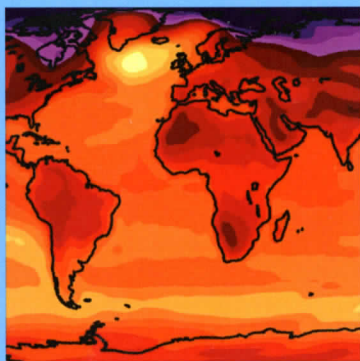
 WISSEN  
C.H. BECK

S. Rahmstorf  
H. J. Schellnhuber

# DER KLIMAWANDEL



## 5. Die Lösung des Klimaproblems

In den voranstehenden Kapiteln haben wir gezeigt, dass

1. das Klimasystem der Erde zu großen Schwankungen fähig ist,
2. die moderne Industriegesellschaft bereits dabei ist, eine besonders starke und rasche Schwankung auszulösen,
3. die Auswirkungen dieses Eingriffs auf Natur und Kultur massiv und überwiegend negativ sein werden und
4. die Versuche, das Problem kleinzureden, eher von Wünschen oder Eigeninteresse als von wissenschaftlicher Einsicht beflügelt sind.

Somit steht die Menschheit vor einem sehr realen und sehr schwierigen Problem, das es in angemessener Weise zu lösen gilt. Aber was bedeutet der Ausdruck «Lösung» in einem solchen Zusammenhang überhaupt? Der Antwort auf diese nur scheinbar akademische Frage kann man sich über zwei verschiedene Denkansätze annähern: Der erste davon kreist um das Begriffspaar «Ursache–Wirkung» und entspricht der Denkweise der Naturwissenschaften, der zweite stellt das Begriffspaar «Kosten–Nutzen» in den Mittelpunkt und entspringt dem ökonomisch-utilitaristischen Weltbild.

### **Vermeiden, Anpassen oder Ignorieren?**

Der Ursache-Wirkung-Ansatz lässt sich in einer prägnanten Formel zusammenfassen. Diese lautet:

$$\text{Klimaschaden} = \text{Klimaanfälligkeit} \times \text{Klimaänderung} \quad (\text{G1})$$

Gemeint ist, dass die negativen Folgen der Treibhausgasemissionen sich proportional zum tatsächlich eintretenden Klimawandel verhalten werden, aber auch proportional zur klimatischen Verwundbarkeit («Vulnerabilität») der betroffenen Systeme. Besonders anfällig sind etwa Ökosysteme in den tropischen und

polnahen Breiten oder Wirtschaftssektoren, die stark von Wasserverfügbarkeit und -qualität abhängen wie Landwirtschaft und Tourismus (siehe Kap. 3).

Obwohl G1 eine grobe Vereinfachung eines hochkomplexen Geschehens darstellt, liefert diese Gleichung doch eine erste sinnvolle Abschätzung der menschengemachten Klimawirkung und – was noch wichtiger ist – eine Orientierungshilfe für die systematische Diskussion der in Frage kommenden Lösungsstrategien: Im Idealfall kommt es zu keinerlei Klimaschäden, d. h., die linke Seite von G1 ist gleich null. Formal wird dies dadurch erreicht, dass entweder die Klimaänderung oder die Klimaanfälligkeit, also einer der beiden Faktoren auf der rechten Seite der Gleichung, auf null gebracht wird.

Realistischerweise muss man akzeptieren, dass eine solche perfekte Lösung des Problems nicht existiert, dass die bewussten Faktoren durch geeignete gesellschaftliche Anstrengungen jedoch relativ klein gehalten bzw. klein gestaltet werden können. Die möglichst weitgehende Begrenzung der Klimaänderung wird als *Vermeidung* (im Englischen: *mitigation*) bezeichnet, die möglichst weitgehende Verringerung der Klimaanfälligkeit als *Anpassung* (im Englischen: *adaptation*). Offensichtlich gibt es noch eine dritte «Lösungsmöglichkeit», nämlich weder Vermeidungs- noch Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen und dem Klimaschicksal seinen Lauf zu lassen. Diese nicht ganz unbedenkliche Option wollen wir als *Laissez-Faire-Strategie* bezeichnen. Letztere entspricht dem willkürlichen Ignorieren der linken Seite von G1.<sup>121</sup>

Die Diskussion der einzelnen Lösungsstrategien und ihres Verhältnisses zueinander wird Hauptgegenstand dieses Kapitels sein, aber wir können schon jetzt konstatieren, dass «Vermeidung» vor allem mit technologischem Fortschritt bei der «Dekarbonisierung» unserer Wirtschaftsmaschinerie zu tun hat, «Anpassung» vor allem mit intelligenter und flexibler gesellschaftlicher Organisation und «Laissez-Faire» mit Moral (bzw. ihrer Abwesenheit). Denn eine internationale Politik, welche den ungebremsten Klimawandel billigend in Kauf nähme, würde fast alle Lasten der kostenlosen Nutzung der Atmosphäre als

Müllkippe den kommenden Generationen in den besonders klimasensiblen Entwicklungsländern aufbürden. Viele nichtstaatliche Umweltgruppen empfänden diese Perspektive als amoralische Krönung der historischen Ausbeutung der «Dritten Welt» durch die Industrieländer, die für den überwiegenden Teil der bisherigen Treibhausgasemissionen verantwortlich sind (siehe hierzu die Abbildung auf der hinteren Umschlaginnenseite).

Insofern ist eine reine Laissez-Faire-Strategie bei der Handhabung des Klimaproblems nur vorstellbar, wenn sie von «gerechtigkeitsfördernden» Maßnahmen flankiert würde: Beispielsweise könnte man grundsätzlich abwarten, wie sich die weltweiten Klimawirkungen entfalten und dann, bei klar identifizierbaren Schadensereignissen, die Betroffenen für ihre Verluste kompensieren. Manche Ökonomen argumentieren etwa, dass es wesentlich günstiger wäre, die Bevölkerungen der vom steigenden Meeresspiegel bedrohten Südseeinseln auf Kosten der Industrieländer nach Australien oder Indonesien umzusiedeln, statt die Wirtschaft durch Beschränkungen für Treibhausgasemissionen zu belasten. Dabei werden jedoch die sozialen und ethischen Probleme vergessen, und die Gefahr ist groß, dass mit solchen Überlegungen eine geopolitische Pandorabüchse geöffnet wird.

Immerhin kann man sich auch moralisch weniger fragwürdige Varianten einer globalen Politik vorstellen, welche auf direkte Vermeidung des Klimawandels bewusst verzichtet: Beispielsweise könnte unter der Schirmherrschaft der Vereinten Nationen ein weltweites Klimapflichtversicherungssystem eingeführt werden (analog zur Pflichtversicherung in einer Kranken- oder Pflegekasse). Jeder Mensch würde durch Geburt Mitglied der «Klimakasse», aber seine jährlich anfallenden Versicherungsprämien würden von den Staaten der Erde aufgebracht – und zwar nach Maßgabe ihres jeweiligen Anteils an den gesamten Treibhausgasemissionen. Mit dem eigentlichen Betrieb des Systems könnten private Versicherungsunternehmen über marktwirtschaftliche Ausschreibungsverfahren beauftragt werden. Selbstverständlich würde sich rasch eine starke regionale Differenzierung bei der Prämienhöhe einstellen, welche der jeweiligen Klimaanfälligkeit der versicherten Menschen und ihrer Güter

Rechnung tragen müsste. Damit würde sich übrigens die heutige Weltversicherungssituation umkehren: In den vom Klimawandel besonders gefährdeten Entwicklungsländern existiert gegenwärtig im Grunde noch nicht einmal irgendein traditioneller Versicherungsschutz, ganz zu schweigen von einem kollektiven Aufwandsystem im Klimaschadensfall. Ob sich allerdings jemals ein Versicherungsträger finden wird, der bereit ist, beispielsweise für die Destabilisierung des indischen Sommermonsuns<sup>122</sup> zu haften, ist mehr als fraglich.

### **Gibt es den optimalen Klimawandel?**

Damit sind wir schon ganz dicht an die grundsätzliche Alternative zum Kausalansatz in der Klimapolitik herangerückt: der ökonomischen Optimierung. Im Rahmen dieser Strategie versucht man nicht, ein konkretes Problem – um möglicherweise jeden Preis – zu eliminieren, sondern beim gesellschaftlichen Handeln größtmöglichen Gewinn – im verallgemeinerten Sinne – zu erzielen. Der Ansatz lässt sich wiederum an einer einfachen Formel verdeutlichen, nämlich:

Gesamtnutzen des Klimaschutzes =  
Abgewendeter Klimaschaden – Vermeidungskosten – Anpassungskosten (G2)

G2 ist weitgehend selbsterklärend, zumal wir oben bereits die hauptsächlichen Handlungsoptionen – Vermeidung und Anpassung – skizziert haben. Die Formel betrachtet jedoch vor allem die Aufwendungen, die mit diesen Optionen verbunden sein dürften. Im Rahmen der reinen utilitaristischen Lehre ist nun genau diejenige Kombination von Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen im Rahmen einer globalen Klimaschutzstrategie zu wählen, welche die Differenz auf der rechten Seite von G2 maximiert. Es geht hier also in erster Linie *nicht* darum, die potentiellen Klimaschäden auf null zu drücken. Sind die entsprechenden Maßnahmen volkswirtschaftlich zu kostspielig, dann muss man eben auf sie verzichten. Im Extremfall – wenn der Wert der abgewendeten Schäden im Vermeidungs- wie im Anpassungsfall unter dem Wert der Aufwendungen läge – wäre sogar eine totale

Laissez-Faire-Strategie ohne flankierende Maßnahmen gerechtfertigt. Die meisten Kosten-Nutzen-Theoretiker gehen allerdings davon aus, dass die optimale Strategie sowohl echte Vermeidungs- als auch Anpassungsanstrengungen umfassen würde. Konkret liefe dieser Ansatz auf die Ermittlung eines «optimalen» Zielwertes für die menschgemachte Änderung der globalen Mitteltemperatur hinaus: nicht weniger als nötig für das Erkaufen des weltweiten Wohlstandszuwachses, nicht mehr als vertretbar für das Beherrschen der Risiken und Nebenwirkungen!

Die Vorstellung von der Existenz einer solchen perfekt gewählten Temperaturveränderung ist bestechend, aber leider eine Illusion. Wir nennen vier Gründe, warum die reine Kosten-Nutzen-Analyse auf die Klimaproblematik nicht anwendbar ist:

*Erstens* suggeriert G2, dass man lediglich eine simple Bilanz aus mehreren Posten aufzustellen hat – doch was ist die passende «Währung» dafür? Man kann natürlich versuchen, Klimaschäden und Klimaschutzaufwendungen als Geldwert darzustellen. Dies wird allerdings spätestens dann dubios, wenn es gilt, die Menschenleben zu «monetarisieren», welche durch den Klimawandel verloren gehen könnten. Ähnliches gilt für den Wert von Ökosystemen oder zum Aussterben verurteilter Tier- und Pflanzenarten.

*Zweitens* ist es praktisch unmöglich, auch nur eine der drei Größen in der Formel exakt zu bestimmen – selbst wenn man sich auf rein wirtschaftliche Aspekte beschränken dürfte. Die entsprechenden Berechnungen müssten hauptsächlich auf modellgestützte Prognosen für weltweite Effekte in den kommenden Jahrhunderten (!) vertrauen. Unser Wissen über die zu erwartenden Klimaschäden ist noch sehr unsicher, auch wenn es in den letzten Jahren große Fortschritte in der sogenannten «Attribution Science», der Wissenschaft von der Zuordnung von Vorgängen oder Schäden zum Klimawandel, gegeben hat.<sup>123</sup> Nicht einmal bei bereits eingetretenen Ereignissen wie dem Hurrikan *Maria* vom September 2017 herrscht notwendigerweise Einigkeit über die Folgen, ja nicht einmal über die Zahl der Opfer: Während die offizielle Zählung auf 64 Tote kommt, legt eine Studie des *New England Journal of Medicine* nahe, dass in den

darauffolgenden Monaten insgesamt 4645 Menschen an den direkten und indirekten Folgen, wie mangelnder medizinischer Versorgung, gestorben sind.<sup>124</sup> Potenziert wird dieses Zuordnungsproblem, wenn das Klimasystem nicht glatt, sondern sprunghaft reagiert, wie so oft in der Klimageschichte geschehen (siehe Abb. 1.5).

Ähnlich unsicher sind die Anpassungskosten, da man weder die genaue Ausprägung des Klimawandels noch die künftige Organisation der menschlichen Gesellschaft voraussehen kann. Am besten kalkulierbar sind noch die Vermeidungskosten (also etwa durch einen Umbau des Energiesystems), weil es sich dabei um einen geordneten, planbaren Strukturwandel handelt. Da sich das Ergebnis von G2 aus der Differenz großer und unsicherer Zahlen ergibt, kann man je nach Annahme fast jeden beliebigen Zielwert als Resultat dieser «Optimierung» erhalten.

Wir sollten an dieser Stelle betonen, dass sich die Forschung aber sehr wohl um die Auslotung der *Schadenspotentiale* bzw. der *Anpassungsmöglichkeiten* verdient machen kann. Entsprechende Studien, deren Gegenstände am besten durch die englischen Fachausdrücke «Vulnerability» bzw. «Adaptive Capacity» charakterisiert werden, operieren in der Regel im «Wenn-dann-Modus»: Welche Vorsorgemaßnahmen könnte eine (sich ansonsten durchschnittlich entwickelnde) Küstenregion X gegen einen Meeresspiegelanstieg von Y Metern innerhalb von Z Jahren einleiten? Wie groß wären die dennoch zu erwartenden Verluste an Gütern und Menschenleben, wenn jener Meeresspiegelanstieg von den Verschiebungen U, V im regionalen Wind- und Niederschlagsmuster begleitet würde? Solche hypothetischen Fragen lassen sich einigermaßen solide beantworten. Die Antworten sind aber stets nur Fingerzeige für das allgemeine Verhalten der betrachteten Systeme, niemals Vorhersagen seiner tatsächlichen künftigen Entwicklung.

*Drittens* wird man unweigerlich mit dem notorischen Abgrenzungsproblem der Kosten-Nutzen-Analyse konfrontiert: Der anthropogene Klimawandel ist nur ein Teil des allgemeinen Weltgeschehens, das von Millionen von Kräften, Bedürfnissen und Ideen angetrieben wird. Wenn die Staaten der Erde ihre

langfristigen klimapolitischen Entscheidungen tatsächlich nur nach utilitaristischen Gesichtspunkten treffen würden, müssten sie sich natürlich fragen, ob es der Wohlfahrt ihrer Nationen nicht zuträglicher wäre, auf Klimaschutzmaßnahmen jeglicher Art zu verzichten und stattdessen in Gesundheits-, Bildungs- und Sicherheitssysteme zu investieren. Dies ist der Ansatz des so genannten «Copenhagen Consensus», den der Däne Björn Lomborg – einer der populären Kritiker der gegenwärtigen internationalen Klimaschutzbemühungen – 2004 organisiert hat.<sup>125</sup> Der Versuch, einen allumfassenden Wohlfahrtsvergleich aller denkbaren staatlichen Maßnahmen vorzunehmen, muss aber nicht nur am Informationsmangel (siehe *zweitens*) scheitern, er verkennt auch völlig die Natur von realpolitischen Entscheidungen: Die deutsche Wiedervereinigung wurde von der Regierung Kohl nicht auf der Grundlage einer präzisen Kosten-Nutzen-Analyse vorangetrieben, sondern weil sich plötzlich ein «Window of Opportunity» auftat und weil es ethisch, historisch, emotional etc. richtig erschien, diese unverhoffte Chance zu nutzen. Staaten wählen ihre Ziele nicht aufgrund gewinnmaximierender Berechnungen, sondern versuchen – im besten Fall – einmal gesteckte Ziele mit möglichst geringem Aufwand zu erreichen.

