



FRITZ DIETER ERBSLÖH

Der Weg zur Energiewende

Der Weg zur Energiewende

Fritz Dieter Erbslöh

Der Weg zur Energiewende

expert›

Umschlagabbildungen (Copyrights von links nach rechts):

© iStock.com/fotojog, © ENERTRAG, © iStock.com/instamatics, © iStock.com/zhongguo

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;

detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über

<http://dnb.dnb.de> abrufbar.

© 2021 · expert verlag GmbH

Dischingerweg 5 · D-72070 Tübingen

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Alle Informationen in diesem Buch wurden mit großer Sorgfalt erstellt. Fehler können dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Weder Verlag noch Autoren oder Herausgeber übernehmen deshalb eine Gewährleistung für die Korrektheit des Inhaltes und haften nicht für fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Internet: www.expertverlag.de

eMail: info@verlag.expert

Printed in Germany

ISBN 978-3-8169-3508-7 (Print)

ISBN 978-3-8169-8508-2 (ePDF)

ISBN 978-3-8169-0038-2 (ePub)

Inhalt

Vorwort	9
Zum Thema	13
1 Einführung: Der Begriff	15
2 Die Anfänge: Ressourcen	19
3 Club of Rome: Grenzen des Wachstums?	33
4 Wahrnehmung und Beginn einer Klimapolitik	37
4.1 Klimakonferenzen	37
4.2 Weltklimarat	41
5 Klimadiskussion: Treibhausgase	45
5.1 Klimakonvention und Kyoto-Protokoll	56
5.2 Pariser Abkommen 2015 (COP 21)	60
6 Handlungsoptionen	69
6.1 Wege in die Zukunft	71
6.2 Sensitive Regionen und Sektoren	73
6.3 Instrumente	76
7 Aktionsfelder	79
7.1 Energieeffizienz und Energiemanagement	79
7.1.1 Historische Hintergründe	79
7.1.2 Energiemanagement	84
7.1.3 Energiemanagement nach ISO	87
7.2 Zertifikatehandel	91
7.2.1 Funktionsweise	91
7.2.2 Der internationale Emissionshandel (nach Kyoto-Protokoll)	92
7.2.3 Der Emissionshandel in der EU (EU-ETS)	94
7.2.4 Das nationale Emissionshandelssystem (nEHS)	96
7.3 Staatliche Eingriffe: Grenzwerte und Verbote	98
7.3.1 Eingriffe im Bereich des Straßenverkehrs	99
7.3.2 Regelungen für die Schifffahrt	106

7.3.3	Eingriffe in das Gebäudewesen	108
7.3.4	Eingriffe in die Industrie	113
7.3.5	Regelungen Energiewirtschaft	120
7.4	Regenerative Energien: Wasser, Photovoltaik, Bioenergie, Solarthermie, Wind	126
7.4.1	Wasserkraft	126
7.4.2	Photovoltaik	142
7.4.3	Bioenergie-Anlagen	155
7.4.4	Solarthermie	168
7.4.5	Windenergie	178
7.4.6	Erneuerbare Energien in der Bilanz	188
7.4.7	Erneuerbare Energien brauchen Speicher	191
7.4.8	Erneuerbare Energien brauchen Netze	285
7.4.9	Erneuerbare Energien brauchen Förderung	335
7.4.10	Brauchen Erneuerbare Energien eine Regulierung?	342
7.5	Geothermie und Wärmepumpen	346
7.6	Systemlösungen	357
7.6.1	Kraft-Wärme-Kopplung	357
7.6.2	Brennstoffzellen	362
7.6.3	Von Power-to-Gas zu Power-to-X	368
7.6.4	Sektorkopplung	389
7.6.5	Energiemärkte	390
7.6.6	Intelligente Netze	393
7.6.7	Virtuelle Kraftwerke	397
7.7	Kernspaltung und Kernfusion	400
7.7.1	Kernkraftwerke	400
7.7.2	Uranvorräte	407
7.7.3	Kernfusion	409
7.8	CO ₂ -Verwendung und -Entsorgung	413
7.8.1	CO ₂ als Rohstoff	413
7.8.2	CO ₂ -Speicherung	415
8	Die Politik der (deutschen) Energiewende	419
9	Energiewende, Wirtschaft und Gesellschaft	429
10	Kollision der Interessen	437
10.1	Einfluss der (organisierten und nichtorganisierten) Öffentlichkeit	437
10.2	Parteien und Länder	447
11	Kosten der Wende und ihre Finanzierung	451

Inhalt	7
12 Folgen des (ungebremsten) Klimawandels	457
13 Das Akzeptanzproblem	467
14 Ausblick: Ein ergebnisoffener Prozess	479
15 Abkürzungen	489
16 Literatur und wichtige Quellen	495
Abbildungsverzeichnis	503

Vorwort

Im physikalisch-chemischen Praktikum wurde uns, die wir Chemie studierten, deutlich vor Augen geführt: Kohlendioxid (CO_2) ist ein besonderes Molekül. Die Absorptionseigenschaft für infrarotes Licht ist derart ausgeprägt, dass sie für die üblicherweise robusten Messaufbauten eines Praktikums leicht detektierbar war. Wir erinnern uns an die Tour de Force durch die mathematische Behandlung der verschiedensten Rotationsschwingungsspektren und weiterer prüfungsrelevanter Tiefgänge eines klassischen naturwissenschaftlichen Studiums. Aber damals war uns – auch dank der uns so deutlich vor Augen geführten spektralen Eigenschaften – schon klar: bereits geringe Mengen dieses infrarotaktiven Spurengases (und auch anderer) reichen aus, um den Wärmehaushalt des Planeten zu bestimmen.

Wenige Jahre später, als Doktorand, der sich mit Kohlenhydraten und dem Einsatz von Enzymen in der Synthese von physiologisch wirksamen Glycosiden beschäftigte, kam ich in meinem Arbeitsgebiet wieder mit dem CO_2 in Berührung. Nur, eben jetzt als Photosyntheseprodukt mit der Summenformel $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Und spätestens von hier an war es sonnenklar, dass die unbegrenzte Umwandlung von in der Erde gelagerten Kohlenstoffvorräten in Verbrennungsvorgängen die feine Balance zwischen Freisetzung und Bindung des CO_2 in empfindlicher Weise stören würde.

Jetzt, gute dreißig Jahre später, ist die Problematik der steigenden CO_2 -Konzentrationen durch die anthropogene Zuführung dieses Gases in die Atmosphäre als Konsequenz der Verbrennung fossiler Kohlenstoffquellen längst im Alltag angekommen und wird breit akzeptiert, sieht man einmal von realitätsisolierten Meinungsblasen in Internetforen ab.

Umso wichtiger wird es, die Diskussion um die sich daraus ergebenden Möglichkeiten der Schadensbegrenzung – denn um nichts anderes mehr kann es sich zu diesem sehr späten Zeitpunkt im globalen Klimageschehen handeln – auf eine breite, allgemein verständliche Basis zu stellen. Nur eine informierte Bürgerschaft ist in der Lage, die politischen Ansätze zur Begrenzung der Kohlendioxidkonzentrationen miteinander zu vergleichen und abzuwägen.

Deutschland hat sich unter den letzten Regierungskoalitionen zur „Energiewende“ bekannt, die unter ihrer deutschen Bezeichnung in der New York Times bereits ein fester Begriff geworden ist, der einer internationalen Leserschaft nur noch sporadisch mit einem Zusatz wie „Angela Merkel’s Green Energy Plan“ erläutert werden muss.

Der nationale Plan der Verdrängung fossiler (und atomarer) Energieerzeugung zu Gunsten der aus Sonne, Wind und recyclingfähigen Energieträgern folgt dem Gedanken des kalifornischen „Clean Air Act“ und des deutschen Immissionschutzgesetzes. Letzteres hat in den 1970er Jahren den Eingriff in die Grundrechte der Gewerbefreiheit von Unternehmern damit begründet, dass dadurch der Eintrag von Schadstoffen in den eigenen Grund und Boden verringert oder abgewendet werden sollte. Damit stellte dieser Ansatz eine klassische Rechtsgüterabwägung dar und hat die Freiheit des Einen dort eingeschränkt, wo die Unversehrtheit des Eigentums eines Anderen bedroht wird. Letztlich hat der

Gesetzgeber die Gefahrenabwehr und Daseinsvorsorge damit priorisiert. Im Ansatz folgt man mit der Verdrängung fossiler Brennstoffe der gleichen Richtung.

Allerdings läuft die Debatte Gefahr, den eigentlichen Gedanken aus dem Auge zu verlieren: Es geht um die Reduktion der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Natürlich gibt es zahlreiche Vorschläge, der globalen Erwärmung auf andere Weise die Stirn zu bieten, wie etwa diese hinzunehmen und durch Anpassung der Umwelt zu begegnen, angefangen beim Deichbau bis hin zum Bioengineering, um Pflanzen hitzebeständiger zu machen. Oder die Senkung der Strahlungsaufnahme der Erde durch „Geoengineering“. Diese Anpassungsstrategien sind nicht Gegenstand des vorliegenden Buches und nach Ansicht dieses Autors darf bei den „Engineering“-Ansätzen durchaus bezweifelt werden, ob der Mensch es wirklich beherrscht, komplexe Systeme durch gezielte, technologiebegeisterte, ja geradezu ingenieurbesessene Eingriffe in die gewünschte Richtung zu drängen, ohne dabei gleich die nächsten Nebenwirkungen auf den Plan zu rufen. Das war nämlich in der Menschheitsgeschichte bislang immer wieder der Fall und zu selten von nachhaltigem Erfolg gekrönt. Versteppung, Monokulturen, Plagen, Flächenkontamination, Flutkatastrophen, Artensterben waren zumeist die Ergebnisse solcher Experimente. Bei kritischer Betrachtung war dann auch die Beseitigung unerwünschter Nebenwirkungen häufig teurer als die ursprüngliche Maßnahme.

Wenn es also um das Ziel Reduktion der CO₂-Konzentration geht, dann bedarf es einer ganzheitlichen Denkweise, dann muss neben der Wärmedämmung von Gebäuden auch der Energieaufwand zur Herstellung und Anbringung der Isolationsmaterialien betrachtet werden, dann kann auch ein bei einem Geschwindigkeitslimit von 100 km/h gefahrenes Auto mit modernem Verbrenner eine durchaus niedrigere CO₂-Bilanz aufweisen als ein batterieelektrischer SUV mit einem Leergewicht von 2 t bei freier Fahrt. Die Liste ließe sich durchaus beliebig erweitern.

Fest steht auf jeden Fall, dass alle Kreislaufeffekte bei jeder staatlichen Lenkung immer mitgedacht werden müssen. Statt also eine bestimmte Technologie zu fördern, statt eine andere zu bepreisen, sollte der Hebel nicht am Detail, sondern am Ergebnis, am Ziel ansetzen: Die Freisetzung von CO₂ zu verteuern.

Dabei liegt eine Frage natürlich auf der Hand: Warum sollte sich eine technologiebasierte Volkswirtschaft wie die der Bundesrepublik, mit ihrem nicht mehr als zweiprozentigen Beitrag am globalen Kohlendioxidgeschehen überhaupt dazu Gedanken machen? Schließlich ist es eine Binsenmaxime, dass Gase keine Grenzen kennen und die Emissionen anderer Emittenten – der Menge nach geordnet China, USA, Indien, Russland, Japan und Iran, bevor Deutschland in der Statistik an der Reihe ist – wesentlich deutlicher unsere Unversehrtheit aufs Spiel setzen.

Jenen, die daraus ableiten, besser nichts zu tun, muss man vorhalten, dass gerade in der Entwicklung von Strategien, Verfahren und Technologien enorme Marktpotentiale schlummern, die gerade Deutschland als Hochtechnologie- und Hochlohnland heben kann – nein – heben muss. Um diese Technologien dann dort anzuwenden, wo sie am effizientesten ihre Wirkung entfalten können, also dort, wo gerade jetzt viel CO₂ freigesetzt wird. So ließe sich die Entwicklung von geeigneten Technologien in einen wirtschaftlichen Nutzen umsetzen und bei globaler Bepreisung von CO₂-Emission ein Anreiz schaffen, der der biologischen Umwelt und dem Erhalt der Klima- wie Ökosysteme zu dienen.

Um die Grundsteine für eine eher allumfassende Betrachtung der Problematik zu legen, ist ein solides Verständnis der sehr komplexen Zusammenhänge von Energiegewinnung, Energietransport, Energiespeicherung, Energieumwandlung und der Regulierung der Distribution notwendig. Dazu versucht das vorliegende Buch Beiträge zu leisten, indem es Zusammenhänge darstellt, statt sich in Technikecken zu vergraben, indem es den Leser den Gesamtzusammenhang zu erfassen anleitet. Damit stellt es eine sinnvolle wie natürliche Ergänzung zum früher vorgelegten Band über „Energietransport und Energiespeicherung“ dar.

Wohlthuend ist zudem, dass es zum Selbstdenken animiert, indem es keine Rezepte verordnet, indem es die Intention hinter den verschiedenen staatlichen Eingriffen erläutert und dabei durchaus dazu anregt, die Perspektive zu ändern und effiziente, technologieoffene Lösungen für ein mittlerweile unbestrittenes Problem aufzusuchen.

Viel Zeit bleibt nicht mehr – aus heutiger Sicht sind es bereits 2,5 °C durchschnittlicher Temperaturerhöhung, die noch erreichbar scheinen. Aber nur, wenn dieser Gefahr mit den geeigneten Mitteln beherzt und vor allem global begegnet wird.

Bereits Seneca hat uns gelehrt: „Es ist nicht wenig Zeit, die wir haben, sondern es ist viel Zeit, die wir nicht nutzen.“

Essen, im Februar 2021

Prof. Dr. Werner Klaffke
Haus der Technik e. V.

Zum Thema

Die Ziele der sogenannten Energiewende lassen sich nach gegenwärtigem Verständnis klar und einfach, wenn auch etwas verkürzt, so benennen: Sie soll den Rückzug aus der Kernenergie bewirken und kompensieren, fossile Brennstoffe durch die erneuerbaren Energien ersetzen und den Ausstoß an klimaschädlichen Gasen, insbesondere des CO₂, reduzieren bzw. neutralisieren und schließlich das Schadstofflevel bis zum Ende des Jahrhunderts dauerhaft absenken.

Was so einfach klingt, stößt in der harten Wirklichkeit auf große Probleme. Wirtschaftliche Folgen, technische Schwierigkeiten, politischer Streit sind schon heute zu beobachten und werden beim Fortschritt des Programms noch zunehmen. Soziale Verwerfungen durch eine zunehmend allergisch reagierende Öffentlichkeit sind nicht ausgeschlossen.

Das darf nicht verwundern – die Energiewende ist ein Großprojekt, das die gesamte Gesellschaft erfasst und in Umfang und Folgen in der deutschen Geschichte einmalig dasteht.

Wie dieses Projekt entstand, was bis zur Gegenwart mit welchen Mitteln erreicht wurde und wie es schließlich ausgehen könnte, ist Gegenstand dieses Buches. Dabei wird sich einerseits ergeben, dass die Energiewende eine durchaus längere Vorgeschichte hat. Es wird ferner deutlich werden, dass die Energiewende in der beschriebenen Form ein spezifisch deutsches Projekt ist. Und es wird sich auch zeigen, dass angesichts der Größe und Vielgestaltigkeit ein Erfolg am Ende zwar wünschenswert, aber nicht sicher ist.

Deutschland ist nicht allein auf der Welt, und CO₂ und andere Schadstoffe machen nicht an Grenzen halt. Deshalb sind insbesondere die Entwicklungen in den Nachbarländern, speziell den Ländern der Europäischen Union mit einbezogen, zumal inzwischen die EU in etlichen Feldern die Maßnahmen in den Mitgliedsländern vorgibt. Die weiter ausgreifende weltweite Perspektive auf Forschungsstand, internationale Vereinbarungen und Daten macht schließlich deutlich, dass die deutsche Energiewende nur ein Beitrag zur Lösung eines größeren Problems sein kann, der jedoch durch die beispielgebende Entwicklung der technischen Möglichkeiten einen besonderen Stellenwert einnimmt oder diesen zumindest beansprucht.

Was die Technik angeht, so wird in diesem Buch eine Vielzahl von praktizierten und zukünftigen alternativen Lösungen behandelt, die sich teils ergänzen, teils auch miteinander konkurrieren. Wie das Schlusskapitel aufzeigt, besteht der Weg in die Zukunft möglicherweise darin, diese Vielfalt von Pfaden bewusst beizubehalten und damit zuzugeben, dass es die eine große, alles abdeckende und allen willkommene Lösung nicht gibt.

