung der Energieintensität wie bisher (1% pro Jahr), also eine „Business as usual“-Welt.

Der vierte Wissensstandsbericht des IPCC aus dem Jahre 2007 kam zu folgenden Projektionen:

- Zwischen 1980-1999 und 2090-2099 wird die mittlere globale Temperatur in Erdbodennähe um 1,1-2,9 Grad Celsius (Szenario B1) und um 2,0-5,4 Grad Celsius (Szenario A2) wachsen.
- Alle Modelle sagen eine Erwärmung um 0,2 Grad Celsius pro Dekade bis 2020 voraus.
- Sehr wahrscheinlich werden sich die Landmassen stärker erwärmen als im globalen Mittel.
- Die globale Konzentration des Wasserdampfes in der Atmosphäre wird steigen und die Niederschläge werden zunehmen. Verstärkte Niederschläge finden wahrscheinlich über der Antarktis und in mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre statt.
- Im globalen Mittel wird der Meeresspiegel um 18-31cm (Szenario B1) und um 23-51cm (Szenario A2) steigen. Ursache dafür sind in erster Linie die Wärmeausdehnung des Wassers und das Schmelzen von Gletschern und Eiskappen.

---

\* Als Energieintensität bezeichnet man den Energieaufwand bezogen auf die Wertschöpfung.

Der Wissensstandsbericht behandelt die zahlreichen Emissionsszenarien als gleichwertig. Sie reichen von Szenarien einer sich näher kommenden Welt mit zielgerichteten Umweltschutz, sozialer Gerechtigkeit und dominierender Nutzung nichtfossiler Energiequellen bis zu Szenarien einer heterogenen Welt, wie sie unsere Gegenwart prägen, in der die Nutzung fossiler Energieträger nach wie vor dominiert.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt nach den zuvor skizzierten Szenarien bis 2100 gegenüber dem vorindustriellen Wert von 280ppm auf 540 bis 970ppm. Dabei gehen die Modellrechnungen von der Annahme aus, daß sich die Kohlenstoffaufnahme durch Ozeane und Biosphäre nicht ändert.

„Die Meere haben bisher rund ein Drittel der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emission aufgenommen, was bereits zu einer signifikanten Versauerung des Meerwassers geführt hat. Die CO<sub>2</sub> Emissionen beeinflussen somit die Meeresumwelt auch direkt – ohne Umweg über den Klimawandel. Eine ungebremste Fortsetzung des Trends wird zu einer Meeresversauerung führen, die in den letzten Jahrtausenden ohne Beispiel und über Jahrtausende unumkehrbar ist.“<sup>54</sup> Eine Versauerung des Meerwassers bewirkt eine Reduzierung der Absorption von CO<sub>2</sub> durch Meerwasser, eine positive Rückkopplung, die zum verstärkten Anstieg des Kohlendioxids in der Atmosphäre führen kann.

Keines der Modelle schließt die Unsicherheiten ein, die Rückkopplungseffekte auslösen können. So berücksichtigen die Projektionen die Verluste der Eisschilde Grönlands und der Antarktis wie sie 1993-2003 gemessen wurden. 2004-2006 hat sich der Prozess des Abschmelzens deutlich beschleunigt. Er liegt bereits fast doppelt so hoch wie in den Modellrechnungen berücksichtigt. Als Folge kann der Meeresspiegelanstieg deutlich stärker erfolgen. „Für ein gegebenes Erwärmungsszenario könnten wir auch den doppelten Anstieg des Meeresspiegels bekommen als man bislang erwartet hat“.<sup>55</sup>

Betrachten wir beispielhaft die regionale Entwicklung in der stark verwundbaren Arktis. Der Arktis-Klima-Report, dessen Aussagen zu den bisher eingetretenen Klimaänderungen bereits erwähnt wurden, enthält Projektionen der Klimaentwicklung im 21. Jahrhundert für die Szenarien A2 und B2. Dabei handelt es sich nicht um Szenarien des „schlimmsten“ oder „besten“ Falls, sondern um solche, die sich leicht unterhalb der Mitte des von den globalen Klimamodellen prognostizierten Temperaturanstiegs bewegen.<sup>56</sup> In beiden Fällen ist eine Beschleunigung der bereits begonnenen physikalischen, ökologischen, sozialen und ökonomischen Veränderungen zu erwarten.

Die Erhöhung der Arktistemperatur soll, bezogen auf die Jahre 1991-2000, im Fall des A2-Szenariums bis 2100 um 7°C und für das B2-Szenarium um 5°C steigen. Für beide Szenarien soll der Anstieg der bodennahen Temperatur bereits 2020 bei 2°C liegen.

Unter den Bedingungen des B2-Szenarios sollen die Jahresmitteltemperaturen der arktischen Landgebiete um 3-5°C ansteigen und über den Meeren bis zu 7°C. Dabei werden die Wintertemperaturen deutlich stärker steigen als im Jahresmittel.<sup>57</sup>

Die Erwärmung wird zu einer weiter ansteigenden Verdunstung und damit zu einem Anwachsen der Niederschläge führen. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um rund 20%, wobei dieser Zuwachs zum großen Teil als Regen fällt. Besonders betroffen sind die Küstenregionen im Herbst und im Winter.

Bis 2100 wird im Sommer ein Meereisverlust von mindestens 50% erwartet. Einige Modelle sagen ein vollständiges Verschwinden des sommerlichen Meereises voraus. Auch die Schneedecke soll sich, nach den bedingten Vorhersagen, um zusätzliche 10-20% verringern. Der erwartete Rückgang wird im Frühjahr am stärksten sein. Als Folge werden Flußeinträge in das Nordpolarmeer früher einsetzen.

Keine der Projektionen berücksichtigt, daß eine mehr oder weniger stetige Erwärmung zu einer kritischen Schwelle (tipping point) führen kann, an der eine abrupte Veränderung eintritt.

Für das Klimasystem kennen die Physiker im wesentlichen sowohl die wirkenden Naturgesetze als auch die Anfangsbedingungen. Wie wir heute wissen, sind für das Verhalten solcher komplexen nichtlinearen Systeme wie Klima und Wetter über eine gewisse charakteristische Zeit hinaus keine Vorhersagen möglich. Ursache dieses Verhaltens sind Systemeigenschaften, die bewirken, daß winzige Veränderungen in den Anfangsbedingungen zu gewaltigen Differenzen in den Folgeprozessen führen können. Selbst bei kausaler Determiniertheit aller Einzelprozesse erweisen sich komplexe Systeme über eine charakteristische Zeit hinaus nicht nur praktisch, sondern auch theoretisch als nicht vorhersagbar. Im Falle des Wetters liegt dieses Zeitintervall bei rund zehn Tagen, im Falle des Klimas vermutlich bei einigen Jahrzehnten oder Jahrhunderten.

Erinnert sei an die 25 irregulären Klimasprünge während der letzten Kaltzeit zwischen dem Ende der Eem-Warmzeit vor ca. 114 000 Jahren und dem Beginn der Neo-Warmzeit vor 11 500 Jahren. Bei jedem Wechsel änderte sich die Temperatur um 5-7 Grad Celsius. Beim letzten Wechsel, dem Übergang in die präboreale Phase, stieg die mittlere Temperatur im nordatlantischen Bereich um sieben Grad. Die Grenze des Meereises verschob sich aus der Biskaya in die Norwegensee.

Auch im Sommer 2006 setzte sich der verstärkte Rückgang des arktischen Meereises fort. Mit 5,9 Millionen Quadratkilometern war die sommerliche Ausdehnung der eisbedeckten Fläche des arktischen Ozeans die zweitniedrigste der letzten Jahrzehnte. Der gegenwärtige Verlust an Meereis beträgt 8,6% pro Dekade. Hält dieser Trend an, wird der arktische Ozean bereits im Sommer 2060 nahezu eisfrei sein.

Die Auswirkungen des Schwindens des arktischen Meereises sind komplex. Es sind mehrere Mechanismen – Rückkopplungen –, durch die Vorgänge in der Arktis auf einen weltweiten Klimawandel einwirken werden:

1. Da die weltweite atmosphärische Zirkulation durch die Strahlungsbilanz zwischen äquatorialen und polaren Breiten bewirkt wird, kann eine deutliche Änderung im polaren Bereich die globale Energiebilanz merklich verändern. Solange große Meereisflächen das einfallende Sonnenlicht in den Weltraum reflektieren, bleibt die Polarregion eine starke Senke für die aus niederen Breiten strömenden Luftmassen. Eis und Ozeane reflektieren Sonnenlicht unterschiedlich. Den Prozentsatz des reflektierten Lichts bezeichnet man als Albedo. Für Meereis liegt er bei 85%, d.h. fast das gesamte Sonnenlicht wird reflektiert. Für eisfreie Meeresflächen liegt er bei 7%, nahezu die gesamte eingestrahelte Energie wird absorbiert. Die Temperatur des Meerwassers steigt, und der Schmelzprozeß beschleunigt sich. Die Wissenschaftler sprechen von einer positiven Rückkopplung. Die arktische Erwärmung bewirkt eine verminderte Kaltluftbildung. Das führt zu einer Verschiebung der Kaltluftströmung nach Norden und damit zu einer – möglicherweise drastischen – Veränderung des Wetters in mittleren Breiten. Vielleicht liegt darin die Ursache für den ungewöhnlich milden Herbst und Winter 2006/07.

Durch verstärkte Aufnahme von Wasserdampf in der Atmosphäre kann die Wolkenbedeckung zunehmen. Das kann einerseits zur Abkühlung führen, andererseits können Wolken ein Entweichen langwelliger Wärmestrahlen in den Weltraum verhindern. Die Modellierung verschiedener ineinander greifender positiver und negativer Rückkopplungssysteme erweist sich als sehr schwierig. Die bisherigen Veränderungen zeigen jedoch, daß im Endeffekt eine rasche Temperaturerhöhung und ein zunehmendes weiteres Schmelzen von Meereis stattfinden. Da die positiven Rückkopplungen offenbar überwiegen, wird eine rasche arktische Erwärmung auch den Temperaturanstieg in mittleren und hohen Breiten verstärken. Das kann zu einer sprunghaften Änderung der atmosphärischen Zirkulation auf der Nordhalbkugel führen.

2. Im Winter ist die Atmosphäre der Arktis kalt und trocken. Verglichen damit ist das Wasser des arktischen Ozeans deutlich wärmer. Die Eisschicht verhindert einen Wärme- und Feuchtigkeitsaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre. Ein Schwinden der isolierenden Eisdecke bewirkt eine zusätzliche Erwärmung der Atmosphäre, die ihrerseits die globale atmosphärische Zirkulation verändern kann.

3. Eine weitere Rückkopplung, die zu weltweiten Auswirkungen auf das Klima führen kann, liegt in einer Veränderung des Musters der ozeanischen Zirkulation. Für die Temperaturverteilung auf der Erdoberfläche ist neben der atmosphärischen auch die

ozeanische Zirkulation von großer Bedeutung, da der Wärmetransport zu den Polen durch Ozeane und Atmosphäre von vergleichbarer Größe ist. Unter der Wirkung ständiger Winde bilden sich an der Meeresoberfläche große horizontale Wirbel, die sich über weite Teile der Ozeane erstrecken. Die markantesten sind die subtropischen Wirbel. In ihnen wird das Wasser nach Westen geführt und in intensiven Randströmungen, wie dem Golfstrom, fließt es längs der Kontinente nach Norden. Die vom Golfstrom transportierten Wassermassen treffen östlich der Neufundlandbank auf eine Kaltwasserströmung, den Labradorstrom. Das warme Wasser des Golfstroms teilt sich hier in zwei Systeme. Sie führen teils bis ins europäische Nordmeer, teils fließen sie in mittleren Breiten in einem großen subtropischen Wirbel nach Südwesten zurück.

Dichte Wassermassen über weniger dichten Schichten führen unter der Schwerkraft zu einer vertikalen Konvektion. Ursache einer solchen Schichtung ist entweder eine Abkühlung der Oberfläche oder eine Zunahme des Salzgehalts, z.B. durch Eisbildung oder Verdunstung. Wärmetransport durch Konvektion wird daher als thermohaline Konvektion bezeichnet.

Eine Tiefenkonvektion kann nicht stattfinden, wenn die Dichte des Oberflächenwassers geringer ist als in darunter liegenden Schichten. Es kommt zur Ausbildung einer Sprungschicht zwischen warmem Oberflächen- und kaltem Tiefenwasser. In den tropischen und subtropischen Ozeanen, in denen eine Sprungschicht ganzjährig oberflächennahes warmes Wasser von kälterem Tiefenwasser trennt, beschränkt sich die thermohaline Konvektion auf eine relativ flache Schicht unter der Meeresoberfläche. Nur in hohen Breiten kann die Konvektion wegen lokalen Fehlens einer Sprungschicht bis zum Meeresboden vordringen.

Die thermohaline Tiefenzirkulation erfolgt nicht stetig über ausgedehnten Flächen. Die wenigen bisher vorliegenden Beobachtungen ergaben, daß dichte Oberflächenwasser sporadisch in relativ engen Strömungskanälen in die Tiefe sinken. Strömungskanäle wurden nur in wenigen Meeresgebieten gefunden, so im antarktischen Weddellmeer, in der Grönland-, Island-, Norwegensee (GIN-See) und in der Labradorsee.

Die Gesamtmenge an frisch gebildetem nordatlantischem Tiefenwasser beträgt gegenwärtig ungefähr 17 Millionen Kubikmeter pro Sekunde. Das absinkende Wasser strömt in größerer Tiefe über den Äquator hinweg in Richtung Antarktis. Es vereinigt sich mit dem noch mächtigeren Strom kalten Tiefenwassers, der in östlicher Richtung die Antarktis umläuft. Der Strömungsverlauf im Weltmeer gleicht einem riesigen Transportband das Tiefenzirkulation und Oberflächenströmung miteinander verbindet.

Der Salzgehalt des kalten Oberflächenwassers steuert das lokale Absinken großer Wassermassen in hohen Breiten. Kleine Änderungen des Salzgehalts, wie

sie durch einen veränderten Zufluß von Frischwasser bewirkt werden – beispielsweise durch das Schmelzen des grönländischen Eises –, können zu einer Umstellung im Zirkulationsmuster führen. Neue Untersuchungen belegen, daß die zahlreichen Klimasprünge während der letzten Kaltzeit mit abrupten Änderungen des Strömungsverlaufs im Atlantik verknüpft waren.

Das gegenwärtig rasch schmelzende Meereis und der zunehmende Abfluß von Gletschern und Flüssen bewirken eine Reduzierung des Salzgehalts im arktischen Becken und damit eine Schwächung der Tiefenkonvektion. Klimamodelle deuten darauf hin, daß der Abschwächungsprozeß kaum vor Ende des 21. Jahrhunderts in eine sprunghafte Umstellung des Zirkulationsmusters münden kann. Die Folge einer erneuten Kaltzeit, wie sie uns der spektakuläre Katastrophofilm „The Day after Tomorrow“ suggerieren will, erscheint wenig wahrscheinlich. Selbst wenn das warme nach Norden strömende Oberflächenwasser die GIN-See nicht mehr erreicht, der dramatische CO<sub>2</sub>-Anstieg wird eine Abkühlung in Nord- und Mitteleuropa, wie während der vergangenen Kaltzeit, wahrscheinlich verhindern – wir befinden uns im Anthropozän!

Eine von allen Modellen vorhergesagte Auswirkung der Schwächung oder letztlich einer Umstellung der Tiefenzirkulation ist im Süden zu erwarten. Der für die Landwirtschaft z.B. in Indien unerläßliche tropische Regengürtel kann sich verschieben.

4. Ein weiterer Mechanismus, den die rasche arktische Erwärmung auslösen kann und der potentiell globale Auswirkungen impliziert, ist die Freisetzung von Treibhausgasen, die in den ausgedehnten arktischen Dauerfrostböden und in den Sedimenten arktischen Flachwassers gebunden sind. Während Permafrostböden in Alaska und Kanada nur fleckhaft auftreten, besteht rund die Hälfte des russischen Territoriums aus Dauerfrostboden. Neben gewaltigen Kohlenstoffmengen speichern die Permafrostböden Methan. Ein rascher weiterer Anstieg der Oberflächentemperatur kann zu einer Freisetzung der Treibhausgase führen und damit einen zusätzlichen Wärmeschub bewirken, der sich weltweit auswirken würde.

Eine weitere Methanquelle ist Methanhydrat, eine eisartige Verbindung von Wasser und Sumpfgas, die nur bei tiefen Temperaturen und hohem Druck stabil ist. Wenn nur ein Bruchteil des in großen Mengen am Meeresboden gebundenen Gashydrats die Meeresoberfläche erreicht, werden riesige Mengen an Methan freigesetzt. Dabei ist zu beachten, daß ein Molekül dieses Treibhausgases 30mal effektiver wirkt als ein CO<sub>2</sub>-Molekül.

Methanhydrat findet sich vorwiegend an Kontinentalabhängen, in denen der Meeresboden vom relativ flachen Schelf zur Tiefsee abfällt. Als Flachwasser-Gashydrat finden sie sich in arktischen Gewässern.

Die Kälte des Wassers zwischen Nordkap und Spitzbergen bewirkte starke Ablagerungen von Methanhydrat bereits in Tiefen von 300 bis 350 Metern. „Wie seismische Reflexionsprofile zeigen, reichen die jetzt noch vorhandenen Gashydrate etwa 180 Meter tief in den Meeresboden. Schon ein Anstieg der Wassertemperatur um nur ein Grad Celsius würde genügen, sie aus dem Stabilitätsfeld geraten zu lassen. Da die Gashydratfelder Durchmesser bis zu mehreren Dutzend Kilometern haben und ein Kubikmeter Gashydrat bis 164 Kubikmeter freies Gas speichert, könnten bei der Zersetzung enorme Mengen Gas aus dem Meeresboden brechen. Zur Zeit ist das Hydrat im Winter beständig. Im Sommer jedoch, wenn sich das Bodenwasser um bis zu ein Grad erwärmt, entweichen bereits größere Mengen Methan aus dem Hydrat. Eine massive Freisetzung des Gases könnte einen Treibhauseffekt auslösen, der die Temperatur weiter steigen ließe. So käme ein fataler Rückkopplungsprozeß in Gang, in dem sich Erwärmung und Methanfreisetzung, gegenseitig aufschaukeln würden.“<sup>58</sup>

Das Beispiel der Arktis zeigt, daß ein Temperaturanstieg um wenige Grad, wie wir ihn in den kommenden Jahrzehnten erwarten, das Risiko globaler Unregelmäßigkeiten gefährlich erhöhen wird. Durch das komplexe Zusammenwirken verschiedener Einflüsse kann ein Verlust an arktischem Meereis zu einer Beschleunigung des globalen Klimawandels führen und zu einer Umstellung der atmosphärischen Zirkulation in mittleren Breiten – also auch in Mitteleuropa.

Wir erleben gegenwärtig ein deutliches Abschmelzen des grönländischen Eisschildes. Wird, wie von den Klimamodellen projiziert, die lokale Erwärmung von 2,7°C – entsprechend einer globalen Erwärmung von 1,2°C – überschritten, erfolgt ein nicht mehr aufhaltbares Abschmelzen des Eisschildes. Selbst wenn sich das Klima stabilisieren würde, letztlich wird das Eis verschwinden. Die Folge wäre ein Anstieg des Meeresspiegels um rund sieben Meter. Zu Recht bezeichnet der Klimatologe James Hanson, Direktor des Goddard Instituts for Space Studies der NASA, die Eisschilde als tickende „Zeitbombe“ (time bomb).<sup>59</sup>

Die klimabedingten Veränderungen der arktischen Ökosysteme werden gravierende Folgen haben, nicht nur für die dort lebenden Menschen, sondern auch für viele Tier- und Pflanzenarten. Einige von ihnen werden sich global auswirken.

Jeden Sommer ziehen mehrere Millionen Vögel in die Arktis. Ihr dortiger Fortpflanzungserfolg entscheidet über die Populationen, die in Richtung Süden zurückfliegen. Mit der Verschiebung der Baumgrenze nach Norden, und dem Schwinden der Tundra reduzieren sich Brut- und Nestplätze. Die Ankunft der Zugvögel wird möglicherweise nicht mehr mit der Verfügbarkeit ihrer Nahrungsquelle, den Insekten, zusammenfallen, da der Abflug aus ihren Wintergebieten relativ stabil fixiert ist.<sup>60</sup>

Zu den wichtigsten Vegetationszonen der Arktis zählen die Polarwüste, die Tundra und der nördliche Teil des borealen Waldes. Durch den Klimawandel findet eine Verschiebung der Vegetation statt. Wälder breiten sich in die Tundra und diese in eine schrumpfende Polarwüste aus. Trotz des spärlichen Bewuchses leben dort Moschusochsen und kleinere Unterarten von Karibus/Rentieren.

Die Tundra wird im 21. Jahrhundert auf ihre kleinste Fläche seit mindestens 21 000 Jahren schrumpfen. Dadurch werden nicht nur die Brutgebiete vieler Vögel, sondern auch die Weidegebiete vieler Landtiere zurückgehen. Einige weit verbreitete Arten werden drastisch reduziert, andere werden aussterben.

Ein weiteres komplexes Problem ist das Tauen des Permafrostes. Zunächst führt das Tauen zu großen Wasseransammlungen auf dem Boden. Reicht die tauende Schicht in die Tiefe, geht die Feuchtigkeit verloren, die Gebiete erodieren. Ein Prozeß, der in den kalten und trockenen Steppengebieten Sibiriens und Alaskas bereits zu wirken beginnt.

Eine Art, deren Lebensraum „schmilzt“, sind Eisbären. Sie sind vom Meereis abhängig, wo sie auf dem Eis lebende Robben jagen und Eiskorridore als Wanderwege nutzen. Ihr Jagderfolg im Frühling wird durch Fläche und Festigkeit des Eises bestimmt. Sie werden als frei lebende Art aussterben, wenn die sommerliche Meereisdecke verschwindet.

Karibus/Rentiere (eurasische Formen derselben Art) versorgen seit Jahrtausenden die Menschen in vielen Teilen der Arktis mit Nahrung, Kleidung, Werkzeugen und weiteren Gegenständen ihrer Kultur. Die Karibu- und Rentierherden sind – insbesondere in der Kalbungssaison – auf gute Bedingungen zur Futtersuche angewiesen. Die prognostizierten klimabedingten Veränderungen in der arktischen Tundra werden dazu führen, daß sich die Vegetationszonen erheblich nach Norden verschieben. Als Folge werden das Gebiet der Tundra und das traditionelle Nahrungsangebot für diese Herden zurückgehen. Gefrierschmelz-Zyklen und gefrierender Regen werden zunehmen. Dieser Wandel wird für die Fähigkeit der Karibu- und Rentierpopulationen, Nahrung zu finden und Kälber großzuziehen, erhebliche Folgen haben.<sup>61</sup>

Die indigenen Völker der Arktis bewahren durch ihre Lebensform als Fischer, Hirten, Jäger und Sammler eine starke Verbindung zur Umwelt. Darauf beruhen ihre soziale Identität, ihr spirituelles Leben und der Fortbestand ihrer Kultur. Reiche Mythologien, lebendige mündliche Überlieferungen, Feste und Tierzeremonien zeugen von den sozialen, wirtschaftlichen und spirituellen Beziehungen der indigenen Völker zur arktischen Umwelt. Diese Traditionen unterscheiden die Subsistenz-Jagd der Ureinwohner von der konventionellen Jagd.<sup>62</sup>

Der schnelle Klimawandel beeinträchtigt das Leben in vielen Gemeinschaften erheblich. Unberechenbare Wetter-, Schnee- und Eisbedingungen machen das

Reisen gefährlich, ja lebensbedrohlich. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Tierwelt, von den Karibus auf dem Land über die Fische in den Flüssen bis hin zu den Robben und Eisbären auf dem Meereis, haben nicht nur gravierende Folgen für die Nahrungsgrundlagen der Ureinwohner, sondern auch für ihre Kultur.<sup>63</sup>

Den bereits eingetretenen Wandel charakterisieren die Beobachtungen von zwei Angehörigen indigener Völker:

„Früher gab es hier richtigen Frost, der die Flechten austrocknete, und der Schnee fiel obendrauf. Der Regen formte den Boden, der dann ordentlich gefror. Wenn es jetzt regnet, gefriert die Nässe über dem Boden, was schlecht für die Rentiere ist. Es zerstört die Flechten. Das Eis ist überall und die Rentiere kommen nicht durch. Viele sind schon gestorben, weil sie nicht mehr an die Flechten kommen. – Niila Nikodemus, 86, ältester Rentierhirte in Pumumukka, Finnland 2002.“<sup>64</sup>

„Das Wetter hat sich zum Schlechteren gewandelt, und für uns ist das eine schlimme Sache. Es beeinträchtigt die Mobilität bei der Arbeit. Früher hatten wir ab Oktober eine feste Eisdecke. Heute kann man erst Anfang Dezember aufs Eis raus. So sehr hat sich alles verändert. – Arkady Khodzinsky, Lovozero, Rußland 2002.“<sup>65</sup>

Der reich gebildete und gut lesbare „Arktis-Klima-Report“ kommt abschließend zu folgender Wertung der Bedeutung eines regionalen Klimawandels: „Trotz der Tatsache, dass nur ein relativ kleiner Prozentsatz der globalen Treibhausgasemissionen in der Arktis selbst entsteht, gehören die vom Menschen verursachten Klimaveränderungen in der Arktis zu den größten auf der ganzen Welt. Die Veränderungen, die sich bereits jetzt in den Landschaften, Gemeinschaften und einzigartigen Merkmalen der Arktis vollziehen, vermitteln also der übrigen Welt einen ersten Eindruck davon, wie sich ein globaler Klimawandel auf Umwelt und Gesellschaft auswirken wird. Wie dieser Bericht zeigt, sind der Klimawandel und seine Folgen bereits jetzt allgemein zu beobachten und zu spüren und die Auswirkungen werden sich laut Prognose noch erheblich verstärken. Sie werden auch nicht auf die Arktis beschränkt bleiben und das globale Klima, den Meeresspiegel, die Artenvielfalt und viele Bereiche menschlicher Sozial- und Ökosysteme beeinträchtigen. Von daher sollten Entscheidungsträger und Weltöffentlichkeit dem Klimawandel in der Arktis die verdiente und dringend notwendige Aufmerksamkeit schenken.“<sup>66</sup>

Auf dem Weltgipfel, der 1992 in Rio de Janeiro stattfand, wurde ein „Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen“ (UNFCCC) verabschiedet. Es setzt das Ziel, die Konzentration der klimarelevanten Treibhausgase, die durch den menschlichen Stoffwechsel mit der Natur freigesetzt werden, auf einem *nachhaltigen* Niveau zu

stabilisieren. Als Ziel des Übereinkommens heißt es in Artikel 2:

„Das Endziel dieses Übereinkommens und aller damit zusammenhängenden Rechtsinstrumente, welche die Konferenz der Vertragsparteien beschließt, ist es, in Übereinstimmung mit den einschlägigen Bestimmungen des Übereinkommens die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.“

Im Februar 2005 fand in Exeter (England) die Internationale Konferenz „Avoiding Dangerous Climate Change“ statt.<sup>67</sup> Im einleitenden Vortrag des Vorsitzenden des IPCC stellt Rajendra Pachauri zwei Fragen in den Mittelpunkt:

- Was ist eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems?
- Was ist eine nachhaltige Entwicklung?

