

Nachweisfrage

Wie lässt sich der Wandel des Klimas erklären?

Gliederung

1. Klimageschichte	Seite 4
1.1 Einleitung	Seite 4
1.2 Proxydaten	Seite 4
1.3 Die letzten eintausend Jahre	Seite 4
1.3.1 Temperaturentwicklungen seit 1861	Seite 6
1.3.2 Temperaturverhältnisse der letzten eintausend Jahre	Seite 7
1.4 Das Holozän	Seite 8
1.5 Das Quartär	Seite 9
1.6 Das Känozoikum	Seite 9
1.7 Das Paläozoikum und Mesozoikum	Seite 10
1.8 Das Archaikum und Proterozoikum	Seite 11
2. Natürliche Einflüsse auf das Klima der Erde	Seite 11
2.1 Der natürliche Treibhauseffekt	Seite 11
2.2 Die Milankovitch-Theorie	Seite 11
2.2.1 Exzentrizität	Seite 12
2.2.2 Obliquität	Seite 12
2.2.3 Präzession	Seite 12
2.2.4 Das Zusammenwirken von Exzentrizität, Obliquität und Präzession	Seite 13
2.3 Der Eis-Albedo-Effekt	Seite 13
2.4 Vulkanausbrüche und ihr Einfluss auf das Klima der Erde	Seite 13
3. Menschliche Einflüsse auf das Klima der Erde	Seite 14
3.1 Einleitung	Seite 14
3.2 Wie trägt der Mensch zum Klimawandel bei?	Seite 14
3.2.1 Der anthropogen erzeugte Treibhauseffekt	Seite 14
3.3 Die klimawirksamsten anthropogenen Treibhausgase	Seite 15
3.3.1 CO ₂ (Kohlenstoffdioxid)	Seite 16
3.3.2 CH ₄ (Methan)	Seite 16
3.3.3 FCKW (Fluorkohlenwasserstoffe)	Seite 18
3.3.4 N ₂ O (Distickstoffmonoxid/Lachgas)	Seite 19
3.3.5 SF ₆ (Schwefelhexafluorid)	Seite 19
3.4 Der zukünftige Einfluss des Menschen auf das Klima am Beispiel CO ₂ in den Szenarien A1FL und B1	Seite 20
3.5 Temperaturveränderungen nach dem A1B-Szenarium zwischen 2011/2040 und 1861/1890	Seite 22
4. Klimaskeptiker und ihre Thesen zur Nachweisfrage	Seite 22
4.1 Einleitung	Seite 22
4.2 Die Verbreitung der Skeptikerthesen durch die GCC	Seite 23
4.3 Skeptiker und das Thema Klimakatastrophe	Seite 23
4.4 Die Thesen der Skeptiker	Seite 23
4.4.1 CO ₂ und andere Gase	Seite 23
4.4.2 Die Erdgeschichte und der Treibhauseffekt	Seite 24
4.4.3 Die Sonne und der Treibhauseffekt	Seite 25
4.4.4 Kosmische Strahlen und der Treibhauseffekt	Seite 25
4.5 Verfälschte Messungen und Modelle	Seite 25
4.5.1 Messstationen	Seite 26
4.5.2 Satelliten	Seite 26
4.5.3 Wärmeinseln	Seite 26
4.6 Meinungen der Bevölkerung	Seite 26

4.6.1	Umfrage zum Thema Klimawandel	Seite 26
4.6.2	Auswertung der Umfrage	Seite 27
5.	Fazit	Seite 32
6.	Quellenverzeichnis	Seite 34

In dieser Ausarbeitung werden die Quellenangaben nicht im dazugehörigen Text angegeben, sondern ausschließlich im Quellenverzeichnis am Ende der Arbeit festgehalten.

1. Klimageschichte

1.1 Einleitung

Bei dem Thema Klimageschichte möchten wir uns mit dem Wandel des Klimas beschäftigen. Wir haben uns für dieses Thema entschieden, da wir es sehr interessant finden. Unser jetziger Klimawandel ist nämlich eine kleine Temperaturschwankung, wie es sie immer wieder im Laufe der Erdgeschichte gab. Bevor wir jedoch zur Klimageschichte kommen, stellt sich die Frage, wie man überhaupt herausfindet, wie das Klima im Mittelalter und in noch früherer Zeit gewesen sein mag. Daher werden wir kurz auf die so genannten *Proxydaten* eingehen.

1.2 Proxydaten

Um zu wissen, wie das Klima in der Vergangenheit war, arbeiten Forscher mit sogenannten Proxydaten. Proxydaten sind indirekte Daten, die zum Beispiel aus Gesteinsuntersuchungen oder durch Analysen von Eisbohrkernen gewonnen werden. Die in dem Eisbohrkern enthaltenen Gase können in Zusammenhang mit einer Altersbestimmung einen Aufschluss über die Atmosphäre in früheren Erdperioden geben. Die Analyse eines Eisbohrkerns wird mit Hilfe bestimmter *Isotope* gemacht, von denen man deren Zerfallseigenschaften schon kennt. Verwendet werden hierfür zum Beispiel:

Beryllium-10 (^{10}Be): Die Halbwertszeit (Das ist die Zeit, in der sich ein anzunehmender Wert halbiert hat.) von ^{10}Be liegt bei 1.600.000 Jahren. Dieses Isotop entsteht in der oberen Atmosphäre, wenn kosmische Strahlung (N_2) auf ein O_2 -Molekül trifft. Die Produktion von ^{10}Be erfolgt in einem elfjährigen Sonnenzyklus. Durch ^{10}Be kann man daher Rückschlüsse auf die Sonnenaktivität ziehen.

Sauerstoff-18 (^{18}O): Bei der Kondensierung in einer Wolke verändert sich das Verhältnis von $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ in Abhängigkeit zur Temperatur. Durch dieses Verhältnis kann man Rückschlüsse auf die Temperatur ziehen, denn je wärmer es ist, desto mehr ^{18}O verdunstet.

Eine weitere Möglichkeit zur Analyse des Eisbohrkerns wäre zum Beispiel die Temperaturmessung des Eises. Eis ist kein guter Wärmeleiter, und wenn über dem Eis weitere Eisschichten liegen, kann kein Temperaturexaustausch mit der Temperatur der Atmosphäre zu einer anderen Zeit stattfinden. Die Niederschlagsmenge kann man anhand der Dicke der Niederschlagsjahreslagen feststellen, denn je größer der Niederschlag ist, desto dicker sind die Jahreslagen. Auf Windstärken kann man schließen, wenn in dem Eis größere Mengen von Staubteilchen vorhanden sind. Durch diese Weise werden auch Windströmungsmuster erstellt. Wenn nun sehr viel Vulkanasche in einer Jahreslage ist, kann man so die zeitliche Einordnung einiger Vulkanausbrüche bestimmen.

1.3 Die letzten eintausend Jahre

Die letzten 1.000 Jahre begannen mit einer globalen warmen Epoche, diese nennt man *mittelalterliches Klimaoptimum*. In England um 1200 und 1300 zum Beispiel waren die Temperaturen 1 bis 1,5°C höher als im 20. Jahrhundert. Nach der Klimawende, die zwischen 1200 und 1400 war, begann die „*kleine Eiszeit*“, welche dann bis Mitte des 19. Jahrhunderts anhielt. Am Anfang der „kleinen Eiszeit“ gab es intensive Sturmfluten an den deutschen und niederländischen Küsten, diese Zeit hat auch deren Küstenverläufe stark verändert. In Europa gab es im 14. Jahrhundert viele schlechte Ernten und kalte Sommer. Die Temperaturen waren bei der kleinen Eiszeit jedoch nicht konstant. Am häufigsten gab es diese Temperaturschwankungen in den Landgebieten der Nordhalbkugel. Dort ist im 17. Jahrhundert die

wahrscheinlich längste Periode anhaltend kalter Bedingungen vorzufinden. Es gab das stärkste Gletscherwachstum seit der letzten großen Eiszeit. Beispielsweise war auch die Themse in London mehrmals zugefroren und das Eis so dick, dass dort ein Frostjahrmarkt darauf stattfinden konnte. Aber auch die Kanäle in den Niederlanden, sowie 1780 der Hafen von New York waren zugefroren. In Nordamerika blieb das Eis manchmal sogar bis in den Monat Juni hinein auf den großen Seen. Im 18. Jahrhundert war es im Gegensatz zum 17. Jahrhundert wieder recht mild, das heißt es wurde wieder wärmer und im 19. Jahrhundert wiederum kühler. Auf der Südhalbkugel scheint es solche Temperaturschwankungen nicht gegeben zu haben, auch wenn das 19. Jahrhundert auch dort etwas kühler war. Abgelöst wurde die kleine Eiszeit dann vom „modernen Optimum“, welches die jetzige und noch bleibende Erwärmung benennt. Das Auffälligste an den letzten 1000 Jahren ist der Temperaturanstieg am Ende des 20. Jahrhunderts, welcher wahrscheinlich durch die anthropogen verursachten Treibhausgasemissionen hervorgerufen wurde. Dieser Temperaturanstieg ist auch der einzige globale Anstieg in den letzten 1.000 Jahren. Die Ursachen für den Temperaturanstieg im modernen Optimum sind neben den anthropogen verursachten Treibhausgasemissionen die Sonneneinstrahlung und Vulkanausbrüche. Nach einer Untersuchung des Eisbohrkerns in der Antarktis wurden die Ausmaße der Ausbrüche der Vulkane Krakatau (1883) und Tambora (1815) „und der wahrscheinlich größten Eruption des Jahrhunderts im Jahre 1259, die im Vergleich zum Ausbruch des Krakatau eine acht Mal so große Sulfat-Konzentration im Eis hinterließ“ (vgl. Kasang, Die letzten 1000 Jahre), sichtbar. Bei der Sonneneinstrahlung ist es so, dass sie während der letzten 1.000 Jahren zwei Maxima aufwies: Das erste Maximum war im Mittelalter und das zweite im 20. Jahrhundert. Das Minimum der Sonneneinstrahlung ist im 15. Jahrhundert aufzufinden.



