

Kohlendioxid in der Atmosphäre – was veränderte sich seit 1980?

Von Klaus Quaritsch

Zusammenfassung

Nach allgemeinen Bemerkungen zum Umgang der Politik und der Medien mit dem Thema „Klimawandel“ werden statistische Daten über die Weltfördermengen an Erdöl, Erdgas und Kohle, den Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre und die Entwicklung der Welttemperatur für den Zeitraum 1980 bis 2008 tabellarisch erfasst und ausgewertet. Die Emissionen werden auf die Kohlenstoffmasse umgerechnet, vergleichbar gemacht und mit der berechneten gesamten Kohlenstoffmasse in der Atmosphäre bis zu einer Höhe von 50 km in Beziehung gesetzt. Die Auswertung der Daten zeigt die enorme Steigerung der jährlichen Kohlenstoffemissionen im betrachteten Zeitraum. Es konnte aber auch belegt werden, dass unabhängig von den absoluten Werten der Emissionen im Mittel seit 1980 der wieder aus der Atmosphäre entfernte Anteil des Kohlenstoffes immer ca. 50 % betrug. Die Ergebnisse werden bis zum Jahr 2022 extrapoliert und zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Prognosen (A1B-Szenarium) der Kohlenstoffemissionen und der Kohlendioxidgehalte in der Atmosphäre im IPCC-Bericht von 2007. In einem Diagramm sind die prozentualen Veränderungen der Kohlenstoffemissionen, der auf Grund der Emissionen zu erwartenden Kohlenstoffmasse in der Atmosphäre, der tatsächlichen Kohlenstoffmasse in der Atmosphäre und der Welttemperatur zusammenfassend dargestellt. Ziel der Arbeit ist es, vielen am Klima interessierten Menschen mit Hilfe objektiver und nachprüfbarer statistischer Daten einen verständlichen Überblick über die Veränderungen in der Atmosphäre und die Entwicklung der Welttemperatur zu vermitteln.

Allgemeiner Teil

Geht es in der Wissenschaft oder in der Politik um das Klima, steht das Kohlendioxid (CO₂) im Mittelpunkt der Diskussionen. Man ist sich im letzten IPCC-Bericht (Intergovernmental Panel on Climate Change/Zwischenstaatliche Sachverständigengruppe über Klimawandel) ziemlich sicher, dass die durch den Menschen verursachte Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre ein wesentlicher Grund für die Erwärmung in der Welt um ca. 0,8 Grad Celsius im letzten Jahrhundert ist /1/.

Wie beim Atomwaffensperrvertrag hat die Politik auch beim prognostizierten Klimawandel eine ähnliche Reaktion auf eine durch die Wissenschaft ausgesprochene Warnung vor einer weltweiten Gefahr gezeigt und ein weltumspannendes Abkommen beschlossen. Diese Reaktion vieler Länder ist schon Anfang der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts erfolgt (Umweltgipfel 1992 in Rio de Janeiro) und verdient noch heute unsere Anerkennung, auch wenn viele Ziele bis heute nicht erreicht wurden. Darin drückt sich auch die Unsicherheit darüber aus, ob das Kohlendioxid wirklich die entscheidende Rolle für den Klimawandel spielt, wie es die IPCC-Berichte darstellen. Der möglichen Gründe für Klimaänderungen gibt es viele, deshalb sollte der Faktor CO₂ nur als der Punkt gesehen werden, den wir durch sparsamste Verwendung fossiler Brennstoffe beeinflussen können.

Aber nicht nur die Politik entscheidet über wirksame Maßnahmen zur Reduzierung des klimawirksamen Ausstoßes von Treibhausgasen, sondern jeder von uns kann durch einen maßvollen Energieeinsatz die Kohlendioxidemission verringern. Da die äußeren Zwänge (gesetzliche, Preise u. a.) sicher nicht alle Reserven zur Energieeinsparung als einer wesentlichen Quelle der Verringerung des Kohlendioxidausstoßes erschließen, sind das Bewusstsein und das Wollen der Menschen im Arbeitsprozess und im privaten Leben zum sparsamen Umgang mit Energie von großer Bedeutung. Die daraus resultierende Freiwilligkeit des klimabewussten Verhaltens entsteht aber bei den meisten Menschen nur dann, wenn durch Wissen über die grundsätzlichen Zusammenhänge, das Vertrauen in politische und wissenschaftliche Aussagen und die konkreten Daten Einsicht in die Notwendigkeit entsteht.

Da dieses Wissen (Bildung) über das Klima nicht von klein auf zur Elementarbildung gehörte und folglich bei vielen Menschen nicht vorausgesetzt werden kann, übernehmen in

der Regel die Medien die Information über den Klimawandel. Dadurch erfahren die Leser eigentlich sehr viel über das Thema, auch über physikalische Vorgänge, die mit dem Klimawandel im Zusammenhang stehen (Treibhauseffekt, Strahlenabsorption, Temperaturänderungen in der Vergangenheit, Emissionsdaten von Kohlendioxid, Bedeutung der Ozeane und der Biosphäre im Kohlenstoffhaushalt der Welt u. a.), aber es ist zu bezweifeln, dass dies alles im Komplex verstanden werden kann. Diese Informationen werden auch schnell wieder überdeckt durch das zweite Informationsfeld der Medien: die Zukunftsszenarien über die schrecklichen Folgen des Klimawandels. Dieses Wissen der Leser wird vermutlich labil und leicht zu erschüttern sein, wenn es zum Vertrauensverlust führender Klimaforscher in wissenschaftlichen Kreisen (wie schon geschehen) und der Medien kommt oder sich Stimmen erheben, die alles für nicht so schlimm halten, wie es jahrelang vorausgesagt wurde.