*Viertens* verschwinden die bereits erwähnten Gerechtigkeitsaspekte keineswegs, wenn man mit Hilfe von Formel G2 den scheinbar optimalen Klimawandel kalkuliert, denn eine Politik, die für die Erdbevölkerung der nächsten Jahrhunderte summarisch den größten Nutzen verheißt, kann einzelnen Gesellschaften oder Individuen größten Schaden zufügen. Optimierung bedeutet: Jede CO<sub>2</sub>-Emission, die global mehr Nutzen als Schaden bringt, ist nicht nur erlaubt, sondern gewollt – weniger zu emittieren wäre suboptimal. Eine Emission, die den Verursachern 100 Milliarden US-Dollar Nutzen bringt, die aber anderswo 99 Milliarden US-Dollar Schaden verursacht, ist damit ausdrücklich erwünscht. Man versteht den Charme, den dieser Ansatz gerade für US-Ökonomen hat. Die Inuit Alaskas und Kanadas wären dagegen vermutlich wenig begeistert, wenn ihre Lebensräume auf dem Altar der Weltsozialproduktmaximierung geopfert würden. Dieses Problem betrifft auch die Gerechtigkeit

zwischen den Generationen, da künftige Klimaschäden in Kosten-Nutzen-Rechnungen «abdiskontiert» werden – typischerweise mit 3 % pro Jahr. Eine Maßnahme, die heute Investitionen erfordert, aber erst in 30 Jahren spürbaren Nutzen bringt, erscheint dann sehr ineffektiv. Langfristige Folgen des Klimawandels, wie der Meeresspiegelanstieg, werden dadurch im Grunde vernachlässigt.

### **Globale Zielvorgaben**

All diese Argumente haben hoffentlich deutlich gemacht, dass es keine realistische Alternative zum Ursache-Wirkung-Ansatz gibt: Das anthropogene Klimaproblem wird als solches von der Menschheit erkannt und gelöst – so gut es eben geht. Immerhin existieren bereits völkerrechtlich verbindliche Übereinkünfte und international abgestimmte Klimaschutzziele. Von alles überragender Bedeutung ist dabei die so genannte Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC). Diese Konvention wurde während der legendären Rio-Konferenz im Juni 1992 von insgesamt 166 Staaten unterzeichnet, weitere Länder folgten. Mit heutzutage 197 Mitgliedern hat die Klimarahmenkonvention praktisch universelle Akzeptanz erreicht. Obwohl es sich tatsächlich nur um eine Rahmenvereinbarung handelt, welche durch Zusatzprotokolle in konkrete Politik umgesetzt werden muss, enthält die UNFCCC Passagen von immenser Schub- bzw. Sprengkraft. Am bedeutsamsten ist Artikel 2, worin eine Festlegung des globalen Klimaschutz-Ziels für die Menschheit versucht wird. Im genauen Wortlaut heißt es da:

«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 Ökosys-

teme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.»

Diese Formulierung war bereits Gegenstand von unzähligen Aufsätzen und Reden, denn was genau hat man unter «einer gefährlichen anthropogenen Störung des Klimasystems» zu verstehen? Im Fachjargon stellt sich damit die Frage nach der «Operationalisierung des Klimaziels der Vereinten Nationen». Es ist offensichtlich, dass die oben diskutierte Kosten-Nutzen-Analyse hier nicht recht weiterhilft, wenngleich der Artikel 2 durchaus bestimmten zu vermeidenden Klimafolgen potentielle wirtschaftliche Verluste infolge von Klimaschutz gegenüberstellt. Insofern liefert G2 eine hilfreiche Checkliste für die Berücksichtigung der wichtigsten Faktoren beim Klimamanagement. Artikel 2 summiert allerdings die einzelnen Posten nicht auf, sondern verlangt die *gleichzeitige* Erfüllung qualitativ ganz unterschiedlicher Forderungen. Damit bewegt man sich eindeutig im Ursache-Wirkung-Weltbild. Gesucht ist nun die Klappe, mit der sich alle Klimafolgen auf einmal (er)schlagen lassen.

Die Europäische Union ist der Meinung, diese Klappe gefunden zu haben: Auf dem 1939. Ratstreffen am 25. Juni 1996 in Luxemburg wurde übereinstimmend festgestellt, dass «der globale Temperaturmittelwert das vorindustrielle Niveau nicht um mehr als 2 °C übersteigen sollte und dass deshalb die globalen Bemühungen zur Begrenzung bzw. Reduktion von Emissionen sich an atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen unterhalb von 550 ppm orientieren sollten.»<sup>126</sup> Die 2-Grad-Grenze ist seither immer wieder durch verschiedene Gremien bestätigt worden und liefert somit den Fluchtpunkt aller europäischen Klimaschutzstrategien schlechthin. Seit dem Klimagipfel im mexikanischen Cancún im Dezember 2010 ist diese Begrenzung der Erderwärmung offizielles Ziel der globalen Klimaschutzbemühungen, und in den Stand einer völkerrechtlichen Vereinbarung wurde die Leitplanke schließlich beim Klimagipfel in Paris im Jahr 2015 (siehe Abschnitt «Der Pariser Klimavertrag») erhoben.

Damit tragen die EU und die Weltgemeinschaft den Ergebnis-

sen eines intensiven und ausgedehnten klimapolitischen Diskurses Rechnung, der unter anderem von der Enquêtekommission des Deutschen Bundestags «Schutz der Erdatmosphäre» in den frühen 1990er Jahren vorangetrieben<sup>127</sup> und der 1995 vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) auf den Punkt gebracht wurde: In einem Sondergutachten zur ersten Vertragsstaatenkonferenz (VSK) zur Ausgestaltung der Klimarahmenkonvention führt der WBGU die Vorstellung des «Tolerierbaren Klimafensters» ein.<sup>128, 129</sup> Gemeint ist damit vor allem, dass die von Menschen angestoßene Änderung der globalen Mitteltemperatur 2 °C *insgesamt* nicht übersteigen und gleichzeitig die Temperaturänderungsrate für die Erde nicht höher als 0,2 °C pro Dekade ausfallen soll. Dabei handelt es sich letztlich um eine normative Setzung, wie sie beim Umgang mit kollektiven Risiken sinnvoll und üblich ist – ähnlich etwa der Geschwindigkeitsbegrenzung auf Landstraßen, deren exakter Wert sich nicht wissenschaftlich herleiten lässt und somit Ergebnis einer Abwägung ist.

Die Zielvorgaben des WBGU stützten sich ursprünglich auf sehr einfache und robuste Argumente – insbesondere auf den Grundgedanken, dass ein Erderwärmungsverlauf außerhalb des Toleranzfensters Umweltbedingungen jenseits der Erfahrungswelt der menschlichen Zivilisationsgeschichte herbeiführen dürfte (und damit nur mit großen Mühen und Opfern verkraftbar wäre).

Seitdem aber haben viele wissenschaftliche Untersuchungen, Gutachten und Konferenzen dieses Toleranzfenster wieder und wieder bestätigt. Dadurch ist nämlich ein Gesamtbild der «planetaren Kritikalität» entstanden: Neuralgische Punkte im globalen Umweltsystem, oft als «Kippunkte» bezeichnet, dürften im Zuge der Klimaerwärmung erreicht oder überschritten werden – die Folgen können abrupt und/oder unumkehrbar sein (siehe Kapitel 3). Die resultierende Einsicht, dass schon im Korridor von 1,5 bis 2 °C Erwärmung einige dieser roten Linien überschritten würden, haben die Autoren 2016 in der Fachzeitschrift *Nature Climate Change* vorgestellt,<sup>130</sup> und in der Abbildung 5.1 zusammengefasst.

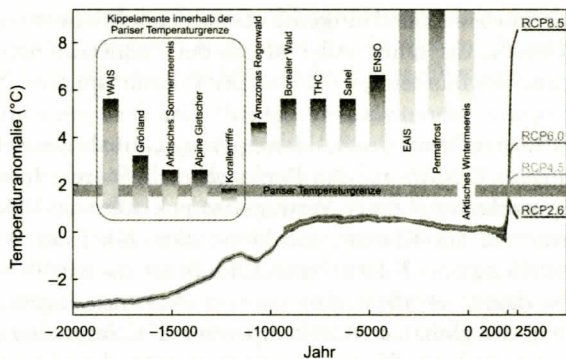


Abb. 5.1: Kippelemente im Klimasystem im Kontext der globalen Temperaturentwicklung. Der Temperaturbereich, in dem der entsprechende Kippunkt liegt, ist für jedes Kippelement als Säule dargestellt. Die Kurven bilden die Temperaturgeschichte der Erde ab sowie verschiedene Erwärmungsszenarien. Letztere werden als RCPs, Representative Concentration Pathways, bezeichnet und repräsentieren mögliche, je nach eingeschlagenem Emissionspfad erwartbare Zukünfte. Abbildung nach Schellnhuber et al.<sup>130</sup>

Die Klimaschutzauflage ist also gestellt und wiederholt bestätigt – wie aber den Weg dorthin gestalten?

### Der Gestaltungsraum für Klimälösungen

Die Wunderwaffe («The Silver Bullet», wie die Amerikaner sagen) gegen die zivilisatorische Störung der Erdatmosphäre gibt es wohl nicht. Der Gestaltungsraum für Klimälösungen umfasst vielmehr ein diverses Feld entlang verschiedener Strategietypen und räumlicher Operationsskalen, welches wir im Folgenden sukzessive beackern werden.

### Das Kyoto-Protokoll

Einer der beiden Autoren dieses Buches nahm 1997 als Experte im Tross der deutschen Delegation (angeführt von der damaligen Bundesumweltministerin und jetzigen Bundeskanzlerin Angela Merkel) an der historischen 3. VSK im winterlich frostklir-

renden Kyoto teil. Er wurde Zeuge, wie in wirren, endlosen Nachtsitzungen erschöpfte Klima(unter)händler aus aller Herren Länder ein bürokratisches Monstrum ins Leben riefen – das nach dem japanischen Konferenzort benannte «Kyoto-Protokoll» zur Umsetzung der Klimarahmenkonvention von Rio. Er kann bestätigen, dass das mit der heißen Nadel gestrickte und mit entsprechenden Gewebefehlern behaftete Vertragswerk letztlich durch den Ergebniswillen des damaligen US-Präsidentengespanns Clinton–Gore erzwungen wurde. Eine gewisse Ironie der Geschichte angesichts der unerbittlichen Ablehnung des Kyoto-Protokolls durch die folgenden US-Regierungen.

Über dieses legendäre und inzwischen überholte Protokoll wurden schon unzählige Bücher und Artikel von Wissenschaftlern, Politikakteuren und Journalisten verfasst. Hier sind die wesentlichen Elemente:

Der Vertrag war als großer und langfristiger Wurf angelegt, denn der Zeitraum 2008–2012 wurde als erste von möglicherweise vielen Verpflichtungsperioden vereinbart. Die mittleren Emissionen von insgesamt 39 Parteien aus der industrialisierten Welt (spezifiziert im Protokoll-Annex B) in dieser ersten Messperiode sollten gegenüber dem Stichjahr 1990 um *insgesamt* 5,2% sinken. Jedoch wurden höchst unterschiedliche nationale Verpflichtungen festgelegt – hierin besteht übrigens ein wesentlicher Unterschied zu der Herangehensweise des Pariser Klimavertrages (S. 119 ff.): Solche konkreten und teils unergründlichen Zuordnungen (z. B. USA –7%) gibt es jetzt nicht mehr.

Auch jenseits dieser Zahlenmystik hatte das Kyoto-Protokoll durchaus kreative Züge – insbesondere belegt durch die Einführung der so genannten *Flexiblen Mechanismen*, die den Vertragsstaaten die Umsetzung ihrer Verpflichtung erleichtern sollten. Im Einzelnen handelte es sich um drei Instrumente, die im Fachchinesisch der Klimadiplomaten die englischen Bezeichnungen «Emissions Trading» (ET), «Joint Implementation» (JI) und «Clean Development Mechanism» (CDM) erhalten haben. Im Wesentlichen waren alle drei Optionen ausgefeilte Verrechnungsmethoden für die zugeteilten nationalen «Verschmutzungsrechte».

Die völkerrechtlich wasserdichte Beschreibung und die konkrete operationelle Ausgestaltung der Flexiblen Mechanismen ist für den Laien ein Buch mit sieben Siegeln. Doch außer seiner monströsen Komplexität hatte das Kyoto-Protokoll weitere Schwachstellen.

Das Vertragswerk zog beispielsweise eine besonders unübersichtliche politische Schublade auf, nämlich die Anrechnung so genannter «biologischer Senken» auf die Reduktionspflichten. Wenn ein Land zum Beispiel durch (Wieder-)Aufforstung von Flächen (vorübergehend) CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernte, dann sollte dies positiv zu Buche schlagen. Die Grundidee ist nicht uninteressant, da die Regelung im Idealfall eine Brücke zwischen Klima- und Biosphärenschutz schlagen kann. Problematisch ist jedoch vor allem die Überprüfbarkeit. Zum anderen werden möglicherweise «perverse Anreize» gegeben: So könnte die Möglichkeit, sich Wiederaufforstungen anrechnen zu lassen, ohne dass die Kohlenstoffemissionen aus den vorangehenden Rodungen erfasst werden, sogar noch zum Abholzen von Primärwäldern ermuntern.

Enttäuschend waren auch die bei weitem nicht ausreichenden Reduktionsverpflichtungen. Das Kyoto-Protokoll stellte ohnehin nur einen kleinen ersten Schritt auf dem Weg zur notwendigen Kohlenstoffneutralität bis 2050 dar.<sup>131</sup>

Es war aber als Grundstein in einer Gesamtarchitektur für den Klimaschutz unter dem Dach der VN gedacht. Doch gerieten 2009 beim Klimagipfel in Kopenhagen die Verhandlungen für das «Post-Kyoto-Regime», das nach 2012 greifen sollte, erheblich ins Stocken (siehe unten). Ein Knackpunkt dabei war der Interessenausgleich zwischen Industriestaaten und den Entwicklungs- und Schwellenländern. Letztere haben zwar noch niedrigere Pro-Kopf-Emissionen, dafür aber große Zuwachsraten. Ein Klimaschutz-Regime, das diesen Trend nicht umzubiegen vermag, indem es die Entwicklungs- und Schwellenländer auf nachhaltige und gerechte Weise ins Boot holt, ist zum Scheitern verurteilt – selbst wenn die reichen Staaten ihren Verpflichtungen nachkommen sollten.

Umso mehr ist eine globale Perspektive und die Einbindung

aller großen Emittenten in eine Klimaschutzarchitektur erforderlich – inwieweit dies mit dem Pariser Klimavertrag von 2015 gelungen ist, soll später ausführlich besprochen werden.

### **Der WBGU-Pfad zur Nachhaltigkeit**

«Ist das Klima noch zu retten?» Diese immer häufiger gestellte Frage erscheint angesichts der inzwischen eingetretenen höchsten Dringlichkeitsstufe leider allzu berechtigt. Aber es gibt durchaus Grund zur Hoffnung, ja zum Optimismus. Der WBGU hat in einer Reihe von Gutachten<sup>132, 133, 134, 135, 136, 137</sup> aufgezeigt, wie sich die zureichende Energieversorgung der Menschheit, der wirksame Schutz der Erdatmosphäre und der faire Lastenausgleich innerhalb der Staatengemeinschaft gleichzeitig bewerkstelligen lassen. Dafür muss allerdings die Politik in großem Stile handeln, die Wirtschaft in kühner Weise investieren und die Gesellschaft entschlossen an einer neuen Industriellen Revolution mitwirken.

Der WBGU-Ansatz weist drei Kernelemente auf: 1. die klare Ausweisung von nachhaltigen Rahmenbedingungen («Leitplanken») für jegliche Strategie; 2. den expliziten Entwurf von Umbauszenarien für das Weltenergiesystem, welche jene Leitplanken beachten; 3. die unzweideutige Benennung der erforderlichen völkerrechtlichen und strukturpolitischen Maßnahmen. Wir werden diese Elemente im Folgenden kurz skizzieren.