Abb. 1: „Ijsvermaak“ (Eisvergnügen) von Hendrick Avercamp.
(Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Avercamp-ijsvermaak.png>)

Abb. 1 zeigt Menschen auf einem zugefrorenen Kanal in den Niederlanden (1608). Heute sind diese Kanäle im Winter fast immer eisfrei.

Für die Menschen hatte die „kleine Eiszeit“ enorme Folgen: Da die Sommer nasskalt waren, verfaulte das Weizen an den Halmen. Daher gab es eine geringe Produktion von Lebensmitteln, was wiederum eine Hungersnot zur Folge hatte. Diese Hungersnot ließ die europäische Bevölkerung schrumpfen und es gab eine Auswanderungswelle, beispielsweise nach Amerika. Quelle?

1.3.1 Temperaturentwicklungen seit 1861

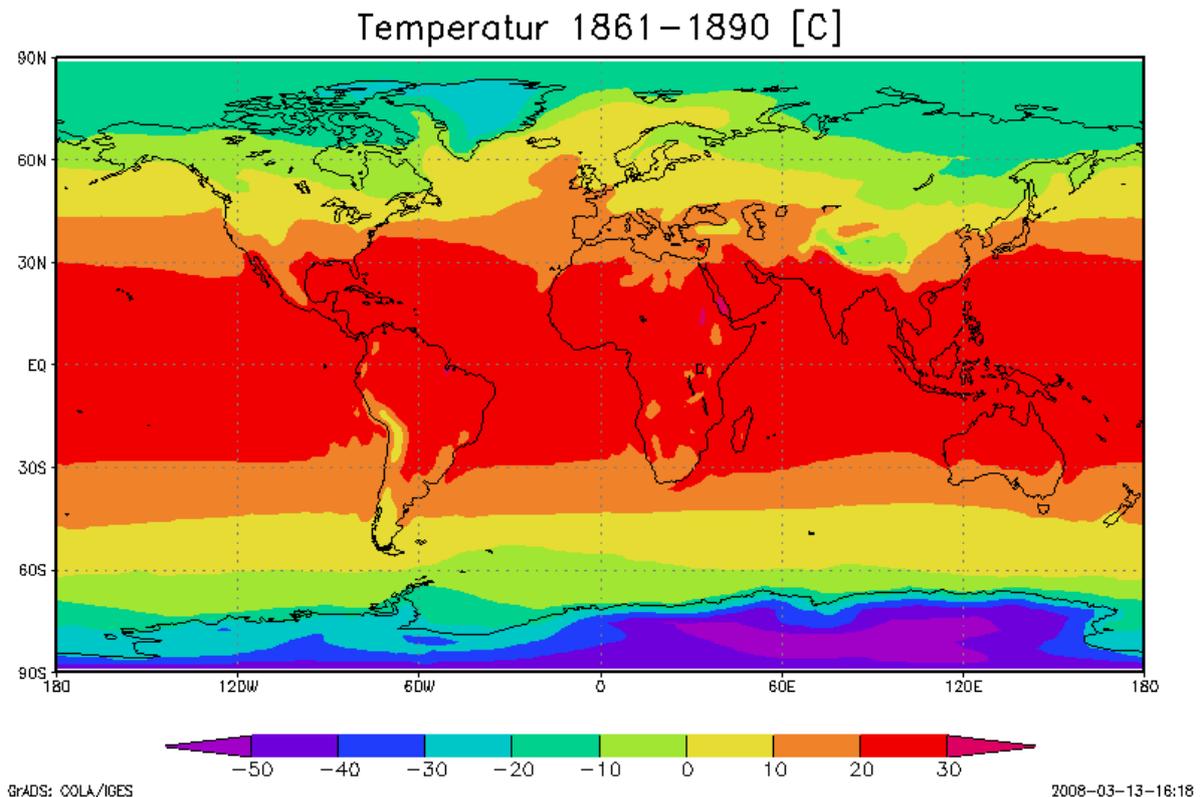


Abb. 2: Temperaturen von 1861 bis 1890

Auf der selbsterstellten Abb. 2 wird die Temperatur in Grad (°C) von 1861-1890 global dargestellt. Die Temperaturen zwischen dem nördlichen und südlichen Wendekreis liegen zwischen 20 und 30°C. Eine von mehreren Ausnahmen erscheint in Äthiopien, wo die Temperaturen nur 10 bis 20°C betragen. Da dort Berge vorhanden sind, kühlt die Luft in höheren Regionen schneller ab. Das kommt daher, dass in höheren Lagen der Luftdruck geringer ist. Die Luft kann sich dort ausdehnen und kühlt dadurch langsam ab. So kommt es, dass die Luft etwa alle 100 Meter um einen Grad Celsius kälter wird. Die Sonneneinstrahlung heizt nur den Boden auf und wird in Wärmestrahlen umgewandelt, es werden nur die unteren Luftschichten erhitzt. Weitere Ausnahmen sollen hier nicht genauer erläutert werden.

Zwischen 30N und 60N liegen die Temperaturen bei 0 bis 20°C. Je weiter man sich dem Nordpol nähert, desto kälter wird es. Auffallend ist in diesem Bereich das hellgrün gefärbte Gebiet bei Afghanistan, Pakistan, China und Indien. Gründe für die dort anzufindenden niedrigen Temperaturen sind wie vorhin wieder die Berglage und eine hohe Durchschnittshöhe in Bezug auf dem Meeresspiegel. Den Grund für die höheren Temperaturen im Nordatlantischen Ozean liefert der Nordatlantikstrom, welcher mit seinen warmen Temperaturen an Europa, Kanada und Grönland vorbei läuft. Ansonsten liegen die Temperaturen im Bereich zwischen 60N und 90N zwischen -10 und -20°C. Im Bereich zwischen 30S und 60S liegen die Temperaturen

auch zwischen 0 und 20°C. Im Indischen Ozean kann man sehen, dass der Ozean in der Nähe von der Antarktis Temperaturen zwischen 0 und -10°C aufzeigt; diese niedrigen Temperaturen entstehen durch den Golfstrom, welcher dort mit seiner kalten Tiefenströmung entlang fließt. Zwischen den Breiten 60S und 90S liegen die Temperaturen zwischen 0 bis -50°C. Am kältesten ist es zwischen 60E und 120E in der Höhe von 75S, dort beträgt die Temperatur -50°C.

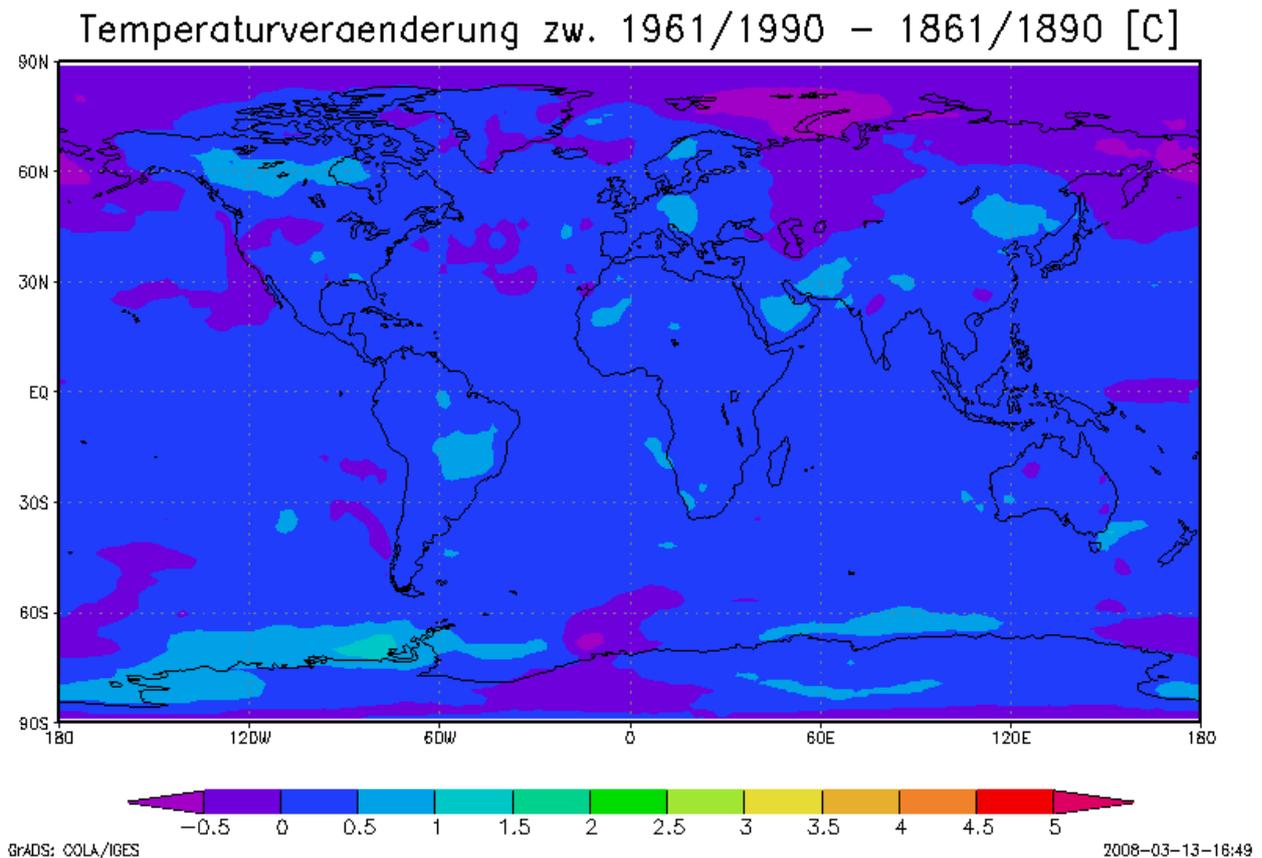


Abb. 3: Temperaturveränderung zwischen 1961/1990 und 1861/1890

Die Abb. 3 (selbsterstellt) zeigt die Temperaturveränderung zwischen 1961/1990 und 1861/1890. Hier wird deutlich sichtbar, dass sich die Erde in dem betrachteten Zeitraum fast überall um bis zu 0,5°C erwärmt hat. Die Temperaturerhöhung liegt bei der Antarktischen Halbinsel an manchen Orten sogar schon bei 1,5°C, das kann daran liegen, dass die Sonnenstrahlen nun nicht mehr vom Eis reflektiert werden können, wenn das Eis geschmolzen ist. Daher erwärmt sich das Wasser, was zur Folge hat, dass immer mehr Eis durch die steigenden Wassertemperaturen schmilzt. An weiteren Stellen, wie zum Beispiel der Antarktis, in Teilgebieten von Russland und Grönland gab es in den betrachteten Zeiträumen aber auch eine Abkühlung von bis zu -0,5°C. Auffallend ist, dass die Temperaturen zwischen 60N und 90N nicht steigen, sondern fallen.