Will man sich im Detail zum besseren Verständnis der Dinge über die konkreten Daten der letzten 50 Jahre zum Kohlendioxid in der Atmosphäre informieren, wird man als „Durchschnittsbürger“ seine Bemühungen bald wieder aufgeben. Mit ziemlicher Sicherheit lässt sich behaupten, dass man weder in städtischen Bibliotheken noch im deutschsprachigen Internet komplette Datensätze findet über den Kohlendioxidgehalt (weltweit), die Kohlendioxidemissionen oder wie viel Kohlendioxid sich in der Atmosphäre insgesamt befindet. Man muss immer mit bruchstückhaften Informationen für dieses oder jenes Jahr zufrieden sein. Sicher verfügen Wissenschaftler über diese Daten, aber vielleicht halten sie es für zu trivial sie ins Netz zu stellen oder die Datenbereitstellung wäre mit Kosten verbunden.

Was in Deutschland nicht so ohne weiteres klappt, ist in anderen Ländern selbstverständlich. Über das Web sind aus den USA komplette Datensätze über das, was wir in dieser Arbeit über den Klimawandel wissen wollten, verfügbar. Wir nutzten so folgende Daten:

1. Die weltweiten Durchschnittswerte des Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre für jedes Jahr von 1980 bis 2008.
2. Die weltweiten Fördermengen für Erdöl, Erdgas und Kohle für jedes Jahr von 1980 bis 2008 (andere Kohlenstoffemittenten werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt).
3. Die Entwicklung der Welttemperatur von 1980 bis 2008.

Diese Daten sind in den folgenden Tabellen gemeinsam mit daraus berechneten Werten dargestellt und graphisch ausgewertet. In der graphischen Darstellung (Anhang, Diagramm 1) interessieren nicht die Absolutwerte in Tonnen oder Grad Celsius (die in den Tabellen ausgewiesen sind), sondern die prozentuale Veränderung über die Jahre. Dadurch konnten alle Daten in einer Graphik abgebildet und der direkte Zusammenhang hergestellt werden. Diese Auswertung liefert automatisch außerdem den Anteil des Kohlendioxids, der durch die Natur aus der Atmosphäre wieder entfernt wird. Nur eine einzige weitere Berechnung war erforderlich, um die Ausgangsdaten im Sinne unseres Zieles auswerten zu können: Wir mussten die Kohlendioxidmasse in der Atmosphäre berechnen und dazu eine Annahme über die Höhe der Atmosphäre treffen, bis zu der der Kohlendioxidgehalt gleichmäßig verteilt ist. Hinweise in der Literatur veranlassten uns, diese Höhe mit 50 km festzulegen. Damit ist praktisch die gesamte Masse der Atmosphäre erfasst.

Diese Arbeit stellt somit die Abbildung der tatsächlich in der Atmosphäre in den letzten knapp 30 Jahren abgelaufenen Veränderungen in aller Ausführlichkeit dar. Im Prinzip könnten nun viele Menschen die dargelegte Entwicklung Jahr für Jahr selber ergänzen und jeder seine Projektion in die Zukunft probieren. Sie müssen aber wissen, dass ein Tempo der Kohlendioxiderrhöhung in der Atmosphäre, wie es zur Zeit der Fall ist, ganz schnell zum Kippen gleichförmiger Entwicklungen führen kann und somit jede Prognose mit Vorsicht zu

gebrauchen ist. Aber vielleicht merkt man an seinen fortgeführten Kurven im Diagramm schneller als manches Rechenmodell, dass ein Bruch in der Entwicklung auftritt.

Berechnung der Kohlendioxidmasse in der Atmosphäre

Ausgangsdaten und Berechnungen

- Gleichmäßige Verteilung des CO₂ in der Atm. bis zu einer Höhe von 50 km über der mittleren Höhe der Erdoberfläche. Damit wird ungefähr die gesamte Luftmenge in der Atmosphäre erfasst.
- Die Berechnung des Volumens der betrachteten Atm. erfolgt mit folgenden Daten:
 Volumen der Erde /V_E/: **1,0833 x 10¹² km³**, daraus berechnet:
 Radius der Erde /R_E/: **6371,2 km**
- Volumen der Atm. /V_{A50}/ (50 km hoch):

$$V_{A50} = (V_E + V_{A50}) - V_E$$

$$V_{A50} = 4/3 \times \text{Pi} (R_E + R_{A50})^3 - V_E$$

$$V_{A50} = 4/3 \times \text{Pi} (6371,2 + 50)^3 - 1,0833 \times 10^{12}$$

$$V_{A50} = 1,1090144 \times 10^{12} - 1,0833 \times 10^{12}$$

$$V_{A50} = 2,571444 \times 10^{10} \text{ km}^3$$

$$V_{A50} = 2,571444 \times 10^{19} \text{ m}^3$$
- Masse der Erdatm. mit V_{A50}:
(geschätzt) **M_{A50} = 5,0 x 10¹⁸ kg** (ca. 97,5 % vom Gesamtmasse der Erdatmosphäre)
- Mittl. Dichte der Erdatm. mit V_{A50}:

$$D_{A50} = M_{A50} : V_{A50}$$

$$D_{A50} = 5,0 \times 10^{18} : 2,571444 \times 10^{19}$$

$$D_{A50} = 0,19443 \text{ kg/m}^3$$
- CO₂-Gehalt der Erdatm. (V-%_{A50(1980)}) im Jahr 1980: **0,0338 % (1980)**
- CO₂-Volumen in V_{A50(1980)}:

$$V_{\text{CO}_2\text{-A50(1980)}} = V_{A50} \times \text{CO}_2\text{-\% -Gehalt (1980)} \times 0,01$$

$$V_{\text{CO}_2\text{-A50(1980)}} = 2,571444 \times 10^{19} \text{ m}^3 \times 0,0338 \times 0,01$$

$$V_{\text{CO}_2\text{-A50(1980)}} = 8,6915 \times 10^{15} \text{ m}^3$$
- Die Berechnung der Dichte des CO₂ (A50) erfolgt aus den Verhältnissen für Luft und CO₂ bei Normalbedingungen V_{A50}:
 Dichte Luft bei 0 Grad C und 1,01325 bar: **D_{L-N} = 1,2928 kg/m³**
 Dichte Luft in V_{A50}: **D_{A50} = 0,19443 kg/m³**
 Verhältnis der genannten Luftdichten V_D:

$$D_{L-N}/D_{A50}$$

$$V_D = 1,2928 : 0,19443 = 6,64874$$

 Dichte CO₂ bei Normalbedingungen: **D_{CO2-N} = 1,9767 kg/m³**
 Dichte CO₂ in V_{A50}:

$$D_{\text{CO}_2\text{(A50)}} = D_{\text{CO}_2\text{-N}} : V_D$$

$$D_{\text{CO}_2\text{(A50)}} = 1,9767 : 6,64874$$

$$D_{\text{CO}_2\text{(A50)}} = 0,2973 \text{ kg/m}^3$$
- Masse des CO₂ in V_{A50(1980)}:**

$$M_{\text{CO}_2\text{-A50(1980)}} = V_{\text{CO}_2\text{-A50(1980)}} \times D_{\text{CO}_2\text{-A50(1980)}}$$

$$M_{\text{CO}_2\text{-A50(1980)}} = 8,6915 \times 10^{15} \text{ m}^3 \times 0,2973 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{\text{CO}_2\text{-A50(1980)}} = 2,5840 \times 10^{15} \text{ kg}$$

Tabellen und deren Erläuterung

Tabelle 1 Erdöl, Erdgas und Kohle Förderung in der Welt

Jahr	Erdöl und fl. andere Brennstoffe, berechnet aus Btu-Werten der Lit. /2/ und C-Inhalt (berechn.)			Erdgas, berechnet aus Btu-Werten der Lit. /2/			Kohle, berechnet aus Btu- Werten der Lit. /2/		∑ der Sp. 2,3,4	Veränd. der ∑ gegenüber 1980
	/Joule x 10 ¹⁵ /	/t x 10 ⁹ /	/t x 10 ⁹ C/	/Joule x 10 ¹⁵ /	/m ³ x 10 ¹² /	/t C x 10 ⁹ /	/Joule x 10 ¹⁵ /	/t x 10 ⁹ C/	/t x 10 ⁹ C/	%/
1	2			3			4		5	6
1980	138213	3,301	2,806	56762	1,494	0,7918	73854	2,170	5,768	100,0
1981	132832	3,173	2,700	56868	1,497	0,7934	75331	2,213	5,706	98,9
1982	129456	3,092	2,628	56973	1,499	0,7945	76597	2,250	5,673	98,4
1983	127557	3,046	2,589	58134	1,530	0,8109	78707	2,312	5,712	99,0
1984	129878	3,102	2,637	64148	1,688	0,8946	82440	2,445	5,977	103,6
1985	129878	3,102	2,667	66996	1,763	0,9344	86937	2,554	6,125	106,2
1986	124204	2,966	2,522	67735	1,783	0,9450	88382	2,596	6,063	105,1
1987	136736	3,266	2,776	71322	1,877	0,9948	91157	2,678	6,449	111,8
1988	140956	3,367	2,862	74909	1,971	1,0446	93795	2,755	6,662	115,5
1989	142855	3,412	2,900	78285	2,060	1,0918	94006	2,761	6,753	117,1
1990	143910	3,437	2,921	79446	2,091	1,1082	94111	2,764	6,793	117,8
1991	144965	3,462	2,943	80501	2,118	1,1225	90841	2,668	6,734	116,7
1992	145493	3,475	2,953	81134	2,135	1,1316	90208	2,650	6,735	116,8
1993	145282	3,470	2,950	83455	2,196	1,1639	91474	2,687	6,801	117,9
1994	148130	3,538	3,007	83244	2,191	1,1612	92318	2,712	6,881	119,3
1995	150452	3,593	3,054	85671	2,255	1,1952	93373	2,743	6,992	121,2
1996	153828	3,674	3,123	89364	2,352	1,2466	95166	2,795	7,165	124,2
1997	157415	3,760	3,196	89364	2,352	1,2466	97699	2,870	7,313	126,8
1998	158786	3,792	3,196	90419	2,379	1,2609	98015	2,879	7,336	127,2
1999	161952	3,868	3,288	92740	2,441	1,2937	96855	2,845	7,427	128,8
2000	164062	3,918	3,330	96010	2,527	1,3393	98754	2,901	7,570	131,2
2001	165433	3,950	3,358	97488	2,565	1,3595	100125	2,941	7,659	132,8
2002	166594	3,979	3,382	100964	2,657	1,4082	103607	3,043	7,833	135,8
2003	170287	4,067	3,457	104873	2,760	1,4620	112469	3,304	8,223	142,6
2004	176406	4,213	3,581	108882	2,865	1,5185	121859	3,580	8,680	150,5
2005	179782	4,294	3,650	112997	2,974	1,5762	128401	3,772	8,998	156,0
2006	181892	4,344	3,692	114052	3,001	1,5905	134520	3,952	9,235	160,1
2007	184319	4,402	3,742	118589	3,121	1,6541	140428	4,125	9,521	165,1
2008	184847	4,415	3,753	121859	3,207	1,7000	143488	4,215	9,668	167,6
1 Btu (short scale) entspricht 1055 Joule; 4,1868 x 10 ¹⁰ J = 1 t Öl ; 1 t Öl enthält 0,85 t C				Umrechnung Joule in m ³ basiert auf: 1000 fct (Kubikfuß) entspr. 1/6 des Energieinhaltes eines Barrel Erdöl			2,922727 x 10 ¹⁰ J = 1 t Steinkohle = 0,86 t Kohlenstoff			