Grundlegende Prinzipien, die allein eine Beantwortung der Fragen erlauben, sieht der Vorsitzende des IPCC in den Menschenrechten.

Am 10. Dezember 1948 verabschiedeten die Vereinten Nationen eine „Allgemeinen Erklärung der Menschenrechte“. Die Staatengemeinschaft erkannte ihre Verantwortung für das Schicksal *aller* Menschen. Die Deklaration war Teil eines Internationalisierungsprozesses, der zur Schaffung der UNO mit den grundlegenden Völkerrechtsprinzipien für alle Staaten führte.

„Ihrer Rechtsnatur nach ist die Erklärung eine Empfehlung, d.h. ein Rechtsinstrument, dem die verbindliche Kraft fehlt. In der Präambel hat die Generalversammlung seinerzeit auch unmissverständlich erklärt, dass das Regelwerk ein ‚zu erreichendes gemeinsames Ideal‘ darstelle. Bis heute hat sich an dieser Bewertung nichts geändert.“<sup>68</sup> Sie blieb ein Versuch, Individuum und Gesellschaft als Einheit zu erfassen.

Zitieren wir aus der Präambel der Menschenrechtscharta und einigen ihrer Artikel:

#### Präambel

„*Da die* Anerkennung der angeborenen Würde und der gleichen und unveräußerlichen Rechte aller Mitglieder der Gemeinschaft der Menschen die Grundlage von Freiheit, Gerechtigkeit und Frieden in der Welt bildet,

*da die* Nichtanerkennung und Verachtung der Menschenrechte zu Akten der Barbarei geführt

haben, die das Gewissen der Menschheit mit Empörung erfüllen, und da verkündet worden ist, daß einer Welt, in der die Menschen Rede- und Glaubensfreiheit und Freiheit vor Furcht und Not genießen, das höchste Streben des Menschen gilt, *da es* notwendig ist, die Menschenrechte durch die Herrschaft des Rechtes zu schützen, damit der Mensch nicht gezwungen wird, als letztes Mittel zum Aufstand gegen Tyrannei und Unterdrückung zu greifen,

*da es* notwendig ist, die Entwicklung freundschaftlicher Beziehungen zwischen den Nationen zu fördern,

*da die* Völker der Vereinten Nationen in der Charta ihren Glauben an die grundlegenden Menschenrechte, an die Würde und den Wert der menschlichen Person und an die Gleichberechtigung von Mann und Frau erneut bekräftigt und beschlossen haben, den sozialen Fortschritt und bessere Lebensbedingungen in größerer Freiheit zu fördern, ...

*verkündet die Generalversammlung: ...*

#### Artikel 1

„Alle Menschen sind frei und gleich an Würde und Rechten geboren. Sie sind mit Vernunft und Gewissen begabt und sollen einander im Geiste der Brüderlichkeit begegnen.“

#### Artikel 2

1. Jeder hat Anspruch auf alle in dieser Erklärung verkündeten Rechte und Freiheiten, ohne irgendeinen Unterschied, etwa nach Rasse, Hautfarbe, Geschlecht, Sprache, Religion, politischer oder sonstiger Anschauung, nationaler oder sozialer Herkunft, Vermögen, Geburt oder sonstigem Stand. ...

#### Artikel 3

Jeder hat das Recht auf Leben, Freiheit und Sicherheit der Person.

Spätere Beschlüsse, wie beispielsweise die Millenniumserklärung der Vereinten Nationen vom 8. September 2000, bekräftigten die vorangegangenen Beschlüsse zu den Grundwerten der Menschheit *Freiheit, Gleichheit, Solidarität* und *Toleranz*. Hinzu kommt ein weiterer Grundwert, dessen Bedeutung in der Mitte des 20. Jahrhunderts noch nicht erkannt wurde, die *Achtung vor der Natur*:

„Bei der Bewirtschaftung aller lebenden Arten und natürlichen Ressourcen muss im Einklang mit den Grundsätzen der nachhaltigen Entwicklung Umsicht bewiesen werden. Nur so können wir die unermesslichen Reichtümer, mit denen die Natur uns beschenkt, erhalten und an unsere Nachkommen weitergeben. Die heutigen nicht zukunftsfähigen Produktions- und Konsumstruk-

turen müssen im Interesse unseres künftigen Wohls und des Wohls unserer Nachfahren geändert werden.“<sup>69</sup>

Interessierte Kreise in den Vereinten Nationen bemühten sich, die Empfehlungen der Deklaration in einer Welt-Grundsatz-Charta (International Bill of Rights), einem verbindlichen völkerrechtlichen Vertrag zu fassen. Am 16. Dezember 1966 wurden zwei Pakte durch die UN-Vollversammlung verabschiedet: Ein internationaler Pakt über bürgerliche und politische Rechte (Zivilpakt) und ein internationaler Pakt über wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte (Sozialpakt). Es dauerte rund zehn Jahre bis beide in Kraft treten konnten, nachdem sie durch 35 Länder ratifiziert worden waren. Am Beginn des 21. Jahrhunderts haben den Zivilpakt 148 und den Sozialpakt 145 Staaten ratifiziert. Die USA haben lediglich den Zivilpakt ratifiziert, „ihn aber dabei freilich mit einer Erklärung über seine innerstaatliche Unanwendbarkeit für den Alltag des amerikanischen Bürgers fast bis zur Bedeutungslosigkeit reduziert“.<sup>70</sup>

Wie uns die tägliche Erfahrung lehrt, ist die Menschheit von einer Erfüllung dieser hehren Grundwerte weit entfernt. Vor allem, weil die theoretische Grundkonzeption der Allgemeinen Erklärung nie erreicht und in den herrschenden Systemen nicht einmal angestrebt wurde.

Jede menschliche Gemeinschaft muß das Recht besitzen, allein über ihre Lebensbedingungen zu entscheiden. Es reicht daher nicht, die Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels auf die Lebensbedingungen aus der Sicht eines Mitteleuropäers zu bewerten. Es ist unumgänglich, den Klimawandel „in jeder Ecke des Globus und auf jede Gemeinschaft zu berücksichtigen“.<sup>71</sup>

Pachauri betrachtet den Klimawandel als das „Herz einer nachhaltigen Entwicklung“. Wenn wir kommende Generationen Bedingungen ausliefern, die es ihnen unmöglich machen, ihre Menschenrechte wahrzunehmen, so schaffen wir das Gegenteil einer nachhaltigen Entwicklung.<sup>72</sup>

Bei der Betrachtung des Klimawandels ist es unerlässlich, die zahlreichen Randbedingungen zu berücksichtigen, unter denen er stattfindet und die zu einer Verschärfung der kritischen Situation beitragen. Zu ihnen zählen die Abholzung der Urwälder, die Zersiedelung der Landschaften, der Überfischung der Meere, die Erschöpfung der Bodenfruchtbarkeit, die Verunreinigung von Land und Wasser, die genetische Veränderung von Pflanzen- und Tierarten, usw.

Aus der Vielzahl der Gefährdungen, die die projizierten Klimaänderungen des 21. Jahrhunderts bewirken werden, sei als Beispiel die Auswirkungen auf Hydrologie und Wasserressourcen betrachtet. Wasser ist unverzichtbar zur Erhaltung des Lebens auf der Erde. Klimaänderungen, wie Temperaturerhöhung und veränderte Niederschläge, wirken sich auf natür-

liche und humane Systeme aus. Hinzu kommen Änderungen im Wasserhaushalt durch zunehmende Nutzung von Anlagen zur Flußregulierung, von Dämmen, Wasserreservoirs und landwirtschaftlichen Bewässerungssystemen. Das Wechselspiel zwischen Art und Umfang der Nutzung hydrologischer Systeme und klimabedingten Änderungen der Niederschläge wird für die Mehrheit der Menschen zur Überlebensfrage.

Die Auswirkungen der projizierten Klimaänderungen auf Fließgewässer und Grundwasserspeisung folgen überwiegend den erwarteten Niederschlagsänderungen. Die Mehrzahl der Szenarien erwartet eine Zunahme des Abflusses in hohen Breiten und in Südostasien, aber einen Rückgang in Zentralasien, in den Gebieten rund ums Mittelmeer, im Süden Afrikas und in Australien. Der Klimawandel wird daher den Wassermangel verstärken, der bereits in ariden und semi-ariden Regionen besteht.

Annähernd 1,7 Milliarden Menschen leben zu Beginn unseres Jahrhunderts in Ländern mit Wasserknappheit.\* Bei einem Bevölkerungswachstum auf mehr als 8 Milliarden im Jahr 2025 wird ihre Zahl auf 5 Milliarden ansteigen – ohne einen bis dahin eintretenden Wandel des Klimas zu berücksichtigen. In Ländern, die bereits gegenwärtig unter Wasserknappheit leiden, werden sich Abfluß und Grundwasserspeisung weiter verringern. Modellrechnungen lassen erwarten, daß beispielsweise in Indien, wo pro Kopf jährlich ca. 2400 Kubikmeter zur Verfügung stehen, Bevölkerungswachstum und Klimawandel bis 2050 die verfügbare Wassermenge unter 1000 Kubikmeter sinken läßt.<sup>73</sup>

Folgendes Beispiel illustriert den bereits vorhandenen Mangel. Im Mai 1995 bat die Regierung Mexikos die Vereinigten Staaten um einen Kredit – allerdings nicht in Dollar, sondern in Wasser aus dem Rio Grande. Zu dieser Zeit herrschte im nördlichen Mexiko das dritte Jahr in Folge eine Dürreperiode, der Ernten und Viehbestände zum Opfer fielen. Der Kredit wurde abgelehnt, da die texanischen Farmer Engpässe in ihrer Wasserversorgung befürchteten.<sup>74</sup>

Die bestehende Kluft zwischen Frischwasserbedarf in einigen der am stärksten bevölkerten Regionen der Welt und den vorhandenen Ressourcen wird im 21. Jahrhundert wachsen.

Auf dem indischen Subkontinent – Indien, Bangladesch, Bhutan, Nepal und Malediven – lebten 1996 1,1 Milliarden Menschen, darunter 74 Prozent auf dem Land. Sein Klima prägt der Monsun, der Südwest-Monsun (Juni bis September) und der weit schwächere Nordost-Monsun. Rund 80 Prozent aller Niederschläge fallen während der Monsunperiode. In Ostasien hat sich der Monsun seit 1970 deutlich verringert. Als Folge nahm die Trockenheit in Nordchina stark zu.<sup>75</sup>

---

\* Wasserknappheit bedeutet, daß mehr als 20 Prozent der erneuerbaren Ressourcen genutzt werden.

Die jährliche Frischwasserentnahme verteilte sich 1996 zu 92 Prozent auf die Landwirtschaft, zu 3 Prozent auf die Industrie und zu 5 Prozent auf private Haushalte. Der im Weltvergleich hohe Frischwasserverbrauch in der Landwirtschaft wird durch den sehr hohen Grad an künstlich bewässerten Nutzflächen verursacht. Rund die Hälfte der weltweit vorhandenen Bewässerungssysteme entfallen auf Asien. Diese seit Jahrtausenden praktizierte Kultur führte dazu, daß in Indien, dem weltweit drittgrößten Getreideproduzenten, 43 Prozent des Ackerlandes bewässert werden. Der durch Bevölkerungswachstum steigende Frischwasserbedarf führte zu einer wachsenden Inanspruchnahme der Grundwasservorräte. So wuchs die Zahl flacher Bohrbrunnen zur Entnahme von Grundwasser von 3000 im Jahre 1950 auf 6 Millionen 1990.<sup>76</sup> Wasservorräte, die vor Jahrtausenden unterirdisch aufgefangen wurden, können durch Niederschläge nicht mehr ergänzt werden. In einigen indischen Staaten, die zu den wichtigsten Anbaugebieten zählen, sind viele Brunnen bereits unbrauchbar geworden. „Wenn es zu kostspielig wird, Grundwasser aus größeren Tiefen heraufzupumpen oder das Wasser zu salzig wird, es auf Feldern zu benutzen, wird man das Pumpen einstellen. Ohne andere Wasserquellen wird die Nahrungsmittelproduktion in diesen Gebieten zusammenbrechen.“<sup>77</sup>

Nicht nur das Grundwasser auch die großen Ströme leiden unter übermäßiger Wasserentnahme. Die starke Nutzung des Ganges führte dazu, daß in der Trockenzeit kaum noch Flußwasser das Meer erreichte. Die Situation wird sich weiter verschärfen. Bis zum Jahre 2050 wird für Indien ein Bevölkerungsanstieg auf 1,57 Milliarden projiziert.

Im Mittel erhält man mit Hilfe einer Tonne Wasser bei industrieller Nutzung das 70fache des Profits, den ein Einsatz im Getreideanbau bringt. Mit zunehmender Industrialisierung wird deren Wasserbedarf, der weltweit zum Ende des 20. Jahrhunderts bei rund 22 Prozent lag, stark anwachsen.

Es wird erwartet, daß die städtische Bevölkerung bis 2025 auf 4,7 Milliarden steigen wird. Als Zentren finanzieller und politischer Macht werden auch Städte Wasser aus der Landwirtschaft abziehen. In den Megametropolen der Entwicklungsländer ist bereits gegenwärtig eine Versorgung der Armen mit sauberem Trinkwasser nicht gesichert. Hinzu kommt, daß weltweit die Trinkwasserversorgung aus einer kommunalen in eine privatwirtschaftliche, profitorientierte Aufgabe überführt wird. Nimmt man Teilen der Gesellschaft den Zugang zu sauberem Trinkwasser durch drastische Preiserhöhungen, wie es beispielsweise im Frühjahr 2001 in Bolivien nach der Privatisierung geschehen ist, entsteht ein gewaltbereites Konfliktpotential.

Wasser wird zu einem zentralen Risiko des 21. Jahrhunderts. Bevölkerungswachstum, regionale Verringerung der Niederschläge infolge Klimawandels,

aber auch wachsende Hochwassergefahren in anderen Regionen, Rückgang nicht erneuerbarer Grundwasservorräte, abnehmende Nutzungsmöglichkeiten des Grundwassers durch Verschmutzung mit Schadstoffen und durch Versalzung, Zunahme von Todesfällen durch verunreinigtes Wasser und deren infektiösen Folgeerscheinungen, zwischenstaatliche Konflikte bei Nutzung eines Flusses, das komplexe Zusammenwirken aller Faktoren kann und *wird* in den kommenden Jahrzehnten zum Aufbau eines konfliktbereiten Risikopotentials führen.

In einer Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf die Wasserressourcen der Menschheit kommt in Modellrechnungen für zwei Szenarien Nigel Arnell zu dem Resultat, daß bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts zusätzlich mindestens 800 Millionen Menschen (Szenarium A2) bzw. mindestens 700 Millionen (Szenarium B2) unter Wassermangel leiden werden.<sup>78</sup> Im zweiten Teil des IPCC- Wissenstandsberichts 2007 wird erwartet, daß durch den Klimawandel die Zahl der in Afrika unter Wassermangel leidenden Menschen, um 75-250 Millionen in den kommenden 13 Jahren ansteigen wird.<sup>79</sup>

Wie das Beispiel der Wasserversorgung einer wachsenden Weltbevölkerung zeigt, ist eine Beschränkung der Anpassung auf den Klimawandel allein eine zu enge Sicht. Der Klimawandel verschärft ein gewaltiges Problem. Anpassungsmaßnahmen, die sich allein auf die Folgen des Klimawandels beschränken sind daher ungenügend.

Abschließend erklärt Pachauri in seinem richtungsweisenden Beitrag auf der Exeter-Konferenz: "Entscheidungen müssen von Prinzipien geleitet sein. Prinzipien, die das Recht jeder menschlichen Gemeinschaft der Erde berücksichtigen; aber auch die Rechte künftiger Generationen (da ein Klimawechsel, der heute nicht gefährlich erscheint, in fünfzig Jahren gefährlich sein kann). Es ist völlig unverantwortlich, wenn wir als Art, die Realität ignorieren".<sup>80</sup>

Der Stoffwechsel der Menschheit und seine Folgen auf Natur und Mensch erreichte bereits ein Ausmaß, das von jedem eine unmißverständliche, zum Handeln verpflichtende Stellungnahme fordert. Es reicht nicht mehr, es allein den Politikern zu überlassen, wie sie mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen umgehen.

Unter Klimaforschern besteht ein weitgehender Konsens über den anthropogenen Einfluß auf den Wandel des Klimas. Im krassen Gegensatz zur Einmütigkeit in den wissenschaftlichen Publikationen steht die Berichterstattung in den Medien. Eine 2004 veröffentlichte Metastudie der University of California untersuchte 636 in den Jahren 1988-2002 erschienene Artikel zum Thema Klimawandel aus den führenden Tageszeitungen der USA. Sie ergab, daß 53% aller Artikel die zwei gegensätzlichen Hypothesen ungefähr gleichwertig darstellen, daß der Mensch zum Klimawandel beitrage bzw. daß der Klimawandel ausschließlich natürliche Ursachen habe.<sup>81</sup>

Unter Präsident Ronald Reagan lag die Verantwortung für die Umwelt- und Energiepolitik in den Händen von James Watt, einem religiösen Fundamentalisten. „Er glaubte, das Ende der Welt werde kommen bevor das Öl zu Ende ginge und wir die Folgen der globalen Erwärmung... zu spüren bekämen, sodass es nahezu unsere Pflicht sei, die uns von Gott überlassenen Ressourcen der Erde verschwenderisch zu plündern.“<sup>82</sup>

Die Haltung der Regierung der Vereinigten Staaten gegenüber einem anthropogenen Klimawandel kulminierte in einer Rede des Senators und Vorsitzenden des Umweltausschusses James Inhofe, die er vor dem Senat am 4. Januar 2005 gehalten hat. Darin bezeichnete er die Warnung vor dem anthropogenen Klimawandel als die größte Posse, die dem amerikanischen Volk je gespielt wurde.

Diese Haltung findet sich auch darin wieder, daß Wissenschaftler wie James Hansen, der auf einer Konferenz die Klimapolitik der Vereinigten Staaten kritisierte, Konsequenzen angedroht wurden. Ihm wurde auferlegt, Interviews und Vorträge vorher genehmigen zu lassen.

„Die einreißende Praxis der Regierung wissenschaftliche Ergebnisse zu unterdrücken hat David Baltimore, Biologie-Nobelpreisträger und designerter Präsident der American Association for the Advancement of Science (AAAS), in einer viel beachteten Rede angegriffen. Es sei kein Zufall, dass man in letzter Zeit eine solch weitgehende Unterdrückung der Wissenschaft beobachten könne, meinte er. Das sei Teil einer Regierungsphilosophie, der man sich lautstark gegenüberstellen müsse.“<sup>83</sup>

Die Zusammenfassung für Politiker des zweiten Teils des IPCC- Klimaberichts wurde auf einer UNO-Konferenz im April 07 zwischen Wissenschaftlern des IPCC und Regierungsvertretern beraten und beschlossen. Was drinsteht, ist allerdings nicht mehr das, was im Entwurf drinstand. So kommt ein Abschnitt zu den erwarteten Klimaschäden in Nordamerika nicht mehr vor. Im Entwurf der Wissenschaftler hatte es zunächst geheißt, als Folge der Erderwärmung werde es auf dem Kontinent unter anderem Wirbelstürme, Trockenheit, Überflutungen und Brände geben. Diese kritische Aussage wurde auf Drängen der USA-Regierungsvertreter gestrichen.

Die erste und bisher einzige internationale Übereinkunft, in der eine reale Minderung der wichtigsten Treibhausgasemissionen vereinbart wurde, ist das Kyoto-Protokoll aus dem Jahr 1997. Sieben Jahre danach trat es in Kraft, nachdem 55 Vertragsstaaten es ratifiziert hatten. Selbst bei Erfüllung aller Reduktionsziele, die im Protokoll fixiert sind, könnte die Erwärmung der Erde bis 2100 nur um 0,04°C gebremst werden.

Die Klimarahmenkonvention (UNFCCC) veröffentlichte Meßdaten über die Veränderung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 1990-2003. In den westli-

chen Industriestaaten stiegen die Emissionen um 9%, in Osteuropa fielen sie um 40%, eine Reduktion, die dem Kollaps des Realsozialismus geschuldet ist. In den Vereinigten Staaten, die das Kyoto-Protokoll nicht ratifiziert haben und die mit rund 25% zum weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoß beitragen, stiegen die Emissionen um 13%.

Deutschland hatte, als sein Kyoto-Ziel, eine Reduktion um 21% gewählt. Die Verwandlung Ostdeutschlands in eine Industriebrache in den Jahren 1990-1992 führte zu einer gesamtdeutschen Emissionsminderung um 9%. „Nur rund die Hälfte der Emissionsminderung wäre demnach auf Klimaschutzanstrengungen zurückzuführen. In den letzten fünf Jahren stagnierten die Emissionen nahezu, sodass ohne zusätzliche Anstrengungen Deutschland sein Kyoto-Ziel zu verfehlen droht. Bei den anderen Gasen (-34%) wurde wesentlich mehr erreicht als beim CO<sub>2</sub> (-15%). Das selbst gewählte und stolz proklamierte CO<sub>2</sub>-Minderungsziel der Bundesregierung (-25% bis 2005 laut Kabinettsbeschluss von 1995) wurde also bereits grandios verfehlt.“<sup>84</sup>

Zum gleichen Schluß kommt eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft: „Für die vergangenen 15 Jahre zeigen die beobachteten CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Ausblenden der unmittelbaren Einflüsse der Deutschen Wiedervereinigung eine gleichmäßige Abnahme von nur 0,6% pro Jahr (ähnlich wie z.B. in Großbritannien). Das deutsche Ziel, die CO<sub>2</sub>-Emission bis 2005 um 25% zu vermindern, wurde weit verfehlt. Die zweieinhalbfache Minderungsrate pro Jahr hätte man gebraucht.“<sup>85</sup>

Der „Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen“ (WBGU) hat in der „Post-SRES“-Zeit die Frage nach einer Grenze, oberhalb derer die Folgen des Klimawandels nicht mehr tolerierbar sind, näher untersucht. Ausgehend von eigenen Expertisen, externen Gutachten und neuen Publikationen kommt der Beirat zu folgender qualitativen Einschätzung:

„Bei Ökosystemen sind die Effekte der Klimaänderungen schon heute erkennbar. Die Grenze, ab der die Schäden am globalen Naturerbe nicht mehr hinnehmbar sind, läßt sich nicht präzise bestimmen, wird aber vom WBGU im Bereich um 2°C globaler Erwärmung gegenüber vorindustriellen Werten eingeschätzt. Auch für die weltweite Ernährungssicherheit scheint die Grenze in diesem Bereich zu liegen, denn oberhalb dieses Wertes ist mit klimabedingten weltweiten Verlusten der Agrarproduktion sowie mit einem starken Anstieg der Anzahl der von Wassermangel bedrohten Menschen zu rechnen. Wegen der schwachen Datenlage und unausgereifter Methodik läßt sich für die Gesundheitsfolgen derzeit noch keine Toleranzschwelle einschätzen. Für einige Regionen können die Klimafolgen allerdings vermutlich bereits bei 2°C mittlerer globaler Erwärmung zu intollerablen Belastungen führen. Zudem könnte der Klimawandel sin-

guläre, katastrophale Veränderungen im Erdsystem hervorrufen, wie z. B. die Umsteuerung der weltweiten Ozeanzirkulation, das Schmelzen großer Eisschilde (Westantarktis, Grönland) oder das plötzliche Freisetzen riesiger Methanreserven. Eine quantitative Abschätzung der Schwellenwerte für diese Effekte ist mit großen Unsicherheiten behaftet.