1.3.2 Temperaturverhältnisse der letzten eintausend Jahre

Im *mittelalterlichen Wärmeoptimum* dominierten sehr heiße Sommer, aber auch vergleichsweise sehr kalte Winter. Der Zeitraum von 1521 bis 1540 kennzeichnet sich durch ein mildes Klima, danach gab es einen Kälterückfall. Anschließend folgten weitere zwei Jahrzehnte mit milden, ausgeglichenen Temperaturverhältnissen. Dieses Wechselspiel hat auch die folgenden Jahrzehnte gekennzeichnet. Eine recht

lang anhaltende Kaltphase gab es zwischen 1681 und 1730. Diese Kaltphase hielt somit 49 Jahre an. In den 1730er Jahren wurde das Klima im Winter wieder wärmer. Eine acht Jahre lange Trockenphase gab es von 1738 bis 1746. Es gab in den Folgejahren immer wieder sehr kalte Winter, zum Beispiel 1784. Ab 1810 gab es einen positiven Temperaturtrend, bei dem die Niederschlagsmenge ausgewogen war. Dieser Temperaturtrend hielt bis zum Ende des 20. Jahrhunderts an. Zudem vollzieht sich in diesem Abschnitt ein Wandel von einem kalten, trockenen Klima zu einem feuchten, milden Klima. In den 1960er Jahren dominierten kalte Winter, nennenswert ist hier der Extremwinter des Jahrhunderts im Jahre 1963.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Winter in den letzten 1.000 Jahren recht kalt waren. Seit den 1860er Jahren gibt es einen lang anhaltenden, warmen Trend, an welchen sich die Phase eines modernen Treibhausklimas anschließt.

Zu den Sommertemperaturen der letzten Jahrhunderte ist Folgendes zu sagen: Nach dem Jahr 1500 sanken die Sommertemperaturen, das heißt die Temperaturen lagen meist unterdurchschnittlich tief. Von 1501 bis 1520 waren die Temperaturen sehr ausgeglichen bis durchschnittlich. Ab dem 1520er Jahren gab es dann Temperatureinbrüche. Darauf folgte eine längere positive Abweichung. Hinterher folgte erneut ein Temperatursturz für 40 Jahre. Im nächsten Jahrzehnt erwärmten sich die Temperaturen. Sehr warm wurde es dann von 1641 bis 1650, dies war die letzte markante Erwärmung der letzten 120 Jahren. Es folgten immer wieder warme und kalte Sommer. Eine weitere Warmphase lag im Zeitraum von 1781 bis 1810. Eine lange Trockenphase lag in der Zeit von 1761 bis 1840. Fast alle heißen Sommer in dieser Zeit waren zugleich auch sehr trocken bis extrem trocken. Später wurden diese Schwankungen weniger. Nach der Warmphase folgte eine Kaltphase, also von 1871 und 1930. Die danach folgenden Jahre waren recht ausgeglichen. Eine Ausnahme bildeten nur die 1940er Jahre, da diese sehr kühl waren. Auffallend sind auch die extrem heißen Sommer in den Jahren 1947 und 1994. Bei den nicht so häufig auftretenden warmen Sommer waren jene, die dann aufgetreten sind, auch sehr heiß. Nach einer feuchten Phase zwischen 1921 und 1970 setzte sich eine überwiegend trockene Phase durch.

Insgesamt waren die letzten 1000 Jahre von positiven und negativen Schwankungen geprägt. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts sind die Sommertemperaturen ausgeglichen kühl.

Es ist also zu sehen, dass es natürliche Temperaturschwankungen im Winter und Sommer gab in den letzten 1000 Jahren.

1.4 Das Holozän

Das Holozän ist die jetzige warme Epoche des Eiszeitalters. Diese Epoche begann vor ungefähr 10.000 Jahren, hat sich aber schon vor 12.000 Jahren in der Allerödzeit angekündigt, da die Temperaturen dort schon über den Temperaturen der Kaltzeit lagen. Das Holozän gehört zum Zeitalter des *Quartärs*, dem jüngsten Abschnitt unserer Erdgeschichte.

Das Hauptoptimum (warme Periode = Optimum, kalte Periode = Pessimum) im Holozän lag zum Einen zwischen 4000 bis 5000 und zum Anderen zwischen 6000 bis 7000 Jahren v. Chr.. In dieser Zeit war das Klima noch wärmer als heute. Zwischen 5000 und 6000 Jahren v. Chr. wurde das Klima wieder etwas kälter; zu jener Zeit wurden die Menschen sesshaft und fingen an, Ackerbau und Viehzucht zu betreiben. Die kälteste Phase im Holozän war von 2000 bis 2500 v. Chr.. In dieser Zeit fand die große Völkerwanderung statt. Trotz dieser kleinen Schwankungen gilt dieses Klima als eine sehr stabile Phase in der Erdgeschichte. Diese war wohl auch

eine gute Voraussetzung für die Entwicklung der menschlichen Kultur. Die Auslöser für die Schwankungen zwischen warmem und kaltem Klima liegen in der Variabilität der Solareinstrahlung und der vulkanischen Aktivität. Wenn man sich diese Schwankungen jedoch mit einem größeren Zeitraum anschaut, dann liegt es auch an der Schwankung der Erdparameter. Die Ursache für die kühleren Phasen liegt in der Änderung der *Präzession*, der Richtungsänderung der Erdachse (siehe Abb. 7).

1.5 Das Quartär

Das Quartär begann vor etwa 1,7 Millionen Jahren. In dieser Zeit wechselten sich die warmen und kalten Perioden in einem Zyklus von 100.000 Jahren ab. Eine dieser warmen Perioden war zum Beispiel das Holozän. Abgelöst wurden diese warmen Perioden von der *Elster-*, *Saale-*, und *Weichsel-Kaltzeit*. Während dieser Eiszeiten gab es größere Eisschilde an den Polen, die sich von allem auf der Nordhalbkugel weit nach Süden schoben und so viel Wasser banden. Daher war der Meeresspiegel etwa 100m unter dem der Warmzeit. Das bedeutet, dass vor 20.000 Jahren der Meeresspiegel 130m niedriger war als heute, was uns zeigt, dass das globale Eisvolumen zu jener Zeit um 50 Millionen km³ größer war als heute. Insgesamt umfasst das Quartär 20 Kalt-/Warmzeit-Zyklen, die Amplituden die früheren Zyklen waren geringer als die späteren. Außerdem gab es stärkere Temperaturschwankungen in der letzten Kaltzeit (siehe auch Abb. 4).

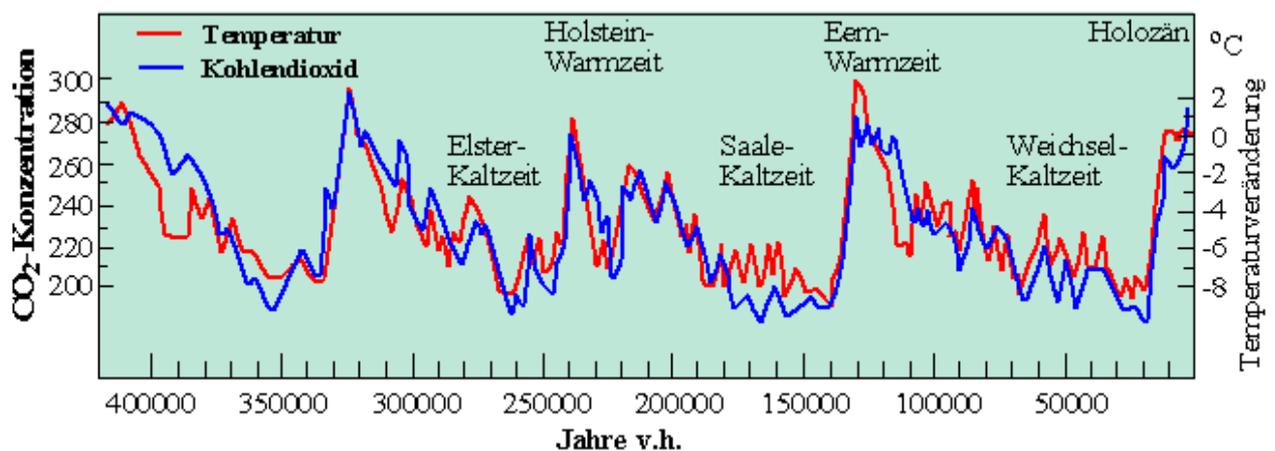


Abb. 4: Temperaturschwankungen im Quartär und CO₂-Gehalt in der Atmosphäre

Diese Daten wurden aus der Vostok-Eisbohrkernmessung in der Antarktis entnommen.

(Quelle: Kasang, Dieter: Temperaturveränderungen in den letzten 400.000 Jahren: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima> (08.01.08))

Als Erklärung für die recht gleichmäßigen Schwankungen wird die *Milankovitch-Theorie* genutzt. Insgesamt kommt es jedoch auf die Summe der Überlagerungen und Abhängigkeiten an. Eine größere Rolle spielt der CO₂-Gehalt der Atmosphäre. Nach der jüngeren Interpretation der antarktischen Vostok-Eiskerndaten heißt es, dass eine Konzentrationsabnahme von Kohlendioxid für die Hälfte der Temperaturveränderungen zwischen Warm- und Kaltzeit steht.