Für die Berechnung des C-Gehaltes wurde mit folg. Werten gerechnet: Erdgas enthält 87 % CH₄ und 6 % Alkane, daraus ergibt sich für einen m³ Erdgas ein Volumenanteil des Methans von 870 Litern mit 466 g C und ein Volumenanteil der Alkane (vorwiegend Ethan) mit 64 g C. Ein m³ Erdgas enthält somit 0,53 kg C.

Umrechnungen: 1 kg ÖE (Öleinheit) = 41,868 MJ (Megajoule); 1 kg SKE (Steinkohleneinheit) = 0,7 ÖE = 29,3076 MJ

In der Tabelle 1 ist die Erdöl-, Erdgas- und Kohleförderung in der Welt für jedes Jahr von 1980 bis 2008, die Summe der Fördermengen und die prozentuale Veränderung der Summe gegenüber 1980 aufgelistet. Da die Maßeinheiten für die geförderten Mengen sehr unterschiedlich sind, wurden die Einheiten auf Joule, Tonnen, Kubikmeter und die Kohlenstoffmasse umgerechnet, die als Einheitsgröße für Berechnungen diene. In den Tabellen sind die verwendeten Umrechnungsgrößen am Tabellenende aufgeführt. Für weiterführende Berechnungen wurden für alle drei genannten Energiequellen nur die Daten der amerikanischen Energy Information Administration (E/A) /2/ verwendet, weil sie die höchsten Werte liefern und aus einer Quelle stammen.

Zum Vergleich dieser Werte mit Angaben aus anderen Quellen sind im Anhang weitere Daten angeführt. Es ist zu erkennen, dass die Daten verschiedener Quellen beachtliche Unterschiede aufweisen können. Mit den Daten der E/A liegt man aber im Bereich der maximalen Angaben für die Summe der drei Brennstoffarten. Man erkennt, dass die Fördermengen aller Brennstoffarten ständig gestiegen sind. Spitzenreiter ist das Erdgas mit

einer Steigerung von 100 % im Jahr 1980 auf 217 % im Jahr 2009 bezogen auf den Kohlenstoffgehalt. Kohle folgt mit 197 % auf Platz 2 und Erdöl mit 132 % auf Platz 3.

Aus der Tabelle 1 ist ersichtlich, dass es besonders hohe Steigerungsraten seit dem Ende der 90er Jahre gibt. Im Jahr 2008 kommt die Kohlenstoffemission mit ca. 9,7 Milliarden Tonnen in die Nähe der 10 Milliardenengrenze. Im Jahr 1980 waren es nur 5,8 Milliarden Tonnen. Die Kohlendioxidemission erhält man aus diesem Wert durch Multiplikation mit der Zahl 3,67 (35,6 Milliarden Tonnen Kohlendioxid).