Der WBGU bekräftigt seine Überzeugung, daß zur Abwehr gefährlicher Klimaveränderungen die Klimaleitplanke einer maximalen Erwärmung um 2°C gegenüber vorindustriellen Werten eingehalten werden muß. Da die globale Mitteltemperatur seit der Industrialisierung bereits um 0,6°C gestiegen ist, ist eine weitere Erwärmung von nur noch 1,4°C tolerabel. Dabei sollte die globale, langfristig gemittelte Erwärmungsrate 0,2°C pro Jahrzehnt nicht überschreiten.

Dieses Klimafenster sollte als globales Ziel im Rahmen der UNFCCC vereinbart werden. Die EU sollte hier die Meinungsführerschaft anstreben.“<sup>86</sup>

In notwendigen folgenden Vereinbarungen sind daher weit einschneidendere Emissionsbeschränkungen erforderlich, um eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen auf einem Niveau zu erreichen, das dem vorstehend definierten Klimafenster Rechnung trägt. Die WBGU-Empfehlung lautet:

„Angesichts der großen Unsicherheiten über das Klimasystem empfiehlt der WBGU, im Sinn einer Absicherungsstrategie zunächst von einem CO<sub>2</sub>-Konzentrationsziel unterhalb von 450ppm auszugehen. Dies wird nur möglich sein, wenn bis 2050 eine Minderung der globalen energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa 45-60% gegenüber 1990 erreicht wird. Zusätzlich müssen deutliche Minderungen der anderen Treibhausgase (insbesondere Methan und Lachgas, aber auch der fluorierten Verbindungen) und anderer indirekt klimawirksamer Stoffe (z. B. Ruß) erfolgen. Daher müssen die Industrieländer ihren Ausstoß von Treibhausgasen bis 2020 um mindestens 20% verringern.“<sup>87</sup>

Der Beirat entwickelte in seinem Hauptgutachten „Energiewende zur Nachhaltigkeit“ Leitplanken einer nachhaltigen Energiepolitik. Als Leitplanke definiert der Beirat quantitativ angebbare Schadensgrenzen, deren Verletzungen heute und in der Zukunft nicht zu tolerierende Folgen hätten.

#### KLIMASCHUTZ

Eine Temperaturänderungsrate über 0,2°C pro Jahrzehnt und eine mittlere globale Temperaturänderung über 2°C gegenüber dem Wert vor der Industrialisierung sind intollerable Werte einer globalen Klimaänderung.

#### NACHHALTIGE FLÄCHENNUTZUNG

10-20% der weltweiten *Landfläche* sollten dem Naturschutz vorbehalten bleiben. Nicht mehr als 3% sollten für den Anbau von Bioenergiepflanzen bzw. für terrestrische CO<sub>2</sub>-Speicherung genutzt werden. Dabei ist eine Umwandlung natürlicher Ökosysteme zum Anbau von Bioenergieträgern grundsätzlich ab-

zulehnen. Bei Nutzungskonflikten muß die Sicherung der Nahrungsmittelversorgung Vorrang haben.

#### SCHUTZ VON FLÜSSEN UND IHREN EINZUGSGEBIETEN

Wie bei den Landflächen, so sollten auch etwa 10-20% der Flußökosysteme inklusive ihrer Einzugsgebiete dem Naturschutz vorbehalten sein. Dies ist ein Grund dafür, warum die Wasserkraft nach Erfüllung der notwendigen Rahmenbedingungen (Investitionen in Forschung, Institutionen, Kapazitätsaufbau usw.) nur in Grenzen ausgebaut werden kann.

#### SCHUTZ DER MEERESÖKOSYSTEME

Der WBGU hält die Nutzung des Ozeans zur Kohlenstoffspeicherung nicht für tolerierbar, weil die ökologischen Schäden groß sein könnten und das Wissen über die biologischen Folgen zu lückenhaft ist.

#### SCHUTZ DER ATMOSPHERE VOR LUFTVERSCHMUTZUNG

Kritische Belastungen durch Luftschadstoffe sind nicht tolerierbar. Als erste Orientierung für eine quantitative Leitplanke kann festgelegt werden, daß die Belastungen nirgendwo höher sein dürfen, als sie heute in der EU sind, auch wenn dort die Situation noch nicht bei allen Schadstoffen zufrieden stellend ist. Eine endgültige Leitplanke muß durch nationale Umweltstandards und multilaterale Umweltabkommen definiert und *umgesetzt* werden.

#### ZUGANG ZU MODERNER ENERGIE FÜR ALLE MENSCHEN

Der Zugang zu moderner Energie sollte für alle Menschen gewährleistet sein. Dazu muß der Zugang zu Elektrizität sichergestellt und die Nutzung gesundheitsschädigender Biomasse durch moderne Brennstoffe ersetzt werden.

#### DECKUNG DES INDIVIDUELLEN MINDESTBEDARFS AN MODERNER ENERGIE

Der WBGU erachtet folgende Endenergiemengen als Minimum für den elementaren individuellen Bedarf: Spätestens ab 2020 sollten alle Menschen wenigstens 500 kWh pro Kopf und Jahr an Endenergie und spätestens ab 2050 wenigstens 700 kWh zur Verfügung haben. Bis 2100 sollte der Wert auf 1000 kWh steigen.

#### BEGRENZUNG DES ANTEILS DER ENERGIEAUSGABEN AM EINKOMMEN

Arme Haushalte sollten maximal ein Zehntel ihres Einkommens zur Deckung des elementaren individuellen Energiebedarfs ausgeben müssen.

#### GESAMTWIRTSCHAFTLICHER MINDESTENTWICKLUNGSBEDARF

Zur Deckung des gesamtwirtschaftlichen Mindestenergiebedarfs pro Kopf (für indirekt genutzte Energiedienstleistungen) sollte allen Ländern mindestens ein Bruttoinlandsprodukt pro Kopf von etwa 3000 US-\$<sub>1999</sub> zur Verfügung stehen.

#### RISIKEN IM NORMALBEREICH HALTEN

Ein nachhaltiges Energiesystem sollte auf Technologien beruhen, deren Betrieb im „Normalbereich“ der

Umweltrisiken liegt. Die Kernenergie kollidiert mit diesen Anforderungen insbesondere durch intollerable Unfallrisiken und ungeklärte Abfallentsorgung sowie wegen der Risiken durch Proliferation und Terrorismus.

#### ERKRANKUNGEN DURCH ENERGIENUTZUNG VERMEIDEN

Die lokale Luftverschmutzung in Innenräumen durch Verbrennung von Biomasse und in Städten durch Nutzung fossiler Energieträger verursacht weltweit schwere Gesundheitsschäden. Die hierdurch verursachte Gesundheitsbelastung, sollte in allen WHO-Regionen jeweils 0,5% der gesamten Gesundheitsbelastung der Region (gemessen in DALYs, „disability adjusted life years“) nicht überschreiten.“<sup>88</sup>

Bei der Festlegung eines Stabilisierungsniveaus der CO<sub>2</sub>-Konzentration ist zu beachten, daß die maximale Konzentration sowohl von der Emission anderer Treibhausgase als auch von Rückkopplungen im Kohlenstoffkreislauf abhängen.

Ausgehend von den SRES-Szenarien A1T, B1 und B2 untersucht der Beirat drei Referenzszenarien. In diesen Szenarien wurden verschiedene Kalibrierungen aktualisiert und die Kohlenstoffspeicherung bei Biomasse-Verwertungsanlagen als Netto- CO<sub>2</sub>-Senke aufgenommen. In A1T und B1 wurden die Nachhaltigkeitsforderungen der vorstehenden Leitplanken berücksichtigt. Aufbauend auf diesen modifizierten Referenzszenarien wurden anspruchsvolle CO<sub>2</sub>-Stabilisierungsziele implementiert: B1 und B2 auf 400ppm und A1T auf 450ppm.

Um die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration langfristig bei 450ppm bzw. 400ppm zu stabilisieren, muß bis 2050 die CO<sub>2</sub>-Emission gegenüber dem Ausstoß von 1990 halbiert werden. Das ist nur erreichbar, wenn schnell nichtfossile Energiequellen im großen Umfang erschlossen werden. Dazu zählen insbesondere solare Elektrizität und solar erzeugter Wasserstoff. Die Kernenergienutzung sollte in der Mitte des Jahrhunderts enden.

Die Europäische Union nahm in einer Erklärung zur Strategie zur Bekämpfung der Klimaänderung wie folgt Stellung:

„Im Jahre 2005 bekräftigte der Europäische Rat die vom EU-Ministerrat bereits 1996 abgegebene Erklärung, dass die durchschnittliche globale Temperatur nicht über 2°C über den vorindustriellen Stand hinaus steigen sollte...

Nach jüngsten Forschungsergebnissen bietet ein Wert von weniger als 550ppmv (CO<sub>2</sub>-Äquivalent) höchstens eine Chance von 1 zu 6 das Ziel von 2°C zu erreichen... Die Festlegung eines genau bezifferten Reduzierungsziels wird jedoch von den erst noch zu führenden internationalen Verhandlungen über Grad und Art und Weise der Beteiligung der größten Verursacherländer abhängen. Die Kommission empfiehlt daher zu jetzigem Zeitpunkt nicht die Festlegung eines spezifischen EU-Ziels.“<sup>89</sup>

1972 trafen sich in Stockholm Vertreter von 113 Staaten zu einer Konferenz der Vereinten Nationen über Umweltprobleme. Neben einer Deklaration von Prinzipien und einem Aktionsplan mit mehr als 100 Empfehlungen wurde die Bildung des UN-Umweltprogramms (UNEP) vorgeschlagen.

30 Jahre nach Stockholm veranstalteten die Vereinten Nationen in Johannesburg einen Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung. Was zehn Jahre zuvor auf der UN-Konferenz in Rio de Janeiro in Absichtserklärungen formuliert worden war, blieb auch im Johannesburger Aktionsplan unverbindlich. Die Fischbestände der Weltmeere sollen bis 2015 geschützt werden – wenn möglich. Staatszuschüsse für fossile Energieträger sollen reduziert werden – irgendwann, irgendwie. Gesiegt hat wiederum „der weltweite Kapitalismus, der alle Ökokurven nach oben treibt: mehr Energieverbrauch, mehr Raubbau, mehr Umweltfrevel. Das Klimaprotokoll, das vor fünf Jahren in Kyoto geschlossen wurde? Ein Fetzen Papier. Das Wetter ist, wie es ist, man muß damit leben, tönt es aus Washington.“<sup>90</sup>

In einer Welt, in der gegenwärtig 80% der Primärenergie durch Verbrennung von Öl, Erdgas und Kohle erzeugt wird, reicht es nicht, an den Symptomen zu doktern. So bewirkte der Handel mit Emissionsrechten, wie ihn das Kyoto-Protokoll vorsieht, im Jahre 2003 eine Reduktion um 278 Millionen Tonnen der globalen CO<sub>2</sub>-Emission von 26 Milliarden Tonnen – ein verschwindender Bruchteil.<sup>91</sup> Diesen Weg, den Klimawandel zu bremsen, charakterisierte John Holdren, der amtierende Präsident der American Association for the Advancement of Science (AAAS) mit den Worten: „that middle-of-the-road energy trajectory cannot be managed simply by expanding what we are already doing. Such a path is not merely unsustainable; it is a prescription for disaster.“<sup>92</sup>

In einem kritischen Kommentar schreiben die Herausgeber von Nature: „Even the most progressive governments continue to put the issue of climate change on the back seat behind their fundamental commitments to strong economic growth, which is needed to ensure political survival (in developed countries) and to enable human dignity (in developing countries). So in a typical European nation, for example, governments are calling for strenuous emissions cuts while also planning airport extensions that anticipate a further tripling over the next twenty years of air travel – the fastest-growing source of emissions, and one not capped by the Kyoto Protocol.“<sup>93</sup>

Alle bisherigen Erfahrungen lassen sehr wenig Hoffnung, daß die Politiker in den anstehenden Verhandlungen der kommenden Jahre zu verbindlichen, nachhaltig wirkenden Festlegungen zum Schutz des Erdklimas kommen werden. Wir sollten davon ausgehen, dass die Mächtigen unserer Zeit einen Weg wählen werden, der ihnen ihre Privilegien ungeschmälert

erhält. Wenn in den Reden von Politikern von radikalen Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels die Rede ist, sollten wir hinterfragen ob sie nicht darauf zielen „alles zu ändern um letztlich alles beim Alten zu belassen.“

Diese Taktik wurde bei Vorbereitung und Durchführung der Maßnahmen des Kyoto-Protokolls demonstriert. Auch die Diskussionen über ein neues Programm zur drastischen Reduzierung des Ausstoßes klimarelevanter Spurengase folgen dieser Linie. Die reale Gefahr dieser Strategie liegt darin den Eindruck zu vermitteln, daß „Nicht-Wandel ein Wandel ist“.<sup>94</sup>

Ausgehend von den zahlreichen neuen Untersuchungen, wie sie insbesondere auf der Exeter-Konferenz vorgetragen wurden, soll die Zielstellung eines 2°C-Klimafensters einer kritischen Wertung unterzogen werden.\* Das schließt zwei Fragen ein:

- Welche Risiken sind mit einer Stabilisierung bei einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 550ppm verbunden?
- Welche Folgen hat eine 2°C-Temperaturerhöhung für Menschheit und Natur?

Während im WBGU-Bericht von einer CO<sub>2</sub>-Konzentration die Rede ist, verwendet die EU-Kommission den Begriff des CO<sub>2</sub>-Äquivalents. Diese Größe berücksichtigt die Wirksamkeit – das Treibhauspotential – auch der anderen Gase, die neben dem CO<sub>2</sub> im Kyoto-Protokoll genannt sind. Die Wirksamkeit eines Treibhausgases hängt ab von seiner Verweilzeit in der Atmosphäre und vom Absorptionsverhalten gegenüber der Wärmestrahlung. Wegen der variierenden Zerfallszeiten der Gase lassen sich Treibhauspotentiale nur über einen vorgegebenen Zeithorizont angeben. Bei einem Zeithorizont bis 2100 beträgt beispielsweise das Treibhauspotential von CH<sub>4</sub> das 23fache und von N<sub>2</sub>O das 296fache von CO<sub>2</sub>.

Untersuchungen der Risiken, die mit der Festlegung eines Reduktionsziels verbunden sind, ergaben in unterschiedlichen Modellrechnungen, daß eine Fixierung auf 550ppm CO<sub>2</sub>-Äquivalent (entsprechend 475-500ppm CO<sub>2</sub>) noch mit einer Wahrscheinlichkeit von 63-99% zur Überschreitung des 2°C-Grenzwerts führt.<sup>95</sup>

Beim gleichen CO<sub>2</sub>-Äquivalent liegt die Wahrscheinlichkeit, daß eine Temperaturerhöhung um 3°C als Stabilisierungsgrenze überschritten wird, noch zwischen 21 und 62%.

---

\* Die globale mittlere Temperatur in Erbodennähe ist *ein* Index zur Charakterisierung des Klimas. Wie wir sahen, kann eine regionale Klimaänderung weit darüber liegen. Kleine Änderungen des globalen Index können gewaltige regionale und letztlich auch globale Prozesse in Gang setzen.

Bei diesen Wahrscheinlichkeiten des Überschreitens von Temperaturschwellen sollten wir uns vor Augen führen, daß beispielsweise kein Auto dessen Sicherheit mit einem derart hohen Risiko behaftet ist, eine Zulassung erhalten würde. Beim Klimawandel, der nicht nur wenige Menschen, sondern Milliarden gefährdet, fehlen analoge Sicherheitsbestimmungen.

Erst wenn man ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 400ppm (entsprechend 350-375ppm CO<sub>2</sub>) als Grenzwert wählt, – der jedoch bereits 2005 überschritten wurde – liegt die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten einer Erhöhung der Gleichgewichtstemperatur um 2°C zwischen 0 und 13% und ist als gering bis sehr gering zu werten.<sup>96</sup>

Es ist nicht auszuschließen, daß alle Abschätzungen sich als hinfällig erweisen wenn bei Überschreiten eines kritischen Grenzwerts der CO<sub>2</sub>-Konzentration eine bisher nicht berücksichtigte Rückkopplung einsetzt. So wird gegenwärtig rund die Hälfte des anthropogenen CO<sub>2</sub> durch Landflächen und Ozeane absorbiert. Ohne die Fähigkeit zur Aufnahme des anthropogenen Kohlendioxids, würde seine atmosphärische Konzentration und damit der Treibhauseffekt weit größer sein. Falls sich die Aufnahmefähigkeit von terrestrischer- und Meeresbiosphäre mit steigender CO<sub>2</sub>-Emission verringert, wächst seine Konzentration in der Atmosphäre, ein positiver Rückkopplungseffekt setzt ein.

Bereits im dritten Wissensstandsbericht des IPCC wurde dieses Problem diskutiert. Neuere Untersuchungen, die den vierten Bericht des Jahres 2007 zugrunde liegen, belegen, daß ein positiver Rückkopplungsprozeß vorhanden ist. Er könnte zu einer zusätzlichen Erwärmung um 1,2°C bis 2100 führen.

Eine kritische Durchsicht des „Summary for Policymakers“ des ersten Teils des IPCC-Berichts 2007 zeigt, daß die unvorhersagbaren Risiken unzureichend berücksichtigt werden. Die Beiträge im Arktis Klima Report und zur Exeter-Konferenz machen deutlich, welche großen Gefahrenpotentiale in positiven Rückkopplungen und „tipping points“ verborgen liegen. Erinnerung sei an das unerwartet rasche Schwinden der Eisschilde Grönlands, der Westantarktis und das Tauen des sibirischen Permafrostbodens.

Trotz – oder besser – wegen unseres ständig zunehmenden Wissens über Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels, die Wissenschaft kann keine einfache Schwelle vorgeben, die eine gefährliche

anthropogene Störung des Klimasystems zum Stillstand bringt. Nur durch aktive Maßnahmen zur drastischen Reduzierung der Treibhausgase werden wir herausfinden wie das Klimasystem reagiert. Der unangenehme Schluß für die Verantwortlichen in Politik und Wirtschaft, *ihre Entscheidung muß erfolgen bevor wir wissen, wo eine gefährliche Schwelle liegt.*<sup>97</sup>

Die zweite eingangs gestellte Frage nach den Auswirkungen einer Temperaturerhöhung um 2°C gegenüber der vorindustriellen Zeit, wie sie die EU für hinnehmbar hält bedarf gleichfalls einer kritischen Betrachtung.

Wie wir sahen, kann eine regionale Erwärmung der Arktis, die annähernd beim doppelten Wert der globalen Erwärmung liegt, zur Vernichtung der Lebensräume der indigenen Völker führen. Auch der Verlust von Agrarland in Ägypten ist wahrscheinlich für den Weltertrag von Agrarprodukten ohne Belang. Für die Menschen, die im Nildelta ihren Lebensunterhalt finden, kann er tödlich sein.

Rahel Warren trug auf der Exeter-Konferenz das Resultat einer umfassenden Literaturstudie vor.<sup>98</sup>

Bereits bei einer globalen Erwärmung von 1°C werden mehr als 20 Millionen Menschen zusätzlich an Hunger leiden. Die Zahl der an Wasserstreß leidenden Menschen wird um mindestens 300 Millionen Menschen zunehmen.

Eine weitere Erhöhung der Stabilisierungstemperatur bis zu 2°C wird einige weitere hundert Millionen Menschen dem Hunger preisgeben und Milliarden Menschen dem Wassermangel. Der Lebensraum von Millionen Küstenbewohnern wird durch die wachsende Gewalt tropischer Stürme und durch den Anstieg des Meeresspiegels gefährdet. Getroffen werden in erster Linie die ärmsten Länder der Erde. Obwohl sie kaum zum Klimawandel beitragen, müssen sie unser Handeln mit dem Leben bezahlen.

Wenn man sich die Forderung des Vorsitzenden des IPCC zu eigen macht, einziger Maßstab können nur *die Menschenrechte und die Achtung der Natur sein*, ergibt sich zwingend, daß auch eine Temperaturerhöhung um 2°C nicht hinnehmbar ist. Dabei sollte sich jeder verantwortungsbewußte Wissenschaftler fragen, wie wahrscheinlich selbst die Einhaltung eines Klimafensters von 2°C in Händen von Wirtschaft und Politik ist in Zeiten eines entfesselten Neoliberalismus, dessen vordringliches Ziel in der Erzielung von Maximalprofit besteht.

## Zur Verantwortung von Natur-, Geisteswissenschaft und Literatur

Naturgesetze sind gesellschaftlich neutral. Sie existieren und wirken unabhängig vom Vorhandensein der Menschheit. Manche geben den Naturwissenschaftlern die Schuld an dem atomaren Dilemma. Eine solche Schuldzuweisung verwechselt den Über-

bringer der Botschaft mit der Botschaft. Otto Hahn und Fritz Straßmann haben die Kernspaltung nicht erfunden; sie haben sie entdeckt. Sie war schon immer vorhanden und wartete auf uns. In seiner nachgelassenen Utopie „Neu Atlantis“ legt Francis Bacon

dem Repräsentanten einer Institution, „die sich der Deutung der Natur und der Hervorbringung großer und wunderbarer Werke zum Nutzen der Menschheit widmet“<sup>99</sup> folgende Worte in den Mund: „Wir haben die Gewohnheit, uns genau zu überlegen, ob sich ein von uns angestellter Versuch oder eine von uns herausgebrachte Entdeckung zur allgemeinen Bekanntgabe eignet oder nicht. Wir haben uns sogar eidlich verpflichtet, das Geheimhalten, was auf Grund eines gemeinsamen Beschlusses geheimgehalten werden soll.“<sup>100</sup> Selbst wenn dieser Weg den Wissenschaftler ins Irrenhaus führt, er ist unwirksam. Wenn jedoch, wie Bacon fordert, das Ziel der Wissenschaft im *allgemeinen* Nutzen liegt, die Notwendigkeit Schaden und Nutzen „neuer Werke“ gegeneinander abzuwägen bleibt. Relevanz für die menschliche Gesellschaft und das Leben auf unserem Planeten besitzen allein ihre Anwendungen.

Für mich ist es eine Illusion zu glauben, daß die gegenwärtigen Entscheidungsträger, in deren Händen die Macht liegt, willens sind Atomwaffen abzuschaffen oder den Klimawandel nachhaltig zu bremsen.

Auch im Bildungssystem erwarte ich keinen Übergang von einer Ausrichtung auf die Vermittlung von Verfügungswissen, einem Wissen, mit dessen Hilfe die Natur zum Nutzen der Mächtigen noch effektiver vermarktet wird, auf ein Orientierungswissen, das auf ein eigenständiges Denken und Handeln gegenüber Natur und Menschheit leitet.

Abgesehen von gelegentlichen Artikeln oder Sendungen in Funk und Fernsehen erwarte ich auch von den Massenmedien keine verantwortungsbewußte Berichterstattung über die Gefahren, in der sich die Menschheit im 21. Jahrhundert befindet. Daher dürfte es dem Laien nur schwer möglich sein, sich ein sachlich korrektes Bild vom anthropogenen Klimawandel zu machen. „Wer die Zeitungen verfolgt, wird hin- und hergerissen sein zwischen übertriebenen Schlagzeilen (« Erwärmung bis zu 11<sup>0</sup> C », « Klimakrise in zehn Jahren ») und Meldungen am Klimawandel sei gar nichts dran. In den Medien werden zum Teil Gespensterdiskussionen über die Klimaforschung geführt, die von den tatsächlichen Diskussionen in Fachkreisen völlig losgelöst sind. Viele Laien haben daher den falschen Eindruck, der menschliche Einfluss auf das Klima sei noch umstritten. Diese unbefriedigende Situation entsteht durch ein Zusammenspiel von gezielter Lobbyarbeit durch Interessengruppen und von mangelnder Kompetenz und Verantwortung seitens der Medien.“<sup>101</sup>

Selbst bei den Sachstandsberichten des IPCC ist kritische Aufmerksamkeit geboten. Jedem der drei Teile des Berichts sind kurze Zusammenfassungen (Summaries for Policymakers) vorangestellt. Den Text der Zusammenfassungen für den ersten und zweiten Teil des vierten IPCC-Berichts, die im Februar und April 2007 veröffentlicht wurden, vereinbarten Regierungsvertreter in Paris und Brüssel. Juristen

wachten über jedes geschriebene Wort. Im Vordergrund stand das Streben nach Konsens. Die Zusammenfassungen sind daher mehr Regierungs- als Wissenstandsberichte. So vermittelt die Zusammenfassung des ersten Teils den Eindruck eines allmählichen Klimawandels im 21. Jahrhundert. Rückkopplungen und damit einhergehende sprunghafte Veränderungen finden nur in einer Fußnote Erwähnung.