1.6 Das Känozoikum

Das Känozoikum, auch *Erdneuzeit* genannt, begann vor 65 Millionen Jahren. Es besteht aus den Abschnitten *Quartär*, *Neogen* und *Paläogen*. Das Klima im Känozoikum war am Anfang recht warm und die Pole waren eisfrei, doch nach einem Klimawandel war das Klima kalt und polare Eiskappen entstanden. Dieser Wandel

vollzog sich mit deutlichen Schwankungen, es gab währenddessen besonders warme und besonders kalte Phasen. Am Anfang des Paläogens erwärmte sich das Klima deutlich, der Höchstwert wurde vor 50 Millionen Jahren erreicht. Weitere 20 Millionen Jahre später, als das *Oligoän* begann, gab es einen Temperatursturz, welcher der Beginn der Känozoikumsvereisung war. Vom Ende des Oligoän bis hin zur Mitte des *Miozäns* war es wiederum warm. Konstant wurden die kalten Verhältnisse des Quartärs erst 15 Millionen Jahre v. Chr.. Zu dieser Zeit gab es zudem viele vulkanische Aktivitäten, welche den CO₂-Gehalt in unserer Atmosphäre bestimmt haben. Die plötzlichen Klimaveränderungen lassen sich auf die Methanfreisetzung aus dem Meeresboden zurückführen. Insgesamt kann man sagen, dass der unregelmäßige CO₂-Gehalt in der Atmosphäre vor 60 bis 40 Millionen Jahren die tektonische Unruhe der Zeit widerspiegelt hat. Denn als die tektonischen Verschiebungen aufgehört hatten, sank der CO₂-Gehalt auf unseren heutigen Wert (siehe auch Abb. 5).

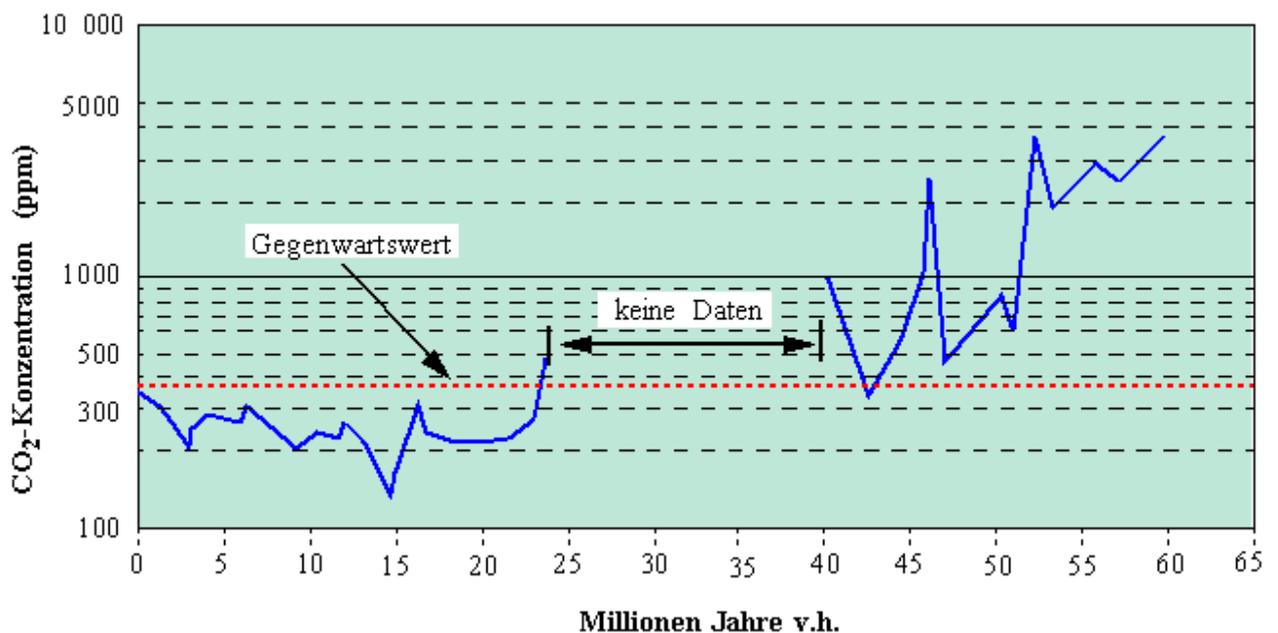


Abb. 5: CO₂-Gehalt in der Atmosphäre im Känozoikum

Man kann erkennen, dass die rot gepunktete Linie den CO₂-Gehalt der Gegenwart anzeigt, außerdem, dass vor 66 Millionen Jahren der CO₂-Gehalt deutlich über dem der jetzigen Zeit liegt.

(Quelle: Kasang, Dieter: Der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre im Känozoikum:
<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima> (08.01.08))

1.7 Das Paläozoikum und Mesozoikum

Paläozoikum und Mesozoikum, sowie das Känozoikum kann man als *Phanerzoikum* zusammenfassen, das *Zeitalter des sichtbaren Lebens*. Insgesamt umfasst dieser Zeitraum die letzten 500 Millionen Jahre. Das Paläozoikum wies ein sehr schwankendes Klima auf, wobei es drei Warmphasen und drei Kaltphasen gab. Es begann mit einer Warmphase, die etwa 100 Millionen Jahre andauerte, worauf die „Sahara-Eiszeit“ folgte. Abgelöst wurde die Eiszeit mit einer 100 Millionen Jahre andauernden Warmzeit. Das Paläozoikum endete dann mit der größten Vereisung der Erdgeschichte, diese nennt man „Gondwana-Vereisung“. Das Mesozoikum war eine Warmphase, in der es keine Vereisung gab und der Meeresspiegel 80 Meter höher war als der heutige. Die Temperaturen lagen um 6 bis 8°C höher als heute,

zum Ende hin sogar um 8 bis 10°C. Auslöser für das Ende dieser Warmphase waren wohl Meteoriteneinschläge, welche die Dinosaurier wahrscheinlich töteten. Am Paläozoikum und Mesozoikum kann man erkennen, dass es Zusammenhänge zwischen Plattentektonik, dem CO₂-Gehalt in der Atmosphäre und der Temperatur gibt. Die Ursache für den hohen CO₂-Gehalt liegt zum Einen in der vulkanischen Aktivität und zum Anderen in der Vegetationsentwicklung. Die Gründe für das kältere Klima waren, dass zu der Zeit sehr viele große Wälder entstanden und es eine ruhige tektonische Phase war.

1.8 Das Archaikum und Proterozoikum

Während der ersten 500 Millionen Jahre hatte die Erde noch keine Atmosphäre, deshalb kann man dort noch nicht von einem Klima reden. Erst vor vier Milliarden Jahren gab es eine sogenannte *Uratmosphäre*, welche jedoch einen hohen Anteil an Kohlendioxid, Methan und Ammoniak enthielt, obwohl die Sonne 25 bis 30% weniger geschienen hatte als heute. Es herrschten auf der Erde Temperaturen von über 50°C. Erst vor dreieinhalb Milliarden Jahren gab es das erste Leben in Form von einzelligen Organismen ohne Zellkern auf der Erde. Diese Organismen haben den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre gesenkt und im Gegenzug den Sauerstoffgehalt erhöht. Von dort an haben die einzelligen Organismen das Sauerstoffzeitalter eingeleitet. Von der Anfangszeit des Proterozoikum sind die ersten klimatischen Ereignisse bekannt, in denen durch die schnelle Abnahme des Treibhausgases CO₂ das Klima kühler wurde. Vor 2,45 bis 2,2 Milliarden Jahren gab es die erste weltweite Vereisung der Erde. Bei der zweiten Vereisung der Erde, welche sich vor 580-750 Milliarden Jahren ereignete, spricht man auch vom „*Schneeball Erde*“ da es die „größte Vereisung und gewaltigste Naturkatastrophe der gesamten Erdgeschichte gewesen sein soll“ (vgl. Kasang, Die letzten 1000 Jahre). Bei solch einer Vereisung lagen die Temperaturen bei -20 bis -50°C. Insgesamt gab es noch zwei bis vier weitere Vereisungen auf der Erde, welchen jedoch immer ein extremes Treibhausklima folgte, hier betrug die Temperaturen meist um die 50°C. Als Ursache für die starken Vereisungen ist anscheinend das Auseinanderbrechen des Superkontinents *Rodina* anzuführen; dadurch haben sich neue Küstenlagen gebildet und es kam zu starken Niederschlägen. Diese Niederschläge haben das meiste CO₂ aus der Luft gewaschen, wodurch sich das Klima abgekühlt hat. Das Auftauen der Erde wurde wahrscheinlich durch vulkanische Aktivitäten verursacht, da durch diese der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre auf 10% gestiegen ist.

2. Natürliche Einflüsse auf das Klima der Erde

2.1 Der natürliche Treibhauseffekt

Die Sonne bestrahlt die Erde mit Energie in Form von kurzwelliger Strahlung. Der Großteil dieser Strahlung dringt durch die Atmosphäre und erwärmt die Erdoberfläche. Die Erde strahlt diese Infrarotstrahlung in Form von langwelliger Wärmestrahlung wieder zurück in die unteren Schichten des Weltraums. Diese lebensnotwendige Energie geht der Erde aber nicht verloren. Im Laufe der Erdgeschichte bildeten sich in der Atmosphäre die sogenannten natürlichen Treibhausgase. Die Energie in Form von Licht wird größtenteils in den äußeren Schichten der Atmosphäre durch Auffangen (*Absorbierung*) und Rückstrahlung (*Reflektierung*) beeinflusst. Zu den natürlichen Treibhausgasen gehören die Spurengase Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O), Ozon (O₃), Methan (CH₄) und Wasserdampf (H₂O). Auf diese Weise erwärmen sich die bodennahen Schichten der

Atmosphäre. Aufgrund des natürlichen Treibhauseffekts beträgt die mittlere Temperatur auf der Erde ca. 15°C.