Die Umsetzung der Energiewende ist ein Prozess, der sich rasch entwickelt. Auch der Ausbruch von Covid-19 hat ihn kaum verlangsamen können. Die vorgelegte Veröffentlichung gibt den Stand von Oktober 2020 wieder, mit einigen bis Dezember 2020 reichenden Aktualisierungen.

1 Einführung: Der Begriff

Die sogenannte Energiewende ist ein Begriff, der in Deutschland geboren wurde. Seine Inhalte sind älter und gehen auf den US-amerikanischen Autor A. LOVINS zurück, der 1976 den Ausdruck »Soft Energy Path« benutzte, unter dem er seine Vorstellung eines zukünftigen Energiesystems schlagwortartig in die Öffentlichkeit trug. Sein Hauptanliegen war es, das klassische Energieversorgungssystem durch Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen zu ersetzen und mit forcierter Energieeffizienz eine weitere Energieressource zu installieren. Der Begriff findet sich in einem Artikel für die Z. Foreign Affairs, veröffentlicht unter dem Titel „Energy Strategy: The Road Not Taken?“.

LOVINS stellte hier zwei Entwicklungspfade einander gegenüber: den harten und den weichen Pfad, s. nachstehende Abbildung.

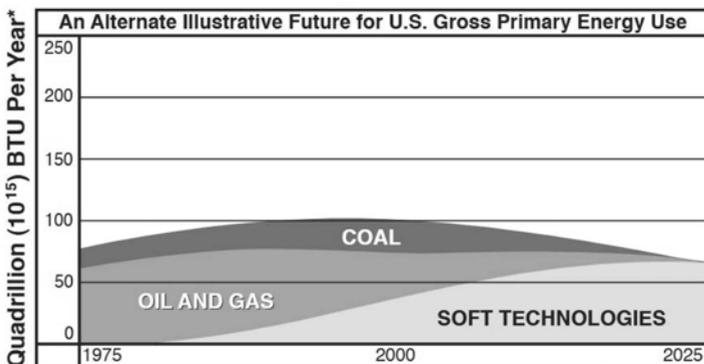
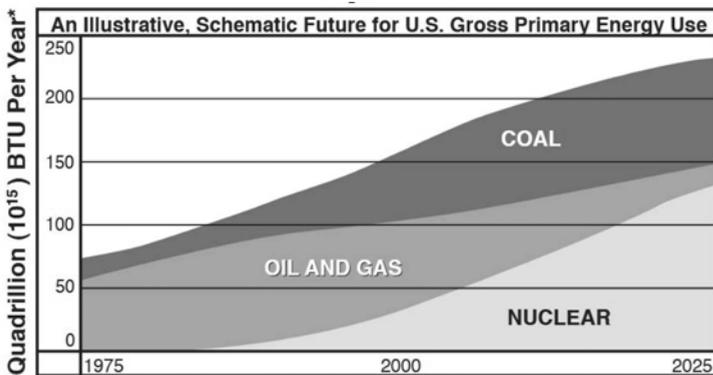


Abb. 1-1: ‚Soft‘ and ‚Hard‘ Energy Paths; Quelle: A. Lovins, Energy Strategy: The Road Not Taken, 1976

Ein Jahr später präziserte LOVINS sein Programm ausführlicher mit der Buchveröffentlichung „Soft Energy Paths: Towards a Durable Peace“.¹ Es erschien 1978 auch in Deutschland.



Abb. 1-2: Lovins bei Präsident Carter, Okt. 1977. Carter galt als Freund regenerativer Energiequellen; Quelle: Rocky Mountain Institute (RMI)

LOVINS' Ideen fanden große Publizität, bis zum Interview mit Präsident CARTER im Weißen Haus, s. Abb. 1-2. In Deutschland übernahmen der Frankfurter F. KRAUSE und seine beiden Co-Autoren H. BOSSEL und K.-F. MÜLLER die Überlegungen LOVINS' und wandten sie auf Deutschland an. Ihr Alternativ-Bericht „Energie-Wende. Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran“ erschien 1980 im Selbstverlag der Autoren² und wurde kurz darauf als Bericht des neu entstandenen Freiburger Öko-Instituts bei S. Fischer verlegt.³ Die These der Autoren war, „dass eine grundsätzliche und radikale Wende in der Energiepolitik der Bundesrepublik (und der Industriestaaten im Allgemeinen) unabdingbar geworden ist.“⁴ Diese Publikation gilt als Ursprung des heute geläufigen Begriffs.

Das Verständnis der Energiewende als Übergang zu nachhaltiger Energiepolitik findet sich 2002 erstmals in Deutschland in der vom deutschen Bundesumweltministerium in Berlin ausgerichteten Fachtagung „Energiewende – Atomausstieg und Klimaschutz“.⁵ Das Bundesumweltministerium veranstaltete diese Tagung gemeinsam mit der Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU) der Freien Universität Berlin am 15. und 16. Februar 2002 im Deutschen Architektur Zentrum, Berlin. In den Folgejahren wurde dann „Energiewende“ zunehmend zum Leitbegriff und Schlagwort der energiewirtschaftlichen Diskussion in Deutschland und auch der offiziellen deutschen Politik.

1 Lovins, A. B.: Soft Energy Paths: Towards a Durable Peace, UK 1977.

2 Krause, F. / Bossel, H. / Müller-Reißmann, K.-F., Energie-Wende: Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran, Ein Alternativ-Bericht, Selbstverlag 1980.

3 Energie-Wende: Wachstum u. Wohlstand ohne Erdöl u. Uran, ein Alternativ-Bericht d. Öko-Instituts, Freiburg, Frankfurt a. M. 1. Januar 1981.

4 Krause, Vorwort.

5 So auch Anonymus, Energiewende, in: www.wikipedia.org/wiki/, Abruf 1. März.2020.

Erst viel später, wohl zuerst 2011 im Bostoner Christian Science Monitor, findet sich der Begriff auch im englischen Sprachraum, als dieser über die Beschlüsse der deutschen Bundesregierung nach der Nuklearkatastrophe von Fukushima berichtete und Kanzlerin MERKEL zitierte. Hier und danach finden sich Übersetzungen wie „energy transition“ (Energieübergang) oder „energy switchover“ (Energiewechsel), zunehmend aber auch das deutsche Wort Energiewende.⁶

- ▶ Energiewende ist also ein Wortbegriff der jüngsten Vergangenheit. Seine komplexen Inhalte sind jedoch älteren Ursprungs, zumindest in Teilen, und haben ihre eigene Geschichte.

Das wird in den folgenden Kapiteln deutlicher werden.

6 Z. DIE ZEIT Nr. 47/2012.

2 Die Anfänge: Ressourcen

Energie wurde schon im Altertum zu einem wichtigen Gewerbe- und Handelsgut, im Wesentlichen in der Form von Holz. Es lohnt, die Geschichte dieser Ressource zu verfolgen – es ist dies ein erstes Beispiel für intensivste Nutzung, hieraus entstehende Probleme, deren Bewusstwerden und schließlich auch für ihre zumindest partielle Lösung.¹

Die griechische und römische Antike verwendete umfangreich Holz als Brennstoff für den häuslichen Bereich, also zum Kochen und Heizen in relativ einfachen Öfen, aber auch in den anspruchsvolleren Hypokaustenanlagen. Die meist für das Kochen verwendete Form war die der Holzkohle (anthrax im Griechischen, carbo bei den Römern), weil sie langsamer brannte, weniger Rauch entwickelte und leichter über Fächer oder Blasebälge zu regeln war.² Holzkohle wurde in der Antike auch gebraucht für Metallschmelzöfen, da sich mit ihr hohe Temperaturen (nach LANDELS bis 1500 °C) erreichen ließen. Da sich nur bestimmte Hölzer (Steineiche, Buche) für die Köhlerei eigneten und deren Meiler von den Verwendungsstätten wegwanderten, dürfte die Transportfrage aufgekommen sein und Holzkohle zu einem durchaus teuren Brennstoff gemacht haben.

Ganz wesentlich war schon früh der Einsatz von Holz für die Salzgewinnung. Zwar war im sonnenreichen antiken Mittelmeerraum die Gewinnung von Salz aus dem Meer naheliegend. Nördlich entwickelte sich jedoch der Trockenabbau von Steinsalz und damit die auf Brennholz angewiesenen Salzsiederei. Eines der ältesten Salzbergwerke befindet sich in Wieliczka in Polen, eine Salzsiederei gab es dort seit 3500 v. Chr., unterirdischen Abbau seit dem 13. Jahrhundert. Aus der Bronzezeit gibt es Hinweise auf Salzabbau in Hallstatt im Salzkammergut. Der konkurrierende Nassabbau geht auf die Jungsteinzeit und die Bronzezeit zurück, als im heutigen Sachsen-Anhalt Salz aus der Sole gewonnen wurde. In der Eisenzeit (Hallstattzeit) bestanden Salinen an zahlreichen Solequellen und an den Küsten. Wichtigste Standorte in Deutschland waren: Halle (Saale), Bad Nauheim, Schwäbisch Hall, Werl (Westfalen). Die Solequellen waren meist im Besitz der Landesherrn; sie vergaben den Betrieb an die selbständigen „Pfänner“, die eigentlichen Hersteller des Salzes, die dann auch den Vertrieb übernahmen. In Halle hatte die im Jahre 1491 gegründete „Salzwirker-Brüderschaft im Thale zu Halle“, deren Mitglieder Halloren genannt wurden, das Recht zu Gewinnung und Vertrieb über Jahrhunderte hinweg. Ähnlich war es in Werl, wo die Gilde der Erbsälzer schon 1246 erstmalig genannt wurde, als der Kölner Erzbischof die besonderen Privilegien der Werler Sälzer bestätigte und ihnen das erbliche Recht der alleinigen Salzgewinnung in der Stadt zuerkannte. 1708 wurden sie schließlich noch in den Adelsstand erhoben – was den Stellenwert herausstellt, den das kostbare Salz vermitteln konnte.³

Abgesehen von der Gewinnung aus dem Meer war für die verschiedenen Verfahren ein hoher spezifischer Energiebedarf typisch. Aber auch die Menge an produziertem Salz

1 Folgende Abschnitte unter Verwendung von Erbslöh; F. D.: Energietransport und Energiespeicherung, Tübingen 2020, Kap. Holz und Kap. Nachhaltige Speicher: Wald und Holz.

2 Landels, J. G.: Die Technik in der antiken Welt, München 1979, S. 36.

3 U. a. www.deacademic.com, Art. Erbsälzer, Abruf 12.10.2019.

war erheblich. Allein für Lüneburg mit den bedeutendsten Salinen des Nordens stieg im 13. Jahrhundert der Jahresertrag an Salz auf 15–16.000 Tonnen und der Verbrauch an Holz stieg mit.⁴ Schätzungen aus späterer Zeit kommen im Mittel auf 1:100 als Relation von 1 kg Salz zum Raummeter Holz.⁵ Die Folge waren umfangreiche Rodungen, die zu Holzverknappung und in der Folge zu beträchtlichem Holzhandel führten. Die These, dass hierauf die Entstehung der Lüneburger Heide zurückzuführen sei, gilt inzwischen zwar als widerlegt – jedoch bleibt es aufgrund der aufgefundenen Lieferscheine bei weiten, umfangreich genutzten Transportwegen und -mengen.

Zu berücksichtigen ist dabei, dass Holz auch als Werkstoff und nicht nur als Brennholz Verwendung fand. Die entstehende Holznot brachte die mittelalterliche Gesellschaft an sozial umkämpfte Grenzen der Waldnutzung und verstärkte sich im ausgehenden Mittelalter noch aufgrund der expandierenden gewerblichen Nutzung von Brennholz, v. a. im Bergbau (Metalle, Salz) und in der „protoindustriellen Produktion“ (RADKAU)⁶. Das führte zur Verlängerung der Transportwege und zur steigenden Bedeutung des Holzhandels.

Der Bergbau auf Erz, die Salinen zur Salzgewinnung und die Holzköhlerei für die Aufbereitung des Erzes ließen im Mittelalter Holzgroßverbraucher entstehen. Salinen und Hüttenwerke bekamen ganze Waldungen „gewidmet“. Sie hatten Anrecht auf riesige Holz Mengen zu geringen Preisen, was zu großen Entwaldungen und immer längeren Transportwegen führte. Die Folge waren erste Eingriffe der Obrigkeit. So ist aus Dortmund ein früher Bericht über verordneten Holzanbau erhalten. Im Jahre 1343 wurde dort im Dortmunder Reichswald eine Laubholzpflanzung angelegt.

Bekannt sind auch erste Aufforstungen im Nürnberger Reichswald. Mit dem Ende der letzten Eiszeit wurde die dort ursprünglich waldfreie Tundra von Bäumen besiedelt und nach 9.000 Jahren hatte sich ein geschlossener Waldbestand aus Kiefern-, Birken-, Eichen-, Buchen- und anderen Waldformen entwickelt. Im Mittelalter war der Wald Krongut der deutschen Kaiser, in der Verwaltung durch die Stadt Nürnberg. Von daher stammt auch die Bezeichnung Reichswald, die es auch für andere Wälder in Deutschland gibt, s. oben. Im 13. Jahrhundert wurde der Nürnberger Forst durch Entnahme von Holz, Streu und Rodungen stark übernutzt.

P. STROMEIR, als Nürnberger Ratsherr wie als Miteigentümer von Berg-, Hütten- und Hammerwerken an der Bewirtschaftung der verödeten Flächen und speziell an der Holzversorgung interessiert, experimentierte 1368 auf einigen hundert Morgen des Lorenzer Reichswaldes mit der Anpflanzung von Nadelbäumen, die ihm durch ihr schnelles Wachstum für eine Holzwirtschaft geeignet erschienen. Er hatte tonnenweise Tannen-, Fichten- und Kiefernzapfen sammeln lassen, deren Samen er in den tief umgepflügten Boden streuen ließ. Vor allem mit den Tannen- und Kiefern-Saaten hatte er schließlich Erfolg.⁷

Abb. 2-1 zeigt diesen Innovator, der es auch schaffte, mit seinen „Dannensäern“ ein ganz neues Geschäftsfeld für Nürnberg zu eröffnen.

4 Ludwig, K.H.: Propyläen TG, Bd. 1000–1600, S. 168 f.

5 Ludwig, S. 178 korrigiert.

6 Radkau J.: Holz – wie ein Naturstoff Geschichte schreibt, München 2012, S. 133 ff.

7 www.peoplepill.com/people/peter-stromer/ Abruf 12. September 2019.



Abb. 2-1: Der Nürnberger Rats- und Handelsherr Peter Stromeir ließ als erster Nadelbäume aussäen; Quelle: R. Lohberg, *Der deutsche Wald kann mehr als rauschen*, 1966. Kap. Geschichte der Forstwirtschaft

Nürnberg war damals eine der regsamsten, fortschrittlichsten Städte Europas. Den Nürnberger Kaufleuten wurde rasch klar, welches wirtschaftliche Potenzial in den Ideen STROMEIRS lag und taten es ihm nach, mit beachtlichem Erfolg: Nürnberg exportierte neue Wald-Samen „aller drei Sorten“ überallhin nach Europa. Wo immer Angst vor Holzmangel herrschte, fanden sich Käufer. Nürnberger Fachleute, eben die Dannensäer, reisten mit, um das Anpflanzen zu überwachen. Das kam die Kunden zwar teurer zu stehen als der Erwerb der Samen, war aber letztlich billiger, als noch Zeit zu verlieren mit eigenen Experimenten.

Ab 1500 beginnt dann eine lange Reihe der Forstordnungen. Die Gefahren des Kahlschlag wurden erkannt und führten zumindest regional zur Vorsicht in der Waldnutzung. In Reichenhall wurde so bereits im 16. Jh. eine „nachhaltige“ Holzwirtschaft betrieben. Das kommt in einem späteren Zitat von 1661 deutlich zum Ausdruck: „Gott hat die Wälder für den Salzquell erschaffen, auf daß sie ewig wie er kontinuierieren mögen; also solle der Mensch es halten: ehe der alte ausgehet, der junge bereits wieder zum Verhacken herangewachsen ist.“⁸ Prominente Zeitgenossen nahmen sich des Problems an. So prophezeite MELANCHTON, es werde „der Welt an drei Dingen mangeln: an guter Münze, an Holz und an guten Freunden.“ Das Problem war nicht nur ein deutsches: COLBERT, der Finanzminister LUDWIGS XIV, meinte pessimistisch: „Frankreich wird aus Mangel an Holz zugrunde gehen.“ Er erließ 1669 eine Forstschutzverordnung. Auch der Physiker RÉAUMUR warnte 1721 eindringlich vor Holzmangel. Der französische Marineinspekteur DUHAMEL DU MONCEAU verfasste zwischen 1755 und 1767 eine Reihe grundlegender Schriften zum Forstwesen und gehört damit zu den Begründern einer Wissenschaft vom Forst.