Parteien und Kirchen, die in die gesellschaftlichen Systeme integriert sind, beschränken sich überwiegend auf klangvolle moralisierende Appelle – bewirkt haben sie bisher nichts. Ein Aufruf zum Widerstand gegen den Marsch in den Abgrund blieben sie bisher schuldig.

Ich beschränke mich in diesem abschließenden Kapitel auf die Verantwortung von Naturwissenschaftlern einerseits und Gesellschaftswissenschaftlern und Literaten andererseits. Sie müssen gemeinsam die Aufgabe annehmen, die gesellschaftlichen Kräfte zu wecken und zu befördern, die einen Mißbrauch der durch die Wissenschaft erkannten Naturgesetze verhindern.

Umfang und Bedeutung der Probleme erlauben nicht gegenseitig in einer Haltung des Missverstehens und der Ablehnung zu verharren. Das kritische Verhältnis von Sozial- und Geisteswissenschaftlern und Schriftstellern zu den Resultaten von Wissenschaft und Technik darf uns nicht hindern aufeinander zuzugehen. Beide Probleme – Atombombe und Klimawandel – können letztlich zum Ende der Menschheit führen.

Bereits 1959 schrieb der englische Physiker und Schriftsteller C. P. Snow in seiner inzwischen weit bekannt gewordenen Schrift „Die zwei Kulturen und die Wissenschaftliche Revolution“: „Ich glaube, daß das intellektuelle Leben der ganzen westlichen Gesellschaft sich in wachsendem Maße in zwei polare Gruppen aufspaltet. ... An einem Pol haben wir die literarischen Intellektuellen ... am anderen Pol die Naturwissenschaftler ... Zwischen beiden ein Abgrund gegenseitigen Unverständnisses.“<sup>102</sup>

An einer anderen Stelle heißt es: „Das große Gebäude der modernen Physik wächst, aber die Mehrzahl der gebildeten Menschen der westlichen Welt versteht davon nicht mehr als ihre steinzeitlichen Vorfahren.“<sup>103</sup>

Die Vorstellung, daß naturwissenschaftliche und sozial- und geisteswissenschaftliche Erkenntnisse entgegengesetzte ja unverträgliche Wege der Welterkenntnis darstellen, behindern unsere Fähigkeit mit der Krise umzugehen, in der sich die Menschheit befindet. Erinnern wir uns daran, daß die Vorstellung von den zwei Kulturen sich vor zweihundert Jahren mit der Säkularisierung des Wissens entwickelte. In allen vorangegangenen Gesellschaftsformationen waren Fragen nach der Welt und des Menschen in ihr untrennbar miteinander verknüpft.<sup>104</sup>

Mit der Entfremdung wurden Wissenschaft und Technik zum drohenden Dämon; aber nicht die Naturwissenschaft und Technik wären die Ursache einer Katastrophe sondern die gesellschaftlichen Verhältnisse, die sie ermöglichten. Erkenntnisse, die wir in Form von grundlegenden Naturgesetzen ausdrücken, bleiben in ihrem Gültigkeitsbereich wirksam, wie weit die Naturwissenschaft auch fortschreitet. Hinzu kommt, daß das, was gestern Forschungsgegenstand war, heute zum gesicherten Erkenntnisstand zählt und zum Mittel für weitere Forschungen wird. Dieser in seiner Art spezifische Systemcharakter der Naturwissenschaften ist eine der wichtigen Ursachen dafür, die es dem Laien erschwert, die Erkenntnisse zu werten.

Erkennen ist uns jedoch nicht nur Abbildung, sondern vor allem menschliches Erleben. Die Probleme unserer Zeit fordern alle geistigen Möglichkeiten, die humanistisch-künstlerischen, die wissenschaftlichen und die aktiv-ethischen in einer großen Synthese zu vereinen. Von Kunst und Wissenschaft als unterschiedlichen, einander ergänzenden Aneignungsformen des Wirklichen, der Wahrheit, müssen gleichermaßen Impulse ausgehen, die menschliches Handeln bewirken.

Um Gesellschaftswissenschaftlern und Künstlern das Verständnis für das Denken und Handeln von Naturwissenschaftlern und Technikern näher zu bringen, aber auch um diesen ihr ethisch-moralisches Fehlverhalten deutlich zu machen, erscheint es mir erforderlich den Weg von Wissenschaft und Technik von der Aufklärung bis in die Gegenwart zu skizzieren.

Waren es bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts einzelne Wissenschaftler, mit deren Arbeit sich technische Verfahren und Produkte verbinden ließen, wandelte sich in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts der Charakter der wissenschaftlichen Arbeit. Aus hunderten Wissenschaftlern wurden Millionen, aus einzelnen oder kleinen Gruppen, die lokal in ihren Labors forschten, entwickelten sich weltweit operierende Teams, die häufig in Konkurrenz zueinander arbeiten. Erinnert sei an das über Kontinente hinweg operierende Forschungsprogramm zur Entschlüsselung des menschlichen Genoms. Aus einer auf Erkenntnisgewinn orientierten Grundlagenforschung, die der Staat als gesellschaftliche Aufgabe verstand, ist die Orientierung von Politik und Wirtschaft auf solche Projekte geworden, die sich wirtschaftlich verwerten lassen. Finanzengpässe und Struktur-„Reformen“ fordern von den Universitäten die Konzentration auf Schwerpunkte und auf anwendungsnahe Forschungen. Nur die Universität oder die Forschungsgemeinschaft ist überlebensfähig, die ein Maximum an Drittmitteln erwirtschaftet. Bildung und Wissen verkümmern zum Produktionsfaktor.

Die Zeiten, in denen ein oder einige Wissenschaftler alle Aspekte ihrer Arbeit übersahen, sind vorbei. Der einzelne beherrscht in der Regel nur noch einen

schrumpfenden Teil des Gesamtproblems, er verkümmert zum Spezialisten, der zunehmend die Fähigkeit verliert, sich seiner Verantwortung auch nur bewußt zu werden. Um diese Entwicklung zu verstehen ist ein Blick in die Geschichte von Wissenschaft und Technik notwendig.

Wissenschaft, insbesondere die Naturwissenschaften, wie wir sie kennen und wie sie unser Leben nachhaltig beeinflusst, begann am Anfang des 17. Jahrhunderts. Sie ist untrennbar mit Francis Bacon verbunden. Mit ihm begann das neuzeitliche aufklärerische Denken, das einherging mit der Herausbildung der bürgerlichen Gesellschaft, die sich vom Feudalismus löste und in deren Schoß sich die Wissenschaft entwickelte. Die französischen Aufklärer sahen in Bacon „den Lehrmeister des Menschengeschlechts, der selbst keine Lehrmeister hatte“ (Rousseau). Voltaire charakterisierte ihn als denjenigen, „der mit seinem *Novum Organon* das Gerüst der modernen Philosophie errichtet habe, und zwar die Natur noch nicht zu erkennen vermochte wohl aber alle Wege, die zu ihr führten.“<sup>105</sup> Thomas Jefferson, der Verfasser der Unabhängigkeitserklärung der Vereinigten Staaten, sah in Bacon einen der drei bedeutendsten Menschen der Weltgeschichte, die die Grundlagen legten für die Natur- wie für die Geisteswissenschaften.<sup>106</sup>

Selbstbewußt stellt Bacon dem Organon des Aristoteles sein *Novum Organon* (1620) gegenüber. „Von den damals überkommenen und vielen späteren Denkweisen unterschied sich Bacons Denkeinsatz durch seine extreme Systemfeindlichkeit. seinen aggressiven Antidogmatismus. Die Erkenntnisse, die er zum Gedankengut der Menschheit (der englischen natürlich zuerst) beizusteuern gedachte, sollten die Früchte keiner geistigen Anpassung an die herrschenden Meinungen, auch nicht an die Wahrheiten von gestern, und nicht bloßem Perfektionierungsbestreben gegenüber den Ansichten der geistigen, geistlichen oder politischen Eliten, gleich welcher Zeit, geschuldet sein. Sie beanspruchten nicht *ex opinionibus*, sondern *ex factis* abgeleitet worden zu sein.“<sup>107</sup>

Wie die, ihm bewußt oder unbewußt verpflichteten Naturwissenschaftler von Newton bis Einstein betrachtete er die wirklichen Probleme der Welt als unlösbar innerhalb jenes Gedankengebäudes, das zu ihnen geführt hatte.<sup>108</sup>

Im Gegensatz zu seinen naturwissenschaftlich forschenden Zeitgenossen wie Galilei, Kepler, Gilbert (Magnetismus) und Harvey (Blutkreislauf) verdanken wir Bacon keine Entdeckung, Erfindung oder die Formulierung eines Naturgesetzes. Seine Bedeutung war in erster Linie eine wissenschaftsmethodische. Sie lag in einer Forschungskonzeption, die sich auf die Gesamtheit aller Wissensbereiche auf Natur, Gesellschaft und Denken erstreckte. Sein eigentliches Anliegen war gesellschaftlicher Natur, nämlich die Macht des Menschen über sich selbst und die Natur durch eine Revolution der Wissenschaft und deren

Umsetzung in die Gesellschaftspraxis zu ermöglichen.<sup>109</sup>

Was Bacon fordert, ist eine arbeitsteilig betriebene und schrittweise fortschreitende Forschung. In den Aphorismen des *Novum Organon* charakterisiert er seine Methode: „Die, welche die Wissenschaften betrieben haben, sind Empiriker oder Dogmatiker gewesen. Die Empiriker, gleich den Ameisen, sammeln und verbrauchen nur, die aber, die die Vernunft überbetonen, gleich den Spinnen, schaffen die Netze aus sich selbst. Das Verfahren der Biene aber liegt in der Mitte; sie zieht den Saft aus den Blüten der Gärten und Felder, behandelt und verdaut ihn aber aus eigener Kraft. Dem nicht unähnlich ist nun das Werk der Philosophie; es stützt sich nicht ausschließlich oder hauptsächlich auf die Kräfte des Geistes, und es nimmt den von der Naturlehre und den mechanischen Experimenten dargebotenen Stoff nicht unverändert in das Gedächtnis auf, sondern verändert und verarbeitet ihn im Geiste. Daher könne man bei einem engeren und festeren Bündnisse dieser Fähigkeiten, der experimentellen nämlich und der rationalen, welches bis jetzt noch nicht bestand, bester Hoffnung sein“<sup>110</sup>

In einer Zeit, in der sich Philosophie und Wissenschaft auf die Autoritäten der Vergangenheit – vornehmlich Platon und Aristoteles – beriefen, forderte Bacon die Wissenschaft so anzulegen, daß sie mit der Zeit fortschreiten kann: „denn mit Recht nennt man die Wahrheit eine Tochter der Zeit und nicht der menschlichen Autoritäten“<sup>111</sup>

Neben der zeitlichen Entwicklung der Wissenschaft forderte Bacon ein arbeitsteiliges Zusammenwirken der Forscher an Stelle von solitär arbeitenden Wissenschaftlern. „Deshalb bedenke man, was erst von Menschen mit voller Muße und was von Gemeinschaftsarbeit in einer längeren Reihe von Jahren nach diesen meinen Hinweisen zu erwarten ist, namentlich auf einem Weg, der keineswegs nur für einzelne gangbar ist, wie auf jenem Wege des reinen Denkens, sondern wo die Aufgaben und Arbeiten, namentlich für die Sammlung von Erfahrung, aufs beste verteilt und dann wieder vereinigt werden können. Denn die Menschen werden erst dann anfangen, ihre Kräfte zu erkennen, wenn nicht unzählige dasselbe, sondern jeder anderes zustande bringt.“<sup>112</sup>

In seinem nachgelassenen Werk *Neu-Atlantis* findet man den modellhaften Entwurf einer Forschungsorganisation, des „Hauses Salomos“. Sein Repräsentant schildert dessen Aufgaben: „Unsere Gründung hat den Zweck, die Ursachen des Naturgeschehens zu ergründen, die geheimen Bewegungen in den Dingen und die inneren Kräfte der Natur zu erforschen und die Grenzen der menschlichen Macht soweit auszuweiten, um alle möglichen Dingen zu bewirken.“<sup>113</sup> Die Forschungsarbeiten verteilen sich auf eine große Zahl unterschiedlicher Labors. In ihnen erfolgen die Untersuchungen zu allen Gebieten der Naturwissen-

schaften und Technik, von der Materialforschung über Landwirtschaft, Physik bis zur Pharmazie.<sup>114</sup>

In *Neu Atlantis* wird eine enge Verknüpfung von Naturwissenschaften und Technik dargestellt, die sich jedoch grundlegend von der unterscheidet, die unsere Zeit, unser Leben bestimmt. Die Entwicklung des Kapitalismus führte in eine durch Profit und Machtinteressen bestimmte Verbindung von der Grundlagenforschung über eine anwendungsorientierte Forschung in Universitäten, Forschungsgemeinschaften und Industrielabors hin zu technischen und militärischen Anwendungen.

Was Bacon dagegen forderte, war eine öffentlich organisierte Forschung, deren Finanzierung er von seinem König erwartete. Als das *Novum Organon* erschien war Bacon als Lord High Chancellor Inhaber des höchsten Staatsamtes Englands. In seiner Widmung an König James I. schreibt er: „Es bleibt mir noch eine Bitte, welche Deiner Majestät nicht unwert und für das Unternehmen von höchster Bedeutung ist. Sie geht dahin, daß Du, der Du Salomo in so Vielem, in dem Ernst Deiner Urteile, in dem Frieden Deiner Herrschaft, in der weit reichenden Milde Deines Herzens, in der edlen Mannigfaltigkeit der von Dir verfaßten Bücher gleichst, auch darin noch dem Beispiel jenes Königs nachfolgest, daß Du für die Ausarbeitung und Vollendung jener auf Versuche sich stützenden Naturbeschreibung sorgest, jener wahren und strengen, unter Fernhaltung der Sprachgelehrten, welche die Unterlage der Philosophie bildet, und welche ich an ihrem Orte näher beschreiben werde; damit endlich nach so vielen Jahrhunderten Philosophie und Wissenschaft nicht mehr in den Lüften schweben, sondern sich auf die sicheren Grundlagen einer Alles umfassenden und wohlgedachten Erfahrung stützen. Ich habe das Werkzeug dargeboten; der Inhalt muß aber von den Dingen selbst entnommen werden.“<sup>115</sup>

Eine Forschung wie er sie forderte, muß auf eine Technik orientieren, die *allen* nutzt ohne einigen zu schaden. „Denn die Wohltaten der Erfinder können dem ganzen menschlichen Geschlecht zugute kommen, die politischen hingegen nur den Menschen bestimmter Orte, auch dauern diese nur befristet, nur über wenige Menschenalter, jene hingegen für alle Zeiten. Auch vollzieht sich eine Verbesserung des politischen Zustandes meistens nicht ohne Gewalt und Unordnung, aber die Erfindungen beglücken und tun wohl, ohne jemandem ein Unrecht oder ein Leid zu bereiten.“<sup>116</sup>

Zum Ende seines Lebens war sich Bacon des Scheiterns seines Wissenschaftskonzepts voll bewußt. Literarischer Ausdruck dieser Einsicht ist das unvollendet gebliebene Werk *Neu-Atlantis*. Aus einem wissenschaftspolitischen Entwurf wurde eine Utopie. „Gewiß blieb auch hier der wissenschaftliche Fortschritt das Unterpfand eines gesellschaftlichen Fortschritts ..., aber von einer Vergesellschaftung der Forschung

in Form eines gesamtgesellschaftlich betriebenen, staatlich organisierten Unternehmens war keine Rede mehr. Im Gegenteil: Es handelt sich bei Bacons *Atlantis* im Wesentlichen um eine elitäre Verselbständigung von Forschern, deren Kenntnisse von ihnen selbst bewußt, wann immer sie es für erforderlich halten, jeder Kontrolle durch die Regierenden entzogen werden.<sup>117</sup>

Bacons Haus Salomon, wie er es in Neu-Atlantis schildert, ist der Elfenbeinturm der Naturwissenschaftler, in dem sich auch heute noch die Mehrzahl zu befinden wähnt. Spätestens mit dem Abwurf der Atombombe sollten sie wach geworden sein.

Eigentlich wollte Bacon kein Chiliasmus-Utopiker sein, sondern ein Aufklärungsdenker. „Der Menschen Wissen und Macht hatten zusammenfließen sollen, denn wo die Ursachen zu verändernder Erscheinungen unbekannt sind, können deren Wirkungen nicht umgekrempelt werden (...). Die Mächtigen seiner Zeit und seines Landes hatten jedoch nicht zugelassen, daß die Wissenden sich mit ihnen in Arbeitsteilung verbanden. So blieb Letzteren nur übrig, sich von den Ersteren zu emanzipieren. Und machen wir uns nichts vor: bis heute sind die wirklich Wissenden von den wirklich Mächtigen getrennt.“<sup>118</sup>

Aus Gruppen naturwissenschaftlich interessierter Bürger, die sich regelmäßig trafen, entstanden 1660 die *Royal Society of London* und 1666 in Paris die *Académie Royale des Sciences*. Vor der Gründung der Royal Society und nach Beendigung des Bürgerkrieges fanden die Zusammenkünfte in London statt. Die Mehrzahl der Teilnehmer sympathisierte mit dem Parlament, ohne jedoch an den Kämpfen teilzunehmen. Führender Kopf der Gruppe war John Wilkins, ein Geistlicher, der die Schwester Cromwells heiratete. Später wurde er Bischof von Chester. Nach einigen vorbereitenden Zusammenkünften, die noch in London stattfanden, ließ sich die Gruppe in Oxford nieder, wo sie bis zur Restauration 1660 blieb. Zur Gruppe zählten vielversprechende junge Leute wie Robert Boyle, William Petty, Christopher Wren und Robert Hooke. Letzterer, ein mittelloser junger Mann, diente als Gehilfe bei den Experimenten. Der Historiker der Gruppe und späterer Bischof von Rochester, Thomas Sprat, beschreibt diese Periode mit den Worten: „Sie suchten in erster Linie die innere Befriedigung, freiere Luft atmen und in Ruhe miteinander sprechen zu können, ohne sich mit den Leidenschaften und den Tollheiten dieser düsteren Zeit abgeben zu müssen. Und die Gründung dieser Gesellschaft wäre schon gerechtfertigt gewesen, hätte sie nichts anderes bewirkt als dieses: daß dadurch für die kommende Zeit ein Stamm junger Männer herangebildet wurde, die, da sie von ihnen die ersten Eindrücke eines strengen und reichlichen Wissens erhalten hatten, gegen die Verführungen des Enthusiasmus erfolgreich geistig gewappnet waren. ...

Hätte es für eine solche aufrichtige und leidenschaftslose Gruppe, wie sie es waren, in einer derartig düsteren Zeit, ein geeigneteres Thema für ihre Bemühungen geben können als die Naturphilosophie? ...

Ihre Zusammenkünfte fanden so oft statt, wie es ihre Geschäfte gestatteten; ihre Verhandlungen waren mehr Taten als Auseinandersetzungen, indem man in der Hauptsache einigen besonderen chemischen oder mechanischen Versuchen beiwohnte. Es gab für sie keine feststehenden Regeln oder Methoden; ihre Absicht bestand mehr darin sich gegenseitig die Entdeckungen mitzuteilen, die sie in einem derartig engen Rahmen machen konnten, als eine gemeinsame, konstante oder regelmäßige Untersuchung durchzuführen.“<sup>119</sup>

Sowohl in England als auch in Frankreich entwickelte sich das Bedürfnis nach einem Rahmen, einer Einrichtung für die Zusammenkünfte. Entsprechend dem unterschiedlichen Charakter der Gesellschaftssysteme gingen beide Länder verschiedene Wege. In Frankreich wurde zu „Ruhm und Ehre“ des absolutistischen Herrschers 1634 die *Académie française* durch Kardinal Richelieu gegründet. Ihre Aufgabe war und ist die Vereinheitlichung und Pflege der französischen Sprache. Als eine sie ergänzende Einrichtung entstand 1666 auf Initiative Colberts, des Finanzministers Ludwig XIV., die *Académie Royale des sciences* zur Förderung der Naturwissenschaften.

In England, wo der Reichtum des Landes in den Händen des Landadels und der Kaufleute lag, reichte eine Schirmherrschaft des Königs. Die Mitglieder der Royal Society of London finanzierten ihre Arbeit selbst durch einen wöchentlich zu zahlenden Beitrag. Das Geld reichte zur Bezahlung eines Sekretärs und eines Kurators. Er war verpflichtet, der Gesellschaft bei jeder Zusammenkunft einige beachtenswerte Experimente vorzuführen. 1662 bot die kurz zuvor gegründete Sozietät Robert Hooke dies Stelle des Kurators an. Ihm verdankte sie gerade in der ersten Phase ihres Bestehens die ersten Erfolge. 1667 wurde Hooke Sekretär der Gesellschaft, eine Funktion, die er bis 1682 behielt. Hooke, der nie eine systematische Ausbildung erhalten hatte, war in erster Linie ein Experimentator und Erfinder. Er stellte beispielsweise astronomische Instrumente her, wie sie auch in den nachfolgenden Jahrhunderten benutzt wurden.

Die Royal Society wurde 1660 unter der Devise *Nullius in verba*<sup>120</sup> gegründet. Fünfzig Jahre danach war diese Forderung Bacons im Denken der naturwissenschaftlichen Forscher fest verankert.

Viele der Männer, die auch im 19. Jahrhundert entscheidende Beiträge zur Entwicklung der Naturwissenschaften beitrugen, waren Amateure. Ihr Beruf war häufig ein ganz anderer als z.B. ein Teilgebiet der Physik, das heute unlösbar mit ihrem Namen verknüpft ist. Nicht selten sahen ihre Zeitgenossen sie als harmlose Sonderlinge an, denn das öffentliche Interesse an ihrer Tätigkeit war gering.

Greifen wir beispielhaft Michael Faraday heraus. Er wurde 1791 als Sohn eines Schmiedearbeiters geboren. Seine Schulbildung beschränkte sich auf Lesen, Schreiben und die Anfangsgründe des Rechnens. Im Alter von 13 Jahren begann er als Laufbursche in einer Londoner Papier- und Buchhandlung, in der er später eine Lehre absolvierte. Er las viel, insbesondere Bücher über Chemie und Elektrizität. Abends besuchte er populärwissenschaftliche Vorträge. Anfang 1812 hörte er vier Vorträge von Sir Humphrey Davy über Chemie in der *Royal Institution of Great Britain*, einer 1799 von Benjamin Thomson, Graf von Rumford, gegründeten Gesellschaft zur Förderung und Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse. Zu ihr gehörte ein unter der Leitung von Davy stehendes chemisches Laboratorium. (Aus ihm ging das Davy Faraday Forschungslaboratorium hervor, in dem z.B. William Bragg und sein Sohn Lawrence ihre fundamentalen Untersuchungen der Röntgenstrahlbeugung an Kristallgittern durchführten (Physik-Nobelpreis 1915)).

Auf eine Bewerbung Faradays stellte ihn Davy 1813 als Gehilfen ein. 1825 wurde er Direktor des Laboratoriums, in dem er bis zum Ende seines Arbeitslebens blieb. Alle seine Untersuchungen auf dem Gebiet der Chemie bis zu seinen elektrodynamischen Experimenten, einschließlich seiner Entdeckung der elektromagnetischen Induktion, führte er allein mit einem von ihm ausgebildeten Gehilfen durch.

Die bedeutendste Leistung Faradays liegt in seinem Konzept des elektromagnetischen Feldes. Er nahm an, daß elektromagnetische Erscheinungen, wie etwa die Induktion, Nahwirkungen sind, also Vorgänge im Raum zwischen elektrischen Körpern und Magneten. Er betrachtete nicht die Ladungen, sondern die den Raum erfüllenden Kraftlinien als das Wesentliche.