Alle Überlegungen sind geprägt von der Grundannahme, dass die Weltwirtschaft im 21. Jahrhundert rasant weiterwachsen und sich dies in einem deutlich gesteigerten globalen Bedarf an Energiedienstleistungen widerspiegeln wird. Eine solche Entwicklung ist nicht nur politisch kaum unterdrückbar, sondern potentiell auch mit einer Reihe von ausgesprochen wünschenswerten Zügen verbunden: Insbesondere kann sie die heutige «Energiearmut» der Dritten Welt beseitigen, wo gegenwärtig rund zwei Milliarden Menschen keinen Zugang zu modernen Energieformen haben. Eine auf den freiwilligen oder erzwungenen Energieverzicht der Entwicklungs- und Schwellenländer gegründete globale Umweltschutzstrategie wäre nicht



nur zum Scheitern verurteilt, sondern auch verlogen und ungerrecht. Der WBGU geht daher von einer weltweit weiter wachsenden Nachfrage nach Energiedienstleistungen aus. Dennoch kann der globale Primärenergiebedarf bis 2050 sinken. Das liegt daran, dass heute der größere Teil der eingesetzten Primärenergie als Abwärme vergeudet wird. Bei einem Kohlekraftwerk mit Wirkungsgrad 35 % etwa gehen 65 % der eingesetzten Primärenergie verloren. Erzeugt man dieselbe Strommenge z. B. direkt mit Windkraft, sinkt der «Primärenergiebedarf» damit um 65 %.

2011 hat der WBGU einen exemplarischen Pfad vorgestellt, wie eine weltweite Vollversorgung mit erneuerbaren Energieträgern erreicht werden könnte. Dabei sinkt der Primärenergiebedarf von den heutigen rund 500 Exajoule auf rund 400 Exajoule pro Jahr, die Versorgung mit Endenergie aber wächst. Dabei wird Strom zur wichtigsten Energieform – anders als heute, wo flüssige (Öl) und feste (Kohle) Energieträger dominieren. Strom wird in der Elektromobilität eingesetzt ebenso wie in der Raumheizung durch Wärmepumpen, wodurch große Effizienzgewinne erzielt werden. Der benötigte Strom wird überwiegend aus Wind- und Solarenergie erzeugt. Die Schwankungen der Erzeugung werden durch Lastenausgleich in einem «Super-Smart-Grid» und durch diverse Speicheroptionen ausgeglichen. Notwendig wäre für dieses Szenario eine mittlere jährliche Wachstumsrate der erneuerbaren Energien von 4,8 %.

Der Beirat spezifiziert darüber hinaus zwei Leitplanken zu großtechnischen Optionen, die gegenwärtig im Zentrum heißer umweltpolitischer Debatten stehen: der Kernenergie und der Kohlenstoffspeicherung. Der WBGU-Ansatz sieht *keine* Renaissance der Kernenergie vor, die gegenwärtig etwa 5 % des weltweiten Energiebedarfs deckt. Eine Erhöhung dieses Anteils in den kommenden 30 Jahren, bei wachsendem Energiebedarf und alterndem Reaktorbestand, würde den Bau von vielen hundert neuer Atomkraftwerke erfordern – eine weder realistische noch wünschenswerte Option. Hauptsächlich aufgrund der Risiken, die mit der weltweiten Verbreitung von Reaktortechnologien (u. a. in die Krisengebiete des Mittleren Ostens, Afrikas

und Lateinamerikas) verbunden wären, scheint hier eine langfristige Null-Leitplanke angemessen. Tatsächlich ist das Klima-Energie-Problem auch ohne Atomstrom zu lösen.

Für die Kohlenstoffspeicherung hat sich in der Zwischenzeit erwiesen, dass sie im Zusammenhang mit der Stromproduktion nicht wirtschaftlich sein kann – trotz anfänglicher Hoffnungen wird dieser Ansatz daher nicht weiterverfolgt. Im Zusammenhang mit der Schwerindustrie (z. B. Stahl- und Aluminiumproduktion, Glaserzeugung und Grundstoffchemie) könnte jedoch noch ein Nutzen bestehen, eine Option, die gegenwärtig geprüft wird.

Schließlich postuliert der Beirat auch noch verschiedene Leitplanken für den Ausbau von kohlenstoffneutralen, erneuerbaren Energiegewinnungstechniken wie Wind- und Wasserkraft sowie Biomasse. Diese Leitplanken berücksichtigen wichtige Nachhaltigkeitskriterien.

Es gibt mehrere Szenarien mit unterschiedlichem Energiemix, die alle die eben erläuterten Nachhaltigkeitsbedingungen erfüllen. Sind diese Wunderszenarien, die Energiesicherheit, Klima- und Naturschutz zugleich garantieren sollen, überhaupt realisierbar und, wenn ja, zu welchem Preis? Der WBGU hat zur Beantwortung dieser essentiellen Fragen zum Anfang der 2000er Jahre eine Reihe von Studien und Modellrechnungen in Auftrag gegeben.

Diese Modelle haben sich seitdem stetig fortentwickelt, so dass im letzten Sachstandsbericht des Weltklimarates konsolidierte Abschätzungen zu den Kosten der Klimastabilisierung deutlich unter 2 °C erstellt werden konnten.<sup>138</sup> Demnach führt ein global kostenoptimal durchgeführter Umbau des Energiesystems zu einer Abschwächung des jährlichen Wirtschaftswachstums von im Mittel 0,06 % bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Diese durch den Klimaschutz verursachten Einbußen sind im Vergleich zu den in den Modellen unterstellten Annahmen zur Referenzentwicklung eines jährlichen globalen Wirtschaftswachstums von 1,9–3,8 % ausgesprochen moderat.

Und diesen verhältnismäßig geringen Kosten stünden gewaltige Nutzeffekte gegenüber,<sup>139</sup> auf die wir etwas weiter unten

noch eingehen werden. Allerdings steigen die Kosten der Klimastabilisierung bei einer weiteren Verzögerung umfassender globaler Emissionsminderungsmaßnahmen massiv an.<sup>140</sup> Modellstudien zeigen, dass eine deutliche Stärkung der Klimaschutzanstrengungen bis 2030 unerlässlich ist, um die Klimaschutzziele des Paris-Abkommens in Reichweite zu halten.

Wieso ist aber die Energiewende (noch) so verhältnismäßig billig zu haben? Die Antwort auf diese berechtigte Frage ist so vielschichtig wie die Problemlage, organisiert sich aber um das Zauberwort «Induzierter Fortschritt». Unter normalen gesamtwirtschaftlichen Betriebsbedingungen sorgen die globalen und nationalen Märkte nach den Gesetzen von Angebot und Nachfrage für die beständige Erzeugung und Verbreitung von Innovationen – selbstverständlich auch im Energiesektor. Der Fortschritt im letzteren Bereich ist allerdings nach dem Verdauen der Ölpreisschocks der 1970er Jahre durch die Industrieländer fast zum Erliegen gekommen (die entsprechenden Investitionen könnten infolge hoher Preise auf dem Rohölmarkt wieder anwachsen, auch wenn eher ein Boom bei der Erschließung bisher unrentabler fossiler Lagerstätten zu erwarten ist). Außerdem reicht die durchschnittliche Innovationsdynamik bei weitem nicht aus, um einen großen Strukturwandel vom Kaliber einer neuen Industriellen Revolution auszulösen. Aber die Wirtschaftsgeschichte lehrt, dass unter besonderen Bedingungen sehr wohl Fortschrittsschübe entstehen können, welche unsere Gesellschaft dramatisch verändern (Beispiel: Gründerzeit).

Märkte können *aus innerem Antrieb* die richtigen Antworten auf das Klima-Energie-Problem nur bedingt finden. Eine wohlstandsverträgliche Lösung ist aber sehr wohl möglich, wenn die öffentlichen Hände (sprich: die Regierungen und Behörden) die *richtigen Rahmenbedingungen* schaffen. Die Staaten müssen die Transformation des Energiesystems aktiv gestalten: zum Beispiel durch Auflagen, die von langfristig katastrophalen Investitionsentscheidungen weglenken, und Anreize, die das verfügbare Kapital in nachhaltigkeitsfördernde Unternehmungen locken. Eine essentielle Auflage in diesem Sinne ist z. B. die überprüfbare Begrenzung der Treibhausgasemissionen auf ein tole-

rierbares Maß. Anreize in diesem Sinne sind z. B. die Schaffung des Emissionshandels, der energieeffizienten Akteuren Profit verspricht. In den letzten Jahren wurde allerdings immer stärker argumentiert, dass Emissionshandel mit einem Mindestpreis untersetzt sein müsste. Auch werden unter Ökonomen die Rufe nach einer direkten CO<sub>2</sub>-Steuer lauter.<sup>141</sup>

Konkret zeigen die Modellrechnungen, dass die neue Industrielle Revolution in Richtung Nachhaltigkeit vor allem die folgenden Optionen nutzen muss: 1. Massive Effizienzsteigerungen und Verhaltensänderungen quer durch den Verbraucherkosmos hin zu sparsamerem Umgang mit Primärenergie und Energiedienstleistungen. 2. Ersatz fossiler durch erneuerbare Energien im Rahmen eines durchgreifenden Strukturwandels. Es lohnt sich, wesentliche Aspekte dieser beiden ersten Optionen nochmals kurz hervorzuheben: Die Nachfrage nach Energiedienstleistungen wird durch steigende Preise allein nur wenig gedämpft; eher könnten bewusste Konsumentenentscheidungen aufgrund verbesserter Einsichten in die Klimaproblematik hier eine wichtige Rolle spielen. Die Verminderung der «Kohlenstoffintensität» des fossilen Sektors dürfte kurzfristig hauptsächlich durch die großflächige Substitution von Kohle und Öl durch das (etwas) klimafreundlichere Erdgas erfolgen. Dies hätte einen weiteren Vorteil: Die Gas-Infrastruktur könnte für innovative Techniken zur Energiespeicherung in Zeiten überschüssiger Verfügbarkeit erneuerbarer Energien (Stichwort Power-to-X) oder für Biogas verwendet werden. Langfristig ist jedoch der Strukturwandel zu einer Solargesellschaft unabdingbar. Solarthermie, Windstrom, Photovoltaik und Biomasse sind die Trumpftechnologien der Zukunft. Diese Trümpfe werden allerdings nur dann *rechtzeitig* stechen, wenn die Weltwirtschaft bereit ist, schnell genug zu lernen, und dafür auch die nötige politische Unterstützung bekommt. Technisch ausgedrückt bedeutet dies, dass die «Lernkurven» bei der Etablierung der erneuerbaren Energieformen – aber auch bei der Steigerung der Energieeffizienz im fossilen Energiesektor – steil nach oben weisen müssen. Die Erfahrung zeigt immerhin, dass «Learning by Doing» eine der großen Stärken der demokratischen Markt-

wirtschaft ist: Je tiefer eine Innovation in die Anwendung vordringt und je breiter ihre Klientel wird, desto rascher steigert sie ihre Leistungskraft und Rentabilität. Illustriert wird dies am Beispiel der Photovoltaik: Deren weltweit installierte Kapazität stieg im Zeitraum von 1998 bis 2015 im Mittel um 38% pro Jahr.<sup>142</sup>

Ein anderes hervorragendes Beispiel ist die Windenergie, deren Kosten seit den 1990er Jahren stark gesunken sind, während die Nennleistung stark gestiegen ist und mittlerweile bei den leistungsstärksten Onshore-Anlagen bis zu 6,15 MW pro Einheit beträgt. In Deutschland sind bereits (Stand 2018) rund 29 800 Windkraftanlagen installiert, die 18,8% der nationalen Stromerzeugung erbringen. Schon heute sind Onshore-Windenergieanlagen in ihren Stromgestehungskosten mit Braunkohlekraftwerken vergleichbar. Durch steigende CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise und abnehmende Volllaststunden werden die Kosten für Braunkohlekraftwerke perspektivisch steigen, während die Kosten für Windenergie weiterhin sinken.

Das wahre Potential der Windkraft liegt jedoch nicht hierzulande, sondern in einem transeuropäischen Verbund, durch den der europäische Strombedarf fast vollständig von den besten Windstandorten in und um Europa gedeckt werden könnte.<sup>143</sup> Dies sind u. a. die Küsten Schottlands, Norwegens, Marokkos und Mauretaniens sowie das nördliche Russland und Kasachstan, wo vielerorts an Land (und in dünn besiedelten Gebieten) über 3000 Volllast-Stunden möglich sind. Von diesen Standorten aus könnte bereits mit heutiger Technologie der Strom zu weniger als 5 Cent/kWh zu uns geliefert werden – Leitungskosten von 1,5–2 Cent/kWh bereits eingerechnet. Wasserkraftwerke könnten genutzt werden, um die zeitlichen Schwankungen im Windstrom auszugleichen – schon allein die Kapazität der norwegischen Stauseen würde für einen Großteil der zukünftigen Backup-Aufgaben ausreichen. Voraussetzung dafür ist allerdings der Aufbau der dazu notwendigen Fernleitungen.

Eine weitere vielversprechende Option sind solarthermische Kraftwerke, bei denen durch Spiegel die Sonnenwärme konzentriert und damit durch eine Turbine Strom erzeugt wird (ver-

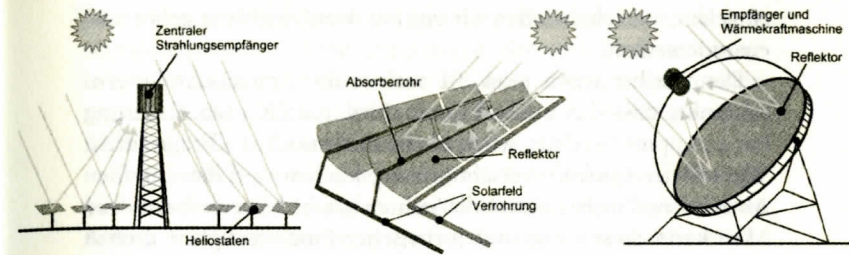


Abb. 5.2: Prinzipien der Strahlungskonzentration in thermischen Solarkraftwerken. V. l. n. r.: Solarturm, Parabolrinne, Paraboloid. (Quelle: DPG<sup>144</sup>)

schiedene Technologien sind in Abb. 5.2 skizziert). Seit Mitte der 1980er Jahre werden an sonnenreichen Standorten Kraftwerke mit Parabolrinnen kommerziell betrieben. Das sich derzeit noch im Bau befindende Kraftwerk Ouarzazate in Marokko wird nach Fertigstellung das leistungsstärkste seiner Art sein. Eine Reihe weiterer Großprojekte, beispielsweise in Nevada, der Negev-Wüste und der Atacamawüste, sind in Planung. Mit derartigen Kraftwerken könnte ebenfalls aus nordafrikanischen Staaten Strom nach Europa geliefert werden; an guten Standorten könnte dies schon bald wirtschaftlich sein. Als nächster Schritt muss hier – ebenso wie für den Windstrom – ein leistungsfähiger Stromverbund geschaffen werden.

Dieser Exkurs über die volkswirtschaftlich-technologischen Bedingungen des Klimaschutzes war notwendig, um den WBGU-Ansatz richtig würdigen zu können: Er gibt nicht nur die ökologischen Grenzen des konventionellen Wachstums vor, sondern skizziert auch den ökonomischen Pfad zum innovativen Wachstum *innerhalb* jener Grenzen. Damit sind zwei der drei wesentlichen Dimensionen einer nachhaltigen Strategie abgedeckt – es fehlt noch die soziale Gerechtigkeit. Diese lässt sich im Kontext der anthropogenen Erderwärmung in zwei ethischen Grundüberzeugungen zusammenfassen: 1. Jeder Mensch ist nicht nur vor dem Gesetz, sondern auch vor der Natur gleich. 2. Wer den Klimaschaden anrichtet, soll auch dafür geradestehen («Polluter Pays Principle»). Auf Prinzip Nr. 2 werden wir weiter unten

eingehen; zunächst wollen wir uns mit dem Gleichheitsgebot auseinandersetzen.