Tabelle 2 Messdaten aus der Literatur über den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre und daraus berechnete Werte

Jahr	CO ₂ -Geh. (Jahres- mittelwerte) Lit. /3/ und /4/ /ppm/	CO ₂ -Masse der Atmosphäre (aus Sp. 2 berechnet) /t x 10 ¹² /	Zunahme CO ₂ - Gehalt pro Jahr /ppm/	Proz. Zu- nahme CO ₂ - Gehalt pro Jahr /%/	Zunahme CO ₂ -Masse in der Atm. pro Jahr /t x 10 ⁹ /	C-Masse in der At- mosphäre /t x 10 ¹¹ /	Zunahme C-Masse pro Jahr /t x 10 ⁹ /	Proz. Zunah- me der C- Masse in der Atmosphäre (kumulativ) %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1860	280 ¹⁾	2,1406				5,837		
1980	338	2,5840				7,046		100,00
1981	339	2,5916	1	0,30	7,6	7,066	2,1	100,30
1982	340	2,5993	1	0,30	7,7	7,088	2,1	100,60
1983	342	2,6146	2	0,59	15,3	7,122	4,1	101,08
1984	343	2,6222	1	0,29	7,6	7,155	2,1	101,47
1985	345	2,6375	2	0,58	15,3	7,182	4,2	102,07
1986	346	2,6452	1	0,29	7,7	7,213	2,1	102,37
1987	348	2,6604	2	0,58	15,2	7,254	4,1	102,95
1988	350	2,6757	2	0,58	15,3	7,296	4,2	103,55
1989	352	2,6910	2	0,57	15,3	7,338	4,1	104,13
1990	353	2,6987	1	0,28	7,6	7,359	2,1	104,43
1991	354	2,7063	1	0,28	7,6	7,379	2,1	104,73
1992	355	2,7140	1	0,28	7,6	7,400	2,1	105,03
1993	356	2,7216	1	0,28	7,6	7,421	2,1	105,33
1994	358	2,7369	2	0,56	15,3	7,463	4,1	105,91
1995	360	2,7522	2	0,56	15,3	7,504	4,2	106,50
1996	361	2,7598	1	0,28	7,6	7,525	2,1	106,80
1997	363	2,7751	2	0,55	15,3	7,567	4,2	107,40
1998	365	2,7904	2	0,55	15,3	7,609	4,1	107,98
1999	367	2,8057	2	0,55	15,3	7,650	4,2	108,58
2000	368 ²⁾	2,8133	1	0,27	7,6	7,672	2,1	108,88
2001	370	2,8286	2	0,54	15,3	7,713	4,1	109,46
2002	372	2,8439	2	0,54	15,3	7,754	4,2	110,06
2003	374	2,8592	2	0,54	15,3	7,796	4,2	110,65
2004	376	2,8745	2	0,53	15,3	7,838	4,1	111,23
2005	378	2,8898	2	0,53	15,3	7,880	4,2	111,83
2006	380	2,9051	2	0,53	15,3	7,921	4,2	112,43
2007	382	2,9204	2	0,53	15,3	7,963	4,1	113,01
2008	384	2,9357	2	0,52	15,3	8,005	4,2	113,61

¹⁾ Lit. 3: Werte der Jahre 1860 und 1980 bis 1999

²⁾ Lit. 4: Werte der Jahre 2000 bis 2008

Die Tabelle 2 enthält die Messdaten aus der Literatur über den Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre und daraus berechnete Werte (Kohlenstoff- und Kohlendioxidmasse, prozentuale Veränderungen). Die Daten des Kohlendioxidgehaltes sind die weltweit über dem Meer (Pazifik) gemessenen Jahresdurchschnittswerte der Jahre 1980 – 1999 /3/ und die Jahresdurchschnittswerte der Messstelle American Samoa der Jahre 2000 -2008 /4/. Für den privaten Gebrauch ist es aber besser die CO₂-Daten der Quelle <http://www.esrl.noaa.gov>; (ftp://ftp.cmdl.noaa/ccg/co2/trends/co2_annmean_gl.txt) zu verwenden.

Aus den gemessenen Kohlendioxidgehalten und den oben durchgeführten Berechnungen über die Atmosphäre konnte die Kohlendioxid- bzw. Kohlenstoffmasse in der Atmosphäre und die absolute sowie prozentuale Zunahme seit 1980 berechnet werden. Seit 1980 stieg die Kohlenstoffmasse um ca. 100 Milliarden Tonnen an, was einer Steigerung um 13 %

entspricht. Diese Steigerung ist im Vergleich zu der Steigerung bei der Kohlenstoffemission durch die Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle relativ gering, weil die Bezugsgröße Gesamtkohlenstoff in der Atmosphäre über 100 Mal größer ist als die Bezugsgröße der Emissionswerte und damit die Steigerungsrate kleiner sein muss. Dazu kommt, dass ein Teil des Kohlenstoffs aus der Atmosphäre wieder verschwindet, indem das Kohlendioxid vom Meer und dem Land aufgenommen wird. Würde zwischen Meer, Land und Atmosphäre kein Kohlendioxidaustausch stattfinden, würde die Atmosphäre soviel mehr Kohlenstoff enthalten, wie die Verbrennung der Brennstoffe ihr liefert (fiktive Kohlenstoffmasse).