Faraday erhielt nie eine mathematische Ausbildung. Er versuchte daher nicht, seine Vorstellungen über das elektromagnetische Feld analytisch zu fassen. Diese Aufgabe löste erst Clerk Maxwell. Er wurde 1831 in Edinburgh geboren und studierte Mathematik in Cambridge. Nach Professuren in Aberdeen und London erhielt er 1870 einen Ruf nach Cambridge, mit dem Auftrag, das Cavendish-Laboratorium für Experimentalphysik einzurichten. „Vielleicht infolge der Art seiner Ausbildung, möglicherweise, aber auch aus Mangel an Geldmitteln für experimentelle Arbeiten, der damals allen Universitäten gemein war, waren seine Beiträge zur Entwicklung der Wissenschaft mehr mathematischen als experimentellen Charakters. Den grössten Teil seiner Experimente führte er in seinem eigenen Hause in London durch, wobei ihm seine Frau als einzige Assistentin beistand. Es spricht sehr für die Vielseitigkeit seiner Fähigkeiten, dass er trotzdem in der Lage war, jenes Laboratorium zu schaffen und auszubauen, das jedenfalls bis zum Beginn des zweiten Weltkrieges Mittelpunkt und führend für die englische Physik war, und aus dem

Thomsons Entdeckung des Elektrons, die künstliche Spaltung des Atomkerns durch Rutherford, die Entdeckung des Neutrons durch Chadwick und viele andere Erfolge der experimentellen Methode hervorgingen.“<sup>121</sup>

Das Entstehen der Akademien in England und Frankreich im 17. Jahrhundert, die allgemeine Unterstützung, die sie erfuhren, wurden vom Interesse einer breiten gebildeten Öffentlichkeit getragen. Allerdings blieb die Forderung Bacons unerfüllt „ein Verstehen der Natur als Mittel zum Nutzen der Menschheit zu begreifen.“

Die Wissenschaft besaß bis ins 19. Jahrhundert immer noch das politische und ethische Prestige der Philosophie des klassischen Altertums, zu dem die Renaissance soviel beigesteuert hatte. Die Philosophie der Natur war ein angesehenes, ja sogar edle Wissenschaft, und ihre Gönner verstärkten dadurch, daß sie sie unterstützten, den Glanz des Staates. Die Männer der neuen Experimentalwissenschaft fühlten, daß sie und nicht die Scholastiker die wahren Erben der Antike waren. In ihren Anfangsstadien war die neue Experimentalwissenschaft notwendigerweise kritisch und destruktiv; in den späteren Entwicklungsphasen zielte sie jedoch darauf hin, eine neue Basis für eine Philosophie zur Verfügung zu stellen, die mehr mit den Bedürfnissen der Zeit in Einklang stand. Der Bruch war niemals vollkommen; der Einfluß der Religion, sowohl der innere als auch der durch die Gesellschaft ausgeübte, war immer noch viel zu stark, um eine wesentliche Abweichung von dem von Katholiken und Protestanten gleichermaßen anerkannten Schema von Schöpfung und Erlösung zu gestatten. Dennoch erlaubte man sich – bei Bacon und Descartes offen und in der vorsichtigeren Philosophie von Galilei und Newton stillschweigend – große Freiheiten gegenüber dem Schema der Herrschaft Gottes über die Welt.

Das Paradoxon der wissenschaftlichen Revolution war, daß diejenigen, die am meisten zu ihrer Entwicklung beigetragen hatten, also im Wesentlichen die wissenschaftlichen Neuerer von Kopernikus bis Newton, in ihren religiösen und philosophischen Anschauungen zu den konservativsten zählten. Sie waren nur deshalb nicht orthodox, weil sie glaubten, daß die Orthodoxie von dem Weg der Vernunft abgewichen sei. Sie akzeptierten das von Thomas von Aquin entworfene Programm einer Integration der Vernunft in den Glauben. Sie sahen sich jedoch gezwungen, seine Schlußfolgerungen abzulehnen, weil die Vorstellung von der Welt, mit der dieser seinen Glauben in Einklang gebracht hatte, sich als offensichtlicher Unsinn herausstellte. Ihre eigenen Formen der Aussöhnung sollten sich allerdings als noch weniger dauerhaft erweisen. Die Herrschaft der Theologie über die Wissenschaft war jedoch beendet. Die Theologie konnte zwar immer noch den wissenschaftlichen Fortschritt entstellen und hemmen, ihn aber nicht

mehr aufhalten. Die Religion wurde stillschweigend auf die moralische und übersinnliche Sphäre beschränkt. In der materiellen Welt hatte die wissenschaftliche Revolution nolens volens endgültig stattgefunden.

Zum Ende des 17. Jahrhunderts hatte sich die Wissenschaft endgültig durchgesetzt und zumindest in den oberen Gesellschaftsschichten der damaligen Zeit ein ungeheures Prestige erworben. Sie besaß in der Royal Society und der Académie Royale des Sciences, die beide durch persönliche Beziehungen in enger Verbindung zu den herrschenden Mächten standen – mit dem Parlament und den großen Whig-Familien in England, mit dem königlichen Hof in Frankreich –, ihre Organisationen. Die Wissenschaft verbreitete sich jetzt auch in andere Länder. Eine geschlossene Disziplin des Experimentierens und Berechnens war entwickelt worden, eine einheitliche Methode, mit deren Hilfe früher oder später jedes Problem in Angriff genommen werden konnte. Die Grundlagen der Wissenschaft würden vielleicht untermauert und ergänzt werden. Das auf ihnen errichtete Gebäude war stabil, und, was noch wichtiger war, die allgemeine Methode zu seiner Errichtung war jetzt bekannt und sollte nie wieder in Vergessenheit geraten.<sup>122</sup>

Die Brandenburgische Sozietät der Wissenschaften wurde 1700 in Berlin gegründet. Ihr Entstehen ist mit Gottfried Wilhelm Leibniz verbunden, einem der führenden geistigen Vertreter der Aufklärung. Er war ein Mensch mit einem enzyklopädischen Wissen, ein Forscher in Philosophie, Geschichte, Staats- und Rechtswissenschaft, der Theologie, den Naturwissenschaften und der Mathematik. Weder die Royal Society noch die Académie des Sciences entsprachen seinen Vorstellungen über Aufgaben und Ziele einer Akademie. In seinem Verständnis waren beide zu sehr mit wissenschaftlichen Fragen beschäftigt, die nicht selten abseits von den Bedürfnissen der Gesellschaft und der Wissenschaft selbst lagen.

Leibniz' Ansicht über die Akademie der Wissenschaften, ihre Rolle und Hauptaufgabe im gesellschaftlichen Leben, kommt am klarsten in seiner Denkschrift vom 24./26. März 1700 zum Ausdruck, die dem Stiftungsbrief der Akademie zugrunde liegt. „In ihr betonte er, die Akademie müßte „nicht auf bloße Kuriosität oder Wissensbegierde und unfruchtbare Experimente gerichtet sein, oder bei bloßer Erfindung nützlicher Dinge ohne Applikation oder Anbringung beruhen ...; sondern man müßte gleich anfangs das Werk samt der Wissenschaft auf den Nutzen richten. Wäre demnach der Zweck Theoriam cum praxi zu vereinigen und nicht allein die Künste und die Wissenschaften, sondern auch Land und Leute, Feldbau, Manufakturen und Kommerzien und mit einem Wort die Nahrungsmittel zu verbessern.“ ...

Als Gegner einer Institution, die auf „bloße Kuriosität und Wissensbegierde“ ausgerichtet wäre, sprach

er sich dafür aus, die wissenschaftlichen Arbeitsgebiete der Akademie von vornherein festzulegen und in ihnen die praktischen Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Seine Devise war: „Die Wissenschaft existiert für das Leben“. Als Wissenschaften, die an der Akademie vertreten sein sollten, betrachtete er die Mathematik einschließlich der Geometrie, Astronomie und Geographie, die Mechanik mit spezieller Ausrichtung auf das Handwerk und die Manufakturen, die Physik, zu der er im weitesten Sinne auch die Chemie und Mineralkunde rechnete, sowie die Botanik und die Anatomie. Von den Geisteswissenschaften sollten vor allem die deutsche Sprache und Literatur sowie die Geschichte vertreten sein. Leibniz betonte die Notwendigkeit von Laboratorien, Apparaten und eines Observatoriums für die wissenschaftliche Arbeit.<sup>123</sup>

Die Berliner Akademie mußte von Beginn an um ihre Existenz kämpfen. Sie war gezwungen, sich ohne staatliche Zuschüsse selbst zu erhalten. Viele der in den ersten Jahrzehnten berufenen Mitglieder waren Auswärtige bzw. Korrespondierende Mitglieder. Durch den preußischen König Friedrich I. erhielt die Berliner Akademie 1710 ihr erstes Statut. An den finanziellen Schwierigkeiten änderte sich wenig. Friedrich I. war verschwenderisch was den Prunk betraf, mochte aber die Wissenschaft nicht finanzieren. Die Akademie erhielt das Kalendermonopol verfügte aber, abgesehen von einem Observatorium, über keine eigenen Laboratorien. Zur Finanzierung wissenschaftlicher Unternehmen erhielt sie kein Geld. Sie war und blieb eine Gelehrtengesellschaft.

Friedrich II., der im Unterschied zu seinen Vorgängern, der Wissenschaft aufgeschlossen gegenüberstand, wollte mit der Berliner Akademie eine Institution formen, die als Pendant zu der aus der französischen Aufklärung hervorgegangenen Pariser Akademie seiner Krone mehr Glanz verleihen sollte.<sup>124</sup> Ihm war klar, daß dazu die Berufung der bedeutendsten Wissenschaftler seiner Zeit notwendig war. Mathematiker, die zu dieser Entwicklung entscheidende Beiträge leisteten, kamen aus Basel: die Brüder Jakob und Johann Bernoulli und Daniel, der Sohn des letzteren. Jakob und Johann Bernoulli waren Professoren in Basel. Leonard Euler, ein Schüler Johanns, wurde zum bedeutenden Wegbereiter der theoretischen Mechanik.

„Schon nach wenigen Jahren, mit Beginn des siebenjährigen Krieges 1756, nahm das Interesse Friedrichs II. an der Akademie sichtbar und zunehmend ab; nur selten hat er einzelne Akademiemitglieder empfangen, die große Mehrzahl der Akademiemitglieder hat ihn nie gesprochen. Nach dem Tode von Maupeout im Jahre 1759 führte zwar Leonhard Euler die Geschäfte des Präsidenten durch, wurde jedoch nicht zum Präsidenten berufen. Faktisch übernahm Friedrich II. selbst das Amt des Präsidenten. Eulers Vorschläge zur weiteren Verbesserung der Arbeit der

Akademie und ihrer finanziellen Sicherung lehnte Friedrich II. ab. Mehr noch: Er reagierte auf die Vorschläge und Berechnungen Eulers mit Spott und bediente sich zudem dabei seiner eigenen geringfügigen mathematischen Kenntnisse. Enttäuscht verließ dieser bedeutende Mathematiker 1766 Berlin und ging nach Petersburg an die dortige Akademie der Wissenschaften zurück, in der er bereits von 1727 bis 1741 gewirkt hatte. Friedrich II. trug stattdessen D'Alembert die Präsidentschaft in der Berliner Akademie an. Dieser schlug die Berufung zwar aus, da ihn seine Stellung an der Königlich Französischen Akademie wichtiger erschien, wurde aber der briefliche Ratgeber des preußischen Königs und leitete in der Praxis die Berliner Akademie als „heimlicher“ Präsident bis zu seinem Tode im Jahre 1783. Seit dem Tode von Maupertuis bis zur Zerschlagung des Hitlerfaschismus und der Auflösung des preußischen Staates im Jahre 1945 hatte die Akademie – von einer kurzzeitigen Ausnahme abgesehen – keine Präsidenten. An ihrer Spitze standen bis 1918 als Protektoren die preußischen Könige.

Friedrichs II. Stellung zur Akademie wurde zusehends diktatorischer. Die während seiner Abwesenheit durchgeführte Wahl des Vertreters der bürgerlichen Aufklärung G. E. Lessing in die Akademie, die unter der Geschäftsführung L. Eulers im Jahre 1760 erfolgt war, war unmittelbarer Anlaß für verschärfte Eingriffe in die Rechte der Akademie. Er annullierte zunächst die gleichzeitig erfolgte Wahl des Ästhetikers und Philosophen Moses Mendelssohn und verweigerte 1764 die Bestätigung weiterer 8 im Jahre 1760 gewählter Mitglieder. Mit Order vom 6. Januar 1764 erklärte sich Friedrich II. selbst offiziell zum stellvertretenden Präsidenten der Akademie und nahm ihr das Recht der Wahl von Mitgliedern. An die Stelle der Wahl trat die Berufung, die sein Reservat blieb.<sup>125</sup>

Unter Peter I. hatte sich Rußland zu einer Großmacht entwickelt. 1703 gründete der Zar seine neue, am Baltischen Meer gelegene Hauptstadt, die er nach seinem Schutzheiligen benannte. Der Plan zur Gründung einer Akademie wurde erst 1724, kurz vor seinem Tode Wirklichkeit. Katharine I., Witwe und Nachfolgerin des Zaren, berief 1725 D. Bernouilli und 1727 L. Euler nach Petersburg. Euler blieb bis zu seinem Ruf nach Berlin und kehrte 1766 an die Newa zurück. Die im Vergleich zur Berliner Akademie wesentlich günstigeren materiellen Arbeits- und Lebensbedingungen wirkten anziehend auf zahlreiche ausländische Wissenschaftler. Sie erwiesen sich häufig als die einzige Möglichkeit, materiell gesichert, wissenschaftlich arbeiten zu können.<sup>126</sup>

Gegen Ende der Herrschaft Friedrich II. war die Berliner Akademie in ihrem Personalbestand überaltert. Das wissenschaftliche Niveau war deutlich gesunken. Alexander von Humboldt charakterisierte wenige Jahre nach dem Tode Friedrich II. die Situati-

on mit den Worten: „Die Akademie gleicht einem Hospital, in dem die Kranken besser schlafen als die Gesunden“.<sup>127</sup>

Nach dem Zusammenbruch Preußens im Gefolge der Napoleonischen Kriege begann ein Erneuerungsprozeß. Vor der Akademie stand die Aufgabe, ihre Stellung neben den Universitäten neu zu bestimmen.

A. v. Humboldt, der mit der naturwissenschaftlichen Forschung in Frankreich vertraut war, bemühte sich, die Tätigkeit der Königlich Akademie der Wissenschaften mehr auf die Naturwissenschaften und deren stärkere Nutzung für den gesellschaftlichen Fortschritt zu lenken.

„Eine für die Erhöhung der Wirksamkeit der Berliner Akademie entscheidende Bedeutung hatte die 1809 gegründete und 1810 eröffnete Berliner Universität. Die von den seinerzeit klarblickendsten und fortschrittlichsten Gelehrten unterstützte Auffassung ihres Schöpfers W. v. Humboldt, daß die Akademie nur dann mit Recht „eine eigentümliche und wichtige Stellung behaupten kann, wenn sie mit einer Universität in Verbindung gesetzt wird“, hat sich in der Folgezeit in der Praxis bestätigt. Allerdings gilt es hierbei zu berücksichtigen, daß die Akademien feudalen und frühkapitalistischen Typs im Wesentlichen lediglich Zentren des Zusammenschlusses von Gelehrten waren, bestenfalls einige kleinere naturwissenschaftliche Kabinette unterhielten, jedoch keine eigenen Forschungsinstitute besaßen. Hinzu kommt – und das trifft auch auf die Berliner Akademie zu –, daß ein nicht geringer Teil der für eine Wahl zum Akademiemitglied als würdig befundenen Wissenschaftler nicht auf dem Höhepunkt ihres Schaffens, sondern im fortgeschritteneren Alter zugewählt wurden, so daß in diesen Fällen die Zuwahl vorrangig eine Ehrung des Lebenswerkes eines Wissenschaftlers darstellte. Das gilt sinngemäß auch für die Zuwahl Auswärtiger oder Korrespondierender Mitglieder, also jener Wissenschaftler, die außerhalb Berlins wirkten oder im Ausland lebten.“<sup>128</sup>

Wilhelm von Humboldt ging davon aus, daß Akademie und Universität trotz institutioneller Eigenständigkeit, personell eng verbunden sein sollten. Er sah die eigentümliche und wichtige Stellung der Akademie darin, daß in ihr Vertreter verschiedener Gebiete sowohl der Natur- als auch der Geisteswissenschaften im Plenum und den Klassen zusammenwirken konnten. Diese Forderung nach interdisziplinärer Zusammenarbeit – wie wir heute sagen würden – besitzt auch im 21. Jahrhundert höchste Aktualität angesichts der weltweiten Probleme wie, um nur ein Beispiel zu nennen, den Klimawandel. In keiner Phase der Existenz von wissenschaftlichen und künstlerischen Akademien gelang es jedoch im erforderlichen Maße die engen Fachschränken ausreichend zu überwinden. Daran hat sich bis in die Gegenwart wenig geändert.

Auch nach den Reformen änderte sich der organisatorische Rahmen der Berliner Akademie kaum, insbesondere die Art und Weise ihrer wissenschaftlichen Arbeit. Dieser erhielt sich bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts – eine Erscheinung, die auch auf die anderen europäischen Akademien zutrifft.

Die ökonomisch-politischen Kräfte im deutschen Kaiserreich waren in erster Linie an wissenschaftlichen Untersuchungen interessiert, deren industrielle Nutzung der Förderung der Produktion bzw. der Stärkung der militärischen Macht des Staates diene. Dafür schienen den Herrschenden weder die Universitätsforschung noch die Tätigkeit in der Akademie geeignet. Sie waren und blieben Repräsentationsstätten der Wissenschaft.

Die Industrielle Revolution begann mit der Textilproduktion im 18. Jahrhundert in England. Dieser Prozeß führte zu außerordentlichen, bis dahin in der Menschheitsgeschichte nie erlebten Veränderungen der sozialökonomischen Verhältnisse. Sie sind auf das engste mit der Entwicklung der Technik verbunden.

Im Vorstehenden betrachteten wir an ausgewählten Beispielen den Weg zum Wissenschaftsverständnis der Gegenwart. Der Fortschritt der Technik verlief weitgehend parallel zur Wissenschaft. Erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ergaben sich Berührungspunkte zwischen beiden. Betrachten wir den Weg zur industriellen Produktion am Beispiel der Dampfmaschine. Einen entscheidenden Schritt tat T. Newcomen (1663-1729), ein Handwerker aus Dartmouth (Devonshire). Er vereinigte bereits bekannte Elemente der Dampfmaschine: Zylinder und Kolben, durch atmosphärischen Druck in einem separaten Kessel erzeugter Dampf und Kondensation des Dampfes durch kaltes Wasser. Was er hinzufügte, waren: das Eintrittsventil und ein automatischer Steuerungsmechanismus. Seine erste Maschine diente zum Auspumpen eines Kohlschachtes bei Coventry. Sie ersetzte 50 Pferde. Die verbesserte Dampfmaschine fand bald in allen Bergwerken Englands Verwendung. Sie markiert den Beginn der modernen Industrie.

Die Weiterentwicklung der Dampfmaschine ist untrennbar mit James Watt (1736-1819) verbunden. Auch er erhielt nie eine systematische Ausbildung. Seine Fertigkeiten im Umgang mit Werkzeug erwarb er in der väterlichen Apparatewerkstatt. Da Watt in Schottland keinen geeigneten Lehrmeister fand, ging er nach London. Dort arbeitete er unter widrigen Bedingungen ein Jahr in einer Werkstatt. 1757 kehrte Watt nach Schottland zurück, wo er als Instrumentenbauer in der Glasgower Universität eine eigene Werkstatt einrichtete. Zu seinen Aufgaben zählte die Reparatur einer Newcomenschen Maschine, die für Demonstrationszwecke eingesetzt wurde. In Verbindung mit der Reparatur der Maschine dachte Watt über Wärmespeicherung von Wasserdampf nach. Er stieß dabei auf ein Verhalten der Materie, das heute unter

dem Namen „latente Wärme“ bekannt ist. Diese Eigenschaft hatte erst ein Jahr zuvor J. Black, Chemieprofessor am College erstmals beschrieben. Er konnte Watt dieses Verhalten erklären.

Watt schilderte, wie ihm bei einem Spaziergang die Idee zur Überwindung des hohen Wärmeverlustes der Newcomeschen Dampfmaschine kam: „Es kam mir der Gedanke, dass Dampf, ein elastischer Körper, sich in einen luftleeren Raum hineinstürzen würde und dass, wenn man den Zylinder mit einem luftleeren Raum verbände, er dort hineinströmen müsste, wo man ihn kondensieren könne, ohne dass es notwendig sei, den Zylinder abzukühlen. Ich begriff also, dass ich auf die Kondensation des Dampfes und das Wassereinspritzen in den Zylinder verzichten musste, auch wenn ich einen Wasserstrahl wie bei der Newcomenschen Maschine benutzen wollte.“<sup>129</sup>

Es vergingen Jahre bis Watt über ein patentfähiges Modell seiner Feuermaschine verfügte. Zusammen mit M. Boulton, dem bedeutendsten Industriellen des 18. Jahrhunderts, entwickelte Watt die Dampfmaschine zu einem marktfähigen Produkt. Da ihr Wirkungsgrad weit höher lag als bei den Vorgängermodellen, fanden Dampfmaschinen von Boulton & Watt rasch Eingang in allen Kohlengruben. Die anschließend einsetzende Weiterentwicklung, die Umwandlung der Auf- und Abbewegung in eine Rotationsbewegung, ermöglichte ihren Einsatz in der Textilerzeugung. Als Arbeitsmaschinen in Verbindung mit Transmissionsmechanismen ermöglichten die Dampfmaschinen eine Ausbreitung der Textilindustrie.

Ganz im Gegensatz zu der in Preußen Anfang des 19. Jahrhunderts üblichen Verfahrensweise wählten ihn die Royal Society Watt zu ihrem Mitglied und die Pariser Akademie zu einem ihrer acht ausländischen Mitglieder. In Preußen war die Zuwahl in die Berliner Akademie für einen herausragenden Erfinder und Techniker wie W. Siemens erst 1873 möglich. Im Zuwahlantrag von Helmholtz u.A. war nach Aufzählung seiner technischen Leistungen folgender Hinweis unerlässlich: „die großen Erfolge des Herrn Siemens verdankt er wesentlich dem wissenschaftlichen Geiste, mit dem er die technischen Fragen aufgegriffen hat. Nicht bloß brachte er ein tief gehendes Verständnis der schon festgestellten Resultate und der schon ausgebildeten Methoden mit, in deren Anwendung und Combination er den fruchtbarsten Erfindungsgeist zeigte, sondern er griff an vielen Punkten mit eigenen neuen Untersuchungen ein, welche auch für die reine Wissenschaften wichtige Resultate geliefert haben.“<sup>130</sup>

Den entscheidenden Schritt auf dem Weg zu einem dampfgetriebenen Fahrzeug tat R. Trevithick. Der Sohn eines Bergwerkingenieurs lernte bereits in der Kindheit Dampfmaschinen kennen. Er konstruierte Anfang des 19. Jahrhunderts eine Hochdruckdampfmaschine. Sie kam ohne Kondensator aus und ließ den Dampf durch einen Schornstein ins Freie strö-

men. Eine Erfindung, die in Vergessenheit geriet und erst von Stephenson in seinen Lokomotiven erneut eingebaut wurde.

George Stephenson (1781-1848) begann als Grubenarbeiter in Northumberland. Nach und nach rückte er zum Maschinenmeister auf. Nach den ersten Versuchen Trevithicks wurden einige Grubenbahnen mit Lokomotiven ausgerüstet. Stephenson, der von diesen tief beeindruckt war, machte den Vorschlag zum Bau einer Maschine. Er erhielt den Auftrag, der zur „Blücher“ führte, einer Lokomotive, die im Juli 1814 erprobt wurde. In den folgenden Jahrzehnten baute Stephenson 14 Lokomotiven für verschiedene Kohlebergwerke sowie für die Eisenbahnlinie von Stokton nach Darlington über 39 km. Sie entstand zwischen 1822 und 1825 und war die erste Eisenbahnlinie, die auch Reisende beförderte. George Stephensons bedeutendste Leistung war der Bau der Eisenbahnlinie von Liverpool nach Manchester. Die Arbeiten begannen 1826. Da jedes Vorbild fehlte, war er gezwungen, alle Probleme zu lösen – also eine Systemlösung zu finden. Sie umfaßte die Herstellung eines soliden Unterbaus, den Bau von Tunneln, die Konstruktion eines großen Viadukts bis zur Errichtung von Signalanlagen und Bahnhöfen. Im Juni 1850 fand die Einweihung der Gesamtstrecke statt. Die für den Betrieb entwickelte Lokomotive „Rocket“ erreichte auf der 102 Kilometer langen Strecke eine Durchschnittsgeschwindigkeit von mehr als 25 Stundenkilometer.