Denn selbst wenn man die weltweiten Emissionen so einschränkt, dass das 2-Grad-Limit (bzw. die CO<sub>2</sub>-Stabilisierung bei 450 ppm) beachtet wird, bleibt doch noch die Frage offen: Wie soll der «globale Verschmutzungskuchen» auf die einzelnen Akteure (und insbesondere die Staaten der Erde) verteilt werden? Man kann diese Frage mit juristischer Fingerfertigkeit drehen und wenden, was in den letzten Jahren auch ausgiebigst geschehen ist. Aber letztlich gibt es doch nur eine robuste und moralisch vertretbare Antwort: Jede Erdenbürgerin und jeder Erdenbürger hat exakt den gleichen Anspruch auf die Belastung der Atmosphäre, die zu den wenigen «globalen Allmenden» zählt. Der WBGU hat dieses Prinzip schon im Jahr 1995 anlässlich der Vorbereitungen der 1. VSK in Berlin propagiert und damit verblüffte bis gereizte Politikerreaktionen ausgelöst: Wie um alles in der Welt soll der Gleichheitsgrundsatz im Klimaregime völkerrechtlich anerkannt – und erst recht umgesetzt – werden, wo doch heute ein Nordamerikaner durchschnittlich hundertmal so viele CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht wie die Bewohner südindischer oder westafrikanischer Regionen? Inzwischen ist jedoch die Klimaschutzkarawane ein Stück weitergezogen, und der WBGU-Vorstoß ist Teil eines breiten ethischen Diskurses geworden, der immer größere Dynamik entfaltet.

Eine der fundamentalen naturwissenschaftlichen Randbedingungen der Klimapolitik ist die Tatsache, dass *insgesamt* (also nicht jährlich) nur noch eine begrenzte Menge an CO<sub>2</sub> ausgestoßen werden kann, wenn die globale Erwärmung auf 2 Grad (oder irgendeinen anderen Wert) begrenzt werden soll. Emittieren wir heute mehr, bleibt für morgen nur noch weniger übrig. Das liegt an der langen Verweildauer von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre – die Erde verzeiht uns vergangene Sünden nur sehr langsam. Diesen begrenzten «Kuchen» an noch vertretbaren Emissionen gilt es also, gerecht aufzuteilen.

Wie groß ist dieser Kuchen? Die verschiedenen Berechnungsmethoden geben ein recht weites Spektrum vor, aber bei den gegenwärtigen Emissionsraten ist er spätestens in eineinhalb

Jahrzehnten aufgegessen – möglicherweise aber auch schon in wenigen Jahren.<sup>145</sup> Eine Darstellung der verschiedenen gangbaren Reduktionsraten bis zur Kohlenstoffneutralität spätestens zur Mitte des 21. Jahrhunderts findet sich weiter unten, im Abschnitt «Der Pariser Klimavertrag».

Eine ähnlich breite, aber weniger tief gehende Analyse organisiert sich um die Idee der «Vermeidungskeile».<sup>146</sup> Bei diesem Ansatz wird versucht zu zeigen, dass mit schon existierenden Technologien und Instrumenten Treibhausgasemissionen im Gigatonnen-Bereich vermieden werden können und man nicht erst auf futuristische Wunderwaffen warten muss.<sup>147</sup>

### Anpassungsversuche

Bisher haben wir allerdings die Klimarechnung ohne den Wirt, sprich: die nicht vermiedenen/vermeidbaren Klimafolgen, gemacht. Und dieser Wirt dürfte darauf bestehen, dass die Zeche bezahlt wird – in Form von wirtschaftlichen Schäden, sozialen Verwerfungen und großen Verlusten an Menschenleben. Wie schon erwähnt, ist es ausgesprochen schwierig, diese Auswirkungen präzise als Funktion der Erderwärmung zu beziffern. Immerhin wagen sich inzwischen diverse Studien daran, zumindest Größenordnungen abzuschätzen. Nach einer Untersuchung des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung können bei einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 3,5 °C bis 2100 ökonomische Verluste im Wert von 150 Billionen US-Dollar entstehen, bei einem Anstieg um 4,5 °C könnten sich diese Verluste sogar noch verdoppeln.<sup>148</sup> Man beachte zudem, dass bei diesen Zahlen nichtlineare Prozesse im Klimasystem, welche die Verluste beispielsweise durch raschen Anstieg des Meeresspiegels in exorbitante Höhen treiben könnten, noch gar nicht berücksichtigt sind. Dennoch würden die volkswirtschaftlichen Einbußen auch so bereits rund zwanzigmal so hoch liegen wie die Kosten der Klimastabilisierung auf einem akzeptablen Niveau!

Von praktisch unersetzlichen Werten wie menschlicher Gesundheit, kultureller Heimat oder Naturerbe ist bei diesem Kalkül noch nicht einmal die Rede.

An dieser Stelle käme das oben erwähnte Verursacherprinzip zwangsläufig ins Spiel: Denn «eigentlich» müssten diejenigen Länder, die überproportional viele Treibhausgase ausstoßen, diejenigen Länder, die überproportional unter den Auswirkungen leiden, in angemessener Weise entschädigen. Die direkte Durchsetzung des «Polluter Pays Principle» im Rahmen einer internationalen Klimagerichtsbarkeit würde allerdings, wie skizziert, einen ungeheuren Kapitalfluss von den Industriestaaten in die Entwicklungsländer verursachen und deshalb von Ersteren mit allen Mitteln bekämpft werden. Den rettenden Ausweg für alle könnte die *proaktive Anpassung* an den Klimawandel darstellen, wobei die heutigen Notstandsländer des Südens vor besonders hohen Herausforderungen stünden.

Aber was ist «Anpassung»? Die einschlägige Forschung verzettelt sich beim Versuch der Beantwortung dieser Frage seit vielen Jahren in ziemlich fruchtlosen konzeptionellen Diskursen. Deshalb hier unsere Definition: «Anpassung an den Klimawandel ist der Versuch, die potentiell negativen Folgen durch möglichst intelligente, preiswerte und leicht durchführbare Maßnahmen weitestgehend abzuschwächen und die potentiell positiven Folgen durch ebensolche Maßnahmen weitestgehend zu verstärken.»

Im Idealfall bedarf es tatsächlich nur einer cleveren und kostenlosen Umstellung des Alltagsverhaltens, die vielleicht sogar noch zusätzliche Lebensqualität schafft: Warum sollten sich die Deutschen beispielsweise nicht die mediterrane Siesta angewöhnen, wenn die Temperaturen hierzulande auf Mittelmeerniveau stiegen? Im schlimmsten Fall jedoch – und es wird viele «schlimmste Fälle» geben – ist die Anpassung nichts weiter als eine von der Natur unter Blut, Schweiß und Tränen erzwungene Reaktion der betroffenen Gesellschaft: Wie sollen beispielsweise die Küstenmetropolen am Indischen Ozean gehalten werden, wenn der Meeresspiegel tatsächlich um mehrere Meter steigt? Und der Umbau der mitteleuropäischen Hauptstädte wie Berlin und London auf Subtropen-Tauglichkeit dürfte nicht aus der Portokasse zu bezahlen sein.

Das wahre Ausmaß des sich unerbittlich aufbauenden Anpas-

sungsdrucks ist leider kaum jemandem bewusst – auch nicht den professionellen Klimaunterhändlern im Rahmen des VN-Systems. Belege für diese Einschätzung sind Zuschnitt und Größenordnung der kümmerlichen «Marrakesch-Fonds», die auf der 7. VSK zur Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen in Entwicklungsländern eingerichtet wurden. Selbst die 2009 in Kopenhagen avisierte Aufstockung der Transferleistungen für Anpassung und Vermeidung auf 100 Milliarden Dollar ab dem Jahr 2020 wird dem Problem nicht gerecht. Zudem spricht zurzeit vieles dafür, dass das selbstgesteckte Ziel bei weitem verfehlt wird – bis Mai 2018 waren von vereinbarten 100 Milliarden Dollar lediglich 10 Milliarden in diesen «Green Climate Fund» eingegangen!

Man muss kein Zyniker sein, um festzustellen, dass hier versucht wird, ein Billionen-Dollar-Problem faktisch mit einem Millionen-Dollar-Programm zu beheben: Das gegenwärtige Missverhältnis zwischen Angebot und Bedarf liegt also grob bei eins zu einer Million! Von der globalen Klimaschutzarchitektur sind somit vorläufig in Sachen Anpassung nicht mehr als Tropfen auf den heißer werdenden Planeten zu erwarten. Wir werden auf diese Thematik aber noch einmal zurückkommen.

Abgesehen von der direkten Erschließung neuer Finanzquellen für Anpassungsmaßnahmen in den besonders verwundbaren Zonen der Erde gibt es allerdings noch eine Vielzahl von *institutionellen Optionen*, welche nicht innerhalb des Systems der Klimarahmenkonvention verfolgt werden müssen und die wesentlich dazu beitragen könnten, die Folgen der Erderwärmung besser zu verkraften. Auf der globalen Skala sind hier in erster Linie die Weltgesundheitsorganisation (WHO) und das VN-Hochkommissariat für Flüchtlingswesen (UNHCR) zu nennen: Wie wir schon erläutert haben, wird sich die weltweite epidemiologische Situation mit dem Klimawandel drastisch verändern, und der beschleunigte Meeresspiegelanstieg allein wird die Migrationsströme der Vergangenheit als vergleichsweise pittoreske Wanderungen in kleinen Gruppen erscheinen lassen. Eine rasche Analyse der Strukturen und Kapazitäten des heuti-

gen VN-Flüchtlingswerks zeigt, dass bereits die Migrationsprobleme der Gegenwart kaum bewältigt werden können. Allein infolge des Krieges in Syrien geriet ganz Europa bereits in schweres politisches Fahrwasser. Um die drohende klimabedingte Völkerwanderung im planetarischen Maßstab gewaltfrei zu «verarbeiten», bedarf es einer grundsätzlichen Reform und der Ausstattung mit höchsten politischen Kompetenzen über eine Fortschreibung der VN-Charta. In ähnlicher Weise ist die WHO an die Bedürfnisse der Zukunft anzupassen. Beispielsweise kann man sich schwer vorstellen, dass das heutige (der Erfahrungswelt des 19. Jahrhunderts entsprungene) internationale Quarantänensystem dafür taugt, die Herausforderungen einer hochmobilen Welt im Klimawandel zu bestehen.

Auf der regionalen bis kommunalen Skala gibt es noch viel mehr Bedarf, aber auch Spielräume, wirksame und kostengünstige Regelungen zur Anpassung an die Erderwärmung in Gang zu bringen. Im Grunde müssten sämtliche Planungsmaßnahmen zu Raumordnung, Stadtentwicklung, Küstenschutz und Landschaftspflege unter einen obligatorischen Klimavorbehalt gestellt und durch geeignete Anhörungsverfahren («Climate Audits») zukunftsfähig gestaltet werden. Das Gleiche gilt für alle privaten und öffentlichen Infrastrukturgroßprojekte (wie Talsperren oder Hafenanlagen), für die Fortschreibung von Verkehrswegeplänen, für die regionale Industriepolitik (welche künftige Standortbedingungen antizipieren muss), für die Überarbeitung nationaler Tourismuskonzepte etc. Eine riesige Aufgabe türmt sich beispielsweise vor der EU auf, welche ihr sündteures und ohnehin reformbedürftiges Herzstück – die Gemeinsame Agrarpolitik – mit den klimabedingten Veränderungen der landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen in Europa und Übersee kompatibel machen muss. Die zuständigen Regierungen und Behörden hatten lange Zeit gar nicht erfasst, dass da eine gewaltige Lawine auf sie zukommt, bzw. beschlossen, den fernen Donner zu überhören – inzwischen können die Ohren aber nicht mehr verschlossen werden.

Eine größere Anpassungsdynamik ist da schon von der privaten Wirtschaft zu erwarten: im Wasser-, Abfall-, Bau-, Energie-,

Forst- und Weinsektor etwa beginnt man die Zeichen der Zeit (langsam) zu erkennen, und allen voran bewegt sich die (Rück-)Versicherungswirtschaft. Ihr Überleben steht auf dem Spiel, wenn die Prämienstruktur nicht optimal an die durch die Erderwärmung massiv verzerrte Entwicklung der versicherten Schäden – vor allem durch extreme Wetterereignisse – angepasst wird.

Haben also die neoliberalen Theoretiker vom Schlage Lomborgs (siehe den oben erwähnten «Kopenhagener Konsens») recht, die darauf vertrauen, dass die Märkte in der Lage sein werden, auch die gewaltigste Anpassungsleistung der Zivilisationsgeschichte zeitgerecht zu organisieren, und wir daher auf ein Abbremsen des Klimawandels verzichten können? Die oft geführte Diskussion um «Anpassung statt Vermeidung» erweist sich bei näherem Hinsehen rasch als Scheinalternative. In Wahrheit ist beides unerlässlich: Erhebliche Anpassung an den Klimawandel wird auch bei einer Erwärmung um global «nur» 2 °C notwendig sein. Und ohne eine Begrenzung des Klimawandels auf höchstens 2 °C wäre eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel kaum möglich. Würde es global 3, 4 oder gar 5 °C wärmer, würden wir Temperaturen erreichen, wie sie es seit mehreren Jahrmillionen auf der Erde nicht gegeben hat.<sup>149</sup> Die Grenzen der Anpassungsfähigkeit würden nicht nur für viele Ökosysteme überschritten.

Einzelne Wissenschaftler haben im Zusammenhang mit der Hurrikan-Katastrophe von New Orleans im Spätsommer 2005 dem Vorrang der Anpassung das Wort geredet.<sup>150</sup> Insbesondere wird gelegentlich versucht, die grundsätzliche Überlegenheit von lokalen, kurzfristigen Bewältigungsmaßnahmen gegenüber globalen, langfristigen CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategien aufzuzeigen. Solche Gedankengänge verkennen allerdings Charakter und Ausmaß der mit dem Klimawandel verbundenen Herausforderungen. Wir wollen dies gerade am Beispiel der Bedrohung durch tropische Wirbelstürme erläutern: Dass mit fortschreitendem Klimawandel und den dadurch steigenden Oberflächentemperaturen der äquatornahen Meere die Neigung der Natur, Hurrikane oder Taifune von immer zerstörerischer Wucht zu bilden, zunimmt, ist eine ziemlich robuste wissenschaftliche Projektion. Die Erfah-

rungen aus dem Jahr 2017, dem *annus horribilis*, passen nur allzu gut in dieses Bild: *Harvey* (127,5 Milliarden US-Dollar Schaden), *Maria* (91,8 Milliarden US-Dollar), *Irma* (51,0 Milliarden US-Dollar).<sup>151</sup>

Wie man an diesem Beispiel sieht, hat man aber mit einer robusten Projektion nur eine typisch statistische Aussage gemacht, die für den Schutz gegen Einzelereignisse wertlos ist: Der individuelle tropische Wirbelsturm ist ein reines Zufallsphänomen, dessen Entstehung überhaupt nicht und dessen Zugbahn bestenfalls für wenige Tage vorhergesagt werden kann. Ein Prognosefehler von einigen Stunden bzw. wenigen Dutzend Meilen könnte tödliche Konsequenzen haben. Insofern ist eine «fein chirurgische» Anpassungsstrategie, bei der die wenigen Verliererstädte oder -landstriche in der Sturmlosheit aufgrund ausreichender Vorwarnzeiten das heranziehende Verhängnis geschickt unterlaufen (durch generalstabmäßige Evakuierung, Ad-hoc-Sicherung des Gebäudebestands aus den Standardangeboten von Supermärkten oder der Mobilisierung der Nationalgarde), eine gefährliche Illusion.

Wenn sich die Wahrscheinlichkeiten im Hurrikan-Regime der Karibik aufgrund des anthropogenen Klimawandels tatsächlich drastisch ändern, dann muss die ganze betroffene Region Risikomanagement auf der Basis jener modifizierten Wahrscheinlichkeiten betreiben. Im Wesentlichen stehen drei Optionen zur Auswahl: 1. Die veränderte Bedrohungslage ignorieren. 2. Die Karibik flächendeckend hurrikansicher machen. 3. Die gefährdeten Siedlungsräume aufgeben. Politisch sind weder Option 1 noch Option 3 durchsetzbar, da beide unter anderem den Niedergang des US-Bundesstaates Florida implizieren würden. Somit verbleibt als einzige stimmige und gerechte Anpassungsstrategie Option 2, die jedoch mit horrenden Kosten und Anstrengungen verbunden wäre. Erschienen es da vielleicht nicht doch sinnvoller (und billiger), das Übel an der Wurzel zu packen, sprich: durch Emissionsreduktionen dafür Sorge zu tragen, dass das Hurrikan-Regime im (schwer genug zu beherrschenden) Normalbereich bleibt? Denn dadurch würden *mit Sicherheit irgendwo* in der Region Katastrophen verhindert, wäh-

rend die Anpassung *nirgendwo völlige Sicherheit* garantierte, aber *überall Kosten*.