Parallel mit dem Wandel vom reichlich vorhandenen Naturprodukt zum knappen Wirtschaftsgut mit festen Preisen lief eine gesellschaftliche Veränderung. Indem die Bauern den Gemeindewald als Privatbesitz unter sich aufteilten, entzogen sie der unterbäuerlichen

8 Deutsches Museum, Art. Holz als Brennstoff im "hölzernen Zeitalter", o. Ort u. Jahr.

Schicht, die den Wald für ihr Vieh zur Mast und Weide nutzte, die Existenz. Auch die Waldgewerbe wie Köhler, Pechbrenner und Pottaschesieder wurden verdrängt. Im Bayerischen Wald galten Pechbrenner zum Teil als vogelfrei und durften von den Förstern niedergeschossen werden. Holzdiebe wurden gnadenlos verfolgt.

Holzangel und Holzteuerung waren speziell im Übergang zum 19. Jahrhundert wichtige allgemeine Themen. Rückblickend wurde für diesen Zeitraum oft von Holznot gesprochen – ein Begriff, den J. RADKAU so nicht stehen lassen wollte und damit eine lebhaft Diskussion unter den Historikern auslöste.^{9,10} 1780 musste eine durchschnittliche Berliner Familie erstmals mehr Geld für Brennholz als für Brot ausgeben. 1821 wurde in Preußen ein Allgemeines Holzdiebstahlgesetz erlassen. 1850 kamen dort auf 35.000 gemeine Diebstähle 265.000 Holzdiebstähle, die so konsequent verfolgt wurden, dass sich K. MARX als junger Anwalt 1842 empörte, dass dem modernen Staat das Holz wichtiger sei als der Mensch.

Das Problem war allerdings auch ein großes: Der Waldbestand in Kontinentaleuropa hatte sich bis 1600 schon auf 20 % der Landfläche reduziert (von ursprünglich 90 % in römischer Zeit). Und der Energieverbrauch einer mittelalterlichen Stadt war recht hoch. Er wird auf etwa 20 Watt pro Quadratmeter bebaute Fläche geschätzt; eine Hilfsrechnung ergibt dann, dass hierfür eine Waldfläche vom etwa 100-fachen der Stadtfläche erforderlich war.

Übermäßiger Holzverbrauch und die damit einhergehende drohende Holzverknappung und Degradierung der Wälder führten dazu, dass Anfang des 18. Jahrhunderts systematische Ansätze einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung entwickelt wurden. Im Jahr 1713 brachte der sächsische Oberberghauptmann H. C. VON CARLOWITZ ein Werk heraus, das ihm später den Ruf als Vater der modernen Forstwirtschaft eintrug. In „*Sylvicultura Oeconomica*“ forderte er, dass Holzeinschlag und planmäßige Aufforstung immer im Gleichgewicht sein müssten. Er benutzte sogar den Begriff der Nachhaltigkeit, ohne ihn allerdings näher zu erläutern (was dann 1795 der Forstwissenschaftler G. L. HARTIG nachholte).

- Die erste Energiekrise der Menschheit konnte damit überwunden werden – durch einen Sprung in die Nachhaltigkeit des Wirtschaftens.

Bei der nicht nachwachsenden Kohle ist dies naturgemäß anders. Der Rohstoff Kohle wurde nach Nutzungsanfängen im Mittelalter im 19. Jahrhundert zum entscheidenden Faktor für die von Europa ausgehende Industrialisierung. Die Förderung und die Verwendung von Kohle standen im Mittelpunkt der Strukturveränderungen, sowohl der Technik wie auch des wirtschaftlichen und sozialen Lebens. Kohle lieferte im Vergleich zum seit der Antike vorherrschenden Holz preiswerte und zuverlässige Energie. Kohle wurde im Verlauf des 19. Jahrhunderts die Basis für die Leitsektoren Eisengewinnung und -verarbeitung und Verkehrs- und Transportwesen.

Auch die Kohleförderung und -nutzung wurde von kritischen Stimmen begleitet. Die Einsicht, dass die Kohlevorräte irgendwann erschöpft sein könnten und Knappheit drohte,

9 Radkau, J.: Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis heute. Frankfurt / New York 2008.

10 Radkau, J.: Holzverknappung und Krisenbewusstsein im 18. Jahrhundert, in: Geschichte und Gesellschaft (1983).

kam Einzelnen schon früh, zunächst im Kohleland England. Es wird berichtet, dass es dort bereits im 16. Jahrhundert vereinzelt zu Befürchtungen kam, dass die Kohle endlich sein könnte, und in deren Folge in den Parlamenten Exportverbote für Kohle debattiert wurden.¹¹

Ab dem späten 18. Jahrhundert spielten zunehmend sich ändernde Vorstellungen von Wachstum und Verbrauch hinein. Bis dahin galt das Dogma der Merkantilisten, die den Staat für die Wirtschaft in der Rolle des Initiators, des Handelnden und der Aufsichtsführung sahen.¹² Diese praktisch-politischen Ansätze hatten zwar das Ziel der Steigerung der nationalen Wirtschafts- und Handelskraft (auch der Bevölkerung), basierten jedoch auf keiner in sich geschlossenen wirtschaftstheoretischen und -politischen Konzeption. Es war mehr eine Sammlung punktueller, jeweils problembezogener Ideen und Rezepte, ausgerichtet auf Schaffung einer gewerbefördernden Infrastruktur und staatlicher Manufakturen, auf Preisvorgaben, Privilegien, Produktionsvorschriften und Regelung von Ein- und Ausfuhr, und dies alles zur Mehrung des Staatsschatzes.¹³

A. SMITH war der erste, der das Individuum in den Vordergrund stellte und die Rolle des Staates nur noch in der Herstellung und Sicherung eines Ordnungsrahmens sah. Mit seiner Theorie von Angebot und Nachfrage, letztlich vom Markt, wurde er zum Vater künftiger Generationen von Volkswirtschaftlern. Er erklärte auch die Mechanismen des wirtschaftlichen Wachstums, vor allem in Buch 2 seines Hauptwerks „Wohlstand der Nationen“¹⁴(1776). Stadt- und Landwirtschaft sah er aufeinander bezogen an, eine grundsätzliche Betrachtung der Ressourcen, auch ihre Begrenzung, fehlt jedoch noch bei ihm. Für ihn ersetzte die Kohle das Holz ad infinitum.¹⁵ So gilt er heute (auch) als Vordenker des „fossilen Kapitalismus“.

Das änderte sich erst mit A. ST. JEVONS und dessen Hauptwerken „The Coal Question“ mit dem Untertitel „An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of our Coal-mines“ von 1865 und „Theory of Political Economy“ (1871). Während letzteres stark beachtet und rezipiert wurde, blieb die Resonanz für The Coal Question begrenzt, was wir heute wohl anders sehen würden.

Für JEVONS, der auch Geologe war, war klar, dass sich die Kohlevorräte erschöpfen würden: „[...] a vague notion that some day our coal seams will be found emptied to the bottom, and swept clean like a coal-cellar.“¹⁶

JEVONS' numerische Analyse ging von zwei Annahmen aus: einer jährlichen Verbrauchssteigerung von 3,5 % und einer deutlichen Preissteigerung für immer tiefere, bis 4000 Fuß reichende Gruben. Im Ergebnis kam er auf 100 Jahre (oder auf nur zwei Generationen) bis zum Fördermaximum mit anschließendem Abstieg.¹⁷ Wie recht er im Grundsatz hatte, zeigt Abb. 2-2. The Coal Question wurde zeitgenössisch attackiert, jedoch

11 Anonymus, Energiewende, in www.wikipedia.org/wiki/, Abruf 1. März 2020.

12 Nähere Definition Merkantilismus in Gabler Wirtschaftslexikon, Wiesbaden, 19. Aufl. 2019, Stichwort Merkantilismus.

13 Sauerland, D.: Merkantilismus, in: Gabler Wirtschaftslexikon.

14 The Wealth of Nations, auch als „Reichtum der Nationen“ übersetzt.

15 Bortis, H.: Vorl. Adam Smith: Optimistischer Liberalismus, Lehrstuhl für Wirtschaftstheorie und Wirtschaftsgeschichte, Universität Freiburg, Schweiz, 2014.

16 Jevons, A. St.: The Coal Question, London 1865, p. xxix.

17 Koppelaar, R.: Oil Drum, August 15, 2011.

kam es zu mehreren Royal Commissions, die zu prüfen hatten, ob ein Erreichen des Fördermaximums Englands führende wirtschaftliche Position gefährden könnte.¹⁸

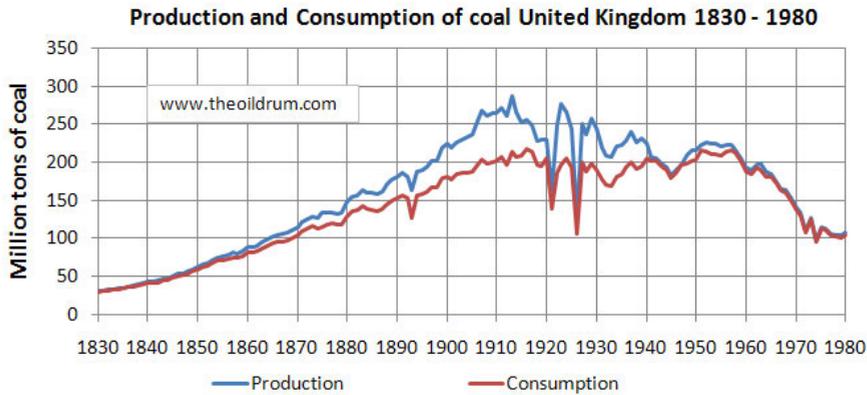


Abb. 2-2: British Coal Production 1830 – 1980; Source of Data: Mitchell (1988)

Bekannter als diese Aussagen wurde ein Detail aus seiner ökonomischen Theorie, das sogenannte JEVONSSCHE Paradoxon. Es bestand im Beispiel darin, dass Englands Kohlenverbrauch nach der Einführung der WATTSCHE Dampfmachine anstieg, obwohl sie sehr viel effizienter war als die von NEWCOMEN. Die Erklärung lag und liegt auf der Hand: der erreichte sparsame Energieverbrauch hatte eine steigende Verbreitung der Dampfmachine und eine Ausdehnung der Anwendung in andere Bereiche zur Folge und führte damit zu dem insgesamt erhöhten Kohlenverbrauch. Übersetzt ins Allgemeine: Die effizientere Nutzung eines Rohstoffes ermöglicht Preissenkungen, die einen Anstieg der Nachfrage und neue Marktsegmente ermöglichen und damit die ursprüngliche Effizienzsteigerung aufheben – was heute in der ökonomischen Theorie unter Reboundeffekt bekannt ist.

Ressourcenschonung und ökologische Aspekte wurden in der Technik erst vergleichsweise spät wahrgenommen. Um 1850 stand fast ausschließlich die Produktgenerierung bis zur Fertigung im Mittelpunkt. Speziell der Fertigungsprozess und alle späteren Phasen des Produktlebenszyklus waren noch kein Gegenstand der Reflexion. Das Bewusstsein für ökologische Zusammenhänge und für die Endlichkeit von Energie- und Materialressourcen war nur schwach ausgebildet.

Die industrielle Entwicklung hatte die Begrenztheit der agrarwirtschaftlichen bzw. vorindustriellen Ressourcenbasis überwunden, oder man glaubte dies zumindest. In der Ökonomie fand das seine Spiegelung im Bild eines säkularen Wirtschaftswachstums, das aus immer wiederkehrenden, sich selbst regulierenden Umläufen von Güter- und Geldströmen entsteht. Auf der Seite der Technik entsprach diesem ökonomischen „perpetuum mobile“ die Idee eines ständigen Fortschritts, der aufgrund kontinuierlich verbesserter Methoden auch die für das Wachstum erforderliche fossile Energie und die notwendigen Rohstoffe beschaffte.

18 Held, M.: Aufstieg des fossilen Kapitalismus, Vilmor Sommerakademie der Evangelischen Akademie Tutzing, 2010.

Es war eine Art von Kreislaufmodell¹⁹, das auch von den Naturwissenschaften gestützt schien. Die notwendige Korrektur kam 1824 von S. CARNOT mit dem Verständnis des thermodynamischen Wirkungsgrades und der Folgerung, dass alle realen Vorgänge irreversible Komponenten enthalten und die Rückkehr in den Urzustand immer nur über die Zufuhr von Energie läuft.²⁰

Die beiden sogenannten Hauptsätze der Thermodynamik²¹ verallgemeinerten um 1850 diese Einsichten, sodass H. VON HELMHOLTZ 1862 von einem konstanten „Kraftvorrat des Weltganzen“ sprechen konnte, der aus zwei Teilen bestünde, nämlich einem ständig kleiner werdenden „Vorrat, der die Änderungen unterhält“, und einen dauernd zunehmenden „Vorrat, der keine Änderungen mehr möglich macht“.²²

Bei den Technikern wurde vor allem der „Erhaltungssatz“ rezipiert und als Bestätigung des Kreislaufmodells verstanden. Es war R. CLAUDIUS, der hier deutlicher wurde und verständlicher formulierte, „daß ein Naturgesetz aufgefunden ist, welches mit Sicherheit schließen läßt, daß in der Welt nicht alles Kreislauf ist, sondern daß sie ihren Zustand fort und fort in einem gewissen Sinne ändert und so einem Grenzzustande zustrebt“.²³ Und später, in einer gesonderten Veröffentlichung von 1885 ganz konkret hinsichtlich der sorglosen Verwendung der Kohle: „Diese verbrauchen wir nun, und verhalten uns dabei ganz wie lachende Erben, welche eine reiche Hinterlassenschaft verzehren. Es wird aus der Erde heraufgeschafft, so viel sich durch Menschenkraft und technische Hilfsmittel nur irgend heraufschaffen lässt, und das wird verbraucht, als ob es unerschöpflich wäre.“ Er forderte in der gleichen Schrift, den Bedarf künftig so weit wie möglich mit heute so genannten regenerativen Energiequellen zu decken, insbesondere mit elektrisch übertragener Wasserkraft. Während das vergangene Jahrhundert der Menschheit die Naturkräfte dienstbar gemacht habe, „werden die folgenden Jahrhunderte die Aufgabe haben, in dem Verbrauch dessen, was uns an Kraftquellen in der Natur geboten ist, eine weise Ökonomie einzuführen, und besonders dasjenige, was wir als Hinterlassenschaft früherer Zeitepochen im Erdboden vorfinden, und was durch nichts wieder ersetzt werden kann, nicht verschwenderisch zu verschleudern.“²⁴

Auch der langjährige VDI-Direktor F. GRASHOF rügte 1877 den verschwenderischen Kohlenraubbau und forderte einen schonenden Umgang mit den Energieressourcen, vor allem durch „Gleichgewichts- und Kreislauftechniken, die die auf der Welt insgesamt

19 Dieser und folgende Abschnitte unter Verwendung und Bearbeitung von Hellige, H. D.: Wirtschafts-, Energie- und Stoffkreisläufe in säkularer Perspektive: Von der thermodynamischen Entzauberung der Welt zur recyclingorientierten Wachstumsgesellschaft, in: G. Hübinger, J. Osterhammel, E. Pelzer (Hg.), Universalgeschichte und Nationalgeschichten, Freiburg 1994, S. 291–315.

20 Carnot, S.: *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Paris 1824.

21 Der erste ist der Erhaltungssatz, der zweite der Entropiesatz.

22 Helmholtz, H. von: *Populäre wissenschaftliche Vorträge*, Braunschweig 1876, darin 2. Heft: Über die Erhaltung der Kraft, Einleitung eines Zyklus einer Vorlesung in Karlsruhe 1862–63.

23 Clausius, R. R.: Über den 2. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, Braunschweig 1867, S. 15–17, Zitat S. 17.