Die weitere Entwicklung lag in den Händen seines Sohnes Robert Stephenson. Sie erforderte als Systemlösung nicht nur den Bau neuer leistungsfähiger Lokomotiven, sondern z.B. auch den Bau von Brücken wie die Britania Bridge zur Überwindung der Meerenge von Menaia nach Wales. Die Röhrenbrücke bestand aus vernieteten Eisenblechen.

Eisenbahnen, das die weitere Entwicklung der Industrie prägende Transportmittel, setzten sich rasch auf dem Kontinent durch. So ging 1835 die erste Eisenbahnlinie Deutschlands zwischen Nürnberg und Fürth in Betrieb.

„Die Geschichte der Dampfmaschine beweist, daß die notwendigen Voraussetzungen für die industrielle Revolution sowohl ökonomischer als auch technischer Natur waren; ökonomisch in dem Sinne, daß die Textilindustrie sich so weit entwickelte, daß sie in der Lage war, auf einem stets größer werdenden Markt Waren anzubieten; technisch in dem Sinne, daß nur die neuen Maschinen die Kohlen und die Antriebskräfte liefern konnten und schließlich auch die Transportmöglichkeiten, ohne die eine Erweiterung der Textilindustrie, unmöglich gewesen wäre.“<sup>131</sup>

Das Beispiel der Dampfmaschine zeigt deutlich, daß die Nutzbarmachung von Energie durch das Feuer nicht auf Grund wissenschaftlicher Überlegungen entstanden ist. „Es handelte sich vielmehr um einen technischen und technologischen Vorgang. Als solcher war er mehr von dem Einfluss sozialer, wirt-

schaftlicher und beruflicher Faktoren abhängig als von der Entwicklung der Physik. Mit einer einzigen Ausnahme, ... arbeiteten an diesem Problem nicht Wissenschaftler ersten Ranges, sondern Amateure und Techniker, die mehr oder weniger stark mit den wissenschaftlichen Grundlagen vertraut waren, zumeist Autodidakten. Die eigentlichen Physiker erschienen erst wesentlich später auf dem Plan. Gewiss kannte James Watt in Glasgow Joseph Black, der ihm erklären konnte, was die latente Verdampfungswärme sei, aber als das geschah, hatte Watt bereits experimentell alles Wesentliche gefunden und niemand bezweifelte mehr die Richtigkeit des Prinzips von der Erhaltung der Energie ... Als Sadi Carnot sein berühmtes kleines Werk zu schreiben begann, war Watt schon seit sechs Jahren tot, in England arbeiteten zehntausend ortsfeste Maschinen und die Eisenbahn war bereits vorhanden.“<sup>132</sup>

Bildungsinstitutionen, die in erster Linie im Interesse des Staates wissenschaftlich-technische Kräfte ausbildeten, entstanden in Folge der Französischen Revolution. Die *Ecole Polytechnique* wurde 1792 in Paris gegründet. Ihre Aufgabe war die Förderung von Mathematik und Physik mit Blick auf ihre technische Bedeutung. 1805 wurde die Ecole zu einer Militärschule, ein Status, den sie noch heute besitzt. Einer der ersten Absolventen der Ecole war Sadi Carnot, der sein Studium 1813 abschloß.

Die Gründung der Berliner Bauakademie erfolgte 1799. Ihre Aufgabe lag in der Ausbildung von Bauameistern, die als Beamte in einer zeitgemäßen Bauverwaltung tätig sein sollten. Nach dem Vorbild der Ecole Polytechnique entstand 1825 in Karlsruhe das erste Polytechnikum Deutschlands.

„Für viele Universitätsprofessoren lehrten die Technischen Hochschulen eine Art bessere Schlosserei. Wenn es in dieser Lehre etwas Wissenschaftliches gab, dann waren es die darin enthaltenen naturwissenschaftlichen und mathematischen Elemente. An den Technischen Hochschulen bestanden durchaus Bestrebungen, durch Theoretisierung, Physikalisation und Mathematisierung dem universitären Leitbild nachzueifern. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts setzte sich jedoch eine Richtung durch, welche die Technikwissenschaften als eine eigenständige Gattung finaler Wissenschaften interpretierte, in welcher mathematisch-naturwissenschaftliche Aussagen mit im Labor wie in der industriellen Praxis gewonnenen empirischen Erkenntnissen und Erfahrungen zusammenflossen. Zur gesellschaftlichen Legitimation ihres Wissenschaftsverständnisses stellten die Ingenieurprofessoren Zusammenhänge zwischen technischer Bildung, wirtschaftlicher Stärke und nationaler Macht her, ein Argument, welches im Vulgärdarwinismus des späten 19. Jh.s einen fruchtbaren Boden fand. Die Ingenieure empfahlen sich als berufene Mittler zwischen Kapital und Arbeit. Sie sahen im Denken des Ingenieurs, in seiner Orientierung am Wirkungsgrad,

seiner Fähigkeit zur Optimierung ein Potential für allgemeine politische Problemlösungen – und nahmen damit Postulate der späteren Technokratiebewegung vorweg. Institutionell verteidigten die Ingenieurprofessoren ihre Selbständigkeit und erteilten allen Vereinigungsvorschlägen eine Absage. Sie wollten Störungen der noch un abgeschlossenen Arbeit an ihrem Wissenschaftstyp unterbinden, fürchteten aber auch die Konkurrenz der Universitäten.

Spannungen zwischen der Grundlagen- und der angewandten Forschung gab es in allen Ländern. Aber in Deutschland spitzten sich die Gegensätze in besonderer Weise zu, weil die klassischen Disziplinen und die neuen Technikwissenschaften in separaten Institutionen beheimatet waren, nämlich an den Universitäten sowie an den Technischen Hochschulen. Befanden sie sich, wie in anderen nationalen Wissenschaftssystemen, unter einem gemeinsamen Dach, so ließ der tägliche Umgang manche Zuspitzungen gar nicht erst entstehen.<sup>133</sup>

In den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts fanden Dampfmaschinen allgemeine Aufmerksamkeit, ja Bewunderung. Unter Naturwissenschaftlern herrschte zu dieser Zeit nahezu völlige Unwissenheit über Wärmephänomene. Abgesehen von wenigen Ausnahmen, wie Benjamin Thomson, Graf von Rumford, dachten die Gelehrten nicht daran, daß es sich hierbei um etwas Wissenswertes handeln könne.

Die Aufmerksamkeit der Erfinder war voll auf die Gestaltung der Maschinen gerichtet, wobei sie von praktischen und wirtschaftlichen Überlegungen geleitet wurden. Das Hauptverdienst Sadi Carnots bestand in der Erkennung des wissenschaftlichen Problems. Er „untersucht das Phänomen an sich, nicht in einer gegebenen Maschine, sondern in allen überhaupt möglichen Maschinen, welche in irgendeiner Form die Wärme als Kraftquelle verwenden. Durch diese Abstraktion gelang es ihm, eine Thermodynamik aufzustellen. Sein Versuch und sein Erfolg waren die Ursache dafür, dass die Wissenschaftler in aller Welt während sechzig Jahren aus dem von ihm aufgestellten Prinzip alle mechanischen, chemischen und elektrischen Konsequenzen abzuleiten bemüht waren.“<sup>134</sup> Die thermodynamischen Arbeiten von Clausius bis Helmholtz gingen von dem kleinen Büchlein aus, das Carnot 1824 auf eigene Kosten bei einem Pariser Buchhändler herausbringen ließ.

Das Beispiel der Dampfmaschine möge genügen um deutlich zu machen, daß bis weit ins 19. Jahrhundert die Entwicklung der Technik in den Händen von Erfindern und Ingenieuren lag, die gelegentlich auf wissenschaftliche Erkenntnisse zurückgriffen.

Als Westinghouse, einer der Pioniere auf dem Gebiet der Starkstromtechnik, mit Wärmepumpen arbeitete, die Wärme und Kälte bereitstellen, wollte er eine selbständig laufende Maschine, d.h. ein Perpetuum mobile, bauen. Der englische Physiker Lord Kelvin, mit dem Westinghouse korrespondierte, erklärte ihm,

daß er damit thermodynamische Gesetze verletzen würde. Westinghouse antwortete ihm, das möge zutreffen, mache für ihn aber keinen Unterschied. Wenn er auch kein Perpetuum mobile bauen könne, dann würde er immerhin ein Wärmepumpensystem haben, welches er patentieren und verkaufen könne.<sup>135</sup>

Die Berliner Akademie war und blieb bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges eine elitäre Gelehrten-gesellschaft. Die Akademiemitglieder führten ihre wissenschaftlichen Sitzungen durch, in denen sie über ihre Forschungen berichteten. Ihr eigentliches Forschungspotential lag in universitären und außeruniversitären Einrichtungen. Die Akademie als Institution leistete Forschungsarbeiten in Form von Unternehmen, Editionen und Expeditionen, die zwar wichtig waren, jedoch grundlegende Gebiete der Naturwissenschaften kaum voranbringen konnten.<sup>136</sup> „Bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass die akademischen Unternehmungen nach dem in ihnen realisierten Typ der Forschung und der Forschungsorganisation ein Gegenstück zu jener Art der Forschung waren, die nach dem Humboldtschen Ideal der Hochschul-lehrer in „Einsamkeit und Freiheit“ ... betreiben sollte. Die akademische Unternehmung war gekennzeichnet durch die entsagungsreiche „Kärnerarbeit“ vieler, die zu einem großen Gemeinschaftswerk beitrugen, dessen Dauer zudem nicht selten die Lebenszeit eines einzelnen Gelehrten überstieg. So formte sich im akademischen Rahmen und an Gegenständen, die gemeinhin nicht an der Front der Forschung angesiedelt waren, das Profil des arbeitsteilig gegliederten außeruniversitären Forschungsinstituts.“<sup>137</sup>

Wie Wilhelm II. in einer seiner Reden am Beginn des 20. Jahrhunderts erklärte habe die Berliner Akademie durch ihre Unternehmungen gezeigt, wie sie ihre Aufgaben als vornehmste wissenschaftliche Körperschaft Meiner Monarchie auffasst und von welchem Geist sie beseelt ist.<sup>138</sup>

Zum Ausgang des 19. Jahrhunderts begann sich die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Forschung im Reproduktionsprozeß gegenüber den vorangegangenen Zeiten zu verändern. Zwischen Grundlagenforschung, angewandter Forschung und technischer Realisierung bildeten sich neue Beziehungen. Unter den Bedingungen des sich im deutschen Kaiserreich entwickelnden Kapitalismus wuchs der Wunsch nach Einflußnahme von Staat und Industrie auf die Naturwissenschaften. Der Weg, der in Deutschland eingeschlagen wurde, führte zur Gründung der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG) im Jahre 1911.

Im Zusammenwirken des Akademiemitglieds A. v. Harnack, Professor für Kirchen- und Dogmengeschichte, E. Rathenau, Chef der AEG, des Großindustriellen Krupp v. Bohlen und Halbach, des Bankiers F. Koppel mit Ministerialbeamten entstand das Projekt der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG). Harnack war ein enger Vertrauter des Kaisers, verfügte über große wissenschaftsorganisatorische Fähigkeiten

und bot die Garantie für die Durchsetzung des Anliegens der Gründungsväter gegenüber den Vertretern der Naturwissenschaften in Akademie und Universitäten.

In der Denkschrift von 1910 ging Harnack von einer Notlage und einem Rückstand der naturwissenschaftlichen Forschung in Deutschland gegenüber anderen Ländern aus. Er kam zu dem Schluß, „daß die Wehrkraft und die Wissenschaft ... die beiden starken Pfeiler der Größe Deutschlands seien und der Preußische Staat gemäß seiner glorreichen Tradition die Pflicht habe, für die Erhaltung beider zu sorgen“.<sup>139</sup>

Bereits 1912 wurden die beiden ersten Institute ihrer Bestimmung übergeben, das Institut für Chemie und das Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, das unter der Leitung von F. Haber stand. Er hatte in den Jahren 1909-1911 die physikalisch-chemischen Grundlagen der Ammoniaksynthese aus Stickstoff und Wasserstoff entwickelt (Nobelpreis für Chemie 1918). Das Verfahren ermöglichte die synthetische Herstellung von Ammoniak als Ersatz für Salpeter zur Erzeugung von Düngemitteln und Sprengstoff.

Bis zum Ende des Ersten Weltkriegs gehörten zur KWG 15 Institute, darunter 13 naturwissenschaftliche. Acht von ihnen entstanden während des Krieges. Alle standen im Dienst der Kriegführung. Eine Mitwirkung von Naturwissenschaftlern an Aufgaben der Militärtechnik galt in keinem der kriegführenden Länder als ehrenrührig, eine Haltung, die dem bürgerlichen Nationalismus unter der Losung der Vaterlandsverteidigung entsprach.

Was jedoch Haber von anderen Naturwissenschaftlern unterschied, war die Mitwirkung an der Entwicklung eines Massenvernichtungsmittels, dessen Einsatz die bis dahin geltenden Völkerrechtsnormen verletzte. Im Auftrag der obersten Heeresleitung war das Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie an der Herstellung, Erprobung und dem Einsatz von Giftgas als Waffe beteiligt.

Bereits wenige Wochen nach Kriegsbeginn begannen Habers Versuche mit Phosgen und Chlorgas. Auch nach dem Selbstmord seiner Frau Clara, einer promovierten Chemikerin, wenige Tage nach dem ersten deutschen Einsatz am 22. April 1915 in Ypern, beteiligte sich Haber an der weiteren Organisation des Giftgaseinsatzes.

Als Mitarbeiter der Deutschen Gesellschaft zur Schädlingsbekämpfung (Degesch) entwickelte Haber in den Nachkriegsjahren ein schnell wirkendes Gas auf der Basis von Blausäure zur Bekämpfung der Mäuseplage. Während des Dritten Reiches war die Degesch, an der die Degussa in Frankfurt a. M. und die IG-Farben beteiligt waren, Inhaberin des Patents zur Erzeugung von Zyklon B. Ihm fielen in den Vernichtungslagern der SS auch Verwandte des Juden Fritz Haber zum Opfer. Er selbst konnte 1933 noch emigrieren, starb aber kurz danach.

„Das Leitbild der reinen Wissenschaft überstand den Ersten Weltkrieg, in welchem sich nicht wenige Akademiker in den Dienst des Krieges gestellt hatten, ohne größeren Schaden (...). Als die Technische Hochschule Berlin und der Reichsbund Deutscher Technik in den ersten Jahren der Republik die Erweiterung der Akademie um eine technische Klasse in Vorschlag brachten, verwies die Akademie auf ihr Streben „nach der reinen wissenschaftlichen Erkenntnis“ (...). Das Argument der Ingenieure, Technik sei mehr geworden als eine Anwendung anderer Wissenschaften, sie habe „ihren eigenen Gedankeninhalt, ihre eigenen Ziele, welche auf einer Verkettung der naturwissenschaftlichen Erkenntnis mit wirtschaftlichen und sozialen Gesichtspunkten beruhen“, vermochte sie nicht zu überzeugen.“<sup>140</sup>

Noch in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts befand sich die Wissenschaft in einer privilegierten und sicheren Stellung. Sie sah sich in ihrem Streben nach Wahrheit außerhalb nationaler und internationaler Konflikte. Es waren die Jahrzehnte, in denen Quantentheorie und Relativitätstheorie neue Horizonte des Naturgeschehens sichtbar werden ließen. Zur Ausnahme und nicht zur Regel zählte, daß ein herausragender Wissenschaftler wie Albert Einstein in den politischen und Klassenauseinandersetzungen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eindeutig Stellung bezog und diese in der Öffentlichkeit vertrat.

Beginnend mit dem ersten Weltkrieg griffen die Regierungen der Industriestaaten durch gezielte Bereitstellung von Geld in die Waffenentwicklung ein. Diese Mittel wurden überwiegend den Industrieunternehmen zur Verfügung gestellt, die an Entwicklung und Fertigung von Waffensystemen beteiligt waren. Mit dem Zweiten Weltkrieg erreichte der gesteuerte Einsatz von Geld und Potentialen eine neue Qualität. So floß von den rund zwei Milliarden Dollar, die der amerikanische Staat zur Entwicklung der ersten beiden Atombomben aufwandte, der größte Teil in Industrieunternehmen wie den heute weltgrößten Chemiekonzern Du Pont. Dieser errichtete in Hanford die drei Reaktoren zur Plutoniumproduktion und die vier chemischen Trennanlagen.

Da sich die Naturwissenschaften während des Zweiten Weltkriegs in weit größerem Umfang als im Ersten in den Kriegsdienst stellten, verlor die Vorstellung von einer „reinen“ Wissenschaft in den Augen der Öffentlichkeit viel von ihrem Kredit. Im Gegensatz dazu wähten sich die meisten Forscher nach wie vor im Dienste der Wissenschaft um des Erkenntnisgewinns willen.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts bildete sich ein Wissenschaftssystem heraus, das die alten Gegensätze zwischen den reinen und den angewandten Wissenschaften niederriß. Aus Technischen Hochschulen wurden Technische Universitäten und in Universitäten und außeruniversitäre Forschungsein-

richtungen der Grundlagenforschung drangen komplexe anwendungsorientierte Fragestellungen ein.

Es entstand eine neue Qualität in der Verflechtung von Wissenschaft, Technik und Produktion, eine wissenschaftlich-technische Revolution, die zwei charakteristische Merkmale hat:

- Die Wissenschaft selbst wurde zum Ausgang neuer Industriezweige, wie der Kerntechnik, der Rechentechnik, der Mikroelektronik und der Gentechnik, die bezüglich ihres Ursprungs in keiner Verbindung zu den traditionellen Industrien stehen.
- Es bildeten sich Hochtechnologien heraus, die in einem früher nie realisierten Umfang Einfluß auf die Gesellschaft ausüben. In ihrer Verknüpfung stehen wir bisher unbekanntes Herausforderungen gegenüber.

Besonders deutlich wird diese Entwicklung, wenn man sich die veränderte Rolle der Naturwissenschaften in der Industrie betrachtet. Die Entwicklung von Siemens illustriert den Wandel in den zurückliegenden 100 Jahren.

1905 wurde das erste zentrale Siemenslabor in Berlin mit wenigen Mitarbeitern gegründet. Wilhelm von Siemens, Werners Sohn, übertrug die Leitung dem Chemiker W. Bolton, der an neuen Materialien für Glühfäden in Lampen arbeitete (Tantallampe). Die Forschungen bei Siemens waren in den ersten Jahrzehnten mehr auf die Entwicklung von Technologien und weniger auf die Entwicklung neuer Produkte gerichtet.

Heute liegt die Herausforderung darin, „dass es keine dominierenden Einzeltechnologien mehr gibt. Meist geht es im Kern darum, verschiedene Technologien zu komplexen Systemen zu integrieren. Ein Beispiel hierfür ist das von Internet, Festnetz, TV und Mobilfunk, ein anderes die Mikrosystemtechnik, wo Sensoren, Aktoren und Software als „eingebettete Intelligenz“ zu einem Gesamtsystem verschmelzen, das dann womöglich auch noch über Kommunikationstechniken mit ähnlichen Systemen vernetzt wird – so entstehen ganze Biolabore auf einem Mikrochip oder selbstorganisierende Sensornetze für die Gebäudetechnik.“<sup>141</sup>

„Derzeit beschäftigt Siemens über 103 000 Hochschulabsolventen mit einer Ausbildung in Naturwissenschaften, Informatik oder Ingenieurwesen – und jedes Jahr werden mehr als 10 000 neu eingestellt. Viele davon sind Physiker – in allen Bereichen des Unternehmens, insbesondere natürlich unter den insgesamt 45 000 Mitarbeitern, die in Forschung und Entwicklung tätig sind.“<sup>142</sup>

Auf die Frage, woran Siemens-Forscher in 20 Jahren tüfteln werden, schreibt Eberl in seinem Bericht über 100 Jahre Siemens-Forschung: „Zwei wesentliche Forschungsgebiete werden ... auch in den nächs-

ten Jahren eine große Rolle spielen: Auf der einen Seite innovative Materialien und Materialsysteme, die von der Nanotechnik über Biochips bis zu intelligenten Sensoren und Aktoren reichen. Auf der anderen Seite moderne Informations- und Kommunikationstechnologien, die sämtliche Industriebranchen und Lebensbereiche durchdringen werden. All diesen Herausforderungen kann nur mit innovativen, interdisziplinären Lösungen begegnet werden.“<sup>143</sup>

„Was gegen Ende des 19. Jahrhunderts noch Ausnahme war, ist heute die Regel. Die Wissenschaft hat sich endgültig einen Platz in der Industrie erobert. Zusammen mit dem Wachstum ähnlicher staatlicher Laboratorien bedeutet das, daß die Wechselbeziehung zwischen Wissenschaft und den Produktionsprozessen im Allgemeinen viel enger und bedeutsamer geworden ist. Diese Wechselbeziehungen haben im 20. Jahrhundert im Verhältnis zu früheren Zeiten einen grundsätzlich anderen Charakter angenommen; sie wirken in viel größerem Maßstab, wirken sich schneller aus und werden immer mehr zu ganz bewußter Wechselwirkung.“<sup>144</sup>

Wir verfügen seit Jahrzehnten über die Mittel, um die Menschheit in einem Atomkrieg zu vernichten. Im 21. Jahrhundert sind wir auf dem besten Weg, die Biosphäre durch unseren Umgang mit der Natur nachhaltig zu verändern und die Lebensgrundlagen der Menschheit irreparabel zu schädigen.

Im Roman von H.G. Wells „Die Zeitmaschine“ gelangt der Zeitreisende in eine Epoche, in der sich die Menschheit in zwei Unterarten aufgespalten hat, in die entkräfteten und infantilen Eloi, die auf der Erdoberfläche leben, und die im Untergrund hausenden lichtscheuen Morlocks. In Wells' phantastischem Roman dauerte die Aufspaltung in zwei Unterarten 800 000 Jahre, ein Zeitraum, der sich mit dem der natürlichen Entwicklung unserer Spezies näherungsweise deckt.<sup>145</sup>

Im 21. Jahrhundert sind wir auf dem besten Weg im Zusammenwirken mit Bio-, Nano- und Informationstechnik Erscheinung und Mentalität des Menschen weit schneller zu verändern als es Wells 1895 vorhergesehen hat. Der Genetiker Lee Silver hält es in seinem Buch „Der geklonte Mensch“ für möglich, daß sich die Menschheit innerhalb weniger Generationen in zwei Unterarten aufspalten wird, die »Genreichen«, die über die erforderlichen Mittel verfügen, um ihre Kinder zu „designen“ und in die »Naturbelassenen«.<sup>146</sup>

Bisher haben gesellschaftliches Sein und damit verbundene Weltbilder den Menschen geformt. Unverändert blieb die menschliche Natur. Der Präsident der Royal Society of London, der Astrophysiker Martin Rees, schreibt darüber in seinem Buch „Unsere letzte Stunde. Warum die moderne Naturwissenschaft das Überleben der Menschheit bedroht“: „Im 21. Jahrhundert werden die Menschen selbst, ihr Bewußtsein und ihre Einstellungen, ja sogar ihr Körper durch

Drogen, genetische Eingriffe und möglicherweise Silizium-Implantate im Gehirn verändert werden.<sup>147</sup>

So erstaunlich die Miniaturisierung bereits ist, über die wir in Computern, MP3-Playern und Handys verfügen, von ihrer theoretischen Grenze ist sie noch weit entfernt. Jeder Siliziumchip in den Geräten enthält Milliarden Atome. Die heutigen Schaltelemente sind sehr groß gegenüber den zukünftigen. Im Gegensatz zu den zur Zeit eingesetzten Chips mit ihren Schaltelementen von einem Mikron – einem Millionstel Meter – werden die zukünftigen Schaltelemente Abmessungen von einem Nanometer – einem Milliardstel Meter – besitzen.

Wie das Beispiel des Siemensprogramms illustriert, sind weltweit Forschungen im Bereich der Nanotechnologie im Gange. Erstrebt wird der Aufbau „von unten her“ durch das Zusammenfügen von Atomen und Molekülen.

Heute bewegen sich Bio-, Nano- und Informationstechnologie aufeinander zu. Das molekulare Innere von Lebewesen soll durch gezielte Eingriffe verändert werden. Wir verfügen bereits über die erforderlichen Verfahren, um Atome in neuen Strukturen zusammenzufügen, um qualitativ neue organische, anorganische und neurochemische Verbindungen zu schaffen und den Austausch zwischen ihnen einzuleiten. Spekulationen gehen dahin, Bio-Nano-Maschinen zu entwickeln, die im menschlichen Körper Beobachtungen und Messungen vornehmen oder mikrochirurgische Operationen durchführen. Andere sollen als implantierte Computer die Leistungsfähigkeit des Gehirns steigern.