Tabelle 3 Veränderung der Masse an Kohlenstoff und ihrer prozentualen Veränderung in der Atmosphäre, die unter der Annahme errechnet wurde, dass die gesamte C-Emission aus der Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle in der Atmosphäre verbleibt

Jahr	C-Masse in der Atmosphäre (fiktiv)	Prozentuale Veränderung der C-Masse in der Atmosphäre (fiktiv)
	/t x 10 ¹¹ /	%
1	2	3
1980	7,0460	100,0
1981	7,1031	100,8
1982	7,1600	101,6
1983	7,2171	102,4
1984	7,2769	103,3
1985	7,3382	104,1
1986	7,3988	105,0
1987	7,4633	105,9
1988	7,5299	106,9
1989	7,5974	107,8
1990	7,6653	108,8
1991	7,7327	109,7
1992	7,8000	110,7
1993	7,8680	111,7
1994	7,9368	112,6
1995	8,0067	113,6
1996	8,0784	114,7
1997	8,1515	115,7
1998	8,2249	116,7
1999	8,2992	117,8
2000	8,3749	118,9
2001	8,4515	119,9
2002	8,5298	121,1
2003	8,6121	122,2
2004	8,6989	123,5
2005	8,7889	124,7
2006	8,8812	126,0
2007	8,9764	127,4
2008	9,0731	128,8

In der Tabelle 3 ist diese fiktive Kohlenstoffmasse in der Atmosphäre für jedes Jahr und die prozentuale Steigerung derselben bis 2008 aufgeführt. Die Atmosphäre würde im Jahr 2008 gegenüber 1980 ca. 100 Milliarden Kohlenstoff mehr enthalten, als durch Messwerte ermittelt wurde. Dieser Umstand wird an Hand der Werte der Tabelle 4 näher untersucht.

Tabelle 4 Von Land und Meer aufgenommene Kohlenstoffmasse

Jahr	C-Masse in Atmosphäre (fiktiv, Werte aus Tab. 3, Sp. 2) /t x 10 ¹¹ /	C-Masse in der Atm. (gemessene Werte aus Tab. 2, Sp. 7) /t x 10 ¹¹ /	Proz. Anteil der Werte der Sp. 3 von den Werten der Sp. 2 %	C-Masse, die aus der Atmosphäre seit 1980 entfernt wurde (Differenz der Spalten 2 u. 3) /t x 10 ¹¹ /	C-Masse, die aus der Atm. jährlich entfernt wurde (Differenz der Werte der Sp. 5 von Jahr zu Jahr) /t x 10 ¹¹ /	Proz. Anteil der jährlich aus der Atm. entfernten C-Masse und ø-Wert (1981 – 2008) %	Proz. Anteil der aus der Atm. entfernten C-Masse (Mittelwerte über jeweils 7 Jahre) %
1	2	3	4	5	6	7	8
1980	7,0460	7,046	100,0	0,0			
1981	7,1031	7,062	99,4	0,0411	0,0411	70,3	
1982	7,1600	7,083	98,9	0,0770	0,0359	63,3	
1983	7,2171	7,124	98,7	0,0931	0,0161	28,2	
1984	7,2769	7,145	98,2	0,1319	0,0388	64,9	
1985	7,3382	7,187	97,9	0,1512	0,0193	31,5	
1986	7,3988	7,208	97,4	0,1908	0,0396	65,3	
1987	7,4633	7,249	97,1	0,2143	0,0235	36,4	
1981 - 1987							51,4
1988	7,5299	7,291	96,8	0,2389	0,0246	36,9	
1989	7,5974	7,332	96,5	0,2654	0,0265	39,2	
1990	7,6653	7,353	95,9	0,3123	0,0469	69,0	
1991	7,7327	7,374	95,3	0,3587	0,0464	68,9	
1992	7,8000	7,395	94,8	0,4050	0,0463	68,7	
1993	7,8680	7,416	94,3	0,4520	0,0470	69,1	
1994	7,9368	7,457	94,0	0,4798	0,0278	40,4	
1988 - 1994							56,0
1995	8,0067	7,499	93,7	0,5077	0,0279	39,9	
1996	8,0784	7,520	93,1	0,5584	0,0507	70,8	
1997	8,1515	7,562	92,8	0,5895	0,0311	42,5	
1998	8,2249	7,603	92,4	0,6219	0,0324	44,2	
1999	8,2992	7,645	92,1	0,6542	0,0323	43,5	
2000	8,3749	7,666	91,5	0,7089	0,0547	72,3	
2001	8,4515	7,707	91,2	0,7445	0,0356	46,5	
1995 - 2001							51,4
2002	8,5298	7,749	90,8	0,7808	0,0363	46,3	
2003	8,6121	7,791	90,5	0,8211	0,0403	49,0	
2004	8,6989	7,832	90,0	0,8669	0,0458	52,8	
2005	8,7889	7,874	89,6	0,9149	0,0480	53,3	
2006	8,8812	7,916	89,1	0,9652	0,0503	54,5	
2007	8,9764	7,957	88,6	1,0194	0,0542	56,9	
2008	9,0731	7,999	88,2	1,0741	0,0547	56,6	
2002 - 2008							52,8
1981 - 2008						ø/a 52,9	

Die Daten der Tabelle 4 belegen eindeutig, dass seit 1980 bis heute immer ca. 50 % des durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe emittierten Kohlendioxides von Ozeanen und dem Land wieder aus der Atmosphäre entfernt wurde. In den IPCC-Berichten von 2001 und 2007 /5/ wird dagegen von einer Abnahme der Aufnahmefähigkeit der Ozeane und des Landes mit steigendem CO₂-Gehalt bzw. steigender Temperatur in der Atmosphäre gesprochen (im Bericht von 2007 wird aber erwähnt, dass diese Aussage mit Unsicherheiten behaftet ist).