Man kann diese Analyse durch ein Gedankenexperiment aus dem Terrorismusbereich illustrieren: Wenn ein Staat von ausländischen Heckenschützen bedroht wird, die über einen bestimmten Grenzabschnitt eingeschleust werden, dann kann man im Rahmen einer «Anpassungsstrategie» z. B. sämtliche Bürger mit kugelsicheren Westen und gepanzerten Fahrzeugen ausrüsten – da man ja nicht vorhersagen kann, wo und wann die Terroristen zuschlagen werden. Jeder Leser wird zustimmen, dass eine solche Strategie ebenso dumm wie teuer ist. Selbstverständlich wäre hier eine «Vermeidungsstrategie» vorzuziehen, welche das Einsickern der Terroristen durch Abriegelung des fraglichen Grenzabschnittes verhindert – auch wenn dafür große Anstrengungen erforderlich sind. Leider gibt es aber auch in diesem Gleichnis einen faulen Kompromiss, welcher der politischen Realität wohl am nächsten kommt: Die Regierung sieht sich nicht in der Lage, die Grenze nachhaltig zu sichern, organisiert jedoch für alle staatstragenden Figuren umfassenden Personenschutz (den sich darüber hinaus alle Wohlhabenden auf eigene Rechnung besorgen).

Es besteht die große Gefahr, dass sich eine ähnlich faule Kompromissstrategie in der sturmbedrohten Karibik durchsetzen wird: Die Zitadellen der Mächtigen und Reichen (wie Miami und Cancún) werden wind- und wasserdicht gemacht, der Rest der Region muss sehen, wo er bleibt. Diese Form der Anpassung würde dem neoliberalen Ethos durchaus entsprechen – wer arm bleibt, versteht die Chancen der Globalisierung eben nicht zu nutzen und hat somit auch keinen Schutz gegen die Erderwärmung verdient.

### **Die Koalition der Freiwilligen oder «Leading by Example»**

Mit den oben skizzierten Vorschlägen zur Anpassung *statt* Vermeidung sind wir bei der untauglichsten aller Ausdeutungen des abgedroschenen, aber berechtigten Slogans «Global denken, lokal handeln» angekommen. Natürlich ist auch die lokale An-

passung ein wichtiger Bestandteil einer umfassenden «Klimalösung» – wenn das Kind schon in den Brunnen gefallen ist, muss man es deswegen nicht ertrinken lassen. Aber eigentlich wird aus dieser Argumentation zugunsten kleinräumigen und individuellen Managements des Klimawandels erst umgekehrt ein Schuh, wenn man nämlich bei der *Vermeidung* ansetzt: Schließlich ist «der Staat» in den meisten Ländern der Erde nur für den kleineren Teil der Treibhausgasemissionen verantwortlich; den Löwenanteil steuern private Produzenten und Konsumenten bei. Wenn man also diese Individualakteure der Volkswirtschaft für einen nachhaltigeren Umgang mit Energie gewinnen könnte, dann wären viele Anpassungsleistungen am Ende der Klimawirkungskette erst gar nicht mehr notwendig.

Gerade im angloamerikanischen Raum, wo Eigenverantwortung immer noch höher bewertet wird als Staatsvorsorge, gibt es in dieser Hinsicht inzwischen eine Reihe von bemerkenswerten Initiativen. Zum Beispiel einen Vorstoß von Wissenschaftlern und Politikern in Großbritannien, *persönliche Verschmutzungskontingente* («Domestic Tradable Quotas», kurz: DTQs) als ökonomisches Instrument zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen einzuführen.<sup>152</sup> Die Grundidee ist einfach: Gemäß Kyoto-Protokoll oder fortgeschriebener völkerrechtlicher Vereinbarungen werden bestimmten Staaten bestimmte CO<sub>2</sub>-Emissionskontingente zugewiesen. Ein großer Teil eines solchen nationalen Kontingents wird nun in gleiche jährliche Guthaben für jedes Landeskind heruntergebrochen (den Rest versteigert die Regierung an meistbietende Unternehmen und andere Organisationen). Bürger X hat also zum Beginn des Jahres Y einen Betrag von Z Einheiten auf seinem «Kohlenstoff-Konto». Mit Hilfe einer entsprechenden «Kohlenstoff-Kreditkarte» und fortgeschrittener Informationstechnologie (siehe LKW-Maut) können bei allen wirtschaftlichen Handlungen von Herrn X (etwa beim Kauf von Heizöl oder Superbenzin) die damit ursächlich verknüpften CO<sub>2</sub>-Emissionen festgestellt und postwendend vom Kohlenstoff-Konto abgebucht werden. Alles läuft analog zum elektronischen Zahlungsverkehr ab, nur dass die Währung nicht aus Euro, sondern Kohlenstoff-Einheiten besteht! Kontoreste können gegen

Jahresende weiterverkauft, Kontodefizite ins nächste Jahr übertragen oder durch Handel mit anderen, kohlenstoffsparsameren Bürgern ausgeglichen werden. Ein schwungvoller Individualmarkt nimmt somit dem System seine Starre und schafft gleichzeitig starke ökonomische Anreize für klimabewusstes Verhalten. Der Ansatz ist natürlich noch nicht praxisreif, eröffnet aber neue und bedenkenswerte Perspektiven.

Die DTQ-Idee dürfte in den USA zunächst nur wenige Anhänger finden, aber gerade aus diesem Land, das sich mit konstruktiven Impulsen für die internationale Klimapolitik bislang nicht sonderlich hervorgetan hat, kommen auch eine Reihe ermutigender Signale: Im Gegensatz zur derzeitigen deprimierenden Situation auf Bundesebene versuchen beispielsweise eine Reihe von Bundesstaaten (vornehmlich an der pazifischen Westküste und im atlantischen Nordosten) Maßnahmen zur Emissionsreduktion auf den Weg zu bringen. Überraschende Symbolfigur für diese stetig wachsende Bewegung wurde Kaliforniens früherer Gouverneur Arnold Schwarzenegger, der offenbar als CO<sub>2</sub>-Terminator in die Umweltgeschichte eingehen will. Er hat eine Gesetzgebung unterstützt, welche die langfristige Entwicklung des Bundesstaates in Richtung Null-Emissionen unverblümt ansteuert. Auch der gegenwärtige Gouverneur Jerry Brown setzt diese Politik fort, so dass Kalifornien mittelfristig nicht mehr von diesem zukunftsfähigen Kurs abzubringen sein wird. Zumal der «Sun State» damit endlich größere Energieautarkie gewinnen könnte – was in gleicher Weise für alle Bundesstaaten im «Sun Belt» (wie Arizona und New Mexico) gelten würde.

Ebenfalls bemerkenswert ist die Klimaschutzbewegung, die von Städten ausgeht, und immer mehr Gewicht gewinnt: Beispielsweise im C40-Netzwerk, das mehr als 90 der größten Städte weltweit umfasst, sind über 650 Millionen Menschen und ein Viertel der Weltbevölkerung vertreten.<sup>153</sup> Warum aber setzen sich Städte an die Spitze der Klimaschutzbewegung?

Generell gilt, dass das System Stadt die ideale geographische Einheit darstellt, um integrierte Lösungen des Klimaproblems zu organisieren,<sup>154</sup> also geeignete Kombinationen von Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen im direkten Dialog mit den



konkreten Akteuren zu planen und zu erproben. Die Städteinheiten sind einerseits klein genug, um den schwerfälligen nationalen Tankern vorauszuweichen zu können (vom maroden Schlachtschiff der Vereinten Nationen ganz zu schweigen). Und sie sind andererseits groß genug, um individuelle Motive und Aktionen in gerichtete und kraftvolle kooperative Prozesse zu verwandeln. Hier gilt also das Motto: «Medium is beautiful!»

Da sind die öffentlichen, subnationalen Verwaltungseinheiten wie Bundesländer (beispielsweise die als Reaktion auf Präsident Trumps Rückzug aus dem Pariser Klimavertrag gegründete United States Climate Alliance, deren 17 Mitgliedsstaaten im Jahr 2018 rund 40% der US-Bevölkerung vertreten), aber auch Distrikte und Kommunen und im mittleren Größenbereich natürlich die privaten Wirtschaftseinheiten, die mit gutem Beispiel beim Klimaschutz vorangehen können. Von den weltweit operierenden Energiekonzernen bis zu den ländlichen Agrar-genossenschaften reicht das Spektrum der ökonomischen Akteure, die sich mit den Ursachen und Wirkungen der Erderwärmung auseinandersetzen müssen – früher oder später, ob sie wollen oder nicht. Viele von diesen Unternehmen haben bereits erkannt, dass die Nachhaltigkeitspioniere («First Movers») unter ihnen nicht nur auf ein grünes Image in der öffentlichen Wahrnehmung hoffen dürfen, sondern auch auf handfeste wirtschaftliche Vorteile (wie Senkung der Betriebskosten, Verlängerung der Planungshorizonte und Erschließung neuer Märkte).

Zusammen mit wichtigen zivilgesellschaftlichen Organisationen und Verbänden (wie etwa WWF) können die Regionen, Kommunen und Unternehmer – also die Akteure mittlerer Größe und Komplexität – dem Klimaschutz tatsächlich noch zum Sieg verhelfen. Sie können, um einen Ausdruck von George W. Bush ins Positive zu kehren, eine «*Koalition der Freiwilligen*» für den nachhaltigen Umgang mit unserem Planeten bilden. Sie haben genug Einsicht, Beweglichkeit und Macht, um dort erfolgreich zu sein, wo der einzelne Bürger verzweifelt und der Nationalstaat zaudert.

Die Fortschritte auf der mittleren Ebene können und werden im Übrigen enorm nach «unten» und «oben» ausstrahlen (siehe

Abb. 5.1): Zum einen in die Zivilgesellschaften hinein, wo die Einsichten über den Klimawandel («Public Understanding of Climate Change») vertieft und denen überzeugende Modellbeispiele für umweltbewusstes Verhalten («Leading by Example») verfügbar gemacht werden müssen, so dass sie die Lebensstilwende zur Nachhaltigkeit nicht verweigern. Zum anderen in die Regierungen hinein, welche Ausmaß, Dringlichkeit und Sprengkraft der Problematik immer noch zu ignorieren scheinen: Beispielsweise wird die Haftungsfrage für die nicht abgewendeten Klimaschäden – vor allem in den Entwicklungsländern – noch nicht einmal ernsthaft diskutiert. Und das, obwohl derzeit einige «Klimaklagen» anhängig sind: Sei es im Fall eines peruanischen Bauern, der das Unternehmen RWE verklagt,<sup>155</sup> oder sei es eine Klage von zehn vom Klimawandel betroffenen Familien gegen die EU.<sup>156</sup>

### Der Pariser Klimavertrag

In vielen Ländern der Erde (z. B. Singapur) werden die Menschen erst im Alter von 21 Jahren volljährig und damit auch «geschäftsfähig». Dann können sie Verträge abschließen, also etwa eine Kreditvereinbarung mit einer Bank. Klimapolitisch scheint die Menschheit als Ganzes ebenfalls erst nach 21 Jahren geschäftsfähig geworden zu sein, nämlich im Jahre 2015 bei der VSK 21 in der «Stadt des Lichts», vulgo: Paris. Was dort beschlossen wurde, ist auf alle Fälle von historischer Bedeutung, wie wir gleich erläutern werden. Aber warum in aller Welt hat es so lange gedauert bis zum «Klimaschwur»?

Auf diese Frage lautet die banale, aber zutreffende Antwort: Es gab und gibt viele Gründe. Manche liegen in der menschlichen Natur, die nicht zuletzt von Bequemlichkeit und Opportunismus geprägt ist. Andere haben mit gezielten Kampagnen zu tun, mit denen die Profiteure des fossilen Wirtschaftens die Warnungen der Klimaforscher zu diskreditieren versuchen – und das höchst erfolgreich.<sup>157</sup> Nicht zu unterschätzen ist auch die Abneigung von Politikern gegenüber wirklich großen Aufgaben, während sie geradezu nach kleinen Problemen lechzen, die sich

leicht lösen und in Wählerstimmen ummünzen lassen. Aber der wichtigste Grund von allen ist unserer Ansicht nach der Selbstbetrug der bunten weltweiten Gemeinschaft von Klimaschützern, die nach 1997 meinten, auf dem vom Kyoto-Protokoll vorgezeichneten Pfad einfach weiter bis zur triumphalen Rettung der Erde schreiten zu können. Die Autoren dieses Buches stellen hier keine Ausnahmen dar.

Der Triumph der multilateralen Klimapolitik sollte 2009 vollzogen werden, bei der VSK 15 in der dänischen Hauptstadt Kopenhagen. Wissenschaft und Moralphilosophie hatte unzweideutige Orientierungshilfe geleistet,<sup>133, 158</sup> die sich zu zwei Hauptempfehlungen verdichteten: Erstens, die Erderwärmung sollte in der Tat bei etwa 2°C gestoppt werden, da andernfalls die negativen Folgen unbeherrschbar würden. Zweitens, der verbleibende «Emissionsraum» für die gesamte Menschheit sei deshalb scharf begrenzt und sollte so fair wie möglich aufgeteilt werden – am besten über gleiche Pro-Kopf-Zuteilung. Diese Empfehlungen sind nach wie vor richtig und sinnvoll. Aber wie können sie auf einem Planeten umgesetzt werden, wo weiterhin alle Macht von den Nationalstaaten ausgeht? Laut Wikipedia gibt es derzeit 193 davon, die den Vereinten Nationen angehören. Hinzu kommen die winzige, aber nicht bedeutungslose Vatikanstadt sowie 12 Gebilde von verschwommenem Charakter. All diese Teile des politischen Erdpuzzles sind mehr oder weniger souverän in ihren Entscheidungen, selbst wenn Letztere das Wohl und Wehe des ganzen Planeten betreffen. Folgerichtig müssen diese Teile freiwillig dasselbe wollen, wenn die Zukunftsfähigkeit der menschlichen Zivilisation gesichert werden soll. Zum Beispiel durch ein Klimaabkommen.

Wenn man dieses eklatante politische Dilemma so humorlos zusammenfasst, schrumpft die Hoffnung auf eine Lösung schnell auf einen winzigen Krümel zusammen. Aber an diesen Krümel klammerten sich tatsächlich die allermeisten der rund 27 000 Teilnehmer der VSK 15. Die ehrenwerte, aber letztlich naive Vorstellung war, dass die historisch einzigartige Versammlung von Staatsführern in Kopenhagen einen magischen Sog erzeugen könnte, der zwangsläufig die Fortschreibung des Kyoto-Proto-

kolls zu einem globalen Lastenheft für den Klimaschutz nach vernünftigen Prinzipien bewirken würde. Ob sich die einzelnen Nationen später überhaupt an diesen multilateralen Masterplan gehalten hätten, ist eine müßige Frage. Denn sie ließen es erst gar nicht dazu kommen, als es im Dezember 2009 ernst wurde.

Bekanntlich missriet das Treffen zu einem der größten organisatorischen und politischen Desaster der Diplomatie-Geschichte. Das 2015 erschienene Buch «Selbstverbrennung»<sup>159</sup> widmet diesem Ereignis ein ganzes Kapitel und rekonstruiert die Mechanismen, die fast zwangsläufig zum Scheitern führen mussten. Dabei dominierte letztlich die instinktive Abwehr eines Abkommens, das erheblich in die nationale Souveränität eingreifen würde – und damit die Heilige Kuh schlachten könnte, die seit dem Westfälischen Frieden von 1648 die Doktrin von Staatlichkeit beherrscht. Entsprechend sangen die in Kopenhagen auftretenden Oberhäupter fast alle dasselbe Lied: Ja, wir müssen gemeinsam die Welt retten und dürfen keine Zeit mehr verlieren. Nein, einen nationalen Klimaschutzbeitrag über das längst auf den Weg Gebrachte hinaus können wir uns keinesfalls leisten, und überhaupt sollten gefälligst andere vorangehen. Nach diesen Ansprachen war bereits klar, dass der Kyoto-Ansatz in Dänemark beerdigt werden würde.