Forschungsziele, wie die der Bio- und Nanotechnik werden gegenüber der Öffentlichkeit mit dem Wunsch nach verbesserter Gesundheitsversorgung, beispielsweise in der Krebstherapie motiviert. In der Regel bleiben Fragen offen nach den weiteren, diesen Verfahren innewohnenden Möglichkeiten, nach Nebeneffekten und unvorhergesehenen Folgen. Wie Tierexperimente belegen, können inhalierte Nanoteilchen in Gehirn und Zentralnervensystem eindringen.<sup>148</sup>

Die Soziologin und Rechtswissenschaftlerin Helga Nowotny, eine der wenigen GesellschaftswissenschaftlerInnen, die sich mit den Problemen auseinandersetzt, die uns die naturwissenschaftliche Forschung des 21. Jahrhunderts erwarten läßt, schreibt in ihrem Buch „Unersättliche Neugier. Innovation in einer fragilen Zukunft“: „Das 20. Jahrhundert, das sowohl eines einer verheerend-schrecklichen Politik wie der monumentalen wissenschaftlich-technischen Projekte war, hatte in seinem großenwahnstinnigen Fortschrittsoptimismus angenommen, die Leitplanken und groben Orientierungsmuster, die von der Moderne für die gesellschaftliche Entwicklung und Fortschritt normativ gezogen wurden, geradlinig in die Zukunft verfolgen zu können. Die Abkehr davon prägt das heutige Denken. Die Vorgriffe auf eine wissenschaft-

lich-technische Zukunft sind von Unabwägbarkeiten und Ungewißheiten umgeben. Politisch drückt sich dies in der Fragmentierung der Politik als der Kehrseite des Pluralismus und in der Kurzfristigkeit ihres Denkens aus. Wissenschaft und Technik haben einen Teil ihres von Staat und Politik geschützten Schutzraumes und ihrer Privilegien verloren. Sie können vor allem unter Berufung auf höhere Rationalitätskriterien jene Sicherheiten nicht mehr bieten, in denen sich menschliche Urteilsfähigkeit, Entscheidungen und Handeln verankern und legitimieren lassen.“<sup>149</sup>

Was im 19. Jahrhundert durch Zufall geschah oder durch Neugier und Leistungswillen einzelner Erfinder läuft heute auf vorgezeichneten Wegen. Probleme auf Gebieten wie Automatisierung oder Biotechnologie werden weltweit gezielt bearbeitet. Der Weg, den sie dabei nehmen, entfernt sich jedoch mehr und mehr von dem Ziel, wie es einst Francis Bacon formulierte: Das Ziel der Wissenschaft liegt im *allgemeinen* Nutzen.

Noch in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts sagte Max Planck in einem Vortrag über „Neue Bahnen der physikalischen Erkenntnis“: „Die edelste unter den sittlichen Blüten der Wissenschaft und zugleich ihre eigentlichste ist ohne Zweifel die Wahrhaftigkeit: jene Wahrhaftigkeit, die durch das Bewußtsein der persönlichen Verantwortung hindurch zur inneren Freiheit führt“.<sup>150</sup>

Heute ist es unumgänglich geworden, daß jeder Wissenschaftler seine persönliche Verantwortung nicht nur gegenüber der Wissenschaft, sondern gegenüber Natur und Menschheit erkennt. Wir leben und arbeiten nicht mehr im Elfenbeinturm der reinen auf Erkenntnisgewinn orientierten Wissenschaft. In den Naturwissenschaften ist der Einzelforscher heute Teil eines weltweit verknüpften Systems der Forschungsorganisation. Projekte, auch die der Grundlagenforschung, werden langfristig geplant. Nationale Systeme der Forschungsförderung begutachten die Projekte, um sie dann an die Instanzen zu übergeben, die über die erforderlichen Mittel verfügen. Durch die Mittelvergabe erfolgt eine Orientierung der Forschung darauf, Grundlagenforschung mit technologischen Innovationen zu verknüpfen, um – wie es heißt – die Wettbewerbsfähigkeiten in einer globalen Welt zu fördern.

Wissenschaftliche Neugier, einst eines der stärksten Motive der Forscher, verlor viel von ihrem früheren Selbstverständnis. Sie wurde in ein System der Forschungsorganisation eingefügt, das Wege zu technischen Innovationen öffnet. Die Effizienz der Wissensproduktion soll durch eine Anpassung der Grundlagenforschung an die Produkt- und Verfahrensentwicklung der Industrie erreicht werden. Der Trend geht in Richtung Markt.

Die Schutzfunktion, die der Staat der Universitätsforschung einst bot, ist nahezu verschwunden. Auch der Universitätsforscher von heute ist in der Wahl sei-

ner Themen nicht mehr frei und nicht mehr allein seinem Wissen und Gewissen verpflichtet. Die Rationalität seines Handelns „ist aufgesplittet in eine Vielzahl von Rationalitäten, die sich auf ein brisantes und instabiles Gemisch von ökonomischen und privaten Interessen, wissenschaftlicher und technischer Orientierung, verbleibenden staatlichen Kompetenzen und den Forderungen einer Zivilgesellschaft berufen – all dies auf einer öffentlichen Bühne, die medial beleuchtet und inszeniert ist“.<sup>151</sup>

Heute werden Ziele und Entwicklung durch die Forderung nach Maximalprofit und Machterhalt bestimmt. Der damit einhergehende Prozeß einer direkten Nutzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse führte unter anderem dazu, daß auf Erkenntnisgewinn orientierte Untersuchungen nur unzureichend mit Mitteln versorgt werden. Wissenschaft unterscheidet sich von anderen menschlichen Tätigkeiten jedoch dadurch, „daß sie sich mit dem Neuen und nicht mit dem Vorausschaubaren befaßt. Auf anderen Gebieten kann festgelegt werden, was getan werden kann und welche Schritte dazu notwendig sind. In der Wissenschaft ist das anders. Da sie sich mit dem Unerwarteten befaßt, ist etwas ganz anderes erforderlich als eine routinemäßige Qualifikation. Natürlich gibt es auch in der Wissenschaft genügend Routine, und ihr Anteil wächst zwangsläufig mit dem Umfang und der Kompliziertheit der in der Wissenschaft üblichen Techniken. Diese Routine ist wesentlich; die Wissenschaft könnte heute nicht mehr existieren ohne die Dienste der Technik, der Versorgung, der Verwaltung und der Information, wie man sie sich in früheren Zeiten nicht vorstellen konnte. Aber kein Wissenschaftler glaubt, diese notwendigen Ergänzungen seien ein Ersatz für das entscheidende Merkmal der Wissenschaft – die schöpferische Entdeckung.“<sup>152</sup> „Daraus entsteht für jede Institution, die das Neue zu fördern sucht, ein Dilemma: sie will das Unvorhergesehene hervorbringen und es dennoch bereits von Anfang an unter Kontrolle halten. Sie sucht Anwendungen und Verwendungen hervorzubringen, die noch niemand kennt und gleichzeitig unbeabsichtigte Nebenfolgen und eventuelle Risiken auszuschalten oder zu minimieren. Das Neue, das zunächst immer lokal entsteht, soll den Weg der Verbreitung finden, der über neue Kontexte der Anwendung zum Markt und zur gesellschaftlichen und ökonomischen Verwertung führt.“<sup>153</sup>

Letztlich werden Grundlagen- und angewandte Forschung in eine Richtung gedrängt, in der es nur noch um Verfügungswissen geht. Orientierungswissen ist nicht mehr gefragt. Von der Schule bis zur Hochschule stehen Fragen wie die nach den Folgen unseres Handelns nicht zur Diskussion. Orientierungswissen, eigenständiges Denken sind jedoch unerlässlich in einer offenen nicht vorhersehbaren Zukunft.

Darum ist es unverzichtbar, daß Natur- sowie Sozial- und Geisteswissenschaftler nicht nur in die Tiefe

ihres jeweiligen Spezialgebiets ihre Aufmerksamkeit richten, sondern auch in die Breite über die Grenzen des Faches hinaus. *Miteinander kommunizieren ist heute unverzichtbar.*

Wir leben und arbeiten in einer Welt, deren gesellschaftliche Organisation unvermindert auf eine maximale Ausbeutung der Natur orientiert und dabei die Biosphäre aus dem Gleichgewicht gebracht hat. In einer Welt, in der die regionalen Ungleichheiten immer größer werden, in der die Gefahr einer atomaren Katastrophe wächst und der die Mächtigen den Menschen zu einem durch modernste Techniken manipulierbaren Wesen formen wollen.

Was vor mehr als 60 Jahren mit der Verknüpfung von Wissenschaft, Technik und Großindustrie zu einer neuen Qualität des gesellschaftlichen Miteinander führte, hat am Beginn des 21. Jahrhunderts Dimensionen erreicht, die ein vertieftes Nachdenken über den Weg der Menschheit fordern: *Wir befinden uns in einer globalen Krisensituation, die denkenden Menschen das Gefühl vermittelt, daß es so nicht weiter gehen kann.*

Existenz und Einsatz von Atomwaffen hatten neben der Pugwash-Bewegung zahlreiche regierungsunabhängige Aktivitäten initiiert. Greenpeace entstand Anfang der siebziger Jahre in Vancouver (Kanada) im Kampf gegen die Atomtests. Von Beginn an setzten die Aktivisten von Greenpeace auf medienwirksame Aktionen. Um die Zündung von atomaren Testexplosionen zu verhindern, fuhren sie mit einem Schiffskutter in das Testgelände. Eine spätere Aktion (1985) richtete sich gegen die französischen Kernwaffentests auf dem Muroroa-Atoll. Um sich des lästigen Protests zu entledigen, ließ die französische Regierung das Greenpeace-Schiff „Rainbow Warrior“ im Hafen von Auckland (Neuseeland) versenken. Später wurde die Organisation durch ihre Aktivitäten gegen den Walfang bekannt.

Die Ostermärsche begannen 1958 mit dem Marsch von London zum britischen Atomforschungszentrum Aldermaston. In der Bundesrepublik fand der erste Ostermarsch 1960 in Norddeutschland statt. In den folgenden Jahren wuchsen die Zahlen der Orte und Teilnehmer. Sie stieg in der Bundesrepublik bis 1968 auf 300 000. Mit dem Nato-Doppelbeschluß zur Stationierung von Atomwaffen wuchs die Teilnehmerzahl auf 700 000. In den letzten Jahren beteiligten sich an den Märschen nur noch einige tausend Menschen in verschiedenen Städten. Das Spektrum der Themen, gegen die sich die Proteste der Ostermarschierer richtet, wurde erweitert. 2006 richteten sie sich auch gegen den Sozialabbau und gegen die Umrüstung der Bundeswehr für weltweite Einsätze.

Die nichtstaatliche Ärzteorganisation „International Physicians for the Prevention of Nuclear War“ (IPPNW) entstand 1980 durch Initiative von Ärzten der USA und der UdSSR gegen den Einsatz von Atomwaffen. 1985 erhielt die Organisation den Frie-

den Nobelpreis für ihre sachkundige und wichtige Informationsarbeit, die das Bewußtsein der Menschen über die katastrophalen Folgen eines Nuklearkrieges erhöhte.

## Wo stehen wir heute?

Noch immer lagern aktive Atomwaffen in Westeuropa. Nach Schätzungen von Experten handelt es sich um 480 nukleare Bomben der Typen B-61-3 und B-61-4. Die Sprengköpfe sind für Nato-Einsätze vorgesehen. Ihr Einsatz soll durch Jagdbomber der USA und weiterer europäischer Staaten erfolgen. In Deutschland lagern vermutlich 130 Bomben in Ramstein und 20 in Büchel, dem Standort des Jagdbombergeschwaders 33 der Bundeswehr. Die Bomben vom Typ B-61 haben eine variable Sprengkraft bis zu 45 kT-TNT-Äquivalent (Modell 3) und bis zu 170 kT (Modell 4), d.h. mehr als dem Zehnfachen der Hiroshima-Bombe.

Die „nukleare Teilhabe“ Deutschlands an Nato-Einsätzen durch atomar aufgerüstete Jagdbomber wird von der Mehrheit der Staaten, die dem Nichtverbreitungs- und Atomwaffensperrvertrag (NVV) unterschrieben haben, als Vertragsverletzung betrachtet. In Artikel II des Vertrags verpflichtete sich auch die Bundesrepublik „Kernwaffen und sonstige Kernsprengkörper von niemandem unmittelbar anzunehmen, Kernwaffen oder sonstige Kernsprengkörper weder herzustellen noch sonstwie zu erwerben und keine Unterstützung zur Herstellung von Kernwaffen oder sonstigen Kernsprengkörpern zu suchen und anzunehmen.“<sup>154</sup>

In einem Appell „Atomwaffen abrüsten – in Deutschland anfangen“, den viele Wissenschaftler unterschrieben haben, heißt es: „Solange Atomwaffen existieren, kann weder ihre Weiterverbreitung noch ein absichtlicher oder versehentlicher Einsatz wirksam verhindert werden. Ein deutscher Beitrag für eine atomwaffenfreie Welt ist daher von höchster Bedeutung.“<sup>155</sup>

Hans Blix, ehemals Chef der UNO-Waffeninspektion für den Irak, hat gemeinsam mit 14 Experten den Bericht „Waffen des Terrors“ verfaßt und im Juli 2006 dem UN-Generalsekretär Kofi Annan vorgelegt. Darin wird deutlich gemacht: Solange auch nur ein einziger Staat Atomwaffen besitzt, werden auch andere Länder solche haben wollen. Der Bericht mahnt die Staaten, die über Atomwaffen verfügen, zu deren Abschaffung und zur Erfüllung ihrer Verpflichtungen aus dem Atomwaffensperrvertrag.

Nach dem Ende der Atomtests verblieben allein in den Lagern der Vereinigten Staaten annähernd 10 000 nukleare Sprengköpfe. Die meisten haben inzwischen ein Alter zwischen 17 und 30 Jahren. Alle enthalten zur Kompression des Kernmaterials konventionelle Explosionsstoffe oder Plutonium 239. Sie leiten bei Zündung des Sprengkopfes eine Serie von Spaltungs-

und Fusionsreaktionen ein. Die Sprengköpfe altern, da das Plutonium radioaktiv zerfällt und sich dabei die kristalline Struktur des Metalls verändert. Metallurgen vertreten die Meinung, daß sie nach annähernd 50 Jahren unbrauchbar geworden sind. Neuere Untersuchungen lassen es als wahrscheinlich erscheinen, daß die Funktionsdauer länger als 85 Jahre anhält. Ungeachtet dessen arbeiten die Waffenspezialisten beider amerikanischen Zentren zur Entwicklung von Atomwaffen, in Livermore und Los Alamos, fieberhaft daran, eine neue Generation atomarer Sprengköpfe zu entwickeln. 2005 bewilligte der amerikanische Kongreß für das Programm „Reliable Replacement Warheads (RRN)“ 25 Millionen Dollar.<sup>156</sup> So sieht die Realität aus!

Die Debatte über den Fortgang der Arbeiten kreist um die Frage, ob die neue Generation atomarer Sprengköpfe ohne atomare Tests eingesetzt werden kann. Reichen die Computersimulationen und die gespeicherten Daten aus den 1054 Tests der Vergangenheit aus oder sind neue Tests erforderlich? Zu welchem Resultat die intensiv betriebenen Arbeiten auch führen mögen – von einer atomaren Abrüstung ist bisher, trotz aller Proteste, nichts zu erkennen.

Das Problem des Klimawandels, das erst gegenwärtig in seinem Ausmaß erkennbar wird, reduzierte sich zunächst auf den Umweltschutz. In Deutschland organisierte sich die Umweltschützer in nichtstaatlichen Organisationen (NGOs) wie dem „Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND)“, dem Naturschutzbund (NABU) und bei Greenpeace. Aus den Aktivitäten der siebziger und achtziger Jahre entwickelten sich die Partei der Grünen und staatliche Einrichtungen wie das Umweltbundesamt.

Anfang der achtziger Jahre geriet die Kernenergie in die Kritik der Umweltschützer. Ziel ihrer Kritik waren die geplante Aufbereitungsanlage im bayrischen Wackersdorf und die Reaktoren in Brockdorf und Mühlheim-Kärlich. Den Reaktorunfall in Tschernobyl im April 1986 verstanden die Umweltschützer als Bestätigung ihrer Ängste vor der Kerntechnologie.

Anläßlich des 20. Jahrestages des Einzugs der Grünen in den Bundestag beschrieb Angelika Zahrt, Vorsitzende des BUND, den Beginn des Weges der Grünen zur staatstragenden Partei: „Wohnte dem Anfang der Grünen im Bundestag ein Zauber inne? Und wenn ja, hielt dieser Zauber an? Oder sind die Grünen entzaubert? Leiden sie an Chlorophyllverlust? Wie entwickelte sich das Verhältnis der „Öko-Partei“ zur Umweltbewegung?“

Am 6. März 1983 erhielten die Grünen bei der Bundestagswahl 5,6 Prozent der Stimmen. Drei Wochen später zogen die 28 neuen Abgeordneten zusammen mit VertreterInnen der Umwelt- und Friedensbewegung durch die Bonner Innenstadt zum Bundeshaus. Sie rollten einen Globus durch die Straßen. Petra Kelly versicherte in einem ‚Gelöbniß‘, die Friedens- und Umweltbewegung nicht zu ‚verraten‘. Die grünen

Abgeordneten stellten Blumen auf ihre Bänke im Plenarsaal des Bundestages.<sup>157</sup>

Als die Grünen 1998 Regierungspartei wurden und Jürgen Trittin Umweltminister, wurde in der Umweltpolitik einiges auf den Weg gebracht, wie die Förderung regenerativer Energien. Der angestrebte Ausstieg aus der Atomenergie mutierte dagegen zur Bestandsgarantie für die Atomindustrie. Insgesamt ist die Bilanz von vier Jahren Rot-Grün, gemessen an Wahlprogramm der Grünen, sehr bescheiden. Der durch den Umweltminister beschworene Erfolg von Kyoto „ist nur in Hinblick auf einen einzigen Erfolg bemerkenswert: die Welt davon zu überzeugen, daß Verzögerungstaktiken ein Jahrzehnt lang als Fortschritt durchgehen sollen“.<sup>158</sup>

Die intensive Naturausbeutung, die Eingriffe in Ökosysteme, häufig ohne die Folgen zu bedenken, haben zu verheerenden Auswirkungen geführt. Sie ins Bewußtsein der Öffentlichkeit gebracht zu haben, ist ein Verdienst der Umweltbewegung. Vor allem durch die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl wurde sie zur Massenbewegung. Einzelereignisse wie ein Reaktor- oder ein Tankerunfall mit der unvermeidlichen Ölverschmutzung wurden nicht mehr als zufällige Einzelereignisse gesehen, sondern „führten zu grundsätzlichen Fragen über die herrschende Wachstumsphilosophie und die Gefahren von Großtechnologien. Die Umweltbewegung hat zweifellos große Wirkungen erzielt. Sie hat die Öffentlichkeit für Umweltprobleme sensibilisiert und entsprechende Gesetze angestoßen. Sie hat eine größere Aufmerksamkeit des Wissenschaftsbetriebs für Umweltfragen bewirkt, was sich in der Gründung zahlreicher Umweltinstitute niedergeschlagen hat. Das Entstehen von Unternehmen und eines Marktes für Naturprodukte ist aus ihr hervorgegangen und zahlreiche Initiativen für eine ökologische Landwirtschaft. Ohne sie wäre es nicht zum Entstehen grüner Parteien gekommen.“<sup>159</sup>

In den folgenden Jahren reduzierten sich die Aktivitäten der Umweltschützer auf Probleme, die verglichen mit dem kombinierten Makroproblem Umwelt und Klimawandel, nahezu unbedeutend sind. So verfolgt Greenpeace das sicher medienwirksame Schicksal ölverschmutzter Seevögel nach einem Tankerunfall oder Umweltaktivisten registrieren die Zahl der getöteten Vögel durch Rotoren von Windkraftwerken. Kaum beachtet blieb dagegen das Verschwinden riesiger Zugvögelpopulationen, die dem Klimawandel zum Opfer fallen.

Douglas Mullhall, einer der Aktivisten der weltweiten Umweltbewegung, formulierte seine Kritik mit folgenden Worten: „Die Umweltbewegung hat keine Probleme. Genauer: Sie hat keine Probleme mehr. Denn sie ist am Ende, nur hat es bis jetzt kaum jemand bemerkt. Globalisierung, technische Umgestaltung der Erde und eigene Inkompetenz haben der Bewegung den Garaus gemacht. ...

Nun weisen Umweltschützer gerne auf Erfolge hin: Innerhalb eines Jahres wurden beispielsweise über 180 Millionen Mark in die Entwicklung von biologisch abbaubaren Kunststoffen gesteckt und fast eine Milliarde in alternative Fahrzeugtreibstoffe; es gibt ein Shampoo, das aus ökologisch verträglichen Chemikalien hergestellt wird; der umweltschonende Landbau verbreitet sich, namentlich der Verzicht auf Pestizideinsatz in der Landwirtschaft; energiesparende Glühlampen sind fast überall erhältlich. Derlei Erfolge korrigieren indes nicht das allgemeine Bild: Die Umweltzerstörung rast voran, die Umweltschutzbewegung steht daneben, protestiert hier und da ein bisschen, bietet einige symbolische Techniken, ändert den Lauf der Dinge aber nicht.“<sup>160</sup>

Herrmann Scheer schreibt in seinem Buch „Energieautonomie“: „Ökologisches Denken muss ganzheitlich angelegt sein, um die Wirkungszusammenhänge erfassen zu können. Deren Ignorierung – ausgehend von jenem partikularen Wissenschaftsverständnis, das sich in der modernen Naturwissenschaft durchsetzte – ist ein tief greifender Grund für den rücksichtslosen Umgang der industriellen Wachstumsgesellschaft mit Naturgütern. Die Spezialisierung auf das Partikulare hat sich von den Natur- und Technikwissenschaften auf immer weitere Wissensgebiete übertragen. Ein partikulares Wissenschaftsverständnis prägt die Lehre und die Berufsausbildung, und es fördert die sich immer weiter ausfransende Spezialisierung der Berufe. Die Abwägung zwischen mehreren Faktoren wird schwerer, ebenso die Gewichtung ihres jeweiligen Stellenwerts. Demgegenüber ist die Fähigkeit zu ganzheitlicher Betrachtung für Strategien gegen die Umweltkrise unverzichtbar.“<sup>161</sup>

Die Bilanz des Erreichten zur Bewältigung der Probleme, sowohl bei Kernwaffen und Kerntechnik als auch bei Klimawandel und Umwelt, fällt sehr bescheiden aus. Die Frage, die sich unmittelbar aufdrängt, lautet: Weiter wie bisher? – das dürfte kaum zur Reduzierung der Gefahrenpotentiale führen. Im Gegenteil, sie würden weiter wachsen. Die Träger der Macht und ihre Organe in Staat, Wirtschaft und Medien haben bisher alle Bemühungen, den verhängnisvollen Weg in den Abgrund zu stoppen, erfolgreich verhindert. Die „Alten“ in den Protestbewegungen, einschließlich der grünen Parteien, werden ihre ohnmächtigen Bemühungen fortsetzen, ändern werden sie nichts. Nur durch die Aktivierung einer breiten Öffentlichkeit – insbesondere der Jugend – erscheint mir ein Wandel möglich.

Rufen wir uns die Forderung Friedrich Dürrenmatts aus dem Jahre 1962, dem Höhepunkt des Kalten Krieges ins Gedächtnis: *Was alle angeht, können nur alle lösen.* Die Verantwortung der Wissenschaftler, ihre Bringschuld, liegt in erster Linie darin, die Menschen über die Probleme *ungefiltert* zu informieren. Mir scheint notwendig, daß verantwortungsbewußte Natur- und Geisteswissenschaftler nach neuen Wegen

suchen, um in der Jugend ein Problembewußtsein zu wecken, denn nur dort sehe ich unverbrauchte Kräfte, die bereit sind, neue und wirksamere Möglichkeiten des Protestes zu erschließen.

Jeder Jugendliche beherrscht die Technik der neuen Kommunikationsmittel. Ein gangbarer Weg scheint mir darin zu liegen, in ein Medium wie das Internet Informationen zu stellen, die dem Bildungsstand junger Menschen, vom Schüler bis zum Jungakademiker, adäquat sind. Hier liegt die Verantwortung der Wissenschaftler aller Disziplinen, die über das erforderliche Fachwissen verfügen. Viele werden davor zurückschrecken, da sie noch in privatwirtschaftlichen oder staatlichen Institutionen in Lohn und Brot stehen. Es gibt jedoch zahlreiche Experten, die bereits im Ruhestand sind. Mit zunehmendem Alter wird der Blick freier und unbefangener und die gesellschaftlichen Verpflichtungen nehmen ab. Die Ruheständler, gewollte und ungewollte, sollten die Initiative ergreifen, um unter Stichworten wie „Klimawandel und Umwelt“, „Atomwaffen und Atomtechnik“ und „Nano- und Biotechnologien“ umfassend zu informieren. Mit diesem Schritt ließe sich ein Diskussionsforum eröffnen, das Laien und Experten einen klärenden Gedankenaustausch ermöglichen würde.