Tabelle 5 Veränderung der Welt-Oberflächentemperatur (Land und See)

Jahr	Auswahl von extremen Messwerten, die die Abweichung zum Mittelwert des 20.Jahrh. wiedergeben /Lit. 6/ /Grad Celsius/	Abweichung der Jahresmittelwerte der Temp. vom Mittelwert der Temp. des 20.Jahrh. Grad Celsius/	Trendlinien der Temp.-Veränderung seit 1980 /Grad Celsius/	Durchschnittliche Oberflächentemp. der Erde (Land u. See) /Grad Celsius/	Proz. Veränderung der durchschnittlichen Oberflächentemp. der Erde (Land u. See) /%/
1	2	3	4	5	6
Ø-Temp. Welt 20. Jahrh.				13,9	100
1960	-0,20				
1962	-0,28				
1964	-0,42				
1970	-0,13				
1972	-0,38				
1975	+0,05				
1976	-0,53				
1980	+0,20		-0,02	13,88	99,86
1981					
1982	-0,25		0,00	13,90	100,0
1983					
1984			+0,02	13,92	100,14
1985					
1986			+0,05	13,95	100,36
1987					
1988	+0,26		+0,07	13,97	100,50
1989					
1990			+0,10	14,00	100,72
1991					
1992	-0,08		+0,13	14,03	100,94
1993					
1994			+0,16	14,06	101,15
1995					
1996	+0,04		+0,18	14,08	101,29
1997		+0,48			
1998	+0,65	+0,60	+0,22	14,12	101,58
1999					
2000	+0,07		+0,22	14,15	101,80
2001					
2002		0,57	+0,25	14,18	102,01
2003		0,58			
2004		0,54	+0,28	14,21	102,23
2005		0,62			
2006	+0,50	0,56	+0,31	14,23	102,37
2007		0,55			
2008	+0,10	0,49	+0,36	14,26	102,59

Die Tabelle 5 enthält ausgewählte Angaben des amerikanischen National Climate Data Center /6/ über die Entwicklung der Welttemperatur. Während die bisher verwendeten Daten über Kohlenstoffmassen und Kohlendioxidgehalte recht plausible Abhängigkeiten ergaben, kann man das über die durchschnittliche Welttemperatur nicht sagen. Man kann höchstens von einem Trend zu etwas höheren Temperaturen der letzten 30 Jahre sprechen. Eine Diskussion der Werte ist uns deshalb nicht möglich.

Im Diagramm 1 (Anhang) sind die in den Tabellen 1, 2, 3, und 5 ausgewiesenen prozentualen Veränderungen in einem einheitlichen Maßstab dargestellt und geben somit auf einen Blick alle relevanten Veränderungen wieder. Die steigenden Emissionsraten seit Ende der 90er Jahre sind in der Beschleunigung des Kohlenstoffinhaltes der Atmosphäre eindeutig erkennbar. Eine weitere Diskussion der Kurven in Ergänzung der bei der Besprechung der Tabellen gemachten Aussagen ist sicherlich nicht erforderlich.

Sinn des Beitrages ist es, auf der Grundlage weniger simpler statistischer Fakten einen einfachen und nachvollziehbaren Überblick über die atmosphärischen Veränderungen in der Zeit zwischen 1980 und 2008 in aller Ausführlichkeit und Einfachheit zu geben. Wir möchten betonen, dass eine ähnliche Darstellung der atmosphärischen Veränderungen, wie sie unser

Diagramm zeigt, uns aus der Literatur nicht bekannt ist. Gewöhnlich werden ähnliche Abhängigkeiten in einzelnen Diagrammen gezeigt, deren x-Achse Jahrhunderte oder gar Jahrtausende lang ist. Dies hat zur Folge, dass alle diese Diagramme für unsere Gegenwart Schrecken erregende steile Anstiege ausweisen und damit eine suggestive Wirkung haben.

Ausblick

Wir haben uns bisher jeglicher Spekulation über Daten und Ursachen der dargelegten Ausführungen enthalten. Berechtigen uns die erhaltenen Ergebnisse dazu, einen Blick in die Zukunft zu wagen? Welches Gebiet könnten wir spekulativ betrachten? Die Welttemperatur auf keinen Fall. Über die Kohlenstoffemissionen und die Entwicklung des Kohlenstoffgehaltes der Atmosphäre kann man schon etwas sagen. Man geht wohl nicht fehl in der Annahme, dass in den nächsten 10 bis 15 Jahren die Kohlenstoffemissionen weiterhin steigen werden. Sollte dies im Tempo des letzten Jahrzehnts erfolgen, würde im Jahr 2022 mit einem Anstieg der Kohlenstoffmasse in der Atmosphäre von knapp 113,6 % (2008) auf ca. 121 % (auf ca. 15 Milliarden Tonnen Kohlenstoff im Jahr 2022) gegenüber 1980 zu rechnen sein. Bezogen auf Kohlendioxid ergebe das einen Wert von ca. 415 ppm in der Atmosphäre im Jahr 2022. Dies setzt aber voraus, dass weiterhin ca. 50 % des eingebrachten Kohlendioxides aus der Atmosphäre entfernt werden. Die sorgfältige Beobachtung dieses Wertes ist eine vordringliche Aufgabe in der Klimabeobachtung. Mit den genannten Zahlen sind wir in guter Übereinstimmung mit dem Szenarium A1B der IPCC-Berichte für die bis 2020 zu erwarteten Kohlenstoffemissionen (13 Milliarden Tonnen Kohlenstoff) und den Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre von ca. 420 ppm /7/.