Immerhin entstand noch – auf ziemlich abenteuerliche Weise – eine Art Schlussdokument, die sogenannte Kopenhagener Vereinbarung («Copenhagen Accord»), die allerdings von den Vertragsstaaten nicht verabschiedet, sondern lediglich zur Kenntnis genommen wurde. Und immerhin weist dieser ansonsten dürftige Text auf die große Bedeutung der 2-Grad-Leitplanke hin. Welche überraschenderweise im darauffolgenden Jahr bei der VSK 16 im mexikanischen Cancún anerkannt wurde, was nicht zuletzt dem unorthodoxen Leitungsstil der Konferenzpräsidentin Patricia Espinosa zu verdanken war. Espinosa ist übrigens seit Mai 2016 Generalsekretärin der Klimarahmenkonvention mit Sitz in Bonn.

Der unerwartete Erfolg von Cancún hauchte der multilateralen Klimadiplomatie, die nach Kopenhagen am Boden zerstört schien, neues Leben ein. Erst zögerlich, dann immer entschlos-

sener arbeiteten verantwortungsbewusste Regierungen, erfahrene Bürokraten, Umweltverbände, Glaubensgemeinschaften, besorgte Wissenschaftler, ja sogar einige weitsichtigere Wirtschaftsorganisationen gemeinsam an der Vorbereitung einer «zweiten Chance». Diese Chance begann zu leuchten, als Paris als Bühne der schicksalhaften Konferenz bestimmt wurde. Denn abgesehen von der Faszination dieser Bühne war klar, dass die eher glücklose französische Regierung um Präsident Hollande hier die Gelegenheit für einen spektakulären globalen Auftritt sah. Folgerichtig wurde der exquisite diplomatische Dienst der «Grande Nation» darauf verpflichtet, sein ganzes Gewicht in die Waagschale zu werfen, damit die noch ferne VSK 21 ein Erfolg würde. Damit wurde der Glamour-Faktor der Konferenz hochgetrieben, der wohl an anderer Stelle – sagen wir, im albanischen Tirana – deutlich niedriger ausgefallen wäre.

Jedenfalls wurden alle Muskeln angespannt, um die Klimakurve doch noch zu kriegen. Dafür musste diese Kurve schon von weitem sichtbar sein; vor allem aber durfte sie nicht zu scharf sein. Denn die nationalen Reflexe, die das Kopenhagener Treffen ruiniert hatten, würden schlussendlich auch im mondänen Paris anspringen. Da konnte nur geopolitische Schizophrenie weiterhelfen, die sich auf die einfache Formel bringen lässt: *Wir beschließen alle gemeinsam, dass jeder selbst beschließt, welchen Beitrag er zum Vorhaben Weltrettung beitragen möchte.*

Völkerrechtlich impliziert dieser Ansatz, dass man der Kyoto-Kopenhagen-Falle zu entrinnen sucht, indem man die multilaterale Lösung eines genuin multilateralen Problems einfach monolateralisiert. Und inbrünstig darauf hofft, dass die rechnerische Summe der einzelnen nationalen Klimaschutzbeiträge schon irgendwie ausreichen wird. Man könnte dies auch respektlos, aber zutreffend als «Klingelbeutelprinzip» bezeichnen.

Politisch funktionierte die obige Weltklimaformel tatsächlich, wie sich im Dezember 2015 erweisen sollte. Aber wird sie auch physikalisch funktionieren? Bevor wir darauf eingehen, wollen wir die wichtigsten Ergebnisse der VSK 21, also die Kernelemente des Pariser Vertrages, nüchtern zusammenfassen (siehe dazu auch die entsprechende Website der Vereinten Nationen,

wo die mittlerweile berühmte «Decision 1/CP.21» abgerufen werden kann<sup>160</sup>).

Erstens (Artikel 2) wird das Ziel, die menschengemachte Erderwärmung auf deutlich unter 2°C zu begrenzen, völkerrechtlich bestätigt. Gleichzeitig werden Anstrengungen eingefordert, die sogar eine Begrenzung auf 1,5°C erlauben.

Zweitens (Artikel 4) soll deshalb der Scheitelpunkt der globalen klimarelevanten Emissionen «so bald wie möglich» überschritten werden, so dass sich in der 2. Jahrhunderthälfte ein Gleichgewicht zwischen Quellen und Senken für Treibhausgase einstellen kann («Klimaneutralität»).

Drittens (Artikel 4 und 14) sind alle Vertragsstaaten verpflichtet, freiwillige nationale Beiträge («Nationally Determined Contributions», abgekürzt: NDCs) zur Begrenzung der Erderwärmung gemäß Artikel 2 vorzulegen und umzusetzen. Diese Beiträge sind alle fünf Jahre nach besten Kräften zu erhöhen. Um zu überprüfen, ob diese nationalen Maßnahmen überhaupt ausreichen, soll 2023 ein umfassender Kassensturz («Global Stocktake») vorgenommen werden, der dann ebenfalls alle fünf Jahre wiederholt wird.

Viertens (Artikel 7) sollen alle Vertragsstaaten nationale Anpassungspläne formulieren und implementieren sowie entsprechende Informationen über die entsprechenden Anstrengungen regelmäßig kommunizieren.

Fünftens (Artikel 13) wird verlangt, dass alle nationalen Informationen (über Treibhausgasvermeidung, sektorale Anpassung, Prozessunterstützung etc.) von internationalen Expertenteams überprüft werden. Dies soll die Transparenz und Vergleichbarkeit von Ländermaßnahmen sicherstellen.

Der Vertrag enthält natürlich noch viele andere Elemente, aber die politische Substanz steckt in den genannten fünf Punkten.

Die Bilder der euphorischen Schlusszenen des Pariser Gipfels vom Samstag, dem 12. Dezember 2015, gingen um die Welt und bleiben wohl für immer im historischen Gedächtnis der Menschheit – ob als Belege für die Überlebenskraft unserer Zivilisation oder als Symbole für den Selbstbetrug der Moderne wird sich erweisen. Dass es überhaupt so weit kam, hatte auch starke

gruppenpsychologische und kulturelle Gründe. Den französischen Gastgeber gelang das Meisterstück, eine Atmosphäre für die Zehntausenden von Teilnehmern zu schaffen, wo man sich zugleich beschützt, frei beweglich und willkommen fühlte. Das Konferenzgelände in der Nähe des weitgehend ausrangierten Flughafens Le Bourget im Pariser Norden war freundlich, luftig und grün. Als Delegierter bekam man fast rund um die Uhr guten Kaffee und genießbares Essen. Und die Sicherheitskräfte grüßten jeden charmant über den Lauf ihrer Maschinenpistole hinweg. Bei der VSK 15 in Kopenhagen hatte man dagegen noch jedes Mal um sein Leben zu bangen begonnen, wenn ein Uniformierter in Sicht kam.

Das gelungene Ambiente verstärkte die gute Stimmung, die viele Teilnehmer schon mitgebracht hatten. Sie waren überzeugt, dass die zweite und letzte große Chance für den Weltklimaschutz genutzt würde. Oder sie wollten das einfach glauben. Und im Vorfeld hatte nicht nur die französische Diplomatie wahre Wunder gewirkt, sondern war auch diejenige Instanz zu Hilfe gekommen, die von Amts wegen für Wunder zuständig ist: die katholische Kirche bzw. deren charismatisches Oberhaupt, Papst Franziskus. Am 18. Juni 2015 wurde in Rom (unter Mitwirkung eines der beiden Autoren) die Enzyklika *Laudato si'*<sup>161</sup> der Weltöffentlichkeit vorgestellt, eine Lehrschrift, die den Schutz des Klimas als unverzichtbaren Beitrag zur «Wahrung der Schöpfung» einforderte. Bemerkenswerterweise stützte sich die Enzyklika auf den neuesten Stand der Klimawissenschaft, um dann entsprechende Handlungsgebote aus der katholischen Ethik abzuleiten. Diese Intervention des Papstes wurde von vielen Beobachtern der Klimadiplomatie als der Funke identifiziert, der den späteren «Geist von Paris» entfachte.

Dieser Geist besiegelt also das legendäre Abkommen, dessen Substanz oben dargestellt wurde. Aber was ist der Vertrag wert? Nun, von der Ambition her eine ganze Menge. Wie eine 2016 erschienene Publikation<sup>130</sup> darlegt, dürfte das erste Bündel von roten Temperatur-Linien im Klimasystem, die man inzwischen oft als «Kippunkte» bezeichnet (siehe Kapitel 3) zwischen 1,5 und 2 °C Erderwärmung liegen (siehe Abb. 5.1). Beispielsweise

könnte in diesem Bereich bereits das irreversible Abschmelzen des grönländischen Eisschildes einsetzen; fällt der globale Temperaturanstieg noch größer aus, ist dieses Abschmelzen sehr wahrscheinlich. Insofern versucht der Pariser Vertrag, die Brand Schutzmauer an der richtigen Stelle einzuziehen.

Was die Konsistenz angeht, zeigt das Dokument bereits Schwächen. Insbesondere ist höchst fragwürdig, ob sich die Erderwärmung auf 2 oder gar 1,5 °C begrenzen lässt, wenn erst irgendwann nach 2050 – wie wär's mit 2099? – Quellen und Senken für Treibhausgase zur Nullsumme zusammenspielen. Der Zeitpunkt, wann und vor allem auch die Art wie man die Emissionen ausmustert, ist von kritischer Bedeutung, wie die wissenschaftlichen Einsichten über ein begrenztes Kohlenstoffbudget belegen.<sup>162</sup>

Was schließlich die Operationalisierung betrifft, ist der Pariser Vertrag eigentlich ein Falschdokument. Denn dass die komplette Freiwilligkeit der jeweiligen nationalen Klimaschutzmaßnahmen, mit der man die Zustimmung aller Parteien erkauf hat, die notwendige radikale Dekarbonisierung der Weltwirtschaft zulässt, kann niemand ernsthaft glauben. Außer eben im Zustand der schweren Schizophrenie.<sup>163</sup> Man könnte die Inaus-sichtstellung der 1,5 °C-Limitierung des Klimawandels sarkastisch mit dem Versuch vergleichen, durch politischen Beschluss aller Nationen weltweit Erdbeben oberhalb der Richterskala-Stärke 8 einfach zu verbieten. Was die geophysikalischen Prozesse vermutlich wenig beeindrucken würde.

Leider ist Sarkasmus in dieser existentiellen Angelegenheit nicht besonders zielführend. Die VSK 21 beauftragte auch ganz ernsthaft den IPCC mit der Analyse der Sinnhaftigkeit und Machbarkeit der Pariser Ziele – eine unseres Erachtens extrem undankbare Aufgabe für den Weltklimarat. Das Ergebnis<sup>164</sup> ist entsprechend: Zu Recht wird festgestellt, dass ein halbes Grad weniger Erderwärmung eine erhebliche Minderung der Klimarisiken bewirken würde, gerade was den Anstieg des Meeresspiegels angeht. Was jedoch die Realisierung der 1,5 °C-Leitplanke betrifft, bläht der IPCC das entsprechende, noch verfügbare Kohlenstoffbudget auf ziemlich verwegene Weise auf, indem er einzelnen optimistischen Studien (siehe z. B. Millar et al.<sup>165</sup>) ein unange-

messenes Gewicht gibt. Sosehr man sich ein wenig Hoffnung auf vollständige Umsetzung des Pariser Vertrages wünscht, muss man sich doch fragen, ob der Report des Weltklimarates nicht Züge eines Gefälligkeitsgutachtens trägt.

Aus unserer Sicht hilft es nicht, sich an den günstigsten Eventualitäten zu orientieren, wenn die Dekarbonisierungspfade im Einklang mit den VSK-21-Vorgaben ermittelt werden. Statt die Aufgabe kleiner zu rechnen, sollte man die Anstrengung größer anlegen. Beispielsweise lässt sich das oben vorgestellte WBGU-Szenario (S. 101 ff.) auf konsistente Weise so fortschreiben, dass die 1,5°C-Leitplanke in Sicht kommt. Insbesondere kann man die Substitution von fossilnuklearen Energieträgern durch erneuerbare durchaus höher ansetzen, weil sich vor allem bei der Photovoltaik der technische und wirtschaftliche Fortschritt schneller vollzieht, als man vor zehn Jahren zu träumen wagte. Beispielsweise ist weltweit die entsprechende installierte Kapazität von 1998 bis 2015 im jährlichen Durchschnitt um 38 Prozent (!) gewachsen.<sup>142</sup> Wenn man nun bedenkt, dass die direkte solare Energieernte durch PV und Solarthermie rein physikalisch zwischen 1500 und 50000 Exajoule (EJ) im Jahr liegen könnte, während der globale Primärenergiebedarf für 2050 auf etwa 1000 EJ geschätzt wird, dann scheint der Weg in die neue, klimaverträgliche Energiewelt klar vorgezeichnet. Wie dieser Weg am besten und schnellsten zu beschreiten wäre, erläutern zahlreiche Studien, die in den letzten Jahren erschienen sind. Wir erwähnen explizit die Arbeit der Gruppe um T. W. Brown,<sup>166</sup> wo die Transformation des Elektrizitätssystems als Herzstück der Energiewende kritisch analysiert und bewertet wird. Dabei gehen die Autoren umfassend auf kritische Argumente ein und kommen nichtsdestotrotz zu dem robusten Ergebnis, dass diese Transformation ohne gesellschaftliche Verwerfungen in wenigen Jahrzehnten vollzogen werden kann.

Eine von den bisherigen Vorschlägen etwas abweichende Melodie bringt die Untersuchung ins Spiel, die ein Team um den Innovationsexperten Arnulf Grübler kürzlich veröffentlichte.<sup>167</sup> Dort wird zum einen vorgeschlagen, bei der Dekarbonisierung der Weltwirtschaft im Einklang mit der 1,5°C-Leitplanke den

Blick vor allem auf die Reduktion des Energiebedarfs der Menschheit zu richten. Und zum anderen wird der interessante Versuch gemacht zu begründen, dass man dafür eigentlich nur Gebrauch von den *heute schon existierenden* technischen, logistischen und ökonomischen Optionen machen müsste. Mit anderen Worten, man benötige gar keine neuen Wunderwaffen im Kampf gegen den Klimawandel, die beispielsweise der Atmosphäre gigantische Mengen an CO<sub>2</sub> aktiv entzögen («negative Emissionen», siehe Epilog), sondern müsse nur dafür sorgen, dass Energieangebote und -nachfragen besser abgeglichen würden. Dazu sollte die Politik dem Markt endlich auf die Sprünge helfen. Denn innovative Produkte oder Verfahren werden häufig ignoriert, wenn sie «nur» die Ressourceneffizienz verbessern oder zu einer nachhaltigeren Lebensweise beitragen. Allein die Modernisierung von privaten Heizungsanlagen in Deutschland könnte eine enorme Minderung des Treibhausgasausstoßes bewirken, aber kaum jemand weiß, wie günstig und zügig diese Neuerung erfolgen könnte. Dagegen scheinen fast alle Konsumenten auf dem allerneuesten Stand zu sein, wenn es um elektronischen Klimbim geht, an dem man das Interesse in kürzester Zeit wieder verliert und der dann als Technikschratt auf den Müllhalden von Westafrika landet. Adam Smiths «unsichtbare Hand» greift offenbar meist daneben.