Neben die Verantwortung des Wissenschaftlers stellt Stefan Heym die des Schriftstellers: „Jedes Zeitalter hat seine Sprecher, die Ängste und Hoffnungen der Menschen zum Ausdruck bringen. Im grauen Altertum waren das die Propheten. Heute, in der Ära des Atoms und der Revolution, da wir rapide Fortschritte machen auf unserer Suche nach dem Warum und Wie von Mensch und Universum, scheinen die Schriftsteller und die Naturwissenschaftler diese Funktion zu übernehmen.“<sup>162</sup>

In den achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts, auf dem Höhepunkt der Umweltbewegung, haben Schriftsteller von Weltgeltung Probleme der Umweltschädigung zum Gegenstand ihrer Werke gemacht. Um nur zwei Beispiele zu nennen, die Romane „Die Richtstatt“ von Tschingis Aitmatow (Moskau 1986, Berlin 1987) und „Störfall“ von Christa Wolf (Berlin 1987).

Aitmatow wendet sich gegen die Zerstörung des Gleichgewichts zwischen Natur und Mensch. Das Schicksal einer Wolfsfamilie, deren Lebensraum, die Mujunkumer Savanne mit ihren riesigen Herden von Saja-Antilopen, durch die Menschen vernichtet wird und die mit ihren Schafherden auch in das Rückzugsgebiet der Wölfe, das Gebirge am Issyk Kul eindringen, bilden den Rahmen, in dem sich das Schicksal des Exseminaristen Awdi und des Hirten Boston erfüllt. Awdi wird zum Märtyrer bei seinem Versuch, Rauschgiftsammler zur moralischen Selbstvervollkommnung zu bekehren. Boston setzt bürokratischer Gleichgültigkeit reale soziale Aktivität entgegen.

Die Erzählerin in Christa Wolfs „Störfall“ denkt über das Geschehen eines Frühlingstages des Jahres 1986 nach. Er ist durch der durch zwei Ereignisse ge-

prägt ist, Die vor wenigen Tagen eingetretene Reaktorkatastrophe und die schwere Gehirnoperation des Bruders. „Das ist einer der Tage gewesen, an dem mir alle Zeiten eingefallen sind, die wir schon zu sehen gekriegt haben, ohne sie zu verstehen.“<sup>163</sup>

In einem Telefonat mit einer Freundin heißt es darin: „Also sollten wir die ganze Angelegenheit vielleicht unter dem Gesichtspunkt unserer Mitschuld untersuchen. – Ein bißchen viel verlangt, habe ich gesagt. – Mitverantwortung? hat sie vorgeschlagen, – Du sagst es, habe ich erwidert.“<sup>164</sup>

Wenn wir uns Klarheit darüber verschaffen wollen, worin die Verantwortung des Schriftstellers liegt, muß die Frage gestellt werden: Was ist Literatur?

Ein Buch, wie der Thriller „Beute“ von Michael Crichton, das sich mit der Nanotechnologie und ihren unerwarteten Nebeneffekten beschäftigt, dürfte zwar ein Bestseller sein, als Literatur würde ich ihn nicht bezeichnen. Seine Wirkung ähnelt der von Katastrophenfilmen wie „The Day after Tomorrow“ über den Klimawandel. Sie fügen sich ein in eine nicht abreißende Kette von Katastrophen, fiktiven und tatsächlichen, die in einer Zeit des reizüberflutenden Massenkonsums bestenfalls einen Kurzzeiteindruck auslösen. Schnell wird der Eindruck durch eine neue Katastrophe in Realität, Film, Fernsehen oder in einem Thriller abgelöst. Nachhaltigkeit, die zum Denken anregt, die ein vertiefendes Auseinandersetzen mit den angesprochenen Problemen auslöst, fehlt ihnen.

Literatur hat die Aufgabe, gesellschaftliche und individuelle Entscheidungen kritisch zu reflektieren und vorzubereiten. In den Ländern des Realsozialismus, insbesondere in der Sowjetunion, der DDR, in Polen und in der Tschechoslowakei entstand eine Literatur von weltliterarischem Rang, die nicht nur als Quelle der Unterhaltung diente, „sondern auch als ein Feld, das Orientierungsmöglichkeiten bot“.<sup>165</sup>

Bis zum Fall der Mauer „waren Schriftsteller und Künstler feinfühlig Dolmetscher ihrer (Bevölkerung) und der bestehenden Situation gewesen. Was sich das Volk nicht zu sagen getraute, trugen sie in der Sprache der Literatur vor. Sie hatten eine Mission ausgeübt.“<sup>166</sup>

Mit der Wende, der Übernahme der Herrschaft durch den Kapitalismus in den Ländern des Realsozialismus, waren Schriftsteller nicht mehr gefragt, die der Forderung Brechts folgten, „daß die Struktur der Gesellschaft und deren Ökonomie nicht so bleiben darf, wie sie ist, wenn es um ein anderes Zusammenleben der Menschen gehen soll“.<sup>167</sup>

Schriftsteller, die gesellschaftliche Probleme aufgreifen und die daraus entstehenden Konflikte dem Leser vorführen, verschwanden aus den Buchläden. An ihre Stelle traten Reiseführer, Ratgeber, Autoren wie Konsalik und Pilcher und Memoiren aller Schattierungen. Die Buchhändler – soweit sie nicht aufgeben mußten – orientierten auf schnell verkäufliche Ware.

Nicht wenige Angehörige der Intelligenz in den vormaligen Ländern des Realsozialismus, die einst mit dem Buch lebten, verloren ihre materielle Lebensgrundlage. Einige zwang ein Umzug in eine kleinere Wohnung zur Reduzierung ihrer Bibliotheken.

Im 21. Jahrhundert steht die Menschheit vor Problemen wie Krieg und Frieden, vor einer unaufhaltsamen Zerstörung des Gleichgewichts in der Biosphäre, ja letztlich vor der Entwicklung von Technologien, die in einer Umwandlung unserer Art münden könnten. Weder Natur- und Gesellschaftswissenschaftler noch Schriftsteller dürfen davor die Augen verschließen.

Dabei sollten wir uns daran erinnern, wie außerordentlich schwierig es ist, einen Wandel der gesellschaftlichen Verhältnisse zu befördern. In den „Flüchtlingsgesprächen“, die Brecht in der Zeit des dritten Reiches im schwedischen Exil schrieb, läßt er den Physiker Ziffel sagen: „Die Herrschaft ergreift das Volk nur im äußersten Notfall. Es hängt damit zusammen, daß der Mensch nur im äußersten Notfall denkt. Nur mit dem Wasser am Hals. Die Leute fürchten das Chaos.“<sup>168</sup>

Es scheint mir dringend geboten, daß auch Schriftsteller und Gesellschaftswissenschaftler sich aus den Reflektionen über die jüngste Vergangenheit lösen und ihre Verantwortung wieder annehmen „gesellschaftliche und individuelle Entscheidungen vorzubereiten“. Die Probleme, die im 21. Jahrhundert vor der Menschheit stehen, sind viel zu ernst, um vor ihnen die Augen zu verschließen. Eine engagierte

gesellschaftskritische Literatur ist auch heute unverzichtbar. Das setzt allerdings voraus, sich durch Naturwissenschaftler informieren zu lassen und die bereits von C. P. Snow erhobene Forderung zu erfüllen, den Abgrund des gegenseitigen Unverständnisses zwischen den polaren Gruppen zu überwinden. Gemeinsam müssen sie die Aufgabe annehmen breite Aktivitäten zu initiieren um den Marsch in die Katastrophe zu stoppen.

1993 wurde an Karl Popper die Otto-Hahn-Friedensmedaille der UNO verliehen. In seiner Dankagung erklärte er: „Die Zukunft ist offen. Sie ist nicht vorbestimmt. Daher kann sie niemand vorhersagen – außer durch Zufall. Die Möglichkeiten, die in der Zukunft liegen, gute sowohl wie schlimme, sind unabsehbar. Wenn ich sage „Optimismus ist Pflicht“, so schließt das nicht nur ein, dass die Zukunft offen ist, sondern auch, dass wir alle sie mitbestimmen durch das, was wir tun: wir sind alle mitverantwortlich für das, was kommt.“<sup>169</sup>

## Literatur

- <sup>1</sup> Rhodes, R. Die Atombombe. Berlin 1990, S. 33.
- <sup>2</sup> Szillard, L. zitiert in: Rhodes, R. Die Atombombe. Berlin 1990, S. 263f.
- <sup>3</sup> Harteck, P. zitiert in: Rhodes, R., a.a.O., S. 293.
- <sup>4</sup> New York Times vom 30. April 1939, zitiert in: Rhodes, R., a.a.O., S. 294.
- <sup>5</sup> Rhodes, R., a.a.O., S. 291.
- <sup>6</sup> Wigner, E.P. zitiert in: Rhodes, R., a.a.O., S. 306.
- <sup>7</sup> Rhodes, R., a.a.O., S. 380f.
- <sup>8</sup> Rabi, I. zitiert in: Rhodes, R., a.a.O., S. 680f.
- <sup>9</sup> Oppenheimer, R. zitiert in: Rhodes, R., a.a.O., S. 762.
- <sup>10</sup> Oppenheimer, R., ebenda S. 765f.
- <sup>11</sup> Weisskopf, R. Mein Leben. München 1991, S. 151.
- <sup>12</sup> ebenda, S. 183.
- <sup>13</sup> Kütter, W. Der Freitag vom 12.5.06.
- <sup>14</sup> Goethes Werke. II. Abt., 3. Band, Weimar 1893, S. 247.
- <sup>15</sup> Brecht B. Leben des Galilei. Leipzig 1989, S. 112.
- <sup>16</sup> Wohlwill, E. Galilei und sein Kampf für die copernikanische Lehre. Leipzig, 1909/26  
v. Gebler K. Galileo Galilei und die römische Curie. Stuttgart, 1976.  
Olschki L. Galilei und seine Zeit. Halle. 1927.  
Lämmel, R. Galileo Galilei im Lichte des zwanzigsten Jahrhunderts. Berlin, 1927.  
Dessauer F. Der Fall Galilei und wir. Frankfurt a.M., 1947.  
Freiesleben H.-C. Galileo Galilei. Stuttgart, 1956.  
Schumacher E. Der Fall Galilei. Berlin, 1964.  
Schmutzer E., Schütz W. Galileo Galilei. Leipzig, 1981.  
Mudry A., Hrsg. Schriften, Briefe, Dokumente. Berlin 1987.  
Redondi P., Galilei der Ketzer. München 1989.
- <sup>17</sup> Heiler, F. Die Religionen der Menschheit. Stuttgart 1999, S. 438.
- <sup>18</sup> Redondi P., a.a.O., S. 129.
- <sup>19</sup> Schuhmacher E., a.a.O., S. 158.
- <sup>20</sup> ebenda, S. 199.
- <sup>21</sup> Hund, F. Geschichte der physikalischen Begriffe Teil 1 Mannheim, Wien, Zürich 1978, S. 101.
- <sup>22</sup> Einstein, A., Infeld, L. Die Evolution der Physik. Wien Hamburg 1950, S. 17.
- <sup>23</sup> Schuhmacher E., a.a.O., S. 202.
- <sup>24</sup> Mittenzwei W. in Galileo Galilei, Brecht Zentrum, Berlin 1982, S. 9f.
- <sup>25</sup> Brecht, B. Leben des Galilei. Leipzig 1989, S. 111.
- <sup>26</sup> Mittenzwei W. Kampf der Richtungen. Leipzig 1978, S. 373.
- <sup>27</sup> Mayer, H. Brecht Frankfurt a. M. 1996, S. 393.
- <sup>28</sup> Kurkhoff, A.-G.; Links, R. Nachwort zu: Dürrenmatt, F. Komödien. Berlin 1965, S. 345f.
- <sup>29</sup> Dürrenmatt, F. ebenda, S. 326f.
- <sup>30</sup> Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. www.ipcc.ch
- <sup>31</sup> WMO-Statement on the Status of the Global Climate in 2005. WMO-No. 998.
- <sup>32</sup> ebenda.
- <sup>33</sup> ebenda.
- <sup>34</sup> Emanuel, K. Nature 436 (2005), S. 686.  
Kerr, R. A. Science 312 (2006), S. 676.
- <sup>35</sup> Rahmsdorf, S. Schellnhuber, H.J. Der Klimawandel. München 2006, S. 70.
- <sup>36</sup> Der Arktis-Klima-Report, Hamburg 2005.
- <sup>37</sup> ebenda, S. 12f.
- <sup>38</sup> Velicogna, I.; Wahr, J. Nature 443 (2006), S. 329.  
Chen, J. L.; Wilson, C. R.; Tapley, B. D. Science 313 (2006), S. 1958.
- <sup>39</sup> Shepherd, A.; Wingham, D. Science 315 (2007) S. 1529.
- <sup>40</sup> Peñuelas, J.; Filella, I. Science 294 (2001), S. 793.
- <sup>41</sup> van Vliert, A.; Leemans, R. in Schellnhuber, H.J. (Hrsg.) Avoiding dangerous Climate Change. Cambridge 2006, S. 135.
- <sup>42</sup> Lanchbery, J., ebenda, S. 144.
- <sup>43</sup> Krajk, K. Science 303 (2004), S. 1600.
- <sup>44</sup> Wolff, E. W. u. a. Nature 440 (2006), S. 491.
- <sup>45</sup> Rahmsdorf, S.; Schellnhuber, H.J., a.a.O., S. 23.
- <sup>46</sup> a.a.O., Climate Change 2007.

- <sup>47</sup> IPCC Climate Change, Cambridge 1991. IPCC (Hrsg.) Climate Change 1995, Cambridge 1996. IPCC (Hrsg.) Climate Change 2001, Cambridge 2002.
- <sup>48</sup> Climate Change 2007. a.a.O.
- <sup>49</sup> Ebenda.
- <sup>50</sup> Willis, J.K.; Roemmich, D.; Cornuelle, B., zitiert in: WBGU, Die Zukunft der Meere. Berlin 2006, S.7.
- <sup>51</sup> Giles, J. Nature 441 (2006), S. 6.
- <sup>52</sup> Rahmstorf, S.; Schellnhuber, H.J., a.a.O., S. 8.
- <sup>53</sup> Crutzen, P.J.; Steffen, W. Climate Change 61 (2003), S. 251.
- <sup>54</sup> WBGU. Die Zukunft der Meere. Berlin 2006, S.3.
- <sup>55</sup> Rahmstorf, S. [www.pik-potsdam.de/aktuelles/pressemitteilungen\\_und\\_Science\\_315\\_\(2007\)](http://www.pik-potsdam.de/aktuelles/pressemitteilungen_und_Science_315_(2007)), S. 368
- <sup>56</sup> Der Arktis-Klima-Report, a.a.O., S. 27.
- <sup>57</sup> Diese und die folgenden Projektionen sind dem Arktis-Klima-Report entnommen, siehe: a.a.O., S. 28ff.
- <sup>58</sup> Suess, E.; Bohrmann, G.; Lausch, E. Spektrum der Wissenschaften 6(1999), S. 71.
- <sup>59</sup> Hanson, J. Climate Change 68(2005), S. 269.
- <sup>60</sup> Gwinner, E. Ibis 138(1996), S. 47.
- <sup>61</sup> Arktis-Klima-Report, a.a.O. S. 70.
- <sup>62</sup> ebenda S. 94.
- <sup>63</sup> ebenda S. 96.
- <sup>64</sup> ebenda, S. 96.
- <sup>65</sup> ebenda, S. 97.
- <sup>66</sup> ebenda S. 125.
- <sup>67</sup> Schellnhuber, H.J. (Hrsg.), a.a.O.
- <sup>68</sup> Tomuschat, C. (Hrsg.) Menschenrechte. Bonn 2002, S. 17.
- <sup>69</sup> Tomuschat, C. (Hrsg.), a.a.O., S. 98.
- <sup>70</sup> ebenda S. 19.
- <sup>71</sup> Pachauri, R. in : Schellnhuber, H.J. (Hrsg.), a.a.O., S. 3.
- <sup>72</sup> ebenda.
- <sup>73</sup> ebenda, S. 214.
- <sup>74</sup> Postel, S. in: Zur Lage der Welt 1996. Frankfurt a.M. 1996, S. 71.
- <sup>75</sup> Qi Ye, Tsinghua University May 2006.
- <sup>76</sup> Sampat, P., in: Zur Lage der Welt 2001. Frankfurt a.M. 2001, S. 74.
- <sup>77</sup> Gardener, G. Zur Lage der Welt 1996, a.a.O., S. 118.
- <sup>78</sup> Arnell, N. W., in Schellnhuber, H. J. a.a.O. S. 168.
- <sup>79</sup> Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaption and Vulnerability. Summary for Policymakers. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- <sup>80</sup> Arnell, N. W., a.a.O., S. 5.
- <sup>81</sup> Rahmstorf, S.; Schellnhuber, H. J., a.a.O., S. 83f.
- <sup>82</sup> Rees, M. Unsere letzte Stunde. München 2005, S. 76.
- <sup>83</sup> Physic Journal 5 (2006), Nr. 4, S. 13.
- <sup>84</sup> Rahmstorf, S.; Schellnhuber, H.J., a.a.O., S. 127f.
- <sup>85</sup> Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland. Bad Honnef, September 2005, S.III.
- <sup>86</sup> WBGU Über Kioto hinaus denken. Berlin 2004. S. 1f.
- <sup>87</sup> ebenda, S. 2.
- <sup>88</sup> WBGU Energiewende zur Nachhaltigkeit, 2003, S. 115.
- <sup>89</sup> Strategie für eine erfolgreiche Bekämpfung der globalen Klimaänderung. KOM (2005)35, Amtsblatt C125 vom 21.Mai 2005.
- <sup>90</sup> Grill, B. Die Zeit. Hamburg, 4. September 2002.
- <sup>91</sup> Wara, M. Nature 445 (2007), S. 595.
- <sup>92</sup> Holdren, J. P. Science 315 (2007), S. 737.
- <sup>93</sup> Nature 445 (2007), S. 567.
- <sup>94</sup> Wallerstein, I. Utopistik. Wien 2002, S. 99.
- <sup>95</sup> Meinshausen, M. in Schellnhuber (Hrsg.), a.a.O., S 266.
- <sup>96</sup> den Elzen, M.; Meinshausen, M. in ebenda, S. 299.
- <sup>97</sup> Allen, M. u.a. in Schellnhuber, J.M. (Hrsg.), S. 281.
- <sup>98</sup> Warren, R. in ebenda, S. 93.
- <sup>99</sup> Rawley, W. in Bacon, F. Neu-Atlantis. Stuttgart 1982, S. 3.
- <sup>100</sup> Bacon, F. ebenda, S. 56.
- <sup>101</sup> Rahmstorf, S.; Schellnhuber, H.J., a.a.O., S. 89.
- <sup>102</sup> Snow, C, P. The Two Cultures And The Scientific Revolution. Cambridge 1960, S. 3.
- <sup>103</sup> ebenda, S. 15.
- <sup>104</sup> Lanius, K. Weltbilder. Leipzig 2005.

- <sup>105</sup> Voltaire, zitiert in Klenner, H. Sitzungsberichte der Leibnitz-Sozietät 46 (2001), S. 125.  
<sup>106</sup> ebenda, S. 125.  
<sup>107</sup> ebenda.  
<sup>108</sup> ebenda, S. 128.  
<sup>109</sup> Wolgast, S. Philosophie in Deutschland zwischen Reformation und Aufklärung. Berlin 1988, S. 106f.  
<sup>110</sup> Bacon, F. Neues Organon. Teil I, Hamburg 1999, S. 211.  
<sup>111</sup> ebenda, S. 181.  
<sup>112</sup> ebenda, S. 237.  
<sup>113</sup> Bacon, F. Neu-Atlantis. a.a.O., S. 43.  
<sup>114</sup> ebenda, S. 43ff.  
<sup>115</sup> Bacon, F. Novum Organon. a.a.O., S. 11.  
<sup>116</sup> ebenda, S. 269.  
<sup>117</sup> Klenner, H., a.a.O., S. 142.  
<sup>118</sup> ebenda.  
<sup>119</sup> Sprat, T. The History of the Royal Society of London. London 1667. Zitiert in Bernal, J. D. Die Wissenschaft in der Geschichte. Berlin 1954 S. 318f.  
<sup>120</sup> Aus dem Vers von Horaz *Nullius addictus jurare in verba magistri*. „Nicht gezwungen zu sein, auf die Worte irgendeines Lehrers zu schwören.“  
<sup>121</sup> Leprince-Ringuet, L. Die großen Erfinder. Genf 1951, S. 216.  
<sup>122</sup> Bernal, J. D. a.a.O., S. 350f.  
<sup>123</sup> Hartkopf, W. Die Akademie der Wissenschaften der DDR. Berlin 1975, S. 15.  
<sup>124</sup> ebenda, S. 22.  
<sup>125</sup> ebenda, S. 24.  
<sup>126</sup> ebenda, S. 29.  
<sup>127</sup> ebenda, S. 30.  
<sup>128</sup> ebenda, S. 33.  
<sup>129</sup> Leprince-Ringuet, L., a.a.O., S. 69.  
<sup>130</sup> Physiker über Physiker. Berlin 1975, S. 84.  
<sup>131</sup> Bernal, J. D., a.a.O., S. 417.  
<sup>132</sup> Leprince-Ringuet, L., a.a.O., S. 138.  
<sup>133</sup> König, W. in Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 75 (2004), S. 191f.  
<sup>134</sup> Leprince-Ringuet, L., a.a.O., S. 123.  
<sup>135</sup> Westinghouse, G. zitiert in [www.Wikipedia.de](http://www.Wikipedia.de) unter Westinghouse, George.  
<sup>136</sup> Hartkopf, W., a.a.O., S. 55.  
<sup>137</sup> Laitko, H. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 81 (2005), S. 29.  
<sup>138</sup> Hartkopf, W., a.a.O., S. 64.  
<sup>139</sup> ebenda, S. 76.  
<sup>140</sup> König, W., a.a.O., S. 195.  
<sup>141</sup> Eberl, U. Physik Journal 4 (2005), S. 69.  
<sup>142</sup> ebenda, S. 65.  
<sup>143</sup> ebenda, S. 71.  
<sup>144</sup> Bernal, J.D., a.a.O., S. 495.  
<sup>145</sup> Wells, H. G. Die Zeitmaschine. Frankfurt a.M. 1982.  
<sup>146</sup> Silver, L. Das geklonte Paradies. München 1998.  
<sup>147</sup> Rees, M. Unsere letzte Stunde. München 2005, S. 79.  
<sup>148</sup> Colvin, V. Safety By Design, AAAS-Annual Meeting 2007.  
<sup>149</sup> Nowotny, H. Unersättliche Neugier. Berlin 2005, S. 52.  
<sup>150</sup> Planck, M. Wege zur physikalischen Erkenntnis. Leipzig 1944, S. 52.  
<sup>151</sup> Nowotny, H., a.a.O., S. 52.  
<sup>152</sup> ebenda, S. 869.  
<sup>153</sup> ebenda, S. 100.  
<sup>154</sup> Erklärung zum Appell an die neugewählte Bundesregierung anlässlich des 60. Jahrestages des Abwurfs der Atombombe auf Hiroshima. [www.atomwaffenfrei.de/inhalt/unterschriftenkamp.htm](http://www.atomwaffenfrei.de/inhalt/unterschriftenkamp.htm)  
<sup>155</sup> ebenda.  
<sup>156</sup> Brumfield, G. Nature 442 (2006) S. 18.  
<sup>157</sup> Zahrnt, A. Die Umweltpartei am Kabinetttisch. [www.bund.net/lab/reddot2/pdf/gruene\\_bundestag.pdf](http://www.bund.net/lab/reddot2/pdf/gruene_bundestag.pdf)  
<sup>158</sup> Mullhall, D. Die Zeit, 22/1998.  
<sup>159</sup> Scheer, H. Energieautonomie. Münster 2005, S. 201f.  
<sup>160</sup> Mullhall, D., a.a.O.  
<sup>161</sup> Scheer, H., a.a.O., S. 210.

<sup>162</sup> Heym, St. Stalin verläßt den Raum. Leipzig 1999, S. 112.

<sup>163</sup> Wolf, Ch. Der Störfall. Berlin 1987, S. 93.

<sup>164</sup> Wolf, Ch., ebenda, S. 62.

<sup>165</sup> Mittenzwei, W. Die Intellektuellen. Leipzig 2002, S. 412.

<sup>166</sup> ebenda, S. 384f.

<sup>167</sup> Mittenzwei, W. Zwieliht. Leipzig 2004, S. 316.

<sup>168</sup> Brecht, B. Flüchtlingsgespräche, in Band IV der Werke in fünf Bänden. Berlin 1973, S. 471.

<sup>169</sup> Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen. Die Verleihung der Otto-Hahn-Friedensmedallie 1993 an Sir Karl Popper (Hrsg. Schramm, J.) Berlin 1994, S. 36.