Über größere Zeiträume zu spekulieren ist aus unserer begrenzten Perspektive gesehen unangebracht. Aber dass der Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre spätestens ab 2020 stabilisiert und später verringert werden muss, folgern wir aus unseren Betrachtungen ebenso wie die Klimaforscher in der Welt. Wie das erreicht werden kann, hat ein namenloser User im Internet am 18. März 2008 treffend ausgedrückt /8/: „Haben wir uns genug empört? Haben wir nicht ausreichend guten Willen und glaubhafte Zerknirschung bewiesen, als uns vergangenes Jahr Al Gore mit seiner Klimadokumentation „Eine unbequeme Wahrheit“ über die Ursachen und Konsequenzen der globalen Erwärmung aufgeklärt hat? Sollten wir stattdessen nicht zu einer Politik des kühlen Kopfes zurückkehren?“ Denn eins ist wohl klar: eine Eiszeit wäre wirklich eine Katastrophe, eine Erwärmung dagegen beherrschbar.

Anhang

Tabelle 1a Weitere Angaben aus der Literatur zur Förderung bzw. Verbrauch von Erdöl, Erdgas, Kohle in der Welt

Jahr	Erdöl-Förderung Lit. /9/ u. C-Inhalt (berechn.)		Erdöl-Förderung Lit. /10/ u. C-Inhalt (berechn.)		Erdöl-Verbrauch Lit. /11/ u. C-Inhalt. (berechn.)		Erdgas-Förderung Lit. /10/ Öläqui- valent		
	/t x 10 ⁹ /	/t x 10 ⁹ C/	/t x 10 ⁹ /	/t x 10 ⁹ C/	/Joule x 10 ¹⁸ /	/t x 10 ⁹ C/	t x 10 ⁹ /	/m ³ x 10 ¹² /	/t C x 10 ⁹ /
1	2		3		4		5		
1998					142 00	3,392			
2001	3,5984	3,059	3,332182	2,832			2,355050	2,7992	1,4834
2002	3,5736	3,038	3,267014	2,777			2,429897	2,8882	1,5308
2003	3,6996	3,145	3,420027	2,907			2,491562	2,9615	1,5700
2004	3,8648	3,285	3,566519	3,032			2,551949	3,0332	1,6076
2007									
2008					162700	3,439			

Jahr	Verbrauch Hartkohle Lit. /11/		Förderung Hartkohle Lit. /9/	
	/Joule x 10 ¹⁵ /	/t x 10 ⁹ C/	/Joule x 10 ¹⁵ /	/t x 10 ⁹ C/
1	6		7	
1998	93000	2,64		
2001				
2002				
2003				
2004				
2007			141400	4,154
2008				

Der Primärenergieeinsatz fossiler Energieträger in der Welt betrug im Jahr 1998: 320 x 10¹⁸ J bzw. 6,733 x 10⁹ t C /11/.
Der Primärenergieeinsatz alle Energieträger in der Welt betrug im Jahr 1998: 402 x 10¹⁸ J bzw. 8,458 x 10⁹ t C /11/.

Quellennachweis

- /1/ IPCC-Bericht 2007
- /2/ U.S. Energy information administration (E/A); International Energy Outlook 2009-Graphic Data
http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/graphic_data_world.html; Report #:DOE/EIA-0484 (May 2009)-Fig. 14
- /3/ <http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/sio-keel-flask/SIO01-06.pdf>
Charles D. Keeling et.al. Exchange of Atmospheric CO₂ and CO₂ with the Terrestrial Biosphere and Oceans from 1978 to 2000, I. Global Aspects
SIO Reference No. 01-06, June 2001
- /4/ <http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/samsio.co2>
- /5/ IPCC-Bericht 2001 und IPCC-Bericht 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger: in
Klimaänderung 2007: wiss. Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe 1 zum 4. Sachstandsbericht des
IPPC, S. 14
- /6/ State of the Climate Global Analysis Annual 2009 (<http://www.ndcd.noaa.gov/>)
- /7/ <http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/grafik/presse/ClimateProjections2006.pdf> und
<http://www.ipcc.ch/publicationsanddata/ar4/syr/en/mains2-4.html>).
- /8/ <http://www.wissenswerkstatt.net/tag/klimapolitik>
- /9/ <http://de.wikipedia.org/wiki/Erd%C3%B6l/Tabellen> und Graphiken
- /10/ Energy Statistics Yearbook Unites Nations, 2004, Tab. 14
- /11/ Wiss. Beirat der Bundesreg.Globale Umweltveränderungen, 2003
<http://www.wbgu.de> (Datei wgbu-ig20003.pdf)

Diagramm 1 Proz. Veränderungen in der Atmosphäre