Neben der «sichtbaren Hand» des Staates braucht es vor allem aber ein Narrativ, eine gute Geschichte der Transformation, in der die Menschen gerne vorkommen wollen. Ein solches Narrativ wird in einem Artikel vorgestellt, den sechs Wissenschaftler (inklusive eines der beiden Buchautoren) 2017 in der Zeitschrift *Science* veröffentlichten.<sup>131</sup> Inspiriert durch das «Mooresche Gesetz» – die Leistungsfähigkeit von elektronischen Schaltkreisen verdoppelt sich seit den 1960ern etwa alle zwei Jahre – wird ein «Kohlenstoffgesetz» für die zeitgerechte Dekarbonisierung der Weltwirtschaft vorgeschlagen: *Alle zehn Jahre von heute an muss sich der weltweite Ausstoß von Treibhausgasen halbieren.* Wie bei den Schaltkreisen handelt es sich nicht um ein Naturgesetz, sondern um ein Drehbuch, das Produzenten und Konsumenten gemeinsam auf der gesellschaftlichen Bühne durchspie-

len. Denn die Mooresche Faustregel ist unter anderem deshalb seit Jahrzehnten gültig, weil sie als selbsterfüllende Prophezeiung wirkt: Als sich aufgrund der technischen und ökonomischen Umstände nach Erfindung des Transistors einmal ein exponentieller Wachstumstrend der Kapazitäten abzeichnete, zementierte der legendäre Artikel von Gordon Moore aus dem Jahr 1965<sup>168</sup> diesen Trend, indem er eine Fortschrittserwartung schuf. Von da an bezogen die Kunden von Herstellern elektronischer Geräte (vom Schalter bis zum Großrechner) diese quantitative Erwartung in ihre Investitionsplanungen ein. Die Hersteller mussten dann versuchen, mit ihren Angeboten den sich rasch weiterentwickelnden Wunschvorstellungen der Nachfrager hinsichtlich Leistung und Beschaffungskosten weitestgehend zu entsprechen, und so wurde im Wechselspiel – natürlich unterstützt von Skaleneffekten, Konkurrenzdruck, staatlicher F&E-Förderung usw. – die exponentielle Dynamik dauerhaft etabliert.

In analoger Weise könnte ein einfaches, aber ehrgeiziges Narrativ eben auch eine Exponentialdynamik zur Überwindung des fossilen Wirtschaftens anstoßen. Angesichts der immer mehr ins Bewusstsein drängenden Kollateralschäden dieser Betriebsweise zusätzlich zur Klimadestabilisierung – Millionen Menschen weltweit sterben vorzeitig durch Luftverschmutzung im Zusammenhang mit der Förderung und Verbrennung von Kohle, Öl und Gas – und der sich dramatisch verbessernden Rahmenbedingungen für die alternativen Geschäftsmodelle (siehe oben) sind die Erfolgsaussichten alles andere als schlecht. Abbildung 5.3 skizziert die intendierte Entwicklung. Die zitierte Arbeit<sup>131</sup> beginnt nicht nur diese Erzählung, sondern skizziert auch einen expliziten Fahrplan («Roadmap») zum Dekarbonisierungsziel. So sehen die Etappen aus:

Bis 2020 (siehe auch weiter unten) müssten möglichst viele der fast selbstverständlichen Klimaschutzoptionen («No-Brainers») wahrgenommen werden, die bei negativen betriebswirtschaftlichen Kosten – also Nettogewinnen – zur Reduktion der Emissionen beitragen. Die bekannte «Abatement Curve», die McKinsey schon 2007 in die Diskussion eingeführt hat,<sup>169</sup> illustriert diesen Ansatz recht gut. In dieser Kurve werden Maßnah-

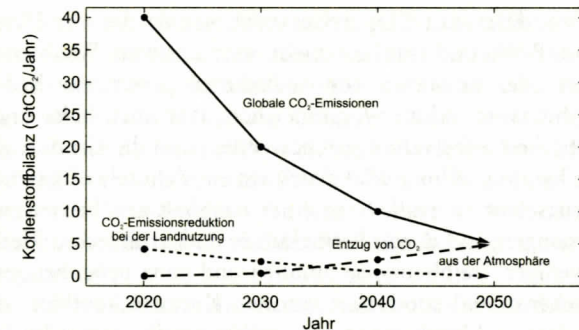


Abb. 5.3: Das Kohlenstoffgesetz: Alle zehn Jahre muss sich der weltweite Ausstoß von Treibhausgasen halbieren. Abbildung nach Rockström et al.<sup>131</sup>

men zur Vermeidung einer Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent nach Wirtschaftlichkeit gereiht und auch ihr Gesamtpotential symbolisiert. Absoluter Gewinner dieser Analyse ist die Gebäude-Isolierung. Jenseits dieser Kurvendiskussion ist klar, dass fiskalische Instrumente wie eine progressive CO<sub>2</sub>-Steuer das Pflücken der sprichwörtlichen niedrig hängenden Früchte außerordentlich begünstigen würden.<sup>170</sup>

Dann folgt nach Einschätzung der Studie die schwierigste und entscheidende Dekade, die der «heroischen Anstrengung»: Bis 2030 müssen nämlich auf alle Fälle die Kohleverstromung weltweit beendet und der Verbrennungsmotor auf allen Straßen ausgemustert sein. Gleichzeitig müssen aber auch die Grundlagen für strategische Innovationen im darauffolgenden Jahrzehnt geschaffen werden, etwa Materialien und Techniken für das klimaneutrale Bauen von Städten und Infrastrukturen. Das heißt, dass in dieser Phase endgültig alle F&E-Investitionen von fossilnuklearen Unternehmungen abziehen und in nachhaltige Wertschöpfungen umzulenken sind.

In den 2030er Jahren erfolgt dann der endgültige Systemwechsel («Durchbruchphase»), ohne den die weitere Halbierung der Treibhausgasemissionen unmöglich wäre. Dann müssen kohlenstoffspeichernde Materialien wie Holz und Lehm den Hoch- und Tiefbau dominieren. Dies wirft eine doppelte Dividende für das

Klima ab, denn statt CO<sub>2</sub> freizusetzen, wie das bei der Herstellung von Beton und Stahl geschieht, wird das beim Wachsen von Bäumen oder Entstehen von Sedimenten gebundene Kohlendioxid für Jahrhunderte weggespeichert. Privathaushalte sind zu energetischen Selbstversorgern geworden, und die Grundstoffindustrie hat ihren Klimafußabdruck auf ein Zehntel reduziert. Die Landwirtschaft ist endlich zu einer nachhaltigen Betriebsweise übergegangen, wo durch Permakultur und artgerechte Tierhaltung weniger Treibhausgase anfallen und ganz nebenbei gesündere Lebensmittel produziert werden. Kurzstreckenflüge, etwa innerhalb von Mitteleuropa, sind völlig sinnlos geworden, weil ein integriertes System von Hochgeschwindigkeitszügen den Ferntransport von Menschen und Gütern weitgehend bewältigt. Durch die digitale Revolution (additive Manufaktur, internetgestütztes verteiltes Arbeiten, virtuelle Konferenzen etc.) ist die Notwendigkeit der physischen Bewegung toter und lebender Massen ohnehin stark reduziert worden. Und so weiter.

Ab 2040 schließlich wird nachgebessert («Vertiefungsdekade»), denn zum einen gilt es, Fehlentwicklungen zu korrigieren bzw. zu beenden. Zum anderen werden sich auf dem Weg der Dekarbonisierung unzählige neue Optionen erschließen, die sich umzusetzen lohnen. So wie die Industrielle Revolution einst einen Funkenregen von Innovationen entstehen ließ, der dann viele kleine und große Feuer des Fortschritts entfachte.

So oder ähnlich könnte das Drehbuch für die Nachhaltigkeitsrevolution also aussehen. Wenn diese überhaupt geschieht, wird sie mit Sicherheit anders verlaufen, aber etliche der oben beschriebenen Neuerungen und Ereignisse dürften wahrscheinlich eine Rolle spielen. Tatsächlich gibt es aus technischer und ökonomischer Sicht unzählige Wege zur Klimastabilisierung, aber man muss sich eben auch auf den Weg machen. Und zwar ohne weiteres Zaudern, denn mit jedem Emissionsjahr erhöht die Menschheit ihre Kohlenstoffschuld, deren Tilgung Tausende von Jahren währen könnte. Deshalb schreiben gewissermaßen die Naturgesetze einen unmittelbaren Handlungsbedarf vor. Dies wird verdeutlicht in einem Artikel, der in der renommierten Wissenschaftszeitschrift *Nature* erschien und von einem Auto-

renteum um die frühere Generalsekretärin der Klimarahmenkonvention, Christiana Figueres, verfasst wurde.<sup>145</sup> Dort werden insbesondere sechs Meilensteine in den Sektoren Energie, Infrastruktur, Transport, Landnutzung, Industrieproduktion und Finanzwirtschaft vorgestellt, welche die Welt im Jahr 2020 erreicht haben müsste, um die Pariser Ziele nicht aus den Augen zu verlieren. Wie dringlich die Klimawende ist, erschließt sich insbesondere aus der Grafik der Veröffentlichung, die wir hier reproduzieren.

Da, wie mehrfach erläutert, in erster Näherung die kumulierten Emissionen das Ausmaß der Erderwärmung bestimmen, darf der Scheitelpunkt des globalen Ausstoßes nicht später als 2020 erreicht sein. Ansonsten werden Reduktionsmaßnahmen nötig, die sich eigentlich nur im Rahmen einer (globalen!) Kriegswirtschaft realisieren lassen. Doch die Menschen lassen sich leicht zum Kampf gegeneinander verführen, aber nur schwer gewinnen für den gemeinsamen Kampf gegen den zivilisatorischen Untergang.

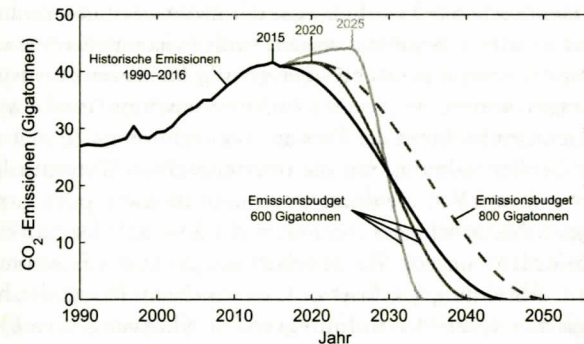


Abb. 5.4: Mit dem Pariser Abkommen vereinbare Emissionsverläufe ab dem Jahr 2017. Die durchgezogenen Linien zeigen ein Emissionsbudget von 600 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen und Landnutzung. Je später der Scheitelpunkt der Emissionen überschritten wird, desto früher müssen Null-Emissionen erreicht werden, um im Budget zu bleiben; daher ist zögerliche Politik so fatal. Die gestrichelte Linie zeigt den Verlauf bei Annahme eines großzügigeren Emissionsbudgets von 800 Milliarden Tonnen. Grafik aktualisiert nach Figueres et al.<sup>145</sup> Historische Emissionsdaten vom Global Carbon Project.

## Epilog: Der Geist in der Flasche

Nach der Lektüre dieses Buchs wird der Leser hoffentlich unserer Ansicht zustimmen, dass die Bewältigung des Klimawandels eine Feuertaufe für die im Entstehen begriffene Weltgesellschaft darstellt. Wir haben versucht zu zeigen, dass die Probe heil überstanden, ja sogar als Chance für einen neuen Aufbruch begriffen werden kann. Für diese Perspektive eines nachhaltigen Krisenmanagements gibt es jedoch keine Garantie. Mindestens ebenso wahrscheinlich ist eine «Ultima-Ratio»-Strategie, auf welche die Regierungen zurückgreifen könnten, wenn sie erkennen, dass sie Geschwindigkeit und Wucht der Klimaproblematik unterschätzt haben, und der Ruf nach einer Rosskur für den Planeten lauter wird.

Der entsprechende Flaschengeist, der inzwischen immer ungeduldiger in seinem Behältnis wartet, heißt «Geoengineering». Es gibt keine treffende deutsche Übersetzung für diesen Ausdruck; am ehesten könnte man von «Erdsystemmanipulation» sprechen. Gemeint ist damit der Einsatz von Technologie in planetarischer Größenordnung, um die unerwünschten Umweltfolgen unserer industriellen Zivilisation zu unterdrücken oder gar zu beseitigen. Natürlich regt besonders die Klimaproblematik die Phantasie nicht nur von Wissenschaftlern in diesem Zusammenhang an. Abbildung 5.5 fasst in Cartoon-Form einige der heiß propagierten Ideen der hoffnungsvollen Klima-Ingenieure zusammen.<sup>171</sup>

Die in Abbildung 5.5 skizzierten Optionen zerfallen – wie die Gesamtheit der Vorschläge zur bewussten, großskaligen Klimamanipulation – in zwei Gruppen. Da sind zum einen die *Makro-Vermeidungsstrategien*. Viele Hoffnungen wurden z.B. auf die Stärkung der marinen «biologischen Pumpe» durch künstliche Eisendüngung des Planktons in geeigneten Meeresabschnitten

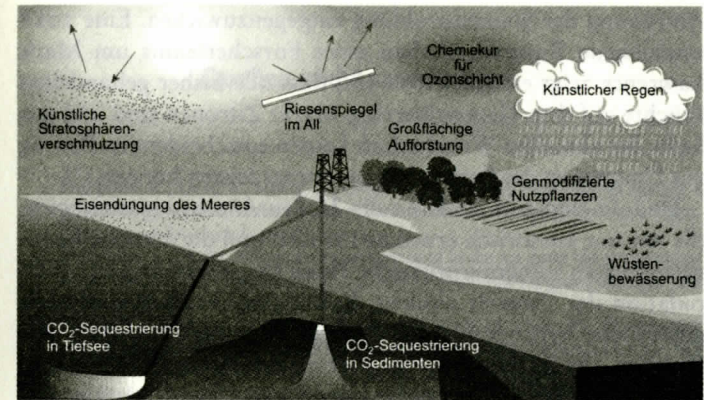


Abb. 5.5: Schematische Darstellung populärer Vorschläge zur großtechnischen Bewältigung des Klimaproblems. (Quelle: Keith<sup>171</sup>)

gesetzt – also auf die Stimulation eines natürlichen Mechanismus zur Entfernung von überschüssigem CO<sub>2</sub> aus dem planetarischen Kohlenstoffkreislauf. Neuere Forschungsergebnisse dämpfen diese Hoffnungen stark. Seit einigen Jahren wird auch heftig über künstlich beschleunigte Verwitterung von Mineralien wie Olivin und massive Kalkung der Ozeane diskutiert.<sup>172, 173</sup> Auch mit solchen Verfahren könnte man womöglich gewaltige «negative Emissionen» bewirken und damit der im Pariser Abkommen angepeilten Treibhausgasneutralität näher kommen. Von einer Gruppe um den 2003 verstorbenen «Vater der Wasserstoffbombe», Edward Teller, wurde dagegen die Idee ins Spiel gebracht, die Stratosphäre jährlich mit einigen Raketenladungen an Schwefelpartikeln (Aerosolen) zu beschicken.<sup>174</sup> Solche Partikel werden gelegentlich bei Vulkanausbrüchen in die hohe Atmosphäre geschleudert und sorgen durch Reflektion des Sonnenlichts für künstliche Verdunkelung. Angeblich könnte diese Technik so kalibriert werden, dass die Verstärkung des Treibhauseffekts durch anthropogenes CO<sub>2</sub> gerade ausgeglichen würde – und das zu lachhaft geringen Kosten! Ähnlich geartet, aber noch utopischer ist der Plan, gigantische Spiegel an geeigneten Punkten im Weltall zu stationieren, um der Erderwärmung durch



Ablenkung der Sonnenstrahlung entgegenzuwirken. Eine 2018 erschienene Zusammenschau eines Forscherteams um Mark Lawrence zeigt eindrucksvoll auf, dass alle bisher gehandelten Früchte auf dem Geoengineering-Markt Zitronen sind und aus Sicht der aktuellen Wissenschaft keinen entscheidenden Beitrag zur Umsetzung des Pariser Klimavertrags leisten können.<sup>175</sup>

Und da sind zum anderen die *Makro-Anpassungsstrategien*, die wir nur kursorisch erwähnen wollen und die manche Reminiszenzen an frühere sowjetische Pläne zur großräumigen Manipulation der Umwelt wecken. Zumindest denkbar sind etwa gigantische hydrographische Projekte, wie die Umleitung von Strömen, die Schaffung neuer Meeresverbindungen (wie der in Israel schon lange diskutierte «Red-Dead-Channel») oder das Auffüllen von kontinentalen Becken (wie dem Kongogebiet) zur Stabilisierung des Meeresspiegels. Ähnlich problematische Überlegungen zur Manipulation der Biosphäre in großem Stil werden immer häufiger vorgebracht.