24 Clausius, R. R.: Über die Energievorräte der Natur und ihre Verwertung zum Nutzen der Menschheit, 1885, neu hrsg. von O. Krätz, in: *Chemie: Experiment + Technologie*, 3 (1977) 9, S. 225–330, Zitate S. 329/330.

konstante Arbeitsmenge nur immer wieder nutzbringend umschichten“ sollten.²⁵ Das lief auf eine Notwendigkeit des Haushaltens mit den endlichen Naturvorräten hinaus.

Die Mahnungen blieben jedoch ohne Folgen. Die Erschließung immer neuer Rohstoffvorkommen und Kraftquellen im Inland und vor allem in den Kolonien ließ die Vorräte als nahezu unendlich erscheinen, wie Veröffentlichungen von z. B. 1888 zeigen: „Hiernach würde Deutschland bei einer gleichen Gewinnung wie die gegenwärtige von rund 60 Millionen Tonnen für 1 Jahr noch für etwa 6.000 Jahre Kohle besitzen oder den gegenwärtigen Verbrauch Europas auf etwa 1.500 Jahre decken.“²⁶

Dann kam es Ende des 19. Jahrhunderts jedoch mit der „energetischen Bewegung“ des Physikochemikers A. W. OSTWALD zu einem neuen Impuls. Sein übergreifender metaphysischer Ansatz verband Physik, Technik und Staat durch sein Grundprinzip von der Verbesserung des Nutzens: „Der ökonomische Koeffizient der Energietransformation ist so wirklich der allgemeine Maßstab menschlicher Angelegenheiten.“²⁷ 1912 formulierte er seinen Energetischen Imperativ: „Vergeude keine Energie, sondern nutze sie!“²⁸

OSTWALDS Verdienst ist es damit, ein normatives Leitbild einer „dauerhaften Wirtschaft“ geschaffen zu haben, letztlich ein Vorläufer der „sustainable economy“. Er hatte damit auch Resonanz, allerdings mehr zufällig aufgrund des „Kohlennot-Alarms“ von 1900, einer hochkonjunkturbedingten massiven Kohlenknappheit.²⁹

Das Denken in Wirkungsgraden verbreitete sich schnell in der Technik und führte vor dem Ersten Weltkrieg zu einer „progressiv-technokratischen Ingenieurbewegung, die sich z. T. auch kritisch gegen die Kaufleute in den Unternehmungsleitungen richtete und latent antikapitalistisch war. Ziel dieser Bewegung war der Kampf gegen jegliche Vergeudung von Energie-, Material- und Arbeitsressourcen in der Gesamtwirtschaft.“³⁰

Der erste Weltkrieg verschärfte unter dem Eindruck der Knappheit die Bemühungen um rationelleren Umgang mit den Ressourcen. Namentlich sind hier W. RATHENAU und W. VON MÖLLENDORF zu nennen, die sich für eine generelle Verbrauchssenkung von Energie und Rohstoffen einsetzten, bei RATHENAU 1917 dazu noch verbunden mit allgemeinen gesellschaftspolitischen Zielsetzungen: „Heute ist jeder Verlust, jede Verschwendung Sache der Gemeinschaft.“³¹ Ähnliche Reformansätze gab es in den USA, auch hier von den Ingenieuren ausgehend. Sie reichten dort über das Kriegsende hinaus und manifestierten sich in einer „Revolt of Engineers“.

Mit der Rückkehr zu „normalen“ Verhältnissen nach dem Krieg mit gutem Angebot von Energie und Rohstoffen in den 1920er Jahren verflachte in den USA wie in Deutschland die energetische Bewegung zu einer Rationalisierungsstrategie nach TAYLOR und FORD. Der

25 Grashof, F.: Über die Wandlungen des Arbeitsvermögens im Haushalt der Natur und der Gewerbe, Berlin 1877. Zit. nach Hans-Liudger Dienel, Herrschaft über die Natur? Naturvorstellungen deutscher Ingenieure 1871–1914. Stuttgart 1992, S. 96.

26 Anonymus: Ueber die Steinkohlevorkommnisse und -Gewinnung auf der Erde, Polyt. Journal 1888, Band 268 (S. 577–586).

27 Ostwald, W.: Die Energie. Leipzig 1908, Kapitel "Soziologische Energetik", Zitat auf S. 165f.

28 Ostwald, W.: Der energetische Imperativ. 1. Reihe. Leipzig 1912, S. 1–24, S. 13.

29 Radkau, J.: Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart, Frankfurt a. M. 1989, S. 285–299, bes. S. 286.

30 Hellige, S. 5.

31 Rathenau, W.: Die neue Wirtschaft, in: Ges. Schriften Bd. 5, Berlin 1925, S. 211.

„Energetische Imperativ“ war etwas für Notzeiten gewesen, den man bei einem reichen Angebot an Rohstoffen und Energieträgern schnell wieder vergaß. Fast typisch wiederholte sich dieser Prozess im und nach dem zweiten Weltkrieg. Erst die Debatte über die Grenzen des Wachstums der 1970er Jahre und vor allem die beiden Ölpreiskrisen 1973–1975 und 1979–1982 beendeten diese Phase des sorglosen Umgangs mit Rohstoffen und Energie.

Die Mahnungen aus dem letzten Drittel des 19. Jahrhunderts hatten zwar keine unmittelbaren praktischen Folgen für den Umgang mit Energie gehabt, wie oben erläutert. Aber sie hatten doch die Reichweitendiskussion angestoßen, die auch nach dem Aufkommen des Erdöls die Szene bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts beherrschte, als sich mit der Kernenergie eine scheinbar unerschöpfliche Energiequelle auftat. Ihre Ergebnisse wurden zwar jeweils zur Kenntnis genommen, gaben jedoch keinen Anlass zum grundlegenden wirtschaftlichen oder technischen Wandel, zumal sich immer Korrektive auftaten. So bewahrheitete sich die Prognose einer schnellen Kohlenkrise nicht – mit dem Beginn der Erdölnutzung ab 1859 gab es für die Kohle Konkurrenz und zumindest partiellen Ersatz.

Die Problematik der Reichweite der Vorräte stellte sich allerdings auch hier. Sie wurde sogar offensichtlicher und führte zu etlichen Cassandra-Rufen: die mühsam erschlossenen Ölfelder erschöpften sich oft binnen weniger Jahre. Das zeigte sich früh in den USA, die den Erdölboom 1859 mit der Bohrung von DRAKE in Pennsylvania angestoßen hatten. DRAKES Bohrung war zwar nicht der erste erfolgreiche Fund – 1844 hatte schon der russische Ingenieur F. N. SEMYENOV mit einem Schlagbohrsystem eine erste Ölquelle im auch heute noch genutzten Ölfeld von Bibi-Eibat erschlossen – jedoch verfügten die Amerikaner über das Patent des kanadischen Arztes und Geologen A. P. GESNER auf die Herstellung von Petroleum aus Kohle oder Erdöl. Das gab dann den Ausschlag für ihre künftig führende Rolle im neu entstehenden Ölmarkt.

„Schon 1910 erklärte das US-Bergbauamt, die Erdölvorräte würden nur noch für 10 Jahre reichen.“³² 1919 findet sich mit 20 Jahren eine nächste kurze Reichweitengabe und 1922 ermittelten US-Regierungsgeologen, dass die amerikanischen Quellen 1940 versiegt sein würden. Sogar der Begriff „Ölnot“ zirkulierte und wurde von ROCKEFELLER im Kampf um weltweit neue Erschließungsrechte politisch genutzt.³³

In der Folge mehrten sich die Reichweiten-Prognosen für Kohle und Öl, die häufig nicht vergleichbar waren, da die Begriffe wechselten oder unscharf verwendet wurden. Schon länger unterscheidet man korrekt³⁴

- Reserven (bestätigte Reserven): Teil des Gesamtpotentials, der mit großer Genauigkeit erfasst wurde und mit den jeweiligen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gewonnen werden kann.
- Ressourcen: Teil des Gesamtpotentials, der entweder nachgewiesen, aber derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbar ist, oder geologisch noch nicht genau erfasst ist.
- Gesamtpotential: Die Summe aus Reserven und Ressourcen, also das verbleibende Potenzial für den zukünftigen Verbrauch.

32 Lomborg, B.: *Apocalypse No!*, deutsche Ausgabe, Lüneburg 2001, S. 150.

33 Zischka, A.: *Der Kampf um die Weltmacht Öl*, Leipzig 1934, S. 57.

34 Nach Bundesanstalt für Geowissenschaften.

- Statische Reichweite: Der Wert entspricht dem Verhältnis der jeweils bekannten Reserven zur Ölproduktion des jeweils abgelaufenen Jahres (engl. Reserve-to-Production-Ratio). Dass die statische Reichweite lediglich eine Momentaufnahme liefert und künftige Nachfrageänderungen in die Berechnung nicht einfließen, war zwar grundsätzlich bekannt, fand aber erst viel später Eingang in die offiziellen Statistiken.³⁵

Mit den 1920er Jahren haben wir jedoch schon eine Epoche erreicht, in der ein neuer und letztlich bedrohlicherer Aspekt Beachtung fand: die ökologischen Folgen der Nutzung von Bodenschätzen und fossiler Energie. Zu Beginn des Jahrhunderts war erstmals ein Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur der Erde und einem Anstieg des CO₂ in der Atmosphäre durch die Industrialisierung thematisiert worden. Allerdings fehlten damals die Daten für einen Nachweis der These, s. Kap 4, Klimadiskussion: Treibhauseffekt.

Schon im 19. Jahrhundert hatte es bereits erste Schritte zum Naturschutz gegeben. 1872 beschloss der amerikanische Kongress die Einrichtung des Yellowstone National Park. Dies gab Anregung auch für andere Nationen, z.B. Schweden, das 1909 die ersten Nationalparks einrichtete. Einige der ersten internationalen Bemühungen um den Naturschutz waren dann³⁶

- 1911, erste internationale Konferenz für Vogelschutz in Paris,
- 1913, erste internationale Konferenz für Naturschutz in Bern,
- 1923, 1. Internationaler Kongress für Naturschutz in Paris,
- 1925, 1. Deutscher Naturschutztag in München.

Bis zu internationalen Abkommen war es jedoch noch ein weiter Weg – erst mussten zwei Weltkriege geschlagen und überwunden werden.

Regenerative Energien und deren Nutzungsmöglichkeiten waren Anfang der 1930er Jahre durchaus bekannt. Ihre Entwicklung, insbesondere der Weg zu Solar- und Windenergie, wird in späteren Kapiteln beschrieben.

Der Ersatz von Kohle und Öl durch nachhaltige Quellen wurde jedoch erst langsam zum Thema. Einer der ersten war der Sachbuchautor H. GÜNTHER, der sich hier grundsätzliche Gedanken machte.³⁷ Er propagierte im Hinblick auf die Endlichkeit der Kohlevorräte eine Welt ohne Kohle und eine Energieversorgung über Solarenergie, Wellenkraftwerke, Windtürme, etwaige Zyklonenergienutzung sowie Wärme aus tropischen Meeren und der Erde als Energiequellen.

Aufmerksamkeit erreichten solche Publikationen – Konsequenzen hatte sie jedoch lange nicht. Dies hatte mindestens vier Ursachen:

- In den 1930 bis 1950er Jahren war die Welt mit dem Phänomen des Nationalsozialismus, den Kriegsvorbereitungen Deutschlands, der Kriegsführung selbst und nicht zuletzt den Folgen des Krieges mehr als beschäftigt.
- 1910 wurden die ersten Erdgasfunde in Deutschland bei Neuengamme nachgewiesen. Die erste „Deutsche Verordnung zur Suche nach Erdöl und Erdgas“ aus dem Jahr 1934 machte sichtbar, dass die Nutzung von Erdöl und Erdgas inzwischen auf dem Weg zum

35 IEA: World Energy Outlook der Internationalen Energieagentur aus dem Jahr 2008.

36 IHK Nürnberg (Hg): Lexikon der Nachhaltigkeit, Art. Abkommen und Bündnisse vor 1992, Nürnberg 2000–2015.

37 Günther, H.: In hundert Jahren: Die künftige Energieversorgung der Welt, Stuttgart 1931.

Allgemeingut war. Die Verordnung regelte die Konzessionsvergabe und formulierte Sicherheitsvorgaben für Förderung und Verarbeitung. In den 1960er Jahren wurde Erdgas erstmals im großen Stil zum Beheizen von Häusern genutzt. Damit war eine weitere neue Energiequelle gefunden und für die Energieversorgung nutzbar.

- Im August 1955 begann in Genf auf der ersten Konferenz der Vereinten Nationen das Zeitalter der zivilen Nutzung der Kernenergie. Auf Präsident D. D. EISENHOWER geht die Initiative zurück, die friedliche Nutzung der Kernenergie auch für jene Staaten zu öffnen, die (noch) nicht im Besitz atomarer Waffen waren. Vor allem in der jungen Bundesrepublik war die Euphorie besonders groß. K. ADENAUER gründete im Oktober 1955 ein Bundesministerium für Atomfragen; zuständiger Minister wurde F. J. STRAUSS, der für Deutschland die Chance sah, sich mittels Kerntechnik in der „vordersten Reihe der Industrienationen“ zu behaupten.
- Die ursprünglich als begrenzt angesehenen Reserven und damit Reichweiten von Kohle und Erdöl, später auch von Erdgas vergrößerten sich entgegen den Erwartungen massiv.

Was den letzten Punkt der Reichweiten betrifft, begnügen wir uns hier mit der Sicht auf Bilanzen um die Jahrtausendwende. Hierzu gab und gibt es immer wieder neue Schätzungen, die es näher zu verfolgen nicht lohnt. Für die Kohle deutet sich in Abb. 2-3 ein Phänomen an, das auch bei Öl und Gas wiederkehrt: die relative Konstanz der prognostizierten Reichweiten über die Erhebungsjahre, bei Öl und Gas sogar deren Anstieg, s. Abb. 2-4 und Abb. 2-5.

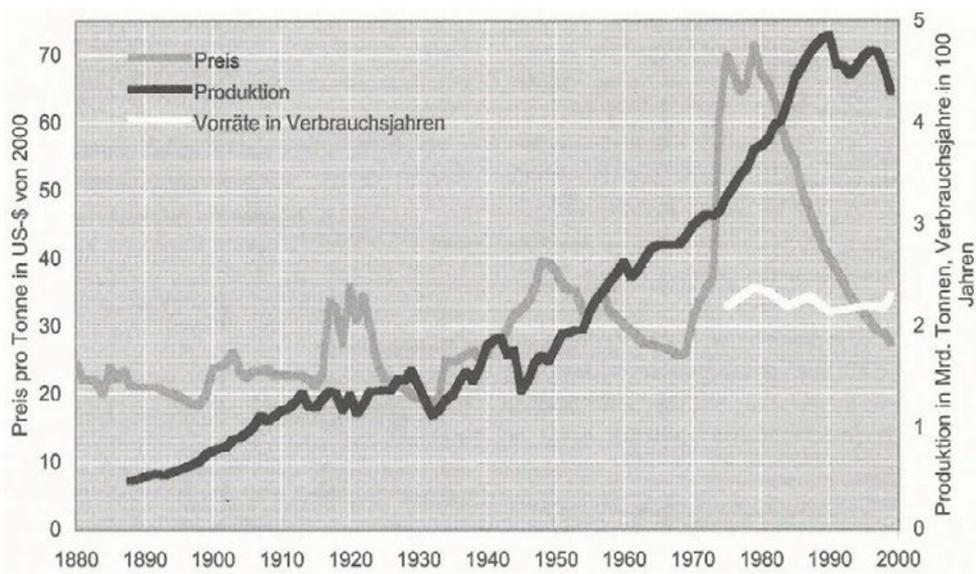


Abb. 2-3: Weltweite Kohleförderung, Preis und Vorräte in Verbrauchsjahren, Förderung in Mrd. Tonnen 1888–1999, Preis pro Tonne in US-\$ von 2000 und Vorräte in Verbrauchsjahren 1975–1999 in hundert Jahren; Quelle: B. Lomborg, Apocalypse No!, Abb. 70

Dass sich trotz steigenden Verbrauchs die Reserven bis zur Gegenwart konstant oder leicht ansteigend zeigen, hat nachvollziehbare Gründe:

- Die Exploration geschieht nur mit kurzem Vorlauf zu Verbrauch bzw. Nachfrage, nicht auf Vorrat – das wäre zu teuer. So werden immer neue Funde gemeldet.
- Die Ausbeutung der Ressourcen verbessert sich ständig. So werden Vorkommen interessant, deren Förderung bis dahin nicht lohnend erschien. Ein Beispiel sind die Ölsande in Nordamerika, speziell Kanada.