2.2 Die Milankovitch-Theorie

Die eigentliche Ursache für die regelmäßigen Schwankungen zwischen Kalt- und Warmzeiten im Quartär, also vor knapp zwei Millionen Jahren, wird in der *Variabilität der Erdbahnparameter* (*Exzentrizität, Obliquität, Präzession*) gesehen. Die Erde bewegt sich nicht gleichmäßig um die Sonne, sondern wird durch die Anziehungskraft von anderen Planeten und dem Mond beeinflusst und weist deshalb Abweichungen auf.

2.2.1 Exzentrizität

Es gibt zum Einen die Abweichung der elliptischen Erdbahn von der Kreisbahn, auch *Exzentrizität* genannt. Sie hat den geringsten Effekt (2,4 Watt/m²) auf die Solarstrahlung und wirkt sich auf den gesamten Globus aus.

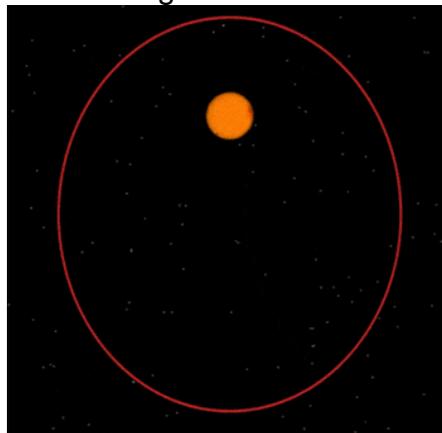


Abb. 6: Umlaufbahn mit einer Exzentrizität von 0,5

(Quelle: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eccentricity_half.gif&filetimestamp=20060211114210 (07.02.09))

2.2.2 Obliquität

Einen größeren Einfluss (20Watt/m²) auf das Klima der Erde hat die Variation in der Neigung der Erdachse, auch *Obliquität* genannt. Dieser Effekt wirkt sich nur in den höheren Breiten aus und so, dass die Effekte sich auf der Nord- und Südhalbkugel weitgehend ausgleichen.

2.2.3 Präzession

Den größten Effekt erzeugt die *Präzession* (70–100 Watt/m²), sie lässt die Jahreszeiten auf der Erdbahn um die Sonne wandern.

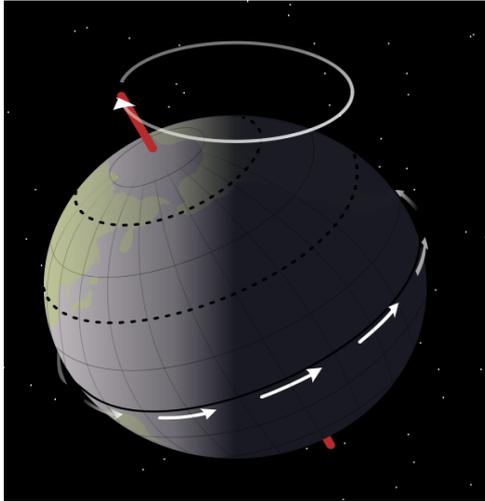


Abb. 7: Präzessionsbewegung der Erdachse

(Quelle: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Earth_precession.svg&filetimestamp=20080504220155 (07.02.09))

Manchmal durchläuft der Winter auf der Nordhalbkugel den sonnennächsten Punkt (*Perihel*) wie gegenwärtig. Zu Beginn des Holozäns durchlief jedoch der Sommer der Nordhalbkugel das Perihel, was damals das Abtauen der eiszeitlichen Gletscher begünstigte.

2.2.4 Das Zusammenwirken von Exzentrizität, Obliquität und Präzession

Das Produkt der insgesamt drei Effekte sind komplizierte Überlagerungen und Abhängigkeiten zwischen den Effekten. Die Präzession ist von der Exzentrizität abhängig und verstärkt deren Wirkung. Die Obliquität und Präzession sind für die globale Temperatur allein wenig wirksam. Die gegensätzlichen Wirkungen der Nord- und Südhemisphäre (Hemisphäre = Halbkugel) heben sich im globalen Mittel auf und die atmosphärischen und ozeanischen Zirkulationen sorgen für einen raschen Energieausgleich. Die Variationen der Erdbahnparameter waren Auslöser und geeignete Randbedingungen, deren Wirkung aber noch durch andere Faktoren verstärkt wurden. Andere Faktoren wären die antarktische und nordhemisphärische Vereisung und dessen Einfluss auf die ozeanische Zirkulation, des Weiteren der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre, der Eis-Albedo-Effekt und die Variabilität des Wasserdampfgehaltes.

2.3 Der Eis-Albedo-Effekt

Der Eis-Albedo-Effekt bewirkt, dass Regionen, welche besonders kalt sind, noch kälter werden. Wenn an den Polen Eismassen wachsen, dann vergrößert sich die Fläche, welche die Sonnenstrahlen reflektiert und es wird in Folge dessen noch kälter. Der Eis-Albedo-Effekt ist somit ein sich selbst verstärkender Prozess. Umgekehrt gilt: Wenn die Gletscher abschmelzen, verringert sich die Fläche, welche die Sonnenstrahlen reflektiert, woraufhin die Temperaturen ansteigen, weil mehr Sonnenstrahlen absorbiert werden.

3.4 Vulkanausbrüche und ihr Einfluss auf das Klima der Erde

Große Vulkanausbrüche beeinflussen das Klima, zumindest für einige darauffolgende Jahre. Bei einer Explosion (*Eruption*) werden gigantische Mengen von Material kilometerweit in die Luft geschleudert. Der dabei entstehende Rauchpilz, der dann über dem Vulkan schwebt, besteht aus Gasen (unter anderem Wasserdampf, Kohlendioxyd und Schwefeldioxyd) und feinen Staubteilchen. So geraten Millionen Tonnen Gas in die Atmosphäre. Aus dem Schwefeldioxyd

entstehen kleine Schwefelteilchen, die *Aerosole* genannt werden. In der Atmosphäre können sie das Licht reflektieren und teilweise absorbieren, so dass nur ein Teil der Sonnenstrahlen die Erde erreicht und sich somit das Klima abkühlt. Staub kann in höheren Luftschichten noch mehrere Jahre die Sonnenstrahlen reflektieren. Dies geschah 1813 bei den Eruptionen des Vulkans Tambora in Indonesien, des Krakataus in Indonesien 1883 und des Pinatubo auf den Philippinen 1992. Ein beiläufiges Phänomen sind rotglühende Sonnenuntergänge. Sie werden durch den Staub oder Schmutz in der Atmosphäre verursacht, da der Staub kurzwelliges Licht absorbiert und langwelliges Licht teilweise durchdringen lässt. Schwefeldioxid beeinflusst in vulkanischen Rauchschwaden indirekt das Klima. Die Teilchen fallen als saurer Regen auf die Erde nieder und bilden Nahrung für schwefelliebende Bakterien in Feuchtgebieten. Dadurch werden in diesen Feuchtbiotopen die methanproduzierenden Bakterien verdrängt. Insgesamt sinkt dadurch der Methanausstoß. Methan ist ein wesentlich stärkeres Treibhausgas als CO₂. Man kann noch nicht schlüssig beweisen, inwieweit Vulkanausbrüche eine Rolle bei der Klimaveränderung spielen, weil dabei noch viele andere Faktoren beteiligt sind. Die meisten Experten sind jedoch überzeugt davon, dass größere Eruptionen das Klima beeinflussen. Nur das Ausmaß ist noch ein Diskussionsthema. Manche Meteorologen sehen den Ausbruch des Pinatubo als Auslöser folgender Wetterphänomene: eine Temperatursenkung von 0,5°C im darauffolgenden Jahr mit einem strengen, schneereichen Winter in Neuseeland, einige schwere Orkane, wie "Andrew" und "Iniki" und die heftigen Regenfälle im mittleren Westen der USA im Jahre 1993.

3. Menschliche Einflüsse auf das Klima

3.1. Einleitung

Dass der Mensch zum Klimawandel beiträgt, ist für die meisten Klimaforscher heutzutage keine Frage mehr. Doch wie beeinflusst der Mensch das Klima? Wie kommt es zu diesem menschlichen Eingriff in ein von der Natur bisher allein geregeltes System? Wie groß ist der zukünftige Einfluss des Menschen auf die globale Erwärmung? Mit diesen Leitfragen wollen wir uns in diesem Kapitel auseinandersetzen.

3.2. Wie trägt der Mensch zum Klimawandel bei?

3.2.1. Der anthropogen erzeugte Treibhauseffekt

Wie im Kapitel 2 schon näher erläutert wurde, werden beim natürlichen, atmosphärischen Treibhauseffekt die kurzwelligen Sonnenstrahlen, die auf die Erde treffen, nur zum Teil sofort wieder ins Weltall zurückreflektiert. Ein großer Teil der Strahlung dringt bis zum Erdboden vor, wo sie in langwellige Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) umgewandelt wird und erneut in Richtung Weltall steigt. Durch die sogenannten natürlichen Treibhausgase wird diese Wärmeabstrahlung in den Weltraum behindert, die Wärme wird also innerhalb der *Erdatmosphäre* gespeichert. Welche Wärmestrahlung besonders gut abgefangen wird, hängt von der Wellenlänge jener Strahlung selbst ab. Das ist für die Existenz der meisten Lebewesen von enormer Bedeutung, da so die Durchschnittstemperatur der Erde bei +15°C liegt; gäbe es die Wärmespeicherung nicht, hätte unsere Erdatmosphäre eine Durchschnittstemperatur von etwa -18°C. Der Mensch jedoch verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt zusätzlich, indem er durch eine Verstärkung der Treibhausgasemissionen die Abschwächung der Wärmeabstrahlung weiter verstärkt. Dies hat zur Folge, dass mehr Wärmestrahlung innerhalb der Erdatmosphäre

verbleibt, wodurch die Durchschnittstemperatur ansteigt. Dieser Vorgang scheint zu Beginn der Industrialisierung im späten 18. Jahrhundert stärker zu werden und wird von den Wissenschaftlern als „*anthropogener Treibhauseffekt*“ bezeichnet. Er gilt für viele Forscher als die Ursache der globalen Erwärmung. Jedoch genügt der Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre nicht als Erklärung für den gesamten anthropogenen Treibhauseffekt, da es auch andere, durch den Menschen verursachte, Klima beeinflussende Faktoren wie zum Beispiel die großflächige *Waldrodung* gibt. Bei dieser wird der Kohlenstoffkreislauf beeinträchtigt. Denn chlorophyllhaltige Pflanzen betreiben die für uns lebenswichtige Photosynthese, bei der Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus der Atmosphäre aufgenommen wird und als Endprodukt entsteht O_2 , der für uns lebensnotwendige Sauerstoff. Besonders in den Frühlings- bis Herbstmonaten, wo die Photosynthese am aktivsten ist, wird verstärkt Kohlenstoffdioxid aufgenommen, um die Konzentration in der Luft zu reduzieren. Durch die großflächige Abholzung von Waldflächen wird dieser Kreislauf dahingehend beeinflusst, dass weniger Kohlenstoffdioxid aufgenommen wird, so dass die Konzentration weniger stark abnimmt, stattdessen immer mehr ansteigt. Hinzu kommt, dass oft auch die Methode der Brandrodung genutzt wird, bei der die Waldfläche lediglich verbrannt wird, was nochmals für starke Emissionen sorgt. Grund für die Rodungen sind meist Platzbedarf für Agrarwirtschaft, Siedlungs- oder Straßenbau. Hiermit verstärkt der Mensch den Treibhauseffekt, da mehr CO_2 in die Atmosphäre gelangt.