Wir möchten hier betonen, dass die an früherer Stelle erwähnte geologische Kohlenstoffsequestrierung – ebenso wie nachhaltige geplante und durchgeführte Aufforstungsprogramme – nicht zu den eigentlichen Techniken der Erdsystemmanipulation gehört, da solche Ansätze die CO<sub>2</sub>-Emissionen an der Wurzel packen. Die anderen der eben skizzierten Optionen haben dagegen eindeutigen «End of the Pipe»-Charakter mit dem unverblühten Ziel, den Pfusch beim BAU wegzuklempnern. Die historische Erfahrung lehrt leider, dass die Menschheit in tiefer Krise nur allzu bereit ist, zu den fragwürdigsten Mitteln zu greifen und den Korken aus der vermeintlichen Wunderflasche zu ziehen.

Dabei ist dies keineswegs nötig, wie wir in Kapitel 5 darzulegen versucht haben: Unsere moderne Weltgesellschaft mit ihren nahezu unbeschränkten Möglichkeiten der nachhaltigen Zukunftsgestaltung sollte stattdessen den Geist der ökonomischen und sozialen Erneuerung aus der Flasche lassen. Die Kräfte, welche die *Industrielle Wende zur Nachhaltigkeit* hervorbringen können, stehen bereit und müssen endlich befreit werden.

## Quellen und Anmerkungen

1. Philipona, R., Dürr, B., Marty, C., Ohmura, A. & Wild, M. Radiative forcing – measured at Earth's surface – corroborates the increasing greenhouse effect. *Geophysical Research Letters* 31 (2004).
2. Arrhenius, S. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 5, 237–276 (1896).
3. Lorius, C., Jouzel, J., Raynaud, D., Hansen, J. & Le Treut, H. The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming. *Nature* 347, 139–145 (1990).
4. Ruddiman, W. F. *Earth's climate: past and future* (Freeman, New York, 2000).
5. Rahmstorf, S. Timing of abrupt climate change: a precise clock. *Geophysical Research Letters* 30, 1510 (2003).
6. EPICA Community Members. Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* 429, 623–628 (2004).
7. Petit, J. R. et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, 429–436 (1999).
8. Kasting, J. F. & Catling, D. Evolution of a habitable planet. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 41, 429–463 (2003).
9. Walker, G. *Schneeball Erde* (Berliner Taschenbuch Verlag, Berlin, 2005).
10. Royer, D. L., Berner, R. A., Montañez, I. P., Tabor, N. J. & Beerling, D. J. CO<sub>2</sub> as a primary driver of Phanerozoic climate. *GSA Today* 14, 4–10 (2004).
11. Rich, T. H., Vickers-Rich, P. & Angloff, R. A. Polar dinosaurs. *Science* 295, 979–980 (2002).
12. Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. & Billups, K. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science* 292, 686–693 (2001).
13. Milankovitch, M. (ed.). *Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen* (Borntraeger, Berlin, 1930).
14. Loutre, M. F. & Berger, A. Future climatic changes: are we entering an exceptionally long interglacial? *Climatic Change* 46, 61–90 (2000).
15. Paillard, D. Glacial cycles: Toward a new paradigm. *Reviews of Geophysics* 39, 325–346 (2001).
16. Crutzen, P. J. & Steffen, W. How long have we been in the Anthropocene era? *Climatic Change* 61, 251–257 (2003).
17. Ganopolski, A., Rahmstorf, S., Petoukhov, V. & Claussen, M. Simulation of modern and glacial climates with a coupled global model of intermediate complexity. *Nature* 391, 351–356 (1998).
18. Dansgaard, W. et al. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364, 218–220 (1993).
19. Severinghaus, J. P. & Brook, E. J. Abrupt climate change at the end of the last glacial period inferred from trapped air in polar ice. *Science* 286, 930–934 (1999).
20. Severinghaus, J. P., Grachev, A., Luz, B. & Cailion, N. A method for precise measurement of argon 40/36 and krypton/argon ratios in trapped air in polar ice with applications to past firn thickness and abrupt climate change in Greenland

115. Rahmstorf, S. Die Klimaskeptiker, in *Wetterkatastrophen und Klimawandel – Sind wir noch zu retten?* (ed. Münchner Rückversicherung) (2004).
116. <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge>
117. Der Spiegel, 4.10.2004, Interview mit H. von Storch.
118. Rahmstorf, S. Paläoklima: Die Hockeyschläger-Debatte. <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/palaeoklima-die-hockeyschlaeger-debatte/>
119. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
120. Rahmstorf, S. Climategate: ein Jahr danach. <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/climategate-ein-jahr-danach/>
121. Der britische Chief Scientist, Sir David King, hat die drei genannten Fundamentaloptionen in einem brillanten Artikel mit dem Titel «Climate Change Science: Mitigate, Adapt or Ignore» (*Science* 303, 176–177 (2004)) diskutiert.
122. Schewe, J. & Levermann, A. A statistically predictive model for future monsoon failure in India. *Environ. Res. Lett.* 7, 044023 (2012).
123. World Weather Attribution. at <<https://www.worldweatherattribution.org/>>
124. Kishore, N. *et al.* Mortality in Puerto Rico after Hurricane Maria. *N. Engl. J. Med.* 379, 162–170 (2018).
125. Siehe z. B. Lomborg, B. (ed.). *Global Crisis, Global Solutions* (Cambridge University Press, Cambridge UK, 2004).
126. Rat der Europäischen Union. Pressemitteilung zur 1939. Ratssitzung Umwelt vom 25.6.1996, Nr. 8518/96 (1996).
127. Enquête-Kommission «Schutz der Erdatmosphäre» des Deutschen Bundestags (Hrsg.). *Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Zukunft sichern – jetzt handeln.* Bonn-Karlsruhe (1992).
128. WBGU. Szenario zur Ableitung globaler CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele und Umsetzungsstrategien. Sondergutachten für die Bundesregierung. WBGU, Bremerhaven (1995).
129. WBGU. Über Kyoto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert. Sondergutachten für die Bundesregierung (WBGU, Berlin 2003).
130. Schellnhuber, H. J., Rahmstorf, S. & Winkelmann, R. Why the right climate target was agreed in Paris. *Nat. Clim. Chang.* 6, 649–653 (2016).
131. Rockström, J. *et al.* A roadmap for rapid decarbonization. *Science* (80-.). 355, 1269–1271 (2017).
132. WBGU. *Welt im Wandel – Energiewende zur Nachhaltigkeit.* Springer, Berlin, Heidelberg (2003).
133. WBGU. Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz (WBGU, Berlin 2009).
134. WBGU. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation (WBGU, Berlin 2011).
135. WBGU. Sondergutachten: Klimaschutz als Weltbürgerbewegung, (WBGU, Berlin 2014).
136. WBGU. *Entwicklung und Gerechtigkeit durch Transformation: Die vier großen Fs.* (WBGU, Berlin 2016).
137. WBGU. Zivilisatorischer Fortschritt innerhalb planetarischer Leitplanken – Ein Beitrag zur SDG-Debatte. 48 (2014).
138. IPCC WG III. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (Cambridge University Press, 2014).
139. Burke, M., Hsiang, S. M. & Miguel, E. Global Non-Linear Effect of Temperature on Economic Production. *Nature* 527, 235–39 (2015).
140. Luderer, G. *et al.* Economic mitigation challenges: How further delay closes the door for achieving climate targets. *Environ. Res. Lett.* 8, (2013).

141. Wood, P. J. & Jotzo, F. Price floors for emissions trading. *Energy Policy* 39, 1746–1753 (2011).
142. Creutzig, F. *et al.* The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change. *Nat. Energy* 2, (2017).
143. Czisch, G. & Schmid, J. Low Cost but Totally Renewable Electricity Supply for a Huge Supply Area – a European/Trans-European Example. [www.iset.uni-kassel.de/abt/w3-w/projekte/WWEC2004.pdf](http://www.iset.uni-kassel.de/abt/w3-w/projekte/WWEC2004.pdf)
144. Deutsche Physikalische Gesellschaft. *Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland 1990–2020.* DPG (2005).
145. Figueres, C., Schellnhuber, H. J., Rockström, J., Hobley, A. & Rahmstorf, S. Three years to safeguard our climate. *Nature* 546, 593–595 (2017).
146. Pacala, S. & Socolow, R. Stabilization Wedges: Solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. *Science* 305, 968–972 (2004).
147. Hoffert, M. I. *et al.* Advanced technology paths to climate stability: Energy for a greenhouse planet. *Science* 298, 981–987 (2002).
148. Kemfert, C. The Economic Costs of Climate Change. *Wochenberichte des DIW Berlin*, Nr. 1/2005, 43–49 (2005).
149. Steffen, W. *et al.* Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115, 8252–8259 (2018).
150. Siehe etwa Stehr, N. & von Storch, H. Anpassung statt Klimapolitik: Was New Orleans lehrt. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, Ausgabe vom 21.9.2005, S. 41 (2005).
151. NOAA. at <<https://www.ncdc.noaa.gov/billions/events/US/2017>>
152. Fleming, D. Tradable Quotas: Using Information Technology to Cap National Carbon Emissions. *European Environment* 7, 139–148 (1997).
153. C40 Netzwerk. at <<https://www.c40.org/>>
154. WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen). *Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte.* (2016).
155. Germanwatch. Factsheet Fall Huaraz. at <<https://germanwatch.org/de/13750>>
156. Action brought on 23 May 2018 – Carvalho and Others v Parliament and Council. (2018). at <[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C\\_.2018.285.01.0034.01.ENG&toc=OJ:C:2018:285:TOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C_.2018.285.01.0034.01.ENG&toc=OJ:C:2018:285:TOC)>
157. Oreskes, N. & Conway, E. *Merchants of Doubt.* (Bloomsbury Press, 2010).
158. Meinshausen, M. *et al.* Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature* 458, 1158–1162 (2009).
159. Schellnhuber, H. J. *Selbstverbrennung.* (C. Bertelsmann Verlag, 2015).
160. Decision 1/CP.21 Adoption of the Paris Agreement. (2015). at <<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>>
161. Papst Franziskus. *Enzyklika Laudatio Si'* über die Sorge für das gemeinsame Haus. (2015).
162. 2020 The Climate Turning Point. *Mission 2020* (2017).
163. Climate Action Tracker. *Paris Tango. Climate action so far in 2018: individual countries step forward, others backward, risking stranded coal assets.* 8 (2018).
164. IPCC. *Special Report Global Warming of 1.5°C.* (2018). at <<http://www.ipcc.ch/report/sr15/>>
165. Millar, R. J. *et al.* Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5°C. *Nat. Geosci.* (2017). doi:10.1038/ngeo3031
166. Brown, T. W. *et al.* Response to 'Burden of proof: A comprehensive review of the feasibility of 100% renewable-electricity systems'. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 92, 834–847 (2018).
167. Grubler, A. *et al.* A low energy demand scenario for meeting the 1.5°C target and

- sustainable development goals without negative emission technologies. *Nat. Energy* 3, 515–527 (2018).
168. Moore, G. Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Electron. Mag.* 38, (1965).
169. McKinsey. A Cost Curve for Greenhouse Gas Reduction. McKinsey Quarterly (2007). at <<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/a-cost-curve-for-greenhouse-gas-reduction>>
170. Stiglitz, J. et al. Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. *Ipcc* 68 (2017).
171. Abb. 5.5 ist einem Artikel von David Keith entnommen, der 2001 zusammen mit dem renommierten Umweltwissenschaftler Steve Schneider von der Stanford University das Thema Erdsystemmanipulation diskutiert hat. Schneider, S.H. Earth systems engineering and management. *Nature* 409, 417–421 (2001); Keith, D.W. Geoengineering. *Nature* 409, 420 (2001).
172. Kohler, P., Hartmann, J. & Wolf-Gladrow, D.A. Geoengineering potential of artificially enhanced silicate weathering of olivine. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107, 20228–20233 (2010).
173. Keller, D.P., Feng, E.Y. & Oeschler, A. Potential climate engineering effectiveness and side effects during a high carbon dioxide-emission scenario. *Nat. Commun.* 5, 1–11 (2014).
174. Eine vorsichtig positive Bewertung dieser Technik findet sich bei Crutzen, P.J. Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma? *Climatic Change* 77, 211–219 (2006).
175. Lawrence, M.G. et al. Evaluating climate geoengineering proposals in the context of the Paris Agreement temperature goals. *Nat. Commun.* (2018).

## Literaturempfehlungen

- Guy Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöller: Klimawandel in Deutschland (Springer, Heidelberg 2016).
- Georg Feulner und Harald Lesch: Das große Buch vom Klima (Komet, Köln 2010).
- Alexandra Hamann, Claudia Zea-Schmidt und Reinhold Leinfelder: Die große Transformation. Klima – Kriegen wir die Kurve? (Comic) (Jacoby & Stuart, Berlin 2013).
- Michael Mann und Tom Toles: Der Tollhauseffekt (Telepolis Verlag, Hannover 2018).
- Naomi Oreskes und Erik M. Conway: Die Machiavellis der Wissenschaft: Das Netzwerk des Leugnens (Wiley VCH, Weinheim 2014).
- Papst Franziskus: Enzyklika *Laudato si'*. Über die Sorge für das gemeinsame Haus (Katholisches Bibelwerk, Stuttgart 2015).
- Stefan Rahmstorf und Klaus Ensikat: Wolken, Wind & Wetter. Alles, was man über Wetter und Klima wissen muss (DVA Sachbuch, München 2012).
- Hans-Joachim Schellnhuber: Selbstverbrennung (C. Bertelsmann, München 2015).
- Klaus Wiegandt (Hrg.): Mut zur Nachhaltigkeit: 12 Wege in die Zukunft (S. Fischer, Frankfurt am Main 2016).
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation (WBGU, Berlin 2011).
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Zeit-gerechte Klimapolitik: Vier Initiativen für Fairness, 2018.

## Sachregister

- |                            |                             |                           |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 8k-Event 24, 26, 65        | Arktisches Meer eis 37,     | Deutschland 9, 52, 68 f., |
| Aerosole 13, 38 f., 44,    | 55, 57, 77 f.               | 76 f., 80, 82, 86, 94,    |
| 46 f., 133                 | Atlantik (Strömung) 24–     | 97 f., 106, 109 f., 127,  |
| Anpassung 67, 75 f., 83,   | 26, 65–67                   | Dürre 34, 68, 71, 78,     |
| 87, 89, 91, 110–113,       | Australien 74, 78, 90       | Eis 7–26, 28, 30, 33, 37, |
| 115, 123                   | Biodiversität 16 f., 73 f.  | 40, 42 f., 47 f., 50–52,  |
| Antarktis 7 f., 10–12,     | Biosphäre 33 f., 47 f., 72, | 54, 56–64, 66, 72 f.,     |
| 23, 33, 42, 55, 58 f.,     | 100, 134                    | 77 f., 125                |
| 60–66, 77                  | China 75, 110, 117, 119     | Eisbohrkern 7–11, 15,     |
| Antarktisches Meer eis 23, | Dansgaard-Oeschger-         | 26, 33, 55–57             |
| 60, 62                     | Ereignisse 24 f.            | Eisschelf 10, 60 f.       |
| Arktis 9, 37, 55, 57 f.,   | Dekarbonisierung 89,        | Eisschild 10 f., 60–64,   |
| 72, 77 f.                  | 125, 126–128, 130           | 125                       |

Welche Faktoren sind für unser Klima verantwortlich, wie kommt es zum weltweiten Klimawandel und welche Gegenmaßnahmen müssen ergriffen werden? Zwei international führende Experten geben einen kompakten und verständlichen Überblick über den aktuellen Stand unseres Wissens und zeigen Lösungswege auf.

**Prof. Stefan Rahmstorf** leitet die Abteilung Erdsystemanalyse am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

**Prof. Hans Joachim Schellnhuber** ist Gründer und emeritierter Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung.

**Vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage des Bestsellers.**

ORIGINALAUSGABE

**C.H.BECK**  
 **WISSEN**

[www.chbeck.de](http://www.chbeck.de)

Klimaneutral produziert  
[www.chbeck.de/nachhaltig](http://www.chbeck.de/nachhaltig)



978 3 406 74376 4

€ 9,95 [D]