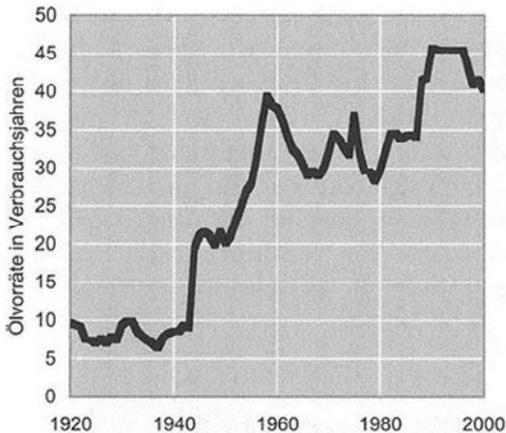


Abb. 2-4: Ölvorräte in Verbrauchsjahren, Ölreserven weltweit Im Vergleich zur Jahresproduktion, 1920–2000 (bis 1944 nur USA); Quelle: B. Lomborg, Apocalypse No!, Abb. 66

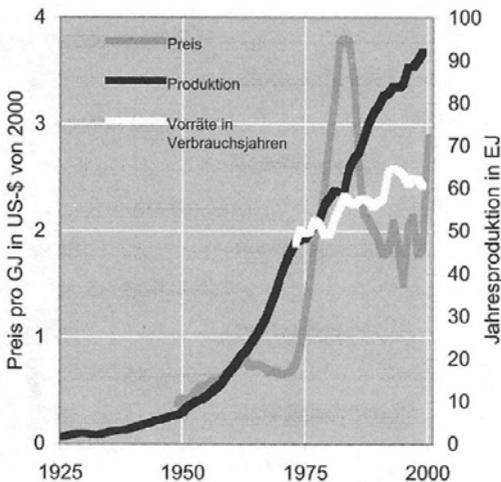


Abb. 2-5: Weltweite Erdgasförderung. Erdgaspreise, Vorräte in Verbrauchsjahren. Förderung in Exajoule 1925–1999, Preise 1949–2000 in US-\$ von 2000 pro Gigajoule und Vorräte in Verbrauchsjahren 1975–1999; Quelle: B. Lomborg, Apocalypse No!, Abb. 69

Während sich also die Reichweitenproblematik in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts relativierte, nahm die Wahrnehmung von Natur und Umwelt national und international zu, wie mehrere Abkommen und Bündnisse belegen:

- 1946 KRW, Internationale Konvention zur Regelung des Walfangs,
- 1948 Gründung der Welt-Naturschutzorganisation,
- 1959 Antarktisvertrag,
- 1961 Gründung der OECD, der Gesellschaft für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung,
- 1968 Europäische Wassercharta.

Erste Regierungsverantwortung für den Umweltschutz in Deutschland übernahm im Herbst 1969 Innenminister GENSCHER in der sozialliberalen Koalition BRANDTS³⁸. Er erkannte, welche Gestaltungsmöglichkeiten ihm der Themenstrauß in der neu übernommenen Abteilung „Gewässerschutz, Luftreinhaltung und Lärmbekämpfung“ bot. Er suchte als erstes nach einer Alternative zum sperrigen Namen der Abteilung und entschied sich für „Abteilung U“, mit U für den in Deutschland noch kaum bekannten Begriff „Umweltschutz“ (wohl vom englischen environmental protection). Bald stellte GENSCHER ein „Sofortprogramm zum Umweltschutz“ vor, 1971 folgte das erste Umweltprogramm einer deutschen Bundesregierung.³⁹ Bis zu seinem Wechsel an die Spitze des Auswärtigen Amts im Jahr 1974 setzte GENSCHER ein ambitioniertes Reformprogramm um, für das es nicht nur in Deutschland kein Vorbild gab. Er legte u. a. das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm, das Benzinbleigesetz, das Abfallbeseitigungsgesetz und das Bundesimmissionsschutzgesetz vor, schuf den Sachverständigenrat für Umweltfragen und gründete das Umweltbundesamt in Berlin. Zum Naturschutzbeauftragten der Bundesregierung machte er den international anerkannten Frankfurter Tierarzt und Verhaltensforscher B. GRZIMEK.

1972 wurde dann für den Umweltschutz zum Schlüsseljahr. Die UNO stellte sich diesem Thema und berief eine Weltkonferenz über die menschliche Umwelt mit dem Ziel einer Bestandsaufnahme aller Umweltgefahren ein (5.–16. Juni 1972 in Stockholm).

- ▶ Mit der Konferenz in Stockholm 1972 begann die internationale Umweltpolitik. Ihr kalendarischer Beginn, der 5. Juni, ist heute noch der „Internationale Tag der Umwelt“.

Im Abschlussdokument der Umweltschutzkonferenz, der „Deklaration von Stockholm“, bekennen sich die 122 Teilnehmerstaaten (ohne die Ost-Staaten) zur Grenzen überschreitenden Zusammenarbeit, zu 26 Prinzipien für Umwelt und Entwicklung und dazu, dass zwar jeder Staat seine eigenen Ressourcen heben kann, dabei aber anderen Staaten kein Schaden zugefügt werden darf.

Auf Vorschlag der Stockholmer Konferenz wurde im gleichen Jahr durch die UN-Vollversammlung das UN-Umweltprogramm (UNEP) mit Sitz in Nairobi/Kenia gegründet. Ins

³⁸ Dieser Abschnitt nach, Z. DIE WELT: Art. Die Erfindung der Umweltpolitik, 31. Juli 2019.

³⁹ GENSCHER im Bundestag: Es gelte, vom nur punktuell reagierenden Umweltschutz zu einer umfassenden Umweltpolitik zu kommen und die drohende Umweltkrise an der Wurzel zu packen.

Leben gerufen wurde auch das Erdbeobachtungssystem „Earthwatch“, ein Aktionsplan zum Monitoring und zur Bewertung der globalen Umwelt.⁴⁰

40 Heute ist Earthwatch der Rahmen für das UN-System zur Harmonisierung und Integration seiner Aktivitäten der Umweltbeobachtung und Bewertung unter Führung des UN-Umweltprogramms UNEP.

3 Club of Rome: Grenzen des Wachstums?

1972 ist auch das Jahr der ersten und bekanntesten Veröffentlichung des Club of Rome, der „Grenzen des Wachstums“ mit D. MEADOWS als Herausgeber.

Der Club of Rome ist, wie „Club“ nahelegt, ein informeller Zusammenschluss von etwa 70 Mitgliedern aus 25 Staaten. Seine spektakuläre Geschichte beginnt 1967 mit einer Begegnung zwischen A. PECCEI, einem Manager der FIAT, und A. KING, einem schottischen Chemiker. Während seiner Arbeit um die Welt reisend, wurde PECCEI über das Tempo der sozioökonomischen Entwicklung, die Umweltzerstörung und das Nord-Süd-Gefälle zunehmend besorgter. Seine Bedenken äußerte er in einer Grundsatzrede vor ADELA, einer neuen Investmentgesellschaft. Zufällig landete sein Redetranskript auf dem Schreibtisch von A. KING, der so beeindruckt war, dass er PECCEI kontaktierte und ein Treffen vorschlug.¹

Auf Einladung der beiden versammelten sich 1968 rund 30 europäische Wissenschaftler, Ökonomen und Industrielle in Rom, um über globale Probleme zu diskutieren. Das Treffen war nicht unbedingt ein Erfolg, auch weil das Hintergrundpapier für die Diskussion zu abstrakt, kompliziert und kontrovers geraten war. Bei einem Abendessen in kleiner Gruppe waren sich die Teilnehmer einig, dass sie „zu dumm, naiv und ungeduldig“ gewesen seien und sich eingehender mit der Thematik beschäftigen müssten. Sie beschlossen, sich hierfür ein Jahr Zeit zu geben und sich dann neu in einem Diskussionskreis zu treffen, den sie fortan den „Club von Rom“ nannten.²

Bis 1969 war der Club eine informelle Gruppe von Personen, die sich häufiger trafen, um globale Probleme besser zu verstehen. Als ihre Zahl wuchs, wurde es notwendig, eine rechtliche Struktur zu schaffen und A.PECCEI als Präsidenten zu ernennen. Sein Credo war, dass das Verständnis der „Problematik“, wie der Club die miteinander verbundenen Herausforderungen nannte, unerlässlich sei, um für die Zukunft zu planen.³

Auf Einladung der Schweizer Regierung hielt der Club 1970 seine erste offizielle Sitzung in Bern ab. PECCEI hatte den türkischen Zukunftsforscher H. OZBEKHAN eingeladen, ein Modell vorzuschlagen, um die missliche Lage der Menschheit zu untersuchen. Dem Forum erschien dies Modell nicht geeignet; es akzeptierte dann aber einen Vorschlag des MIT-Professors J. FORRESTER, das Potential seiner Computermodelle zu nutzen. Der Club beschloss, eine Gruppe von MIT-Forschern mit der Entwicklung des sogenannten „World3-Modells“ und der Erstellung eines ersten Berichts an den Club of Rome zu beauftragen.⁴

1971 wurden Entwürfe des Berichtes unter dem Titel „The Limits to Growth“ der niederländischen Presse zugespielt und lösten eine überwältigende Resonanz aus. F. BOETTCHER, der Leiter der niederländischen Delegation im OECD-Ausschuss für Wissenschaft und Technologie, überredete den Club daraufhin, „The Netherlands Association

1 Club of Rome, www.clubofrome.org/Über uns, Geschichte 1, Abruf 21. Oktober 2019.

2 Club of Rome, www.clubofrome.org/Über uns, Geschichte 2, Abruf 21. Oktober 2019.

3 Club of Rome, www.clubofrome.org/Über uns, Geschichte 3, Abruf 21. Oktober 2019.

4 Club of Rome, www.clubofrome.org/Über uns, Geschichte 4, Abruf 21. Oktober 2019.

for the Club of Rome“ zu gründen, den ersten nationalen Verband. Die Gründung anderer nationaler Verbände, auch eines deutschen, folgte schnell.⁵ 1972 war der Bericht an den Club of Rome fertig, erstellt von Forschern am MIT unter der Leitung von D. MEADOWS, die die Methoden J. FORRESTERS nutzten.

„The Limits to Growth“ gilt als Klassiker der Nachhaltigkeitsbewegung und war die erste Studie, die die Lebensfähigkeit des anhaltenden Wachstums vor dem Hintergrund des menschlichen ökologischen Fußabdrucks in Frage stellte.

Die Veröffentlichung betrat auch Neuland als erstes globales Modell, das von einem unabhängigen Gremium und nicht von einer Regierung oder der UNO in Auftrag gegeben wurde. Übersetzt in über 30 Sprachen hat sich das Buch mehr als 16 Millionen Mal verkauft.⁶

Für „Die Grenzen des Wachstums“ nutzte MEADOWS den Ansatz einer „Dynamik komplexer Systeme“ (= „Systems Dynamics“) für die Modellierung einer homogen angenommenen Welt. Es berücksichtigte die Wechselwirkungen zwischen Bevölkerungsdichte, Nahrungsmittelressourcen, Energie, Material und Kapital, Umweltzerstörung, Landnutzung usw. Das Modell ermöglichte mittels Computersimulation eine Reihe von Szenarien, mit Annahmen über verschiedene „stabilisierende“ politische Maßnahmen.

Die Aussagen aller Modelle liefen darauf hinaus, dass sich die Weltbevölkerung und ihr Wohlstand in den nächsten hundert Jahren dramatisch reduzieren würde, wenn der Ausbeutungstrend (nach Stand von 1972) unverändert anhielte. MEADOWS hatte bewusst vereinfacht, um überhaupt zu Ergebnissen zu kommen. Er wollte auch keine Prognosen mitteilen, sondern Modelle aufstellen und testen. Die Öffentlichkeit sah das anders und nahm den Bericht als Hiobsbotschaft – was ihm weltweite Publizität und dem Club of Rome vor allem in Großbritannien und den USA das Image unverantwortlicher Schwarzmalerei eintrug. In Deutschland dagegen wurde der Club of Rome für „Grenzen des Wachstums“ 1973 mit dem Friedenspreis des Deutschen Buchhandels ausgezeichnet.

Der Veröffentlichung von 1972 folgten weitere Berichte des Club of Rome, so D. Meadows [u. a.]: Die neuen Grenzen des Wachstums, 1992; D. Meadows [u. a.]: Grenzen des Wachstums. Das 30-Jahre-Update, 2006. Sie modifizierten die Ergebnisse der Ursprungsveröffentlichung, kehren sie jedoch nicht um. Wenn auch inzwischen Emissionen mit aufgenommen sind – die Berichte des Club of Rome sind keine Klimareports geworden und enthalten auch keine diesbezüglichen Prognosen, sehr wohl aber Handlungsanweisungen für die Politik vor dem Hintergrund begrenzter Ressourcen. So ist der sparsame Umgang mit Energie mehrfach thematisiert. Typisch für die Handlungsempfehlungen der MEADOWS (zu den Autoren gehörte auch die Ehefrau D. MEADOWS‘, Prof. Dr. DONELLA MEADOWS, † 2001) sind die allgemeinen Maximen, von denen hier drei zitiert seien:

„Wir brauchen nicht Wachstum, sondern Entwicklung. Sofern für die Entwicklung ein materieller Zuwachs erforderlich ist, sollte dieser gerecht erfolgen und unter Berücksichtigung sämtlicher realen Kosten finanzierbar und nachhaltig sein.“

„Wir müssen Techniken fördern, die den ökologischen Fußabdruck der Menschheit verkleinern, die Effizienz erhöhen, Ressourcen stützen, Signale deutlicher machen und materielle Benachteiligung beenden.“

5 Club of Rome, www.clubofrome.org/Über uns, Geschichte 5, Abruf 21. Oktober 2019.

6 Club of Rome, www.clubofrome.org/Über uns, Geschichte 6, Abruf 21. Oktober 2019.

„Wir müssen unsere Probleme als Menschen angehen und außer der Technik noch weitere Möglichkeiten zu ihrer Lösung einsetzen.“⁷

7 Auszug aus Meadows, D. u. a.: Grenzen des Wachstums. Das 30-Jahre-Update, Stuttgart 2006, Kapitel 8 – Rüstzeug für den Übergang zur Nachhaltigkeit.

4 Wahrnehmung und Beginn einer Klimapolitik

4.1 Klimakonferenzen

Die Fragen, was der Mensch mit der Welt und speziell seiner Umwelt anstellt und anstellen darf, lagen mit „Grenzen des Wachstums“ auf dem Tisch. Dass zu den dort behandelten Problemen das Thema „Klima“ hinzutrat, ist den Fachwissenschaften und speziell der Meteorologie zu verdanken.

Eine Schlüsselrolle spielte hierbei die Weltorganisation für Meteorologie (World Meteorological Organization – WMO), die am 23. März 1950 gegründet wurde. Sie hatte mit der seit 1873 bestehenden Internationalen Meteorologischen Organisation (IMO) eine Vorläuferin, die als freiwilliger Zusammenschluss der Direktoren staatlicher meteorologischer Dienste und Observatorien bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs arbeitete. Die internationale Zusammenarbeit blickte in diesem Feld also bereits auf eine lange Geschichte zurück – kaum eine andere Wissenschaft ist so auf großräumige Zusammenarbeit angewiesen wie gerade die Meteorologie. Das Wetter macht nicht an politischen Landesgrenzen halt, und alle Staaten sind auf die Wetterbeobachtungen der anderen angewiesen.

Mitglieder der WMO sind nicht Wetterdienste oder deren Direktoren, wie es bei der Vorgängerorganisation IMO der Fall war, sondern Staaten und Hoheitsgebiete, die einen ständigen Vertreter benennen. Voraussetzung für eine Mitgliedschaft ist die Existenz eines eigenen meteorologischen Dienstes. Am 1. Juli 1984 gehörten der WMO 152 Staaten und 5 sog. Territorien an; heute sind es 187 Staaten und sechs Territorien (Stand 2019). Zu diesen Territorien gehört beispielsweise Hongkong, das einen eigenen Wetterdienst besitzt. Deutschland ist mit der Bundesrepublik seit dem 10. Juli 1954 Mitglied der WMO. Sie ist der Organisation als 60. Staat beigetreten. Für sie ist der Präsident des Deutschen Wetterdienstes der Ständige Vertreter bei der WMO.¹ Neben dem Welt-Wetterwachtprogramm (WWW Programm) hat das Welt-Klimaprogramm (World Climate Programme – WCP) seit Beginn der 1980er Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen – als Folge der ersten Weltklimakonferenz, die die WMO vom 12.–23. Februar 1979 in Genf veranstaltete. Die Konferenzergebnisse hatten noch im Mai des gleichen Jahres zur Annahme des WCP geführt.