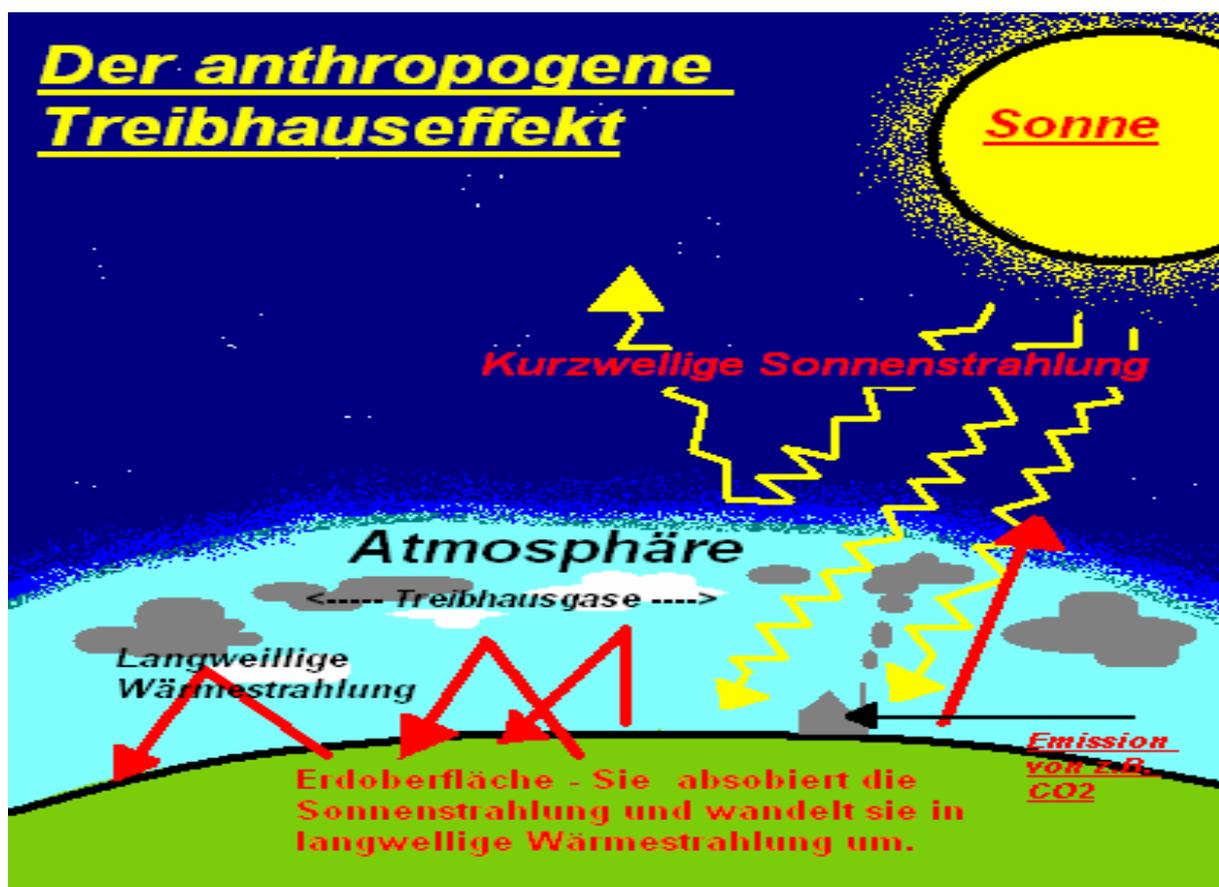


Abb. 8: Der anthropogene erzeugte Treibhauseffekt (selbsterstellte Abbildung: Finn Melander)

Die Sonnenstrahlung gelangt zur Erdoberfläche, es erfolgt eine Umwandlung in langwellige Infrarotstrahlung. Die weißen Wolken stellen hier natürliche

Treibhausgase (TG) dar, die grauen Wolken die des anthropogenen Einflusses. Normalerweise herrscht ein Gleichgewicht zwischen Entlassung von Wärmestrahlung ins Weltall und Speicherung in der Erdatmosphäre. Der Mensch sorgt durch seine Emissionen dafür, dass sich dieses Gleichgewicht langsam verschiebt: Es verbleibt mehr Wärme auf der Erde als zuvor.

3.3. Die klimawirksamsten anthropogenen Treibhausgase

Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen wirksamen Treibhausgasen in unserer Atmosphäre, welche zu einem großen Anteil notwendig für die Existenz vieler Lebewesen auf der Erde sind, da sie eine notwendige Bedingung für den Mechanismus des Treibhauseffektes darstellen. Den wohl größten Anteil am atmosphärischen Treibhauseffekt hat das H₂O in Form von Wasserdampf mit etwa 70%. Die wichtigsten durch Menschen, aber auch zum Teil durch natürliche Vorgänge ausgestoßenen Treibhausgase sind O₃, CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, FCKW und. Im folgenden Teil der Ausarbeitung werden diese Treibhausgase (bis auf das O₃) vorgestellt.

3.3.1. CO₂ (Kohlenstoffdioxid)

Das Kohlenstoffdioxid ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Es ist ein farb- und fast geruchloses Gas und mit einer Konzentration von 381 Volumenanteil (2006) ein natürlicher Bestandteil der Atmosphäre, welches mit neun bis 26% zum atmosphärischen Treibhauseffekt beiträgt. Der Volumenanteil steigt beim CO₂ jährlich um durchschnittlich 2‰ an. Allerdings sind nur um die 4% des emittierten Kohlenstoffdioxids anthropogenen Ursprungs - die natürlichen CO₂-Emissionen betragen ca. 600 Milliarden Tonnen im Jahr. Trotzdem ist es das wichtigste anthropogene Treibhausgas, welches mit etwa 50% der gesamten Emissionen zum menschlichen Treibhauseffekt beiträgt. Es wird in erster Linie bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe (wie zum Beispiel Erdöl, Erdgas und Braunkohle) zur Energiegewinnung, aber auch durch den vom Verkehr verursachten Schadstoffausstoß, wie auch durch Brandrodung emittiert.

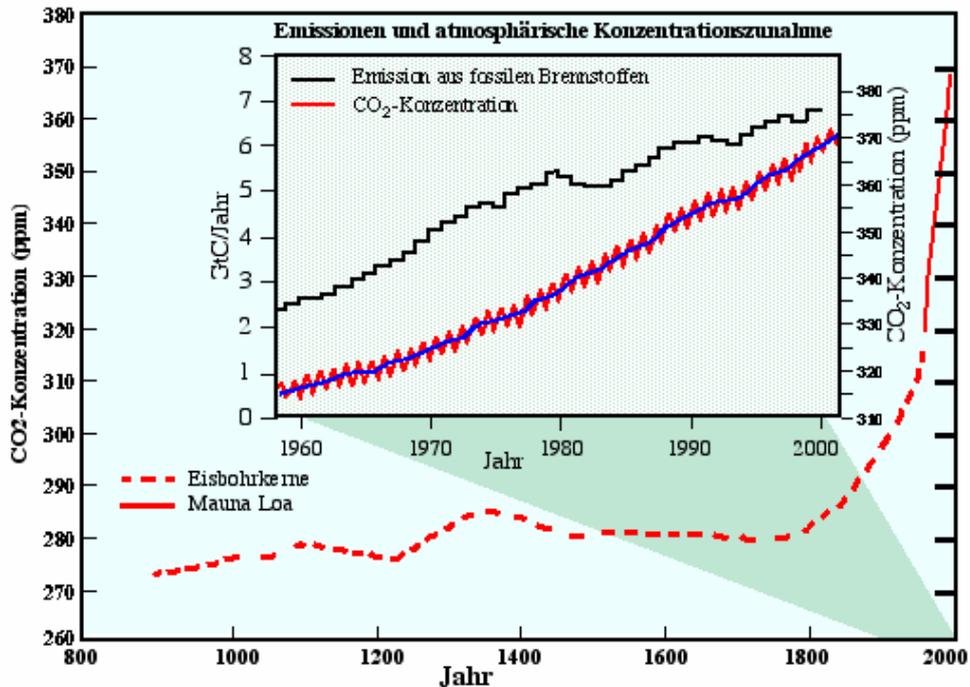


Abb. 9: Konzentrationsanstieg von CO₂ in der Atmosphäre im Verhältnis zur Menge der emittierten Brennstoffe vom Jahre 1960 bis 2000 und die CO₂-Konzentration vom Jahre 900 – 2000

(Quelle: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/index.htm>
(07.02.09))

Deutlich ist in Abb. 9 zu sehen, dass die CO₂-Konzentration ab dem 19. Jahrhundert sehr zunimmt.