Auf der Konferenz von Genf (kurz WCC 1 genannt) standen der Hintergrund der Klima-Anomalien seit 1972 und die Möglichkeit der Klimabeeinflussung durch die menschliche Gesellschaft im Mittelpunkt. Das Ergebnis war zusammengefasst:

- ▶ „Die fortdauernde Ausrichtung der Menschheit auf fossile Brennstoffe als wichtigster Energiequelle wird wahrscheinlich zusammen mit der fortgesetzten Waldvernichtung in den kommenden Jahrzehnten und Jahrhunderten zu einem massiven Anstieg der atmosphärischen Kohlendioxid-Konzentration führen (...) Unser gegenwärtiges Verständnis klimatischer Vorgänge lässt es durchaus als möglich erscheinen, dass diese

1 Frömming, D.: Die Weltorganisation für Meteorologie, in: Geowissenschaften in unserer Zeit, JG. 1985, 3, 2.

Kohlendioxid-Zunahme bedeutende, eventuell auch gravierende langfristige Veränderungen des globalen Klimas verursacht; und (...) da das anthropogene Kohlendioxid in der Atmosphäre nur sehr langsam durch natürliche Prozesse abgebaut wird, werden die klimatischen Folgen erhöhter Kohlendioxid-Konzentrationen wohl lange anhalten“ (KAS).²

Die Weltklimakonferenz WCC 1 der WMO folgten noch zwei weitere, sämtlich in Genf als Sitz der WMO, sodass sich die Folge ergibt:

- WCC 1, 1979
- WCC 2, 1990
- WCC 3, 2009

War das Klima bis zur WCC 1 und zur WCC 2 weitgehend eine Angelegenheit der Wissenschaftler und Fachexperten, so änderte sich das mit den Konferenzergebnissen und der steigenden Zahl z. T. gleichsinniger, z. T. widerstreitender Veröffentlichungen: 1983 gründeten die Vereinten Nationen die Internationale Kommission für Umwelt und Entwicklung (WCED = World Commission on Environment and Development) als unabhängige Sachverständigenkommission. Diese Kommission veröffentlichte vier Jahre später ihren Bericht zur Zukunft, der nach ihrer Vorsitzenden auch als BRUNDTLAND-REPORT bekannt wurde. In ihm wurde ein Leitbild zur sogenannten Nachhaltigen Entwicklung zum Programm erhoben, das bis heute gültig ist.

Der Brundtland-Bericht stellte im einzelnen fest, dass kritische, globale Umweltprobleme i. A. das Resultat großer Armut im Süden und von nicht nachhaltigen Konsumgewohnheiten und Produktionsmustern im Norden sind (Nord-Süd-Gefälle). Er verlangte somit eine Strategie, die Entwicklung und Umwelt zusammenbringt und formulierte den Leitsatz:

- „Dauerhafte Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“³

Aus „dauerhafter Entwicklung“ wurde schnell „nachhaltige Entwicklung“, ein Begriff, der ursprünglich wohl auf die Forstwirtschaft zurückgeht, für die der sächsische Oberberghauptmann H. C. VON CARLOWITZ schon 1713 eine „nachhaltende Nutzung“ verlangt hatte, s. Kap. 2, Die Anfänge: Ressourcen. Sein Begriff wurde ins Englische mit „sustainable“ übertragen. Dauerhafte Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.

Vor dem Hintergrund des Brundtland-Berichtes beriefen die Vereinten Nationen nach langen Vorbereitungen 1992 eine zweite große Umweltkonferenz ein, die in Rio de Janeiro mit großer Beteiligung von Experten und Regierungen stattfand.

Wesentliches Ergebnis war die sogenannte Agenda 21, die detaillierte Handlungsaufträge für den sozialen, ökologischen und ökonomischen Sektor formulierte.

2 Zitiert aus: Konrad-Adenauer-Stiftung (Hg): Wölbern, J. Ph.:12.–23. Februar 1979: Erste Weltklimakonferenz in Genf, Sankt Augustin Febr. 1979.

3 Zitiert aus: BMZ, Die Nachhaltigkeitsagenda und die Rio-Konferenzen.

Bisher gab es drei weitere Folgekonferenzen solcher „Weltgipfel“. Nach 5 Jahren fand am 23.–27. Juni 1997 in New York der Weltgipfel Rio +5 statt. Hauptthema war: Welche Veränderungen haben die Hauptakteure – Regierungen, internationale Politiker, Wirtschaft, Gewerkschaften, Frauengruppen und andere – in den fünf Jahren nach Rio erreicht? Am Gipfel nahmen 53 Staats- und Regierungschefs sowie 65 Minister für Umwelt oder anderer Ressorts teil.

Der Weltgipfel Rio +5 hatte folgende Ziele:

- Wiederbelebung und Stärkung der (Selbst-)Verpflichtungen für eine nachhaltige Entwicklung,
- Offenes Feststellen von Versagen und Identifizieren der jeweiligen Gründe,
- Erkennen von Erreichtem und Identifizieren von Aktionen, die in der Sache weiterführen,
- Festlegen von Prioritäten für die Zeit nach 1997,
- Feststellen der Probleme, die in Rio nicht genügend gewürdigt wurden.

Der Weltgipfel Rio +5 endete im Prinzip mit großer Ernüchterung bis hin zur Enttäuschung und eigentlich mit nur einer Übereinstimmung, nämlich dass es der Erde schlechter gehe als je zuvor. Hierüber konnten kleinere lediglich auf einzelnen Sektoren erreichte Fortschritte, wie z. B. bei Klimaveränderungen, Waldverlusten oder knappen Süßwasserreserven nicht hinwegtäuschen. Probleme zeichneten sich insbesondere ab bei der Zunahme der Emissionen von Treibhausgasen und bei der Freisetzung toxischer Stoffe und fester Abfälle. Insbesondere wegen der Nord-Süd-Differenzen darüber, wie nachhaltige Entwicklung global finanziert werden sollte bzw. könnte, gab es keine großen Durchbrüche. Im Schlussdokument, das sich als sog. Programm für die weitere Umsetzung der Agenda 21 von Rio verstand, wurden weiche, allgemeine Formulierungen gewählt, um die zutage getretenen Differenzen notdürftig zu überdecken.

Der Weltgipfel Rio +10 in Johannesburg, 26. August bis 4. September 2002, hatte erneut die Umsetzung der Rio-Konvention (Agenda 21) zum Gegenstand, wobei dieses Mal die fortgeschrittene Globalisierung neue Akzente setzte.

Zum 20-jährigen Jubiläum fand schließlich die 3. Nachfolgekonferenz (Rio + 20) vom 20. Juni bis 22. Juni 2012 statt, wieder in Rio. Die Konferenz versammelte erneut die Staats- und Regierungschefs, um die 1992 gegebenen Impulse zur Nachhaltigkeit wieder aufzugreifen und zu erneuern.

Allerdings war schon im ersten Treffen des Vorbereitungskomitees sichtbar geworden, dass der Gegensatz zwischen reichen und armen Ländern sich kaum überbrücken ließ. Der Vorwurf, die reichen Länder würden die Nachhaltigkeit ihrer Standards zur Abschottung ihrer Märkte missbrauchen, stand im Raum.

In der rund 50 Seiten starken Abschlusserklärung mit der Überschrift „Die Zukunft, die wir wollen“ bekannte sich die Staatengemeinschaft dennoch zum Konzept einer Green Economy, um die natürlichen Ressourcen stärker zu schonen. Außerdem verständigte man sich darauf, bis 2014 universell gültige Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development

Goals) auszuarbeiten. Auch sollte das bestehende Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP – UN Environment Programme) gestärkt und aufgewertet werden.⁴

Insgesamt wurden die Ergebnisse des Gipfels eher als Enttäuschung gewertet. Bundeskanzlerin A. MERKEL äußerte sich kritisch, aber auch konstruktiv zum Abschlussdokument:

„Die Ergebnisse von Rio bleiben hinter dem zurück, was in Anbetracht der Ausgangslage notwendig gewesen wäre. Die Europäische Union und Deutschland hatten sich für verbindlichere Aussagen eingesetzt. Aber einmal mehr haben wir gesehen: Wir sind nicht alleine auf der Welt; es ist recht schwierig, bestimmte Dinge durchzusetzen. ... Richtig ist aber auch, dass die Ergebnisse zumindest ein weiterer Schritt in die richtige Richtung sind. Ich will dazu drei Punkte nennen.

Erstens: Die sogenannte Green Economy ... Umweltschonendes Wirtschaften wurde von den Vereinten Nationen als wichtiges Instrument für eine nachhaltige Entwicklung gewürdigt. Damit erkennt nun die gesamte Staatengemeinschaft an, dass in einem Green-Economy-Konzept, das der jeweiligen Situation eines Landes angepasst ist, große Chancen liegen. Das heißt, Ökonomie und Ökologie werden nicht mehr als Widerspruch, sondern als Einheit wahrgenommen ...

Zweitens: In Rio wurde beschlossen, die bisherige Kommission für nachhaltige Entwicklung abzulösen. Künftig wird es ein hochrangiges politisches Forum für nachhaltige Entwicklung geben. Damit kann das Thema Nachhaltigkeit mehr politisches Gewicht auf der Agenda der Vereinten Nationen erhalten. Es ist uns leider nicht gelungen, das UN-Umweltprogramm UNEP in Nairobi zu einer Sonderorganisation aufzuwerten. Aber wir konnten UNEP durch die Einführung einer universellen Mitgliedschaft und eine bessere Finanzausstattung stärken. ...

Drittens: In Anlehnung an die bisherigen Millennium-Entwicklungsziele sollen nun auch „Sustainable Development Goals“ erarbeitet werden. Damit erhöht sich der politische Handlungsdruck im Sinne von Nachhaltigkeit. Jetzt müssen wir allerdings die Konferenzergebnisse in der Praxis konkretisieren. Denn allein die Feststellung, dass man so etwas will, reicht natürlich nicht aus. ...“

Und schließlich noch a. a. O. das für Europäer nicht überraschende Grundsatzbekenntnis:

„Ein solcher Entwicklungspfad von Gesellschaften begründet sozusagen eine neue Kultur: die Kultur der Nachhaltigkeit. Diese Kultur der Nachhaltigkeit stellt die Lebensgewohnheiten eines jeden von uns auf den Prüfstand. Das gilt für das Berufsleben genauso wie für das Privatleben.“⁵

Der Vorsitzende des Bundes für Umwelt und Naturschutz (BUND), H. WEIGER, kritisierte dagegen die wenig konkreten Zielvorschläge: „Blumige Absichtserklärungen und ein Aufguss früherer Gipfelbeschlüsse helfen dem globalen Ressourcenschutz nicht.“⁶

Abgesehen von Rio 1992 stellt sich damit die Bilanz der großen Weltkonferenzen als eher durchwachsen dar. Die Teilnahme der Regierungschefs war dem Fortschritt in der Sache wohl eher hinderlich (was im Nachhinein die angekündigte Abwesenheit der deutschen Bundeskanzlerin in Rio 2012 rechtfertigt). Schwierige Detailfragen lassen sich im kleineren Kreis der Fachleute oft besser behandeln, und Kompromisse sind auf diesem Wege häufig eher möglich.

4 Nach www.bmu.de/WS849, Abruf 15. Oktober 2019.

5 Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: Zitate Merkel aus Rede zur 12. Jahreskonferenz des Rates für nachhaltige Entwicklung, 25. Juni 2012.

6 Z. Südwest Presse, 23. Juni 2012.

Neben den Weltgipfeln gibt es ein weiteres, auf die Welt-Klima-Probleme gerichtetes Konferenzformat auf der Arbeitsebene: die UN-Klimakonferenz, die seit 1995 regelmäßig tagt und die Klimakonferenzen der WMO abgelöst hat. Auf diese unter dem Kürzel COP geführten Veranstaltungen wird im Kap. 5.1, Klimakonvention und Kyotoprotokoll, einzugehen sein.

4.2 Weltklimarat

Neben WMO, Weltklimakonferenzen, Weltgipfeln, COP, CMP gibt es noch eine weitere internationale Einrichtung, die sich um das Weltklima und seine Stabilisierung kümmert: den IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) als Gremium der Experten.

Der IPCC wurde 1988 von der UN-Umweltorganisation (UNEP) und der WMO gegründet. Seine Aufgabe ist es, die Politik neutral über die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Klimaveränderung und zu möglichen Gegenmaßnahmen zu informieren. 195 Staaten sind Mitglieder des IPCC. Sie benennen jeweils Experten, meist Fachwissenschaftler, die ihre Berichte eigenständig erstellen und als (weitgehend) unabhängig gelten. Das Gremium hat seinen Sitz in Genf und betreibt keine eigene Forschung, sondern wertet eine große Zahl von anerkannten Studien aus und fasst die zentralen Erkenntnisse daraus zusammen. Den breiten wissenschaftlichen Konsens sichern mehrere tausend beim IPCC registrierte Gutachter, die die Berichte kommentieren und natürlich auch kritisieren können (und sollen).

Publizität gewinnt der IPCC regelmäßig durch seine großen Sachstandsberichte, von den bisher nach einem ersten im Jahr 1990 vier weitere im Abstand von 5–6 Jahren erschienen sind. Der bislang letzte ist der Fünfte Sachstandsbericht (AR5) von 2013/14, der als Ergebnis eines fünfjährigen Arbeitsprozesses in drei Bänden vorgelegt wurde. Die Kernergebnisse des ersten, die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels und künftige Entwicklungen des Klimasystems behandelnden Bandes zeigt die nachstehende Auflistung:⁷

- Die atmosphärische CO₂-Konzentration liegt heute rund 40 % über vorindustriellem Niveau.
- Die Durchschnittstemperatur an der Erdoberfläche stieg zwischen 1880 und 2012 um 0,85 °C.
- Auch die Ozeane haben sich deutlich erwärmt.
- Die drei Jahrzehnte seit 1980 waren jeweils wärmer als jedes andere Jahrzehnt seit 1850.
- Eindeutig der Mensch ist verantwortlich für den größten Teil der Erwärmung zwischen 1951 und 2010.
- Mit wenigen Ausnahmen schrumpfen weltweit die Gletscher, und das Tempo beschleunigt sich.
- Die Ausdehnung des arktischen Meereises sinkt seit 1979 um durchschnittlich 3,8 % pro Jahrzehnt.
- Etwa 30 % des durch menschliche Aktivität freigesetzten CO₂ wurden von den Ozeanen aufgenommen, die deutlich versauern.
- Die weltweiten Meeresspiegel werden bis ca. 2100 um etwa 2682 cm steigen.

⁷ Smart Energy for Europe Platform (SEFEP): Aus den Ergebnissen des IPCC-Sachstandsberichtes 2013/2014, Bd. 1.

- Steigt der Treibhausgas-Ausstoß weiter wie bisher, erwärmt sich die Erde bis ca. 2100 um 2,6 bis 4,8 °C.

Der sechste IPCC-Sachstandsbericht als Hauptprodukt des aktuellen Berichtszyklusses (2016–2022) wird 2021/22 veröffentlicht. Daneben kennt der IPCC Sonderberichte, von denen sich der jüngste vom Oktober 2018 auf das Erreichen des 1,5-Grad-Ziels fokussierte.

Die Berichte sind in der Regel etwa 1.500 Seiten stark und durch eine Vielzahl von Mitwirkenden erstellt. Angesichts der Vielzahl zusammengetragener Informationen und der breiten Mitwirkung anerkannter Klimawissenschaftler gelten diese Berichte als der heilige Gral der Klimaforschung – sie geben letztlich den Mainstream vor.

Angesichts des Gewichtes, das dem IPCC und seinen Berichten international zugemessen wird, stellt sich naturgemäß die Frage nach seiner Unabhängigkeit und nach seiner Finanzierung – auch Wissenschaftler geraten in ihrer Abhängigkeit von Fördergeldern gelegentlich in Interessenskonflikte. Abb. 4-1 stellt zunächst die Grundstruktur der Organisation dar. Die leitenden Funktionen werden ehrenamtlich wahrgenommen; dies gilt auch für die Autoren der Berichte des IPCC. Die Autoren wie auch die Vorstände des IPCC werden in der Regel von ihren heimatlichen Instituten für die Mitarbeit bei IPCC freigestellt, ihnen werden jedoch Reisekosten erstattet. Die Geschäftsstellen der Arbeitsgruppen und das Datenzentrum werden von den Ländern finanziert, die sie beherbergen; hauptsächlich sind dies die Industrieländer.⁸

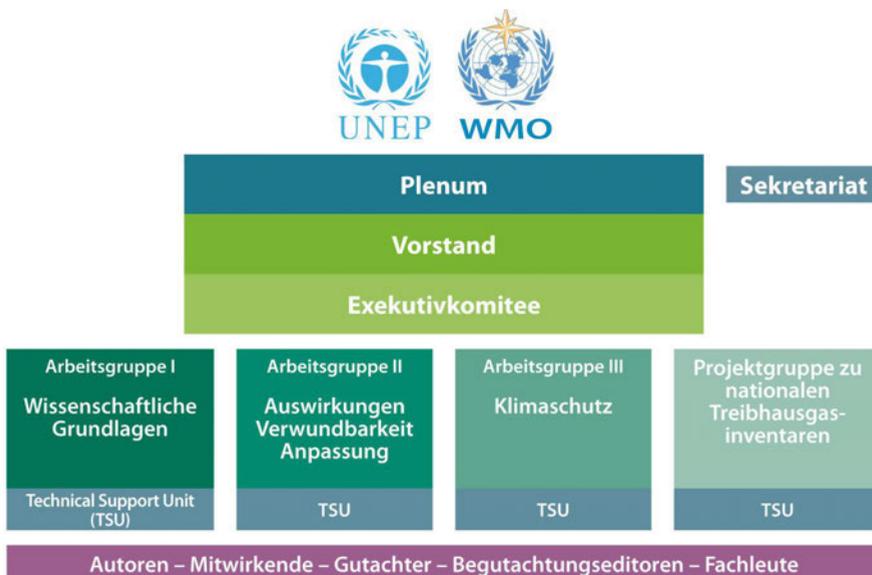


Abb. 4-1: Organisation des IPCC. Grau: Beteiligte Regierungen mit entsandten Fachleuten, grün: Wissenschaftler, blau: unterstützende Organisationen; Quelle: IPCC

8 IPCC, Deutsche Koordinierungsstelle: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Um auch die Reisen von Fachleuten aus Entwicklungsländern zu finanzieren, stehen Mittel aus einem jährlich etwa 7 Mio. € umfassenden Treuhandfonds zur Verfügung, der sich aus freiwilligen Beiträgen der Industrieländer speist und der auch die Veröffentlichung und Übersetzung von IPCC-Berichten finanziert. Bis zum Jahr 2017 beteiligten sich hier die USA mit fast 45 % des jährlichen Aufkommens; nach ihrem Austritt übernahm die EU diesen Anteil, um die Weiterarbeit des IPCC zu ermöglichen. Zur Wirklichkeit gehört allerdings auch, dass 80 % der Mitgliedstaaten keine Beiträge leisten.

Die Seriosität der Beiträge und Schlussfolgerungen wird durch ein mehrstufiges Peer-Review-Verfahren sichergestellt. Da die anthropogene Klimaänderung eine große Herausforderung ist, die alle Nationen der Erde dauerhaft dazu zwingt, weitreichende Entscheidungen über den Umgang mit diesem Problem zu treffen, blieb Kritik nicht aus. Massive Interventionen versuchten, die Klimawissenschaft und den IPCC in Misskredit zu bringen. Als Reaktion hierauf beauftragten die Vereinten Nationen und der IPCC das internationale Netzwerk von Wissenschaftsakademien (den Inter Academy Council IAC), eine Kommission zur Überprüfung der Prozesse und Verfahren des IPCC einzuberufen.

Insgesamt hat die Kommission den Assessment-Prozess des IPCC – die Aufarbeitung des wissenschaftlichen Sachstandes – als korrekt und erfolgreich bewertet.⁹ Die Hauptempfehlungen der Kommission betrafen Verbesserungen im Management, im Review-Prozess, in der Beschreibung von Unsicherheiten¹⁰ sowie die Kommunikation und die Transparenz im Assessment-Prozess – Details also, die nicht die Kernbefunde in Zweifel zogen.

9 InterAcademy Council 2010: IPCC-Berichte zum Klimawandel. Überprüfung der Prozesse und Verfahren des IPCC.

10 Insbesondere zu den dem Laien schwer vermittelbaren Wahrscheinlichkeitsaussagen.

5 Klimadiskussion: Treibhausgase

Hintergrund für die in Kap. 4, Wahrnehmung und Beginn einer Klimapolitik, beschriebenen Entwicklungen war das zunehmende Wissen um das Klima. Bereits im 19. Jahrhundert untersuchten und erkannten Wissenschaftler verschiedene, auf das Klima einwirkende Faktoren. J.-B. FOURIER kam im Jahr 1824 in seinem Aufsatz „Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires“ zu dem Schluss, dass die solare Einstrahlung verantwortlich zu machen sei für die Temperatur der Erdoberfläche.¹ Und er formulierte hier den entscheidenden Satz: „c’est ainsi que la temperature est augmentée par l’interposition de l’atmosphère, parce que la chaleur trouve moins d’obstacle pour pénétrer l’air, étant à l’état de lumière, qu’elle n’en trouve pour repasser dans l’air lorsqu’elle est convertie en chaleur obscure.“² In freier Übersetzung: Ein Teil der eingestrahnten Energie bleibt aufgrund der Eigenschaften der Atmosphäre als Wärme gespeichert.

Warum das so ist, wurde erst später verstanden, aber dass es so ist, war FOURRIER, der sich für seine Messungen auch des vom Schweizer Physiker H.-B. DE SAUSSURE schon 1774 gebauten „Héliothermomètre“ bediente, bewusst. DE SAUSSURE hatte bereits herausgefunden, dass sich Luft unter Glasabdeckung stark aufheizte, wenn er seine „Boîte chaude“ (Abb. 5-1) dem Sonnenlicht aussetzte.

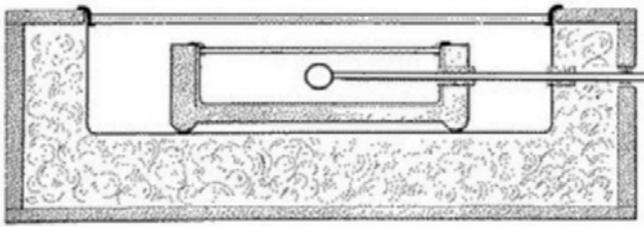


Abb. 5-1: „Héliothermomètre“ des H.-B. de Saussure von 1774, Prinzipskizze; Quelle: G. Hoffmann, IMAU – University Utrecht

Danach muss man also unterscheiden: der physikalische Treibhauseffekt geht auf DE SAUSSURE und das 18. Jh. zurück, während die Auffindung des atmosphärischen Treibhauseffektes wohl FOURRIER und damit dem frühen 19. Jh. zuzuordnen ist.

-
- 1 Zuerst erschienen als « Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires in den Annales de Chimie et de Physique, vol. 27 (1824), p. 136–167, später mit leichten Änderungen nachgedruckt als Fourier, J.-B: Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires, in: Mémoires de l’Academie royal des Sciences de l’Institut de France, Band 7, 1827, S. 570–604.
 - 2 Zitiert aus: Mémoires de l’Academie royal des Sciences de l’Institut de France, (Hg): Fourier, J.-B: Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires, in: Band 7, 1827, S. 587.

Der Ire J. TYNDALL machte in den Jahren 1859–1863 den nächsten Schritt³, indem er die Absorptionseigenschaften der atmosphärischen Gase näher beschrieb bzw. experimentell ermittelte. Er benutzte hierfür ein selbstgebautes Spektralphotometer und fand große Unterschiede bei den untersuchten Gasen: Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff waren praktisch transparent, während Wasserdampf, „carbonic acid“ (= Kohlensäure, CO₂) und Ozon stark absorbierten, vor allem im infraroten Bereich (Wärmestrahlung).⁴ Den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre sah er für das Temperaturgleichgewicht als maßgeblich an, noch vor CO₂. Später weitete er seine Ergebnisse auch zu Spekulationen über Klimaänderungen aus.

Drei Jahrzehnte später griff der schwedische Chemiker und spätere Nobelpreisträger S. ARRHENIUS die Frage nach der Klimawirksamkeit des Gases CO₂ auf. Er war wohl der erste Wissenschaftler, der quantitative Antworten auf die Frage diskutierte, wie sich eine Veränderung des CO₂-Gehaltes infolge der Verbrennung fossiler Energie auf das Klima auswirken könnte. Zunächst am noch ungelösten Problem des Entstehens und Vergehens von Eiszeiten interessiert, kam er bei einer angenommenen Halbierung des atmosphärischen Kohlendioxids auf eine Temperaturerniedrigung von 4–5 °C in Europa.

Mit der Annahme einer Verdopplung des CO₂-Gehaltes, vielen weiteren Annahmen und Abschätzungen kam er in seiner Veröffentlichung „On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground“ von 1896 schließlich dann zum Ergebnis einer Temperaturerhöhung von 4–6 °C.⁵ Im kalten Skandinavien hatte man allerdings wenig Angst vor höheren Temperaturen und war optimistisch: „Der Menschheit wird es zweifellos gelingen, dieses Problem zu lösen.“ (ARRHENIUS).

Die Ergebnisse stießen im frühen 20. Jahrhundert auf viele Einwände; einer der Skeptiker war der Physiker K. ÅNGSTRÖM, der nach Labormessungen mit veränderlichen CO₂-Konzentrationen nur sehr kleine Veränderungen fand und zu dem Schluss kam, dass die Absorptionsbänder des Kohlendioxids, in denen Wärmestrahlung absorbiert wird, schnell gesättigt waren – also sozusagen verstopften, wodurch die Absorption ihr Ende fand.

ARRHENIUS und andere kritisierten zwar die Messungen ÅNGSTRÖMS, jedoch blieb es dann in der Wissenschaft common sense, dass er, ARRHENIUS, falsch gelegen hatte.

So geriet die CO₂-Hypothese für die nächsten Jahrzehnte praktisch in Vergessenheit.⁶ Zur Gesamtschau gibt Abb. 5-2 eine Zeitleiste der bis ca. 1930 angewachsenen Kenntnisse.

Anfang der 1930er Jahre gewannen der Treibhauseffekt und seine möglichen Folgen wieder neue Aufmerksamkeit. Im Jahre 1931 widerlegte der US-Physiker E. O. HULBERT die Findungen ÅNGSTRÖMS und betonte die Klimarelevanz des atmosphärischen Kohlendioxids.

3 Lord Kelvin 1860 hat angeblich in einem Brief an J. Clarke formuliert, dass die Verbrennung von Kohle die globale Temperatur steigern würde. Der Wahrheitsgehalt ist offen, jedoch bezieht sich auch H. Flohn in seinen Erinnerungen auf den seit Kelvin bekannten Glashauseffekt der Atmosphäre.

4 St. Graham, NASA observatory, October 8, 1999.

5 Arrhenius, S.: On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground, in: The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science 5, London 1896, S. 237–276.

6 Mason, J.: Zwei Jahrhunderte Klimageschichte, Teil 1, Blog Klimaschutz-Netz (KSN), o. Ort Mai 2012.

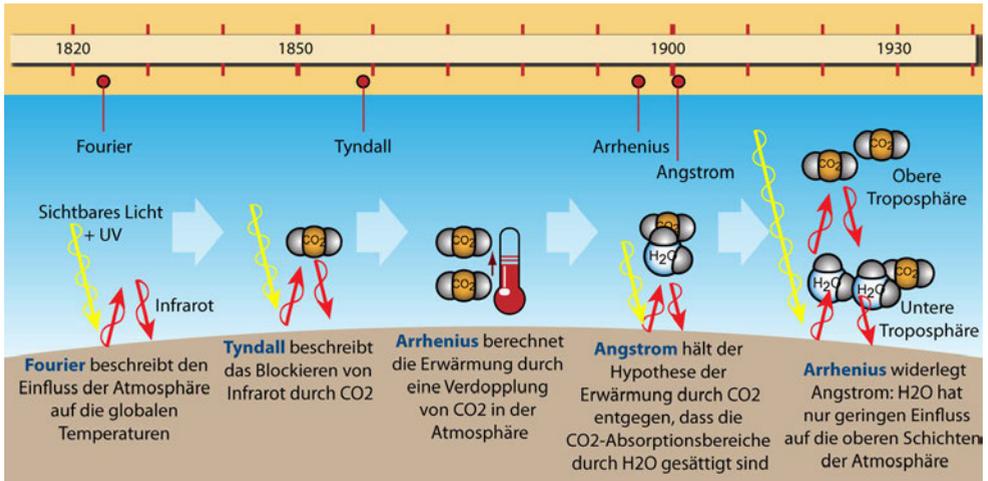


Abb. 5-2: Zeitleiste zur Auffindung des atmosphärischen Treibhauseffektes, bis ca. 1930; Quelle: Grafik jg in J. Mason, Zwei Jahrhunderte Klimageschichte, Teil 1

Sieben Jahre später war es der Engländer G. CALLENDER, der die Problematik wieder aufgriff. Er war eigentlich Ingenieur, hatte aber ein Faible für Meteorologie und war in Thermodynamik geschult. Sein Ausgangspunkt waren Temperaturaufzeichnungen der letzten 50 Jahre von 200 meteorologischen Stationen, aus denen er eine statistisch signifikante Temperaturerhöhung ermitteln konnte, s. Abb. 5-3.

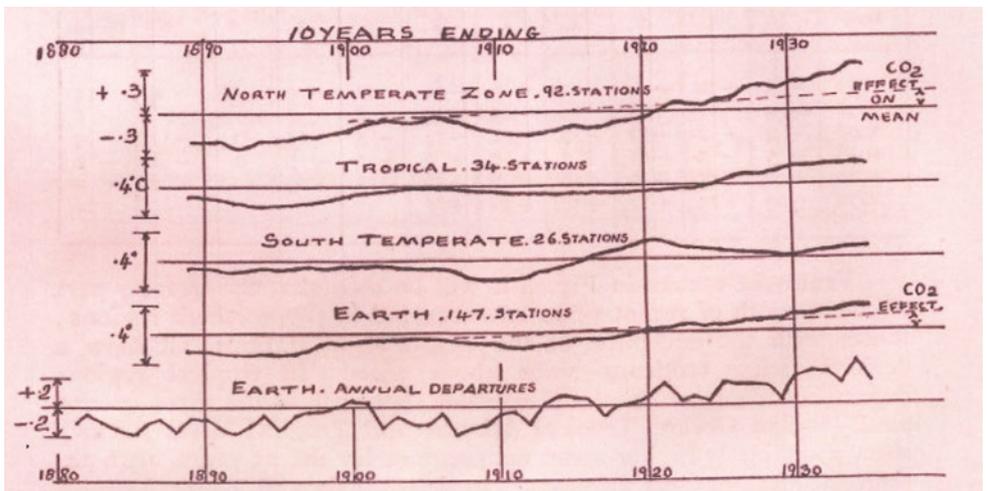


Abb. 5-3: Die von Callendar ermittelten Temperaturkurven, seinerzeit die besten verfügbaren Daten; sie zeigen einen weltweiten Anstieg von den 1880er Jahren bis zur Mitte der 1930er; Quelle: Quarterly J. Royal Meteorological Society 64, S. 223 (1938).

Für den Anstieg der CO₂-Konzentration fand er eine Rate von 10 % im untersuchten Zeitraum. Zum ersten Male gab es damit einen durch Messwerte belegten statistischen Zusammenhang. Hierauf gestützt, ergaben seine Berechnungen für die Verdopplung der aktuellen CO₂-Konzentration einem Temperaturanstieg von 2 °C. Seine Veröffentlichung von 1938⁷ beeindruckte den deutschen Meteorologen H. FLOHN, der fortan die Klimaproblematik in aller Welt ansprach.⁸

FLOHN selbst ging in seiner Habilitationsvorlesung in Würzburg 1941 auf das Thema ein und erörterte die Möglichkeit einer Großklimaänderung durch das CO₂.⁹

Er versuchte nach dem Krieg das Thema auf nationalen und internationalen Tagungen unterzubringen, ohne auf großes Interesse zu stoßen, wie er selbst in seinen Erinnerungen sagt. „Aktuell wurde das CO₂-Klima-Problem erst wieder 1956, als G. N. PLASS, ein amerikanischer Autor, ein Modell über die Erwärmung durch CO₂ veröffentlicht hatte“ (FLOHN).¹⁰

Inzwischen standen Computer zur Verfügung, wenn auch mit begrenzter Rechenleistung. G. PLASS machte sich das für sein Modell zunutze und konnte so zeigen, dass eine höhere Kohlendioxid-Konzentration die Erde aufheizen würde. Konkret errechnete er eine Erwärmung zwischen 3 und 4 °C bei einer Verdopplung der CO₂-Konzentration.