3.3.2. CH₄ (Methan)

Das Methan ist der einfachste Vertreter der Kohlenwasserstoffe. Es ist im normalen Zustand als farb- und geruchsloses Gas vorzufinden. Es ist mitunter ein wichtiger Bestandteil von Erdgas, Biogas und Holzgas. Mit einem Treibhauspotenzial, welches zirka 20- bis 30-mal so aggressiv wie Kohlenstoffdioxid ist, aber mit einer geringeren Konzentration in der Atmosphäre vorhanden, ist Methan das zweitwichtigste vom Menschen freigesetzte Treibhausgas mit einem etwa 15 prozentigen Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt. Es wird zum Beispiel bei der Gewinnung von Erdgas, bei der Viehhaltung oder beim Reisanbau emittiert, allerdings gibt es auch viele natürliche Quellen von Methan-Ausstöße. Eine Quelle wären beispielsweise die Sümpfe, in denen unter Luftabschluss organische Stoffe zu faulen beginnen und sich ein Gemisch aus Methan und Kohlenstoffdioxid entwickelt. Seine atmosphärische Verweilzeit (die mittlere Zeitdauer, die ein Stoff/Molekül in der Atmosphäre verweilt) liegt bei ca. 14 Jahren. Von 1750 bis 2000 ist der Volumenanteil von 800 auf 1.750 (2005) angestiegen.

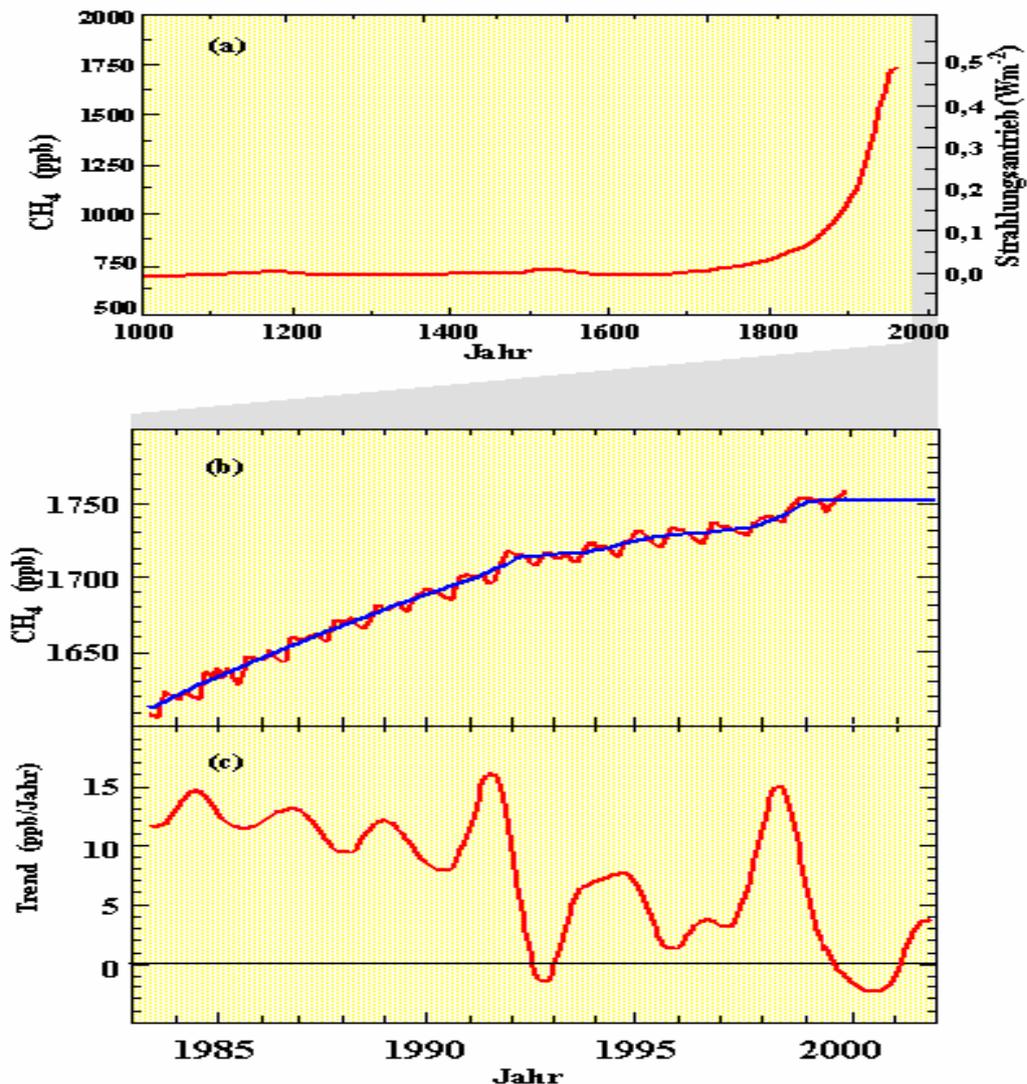


Abb. 10: Durchschnittliche Methankonzentration in ppb von 1000–2000

(Quelle: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/index.htm>
(07.02.09))

Deutlich zu sehen ist in Abb. 10, dass die Konzentration um 1850 beginnt, stark anzusteigen, aber zum Jahrtausendwechsel abschwächt. Des Weiteren wird in der Mitte der Abb. 10 genauer auf die Entwicklung von 1850–2000 eingegangen, wobei festzustellen ist, dass die Konzentration bis 1999 ansteigt und dann konstant bleibt. Auch der dritte Teil der Abbildung, welcher den Saldo in ppb/Jahr von Methan angibt, sinkt langsam.

3.3.3. FCKW (Fluorkohlenwasserstoffe)

Die Fluorkohlenwasserstoffe sind eine große chemische Gruppe niedermolekularer organischer Verbindungen, welche stets anthropogenen Ursprungs sind und als Treibgase für Spraydosen oder Kältemittel verwendet wurden oder teilweise noch werden. In den 1980er bis 1990er Jahren stellte man fest, dass Fluorkohlenwasserstoffe den Abbau der Ozonschicht stark fördern. Aus diesem Grund ist ihre Nutzung heute in vielen Anwendungsbereichen verboten. Der Abbau

der Ozonschicht hat zur Folge, dass harte UV-Strahlung bis zur Erdoberfläche gelangen kann und sich dort negativ auf Pflanzen, Tiere und Menschen auswirkt. Zusätzlich absorbieren FCKWs, wie auch CO_2 , die langwellige Wärmestrahlung. Dabei ist es ca. 11.000fach so klimarelevant wie CO_2 und gilt somit als das drittichtigste anthropogene Treibhausgas. Wie man auf Abb. 11 erkennt, beginnt ab den späten 80er Jahren der Zuwachs der beiden bedeutendsten Fluorkohlenwasserstoffe (F11 und F12) abzuschwächen. Sie werden als die bedeutendsten FCKW-Stoffe angesehen, weil sie die größten Anteile der Emissionen von Fluorkohlenwasserstoffen innehaben. Ab Mitte der 90er Jahre wird bei F11 sogar eine Abnahme der Konzentration verzeichnet, was wohl einigen Maßnahmen, welche ein paar Jahre zuvor verabschiedet wurden, zu verdanken ist. F11 und F12 haben eine atmosphärische Verweilzeit von 45 beziehungsweise 100 Jahren und somit die Möglichkeit und die Zeit, sich mit der gesamten Erdatmosphäre gut zu durchmischen.

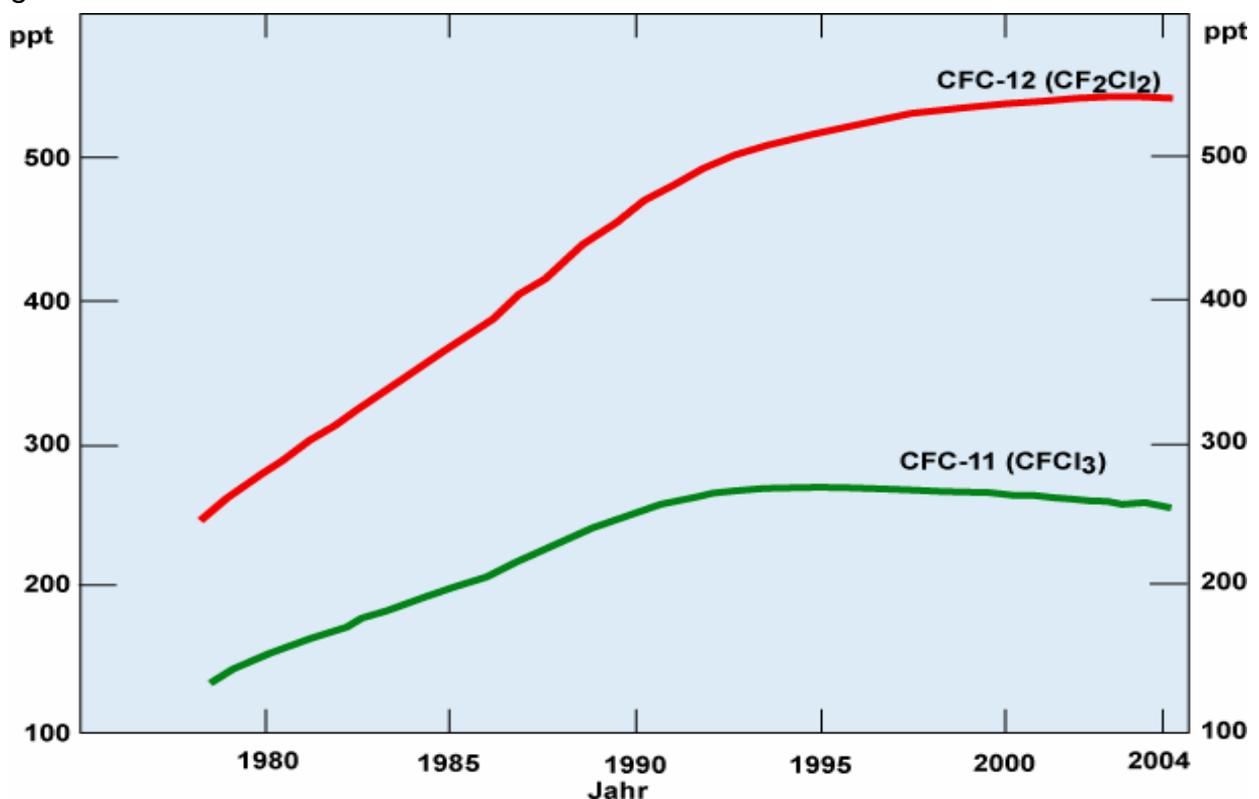


Abb. 11: Konzentration (in parts per trillion) der zwei Fluorkohlenwasserstoffe F11 und F12 im Zeitraum 1975 bis 2004 über Tasmanien.