Bei den noch geringen Emissionsraten Mitte der 1950er Jahre hätte dies einen Temperaturanstieg von ungefähr 1,1 °C pro Jahrhundert zur Folge gehabt. Immer noch fanden sich Skeptiker, von denen die einen bemängelten, dass Wasserdampf und Bewölkung in PLASS' Modell keine Rolle spielten, während andere die CO₂-Aufnahmefähigkeit der Ozeane als natürliches Korrektiv sahen.

Das zweite Argument war verbreitet, bis der Amerikaner R. REVELLE 1953 fand, dass die Meerwasser wegen eines leicht basischen Zustandes in ihrer Aufnahmefähigkeit eng begrenzt sind. REVELLE wertete ¹⁴C-Messungen an Eiskernen aus und errechnete hieraus den Anteil des atmosphärischen CO₂, der sich tatsächlich im Meer löste. Er kam auf nur 20 %. Seine Schlussfolgerung war daraufhin, dass ein Anstieg des atmosphärischen CO₂ von etwa 40 % in den folgenden Jahrhunderten möglich wäre.

Die zwei schwedischen Meteorologen B. BOLIN und E. ERIKSON fanden parallel hierzu heraus, dass die Zeiträume eine große Rolle spielen und die Vermischung in die Tiefe sich über hunderte bis tausende von Jahren vollzieht. Wie es sich um die CO₂-Konzentration verhielt, konnten nur Messungen über größere Zeiträume zeigen. Messungen an Stationen in Skandinavien misslangen – sie waren vom Rauschen überlagert.

In Kalifornien war es CH. D. KEELING jedoch gelungen, eine rauschfreie Messtechnik zu entwickeln. REVELLE und SUESS holten ihn zu ihrer Scripps Institution of Oceanography und verschafften ihm einen Etat¹¹. Eine geeignete Messstelle wurde am Mona Loa auf

7 Callendar, G. S.: The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature, in: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Volume 64, Issue 275, 1938.

8 Flohn, H.: Erfahrungen und Erinnerungen (1931–1991), in: Bonner meteorologische Abhandlungen, Heft 40. Bonn 1992, S. 63ff.

9 Flohn, H.: Die Tätigkeit des Menschen als Klimafaktor, in: Z. f. Erdkunde 9, 1941, S. 13–22.

10 Flohn, H.: Erfahrungen und Erinnerungen, S. 63/64.

11 Revelle war seinerzeit Leiter von Scripps.

Hawaii gefunden, und KEELING begann seine Messungen, die zunächst auf die Ermittlung einer Referenzkonzentration abzielten.

1958 war KEELING damit fertig, und zwei Jahre später konnte er mitteilen, dass in der Tat die Konzentration anstieg, und auch noch mit Steigerungsraten, die mit den von REVELLE errechneten Werten übereinstimmte. Die Messungen am Mona Loa werden bis in die Gegenwart fortgesetzt. Der sich ergebende Kurvenverlauf ist heute unter dem Begriff Keeling-Kurve bekannt und in der Grafik der Abb. 5-4 wiedergegeben.

Die Keeling-Kurve stellt unter Beweis, dass und wie die CO₂-Konzentration ansteigt. Dies ist ihre einzige, jedoch überaus bedeutsame Aussage. Über die Erdtemperatur, das Meeresspiegelniveau und andere zivilisatorisch relevante Parameter und insbesondere deren weitere Entwicklung sind aus der Keeling-Kurve allein keine Aussagen möglich – hierzu bedarf es weiterer Nachweise, wie sie heute in den sogenannten Klimamodellen geliefert werden.

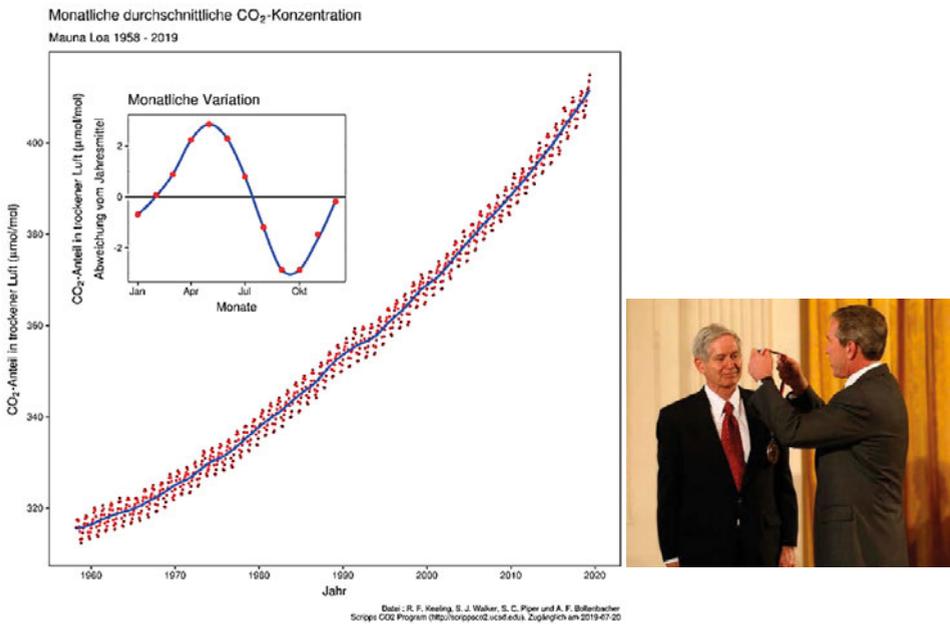


Abb. 5-4: links die KEELING-Kurve, fortgeführt bis in die Gegenwart; Quelle: Scripps CO₂-Programm; rechts Charles Keeling bei der Verleihung der National Medal of Science durch Präsident George W. Bush; Quelle: National Science Foundation

Über die bis zu KEELING erreichten Fortschritte in der Atmosphärenforschung gibt die Zeitleiste der Abb. 5-5 in der Zusammenfassung Auskunft.

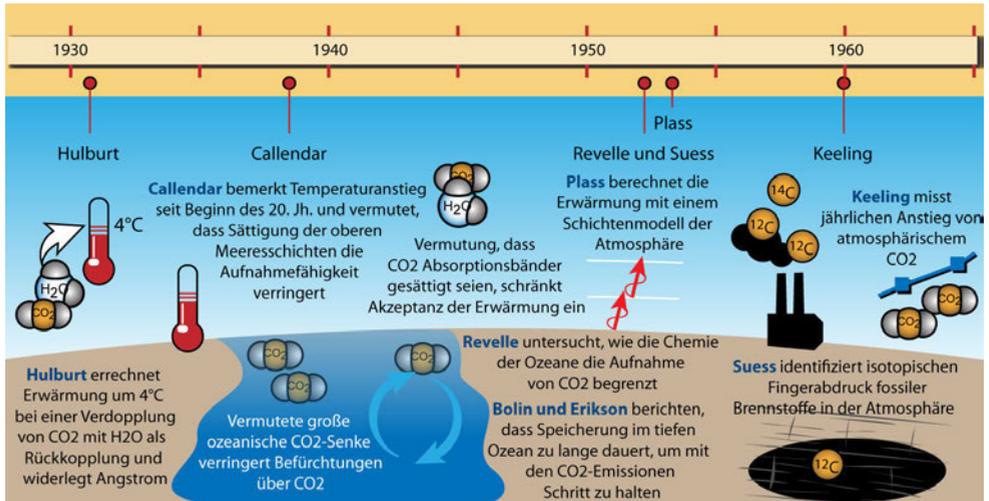


Abb. 5-5: Zeitleiste zur Atmosphärenforschung 1930–1960; Quelle: Grafik jg in J. Mason, Zwei Jahrhunderte Klimageschichte, Teil 2

Die Jahre nach 1970 waren in der Klimaforschung vor allem fünf Gebieten gewidmet:

- Dem Nachweis der anthropogenen Herkunft des CO₂-Anstiegs,
- der Gewinnung einer verlässlichen Datengrundlage in den zivilisationsrelevanten Klimaparametern wie Temperatur und Meeresspiegel, Eisbedeckung, Sättigung der Meere,
- der Rückschau in die tiefe Vergangenheit der Klimageschichte der Erde,
- ein tieferes Verständnis der klimarelevanten Bestandteile der Atmosphäre, nicht nur von CO₂,
- der Simulation der Zukunft mit immer komplexeren Klimamodellen.

Da die von KEELING gemessenen Steigerungsraten ziemlich genau den durch Verbrennung fossiler Brennstoffe erwarteten Werten entsprach, wurde schnell unterstellt, dass der Anstieg auf die Tätigkeit und Wirtschaftsweise des Menschen zurückgeführt werden kann, also anthropogen ist. Dass dies nicht nur ein statistischer Zusammenhang ist, wurde auf folgende Weise nachweisbar:

- Berechnung der freigesetzten Mengen aus nationalen Statistiken,
- Ermittlung des aus Verbrennung stammenden CO₂-Anteils aus dem Isotopenverhältnis und
- Hinzunahme der O₂-Konzentration als Indikator für Verbrennung / Vulkaneruptionen¹²

Abb. 5-6 zeigt in der Tat, dass sich die anthropogenen CO₂-Emissionen aus Verbrennung und die atmosphärische CO₂-Konzentration im Gleichlauf bewegen.

Systematische Temperaturmessungen im heutigen Sinn wurden erst seit den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts durchgeführt (Deutschland 1881). Echte Messungen waren erst seit

12 Beweisführung übernommen aus https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid_in_der_Erdatmosphäre, Abruf 20. November 2019.

G. GALILEI zuverlässig möglich, der mit seinem Thermoskop ein erstes Thermometer baute; G. F. SAGREDO fügte eine Skala hinzu und soll am 12. Juli 1613 mit systematischen Messungen begonnen haben – sie gelten als die erste Aufzeichnung von Wettertemperaturdaten. Für die Jahrhunderte davor gibt es einzelne Klimaberichte oder -erwähnungen in historischen Dokumenten.

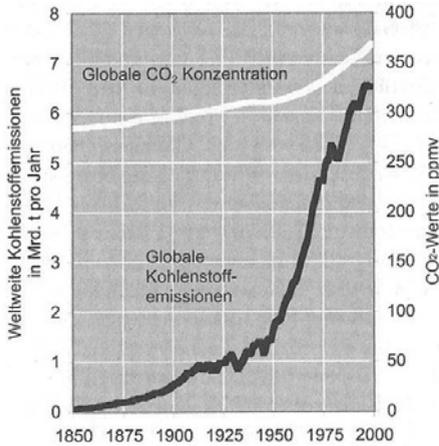


Abb. 5-6: Jährliche globale Kohlenstoffemissionen aus fossilen Brennstoffen und Zementherstellung gegen Werte in der Atmosphäre; Quelle: u. a. Keeling und Whorf 1999; WI 2000b

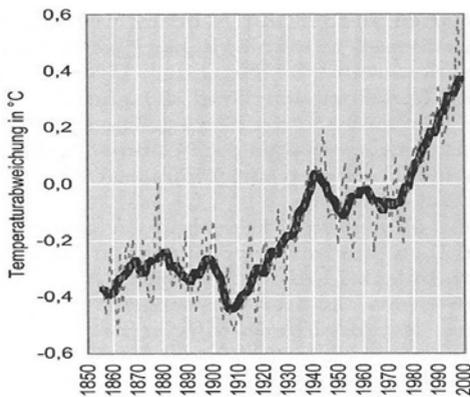


Abb. 5-7: Die reale „Fieberkurve“ der Erde, nördliche Halbkugel, gewichteter Durchschnitt Land-Luft-Meer; die gestrichelte Kurve verbindet (korrigierte) Messungen, die dick ausgezogene ist ein gleitendes 9-Jahresmittel, das die Tendenzen deutlicher macht, genormt auf den Mittelwert 1961–1990; Quelle: Jones u. a. 2000, 2001

Anmerkung: Die absolute Temperatur erhält man durch Addition von 14,0 °C

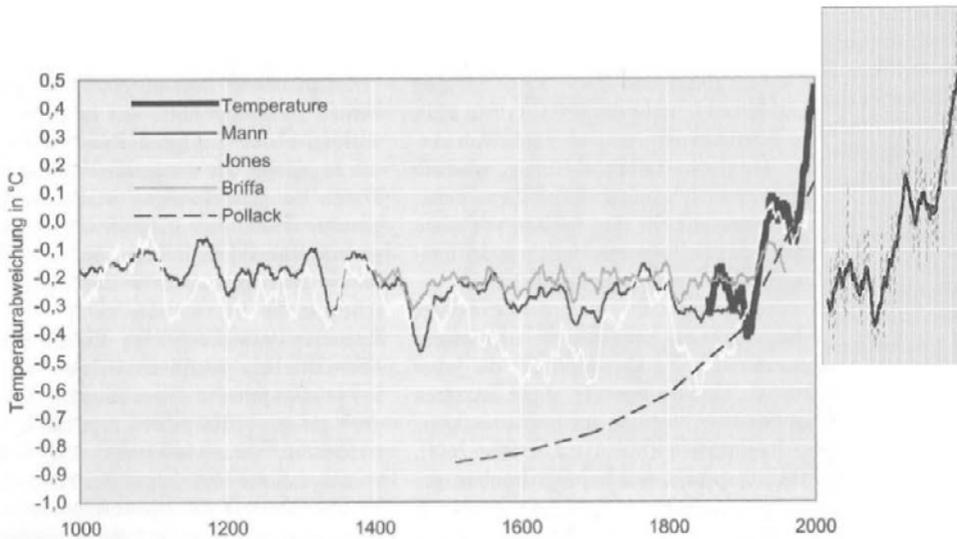


Abb. 5-8: Temperaturen der letzten 1000 Jahre, nördliche Halbkugel, nach verschiedenen Autoren und Recherchetechniken (Baumjahresringe, Bohrkerne etc.); man vergleiche die Daten der Abb. 4-3; Quelle: Mann u. a. 1999, Jones u. a. 1998, 2000, 2001, Briffa u.a.1998, Huang u. a. 2000, Pollack u. Huang 2001

Für weiter zurückliegende Zeiten halfen die Analyse von Baumringen oder Fluss-Sedimenten, und vor allem die die Analyse von Bohrkernen im Eis der Antarktis. Über was man gesichert verfügt, zeigen Abb. 5-7 und Abb. 5-8.

Die Veränderung des Meeresspiegels lässt sich seit ca. 1995 recht einfach über Satellitenmessungen beobachten; mit der Ergänzung aus Tidenmessungen in früheren Jahren ergibt sich auch hier ein zunächst nur statistisch gesicherter Anstieg, s. Abb. 5-9. Er wird durch die zunehmende Schmelze des polaren Eises erklärt.

1971 wurde durch die Untersuchungen von S. I. RASOOL und S. H. SCHNEIDER¹³ klar, dass es auch Gegenspieler für das CO₂ gibt: Aerosole in der Atmosphäre sorgen für Abkühlung und kupieren damit den Temperaturanstieg, was der renommierte R. BRYSON 1974 unterstützte. Sogar eine neue Eiszeit durch Aerosole schien vorstellbar.

Ihre Ergebnisse spielten auch eine Rolle, als es 2013 darum ging, die durch Messergebnisse belegte Pause im Temperaturanstieg zwischen 1998 and 2012 („Hiatus“) zu erklären. Das Intermezzo, das zu vielen Spekulationen Anlass gab, wurde schließlich offiziell mit der Kurzformel zu Ende gebracht:

- ▶ „Heating is still going on. It’s just not in terms of the surface air temperature.“¹⁴

13 Rasool, S. I., Schneider, S. H., Inst. for Space Studies, Goddard Space Flight Center, NASA: Atmospheric Carbon Dioxide and Aerosols, Effects of Large Increases on Global Climate, Science 9. Juli 1971.

14 N. Loeb, Atmospheric scientist at NASA's Langley Research Center in Hampton, Virginia, 2014.