(Quelle: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/infotek.htm> (05.02.09))

3.3.4. N_2O (Distickstoffmonoxid/Lachgas)

Das Distickstoffoxid ist ein farb- und geruchsloses Gas, welches auch als Lachgas bekannt ist. Es wird direkt vom Menschen im Labor oder aber durch Düngernutzung in der Landwirtschaft emittiert. Der Gesamtanteil am anthropogenen Treibhauseffekt liegt heute bei etwa 6%, die Klimawirksamkeit ist jedoch 289-mal höher als die von

CO₂. Es hat eine atmosphärische Verweilzeit von etwa 114 Jahren. Es trägt auch zum Abbau der Ozonschicht bei, indem es sich in der Stratosphäre mit dem dort vorhandenen Ozon in Stickstoff umwandelt. Seit 1750 ist der ppm-Wert, wie man auf der unten gezeigten Abbildung sieht, von 270ppm auf 319ppm (2005) angestiegen. Vor 1750 hatte sich die Konzentration mit schwächeren Schwankungen kaum verändert.

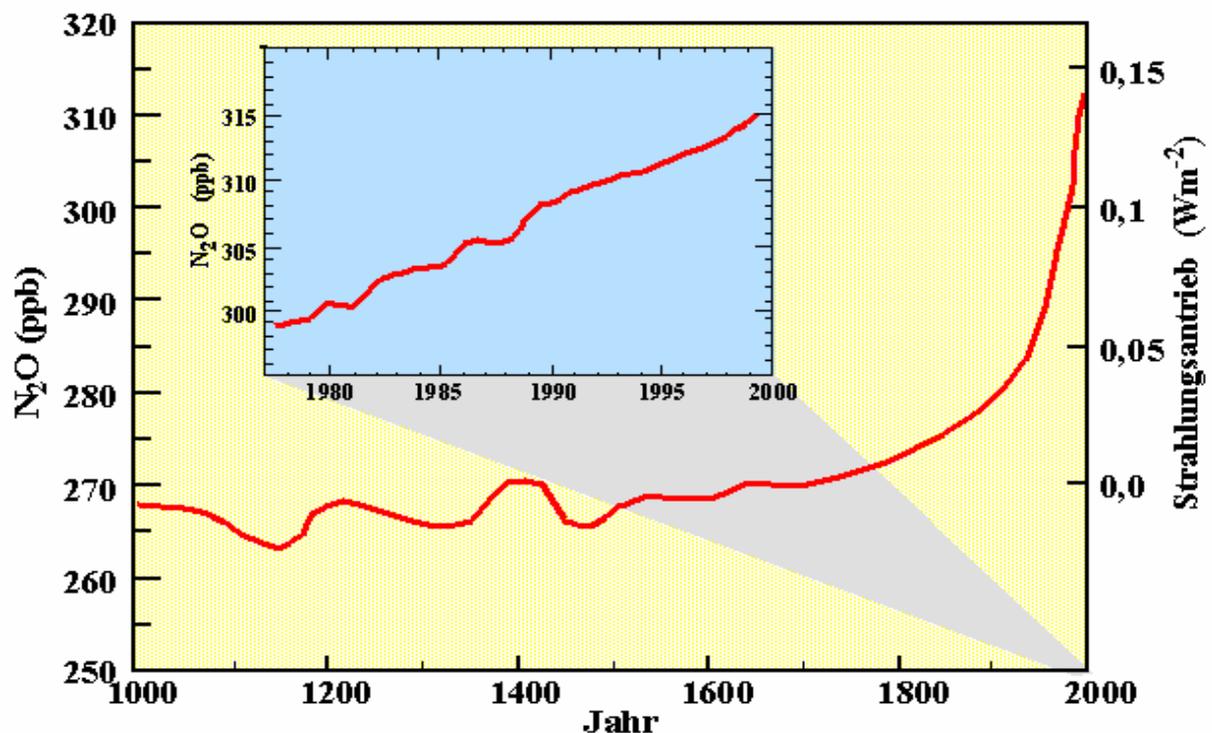


Abb. 12: Konzentrationszunahme von N₂O (in parts per billion) in der Atmosphäre im letzten Jahrtausend.

(Quelle: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/index.htm> (05.02.09))

Auch hier ist wie bei der Abb. 9 zum Kohlenstoffdioxid ein deutlicher, starker Anstieg des Distickstoffoxids ab dem 19. Jahrhundert zu verzeichnen. Das kleine blaue Diagramm geht noch einmal genauer auf die Konzentrationszunahme in den Jahren 1977 bis 2000 ein.

3.3.5. SF₆ (Schwefelhexafluorid)

Das Schwefelhexafluorid ist eine anorganische chemische Verbindung aus den Elementen Schwefel und Fluor, welche unter Normalbedingungen als farb- und geruchsloses, ungiftiges Gas auftritt. Es wird aufgrund seiner Fähigkeit, freie Elektronenpaare zu binden, in der Hochspannungstechnik verwendet. Des Weiteren nutzt man SF₆ als Schutzmittel bei der technischen Herstellung von Magnesium. Je nach Art des Prozesses werden dabei große Mengen von SF₆ in die Atmosphäre abgegeben. Laut Studien der IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ist SF₆ das aggressivste Treibhausgas, was uns heute bekannt ist und weist eine 23.900mal so große Klimawirksamkeit wie Kohlendioxid auf. Angesichts der geringen Konzentration in der Erdatmosphäre (etwa 0,005ppm) wird der Einfluss von SF₆ auf die globale Erwärmung als verhältnismäßig gering eingeschätzt.

3.4. Der zukünftige Einfluss des Menschen auf das Klima am Beispiel CO₂ in den Szenarien A1FL und B1

Auch in der Zukunft wird sich das Klima verändern und der Mensch wird zu diesem Wandel beitragen. Die IPCC hat zu diesem Thema Szenarien entwickelt, die den weiteren Klimaverlauf bis zum Jahre 2100 darstellen sollen. Insgesamt gibt es 40 dieser Szenarien, die in die Hauptgruppen A1, A2, B1 und B2 unterteilt werden. Wobei die A-Szenarien von einer ökonomisch ausgerichteten, die B-Szenarien aber von einer umweltorientierten Entwicklung ausgehen. Die Szenariengruppen A1 und B1 gehen des Weiteren von einer globalen, die Gruppen A2 und B2 von einer regionalen Entwicklung aus.

Die nun folgenden Grafiken sollen hier dazu dienen, den Einfluss des Menschen besser einordnen zu können, wobei man sich darüber im Klaren sein sollte, dass die folgenden Grafiken nur Prognosen darstellen und nicht die Realität widerspiegeln sollen. Abb. 13 stellt die CO₂-Konzentration und die CO₂-Emission in GTC/Jahr (Gigatonnen pro Jahr) an. Abb. 14 ergänzt dazu die jeweilige Temperaturkurve (und den jeweiligen Abweichungsbereich). Mit dem Abweichungsbereich ist der Bereich gemeint, in dem die Kurve auch verlaufen könnte, da es sich ja um Prognosen handelt. Beide Grafiken zeigen die IPCC-Klimaszenarien A1FI, A1 T, A1B, A2, B1 und B2. Auf der Temperaturentwicklungskarte (Abb. 13) wird auch die Prognose „IS92a“ aufgezeigt, welche aus einem 1996 veröffentlichtem IPCC-Bericht stammt. Schaut man auf Abb. 13 die Graphen der prognostizierten Emissionen und die jeweils dazu gehörenden Konzentrationsschwankungen an und vergleicht diese mit einander, so wird man feststellen, dass sich diese beiden Kurven in allen Fällen sehr ähnlich scheinen. Nehmen wir als Beispiel das Szenario A2: Würden, der Grafik nach, die CO₂-Emissionen bis 2100 auf etwa 29 CTC/Jahr steigen, so würde auch die CO₂-Konzentration bis 2100 einen ppm-Wert von 860 haben. Da wir wissen, dass eine erhöhte Konzentration der Treibhausgase zu einer verstärkten Behinderung der Wärmeabstrahlung führen könnte, ist uns ebenfalls klar, dass somit die Durchschnittstemperatur steigen würde. Um sich zu verdeutlichen, wie stark der Mensch das Klima in den nächsten 100 Jahren beeinflussen könnte, sollte man sich die Szenarien A1FI und B1 anschauen. A1FI (FI.= fossil) geht von einem globalen ökonomischen Wachstum und der massiven Verbrennung fossiler Energieträger wie zum Beispiel Braunkohle aus. B2 geht von einer globalen umweltorientierten Einstellung und der Entwicklung und Nutzung energieeffizienter, erneuerbarer und umweltschonenden Energienutzungs- und Aufbereitungsmethoden aus. Im Vergleich der beiden Extremszenarien wird deutlich, dass der Mensch durch seine Emissionen und die damit ansteigende Treibhausgaskonzentration das Erdklima deutlich sichtbar beeinflusst. Der auf Abb. 13 gezeigte Anstieg der CO₂-Konzentration im Szenario A1FI, der um das Jahr 2100 bei knapp 1000ppm liegt, ist durchaus mit der dazugehörigen Temperaturveränderungskurve in Abb. 14 zu vergleichen, die um 2100 bei einer Erwärmung von ca. 4,5°C liegt. Das Gleiche lässt sich beim Szenario B1 auch betrachten: Die Abnahme der Emissionen auf 5 GTC/Jahr hätte eine langsame Abnahme der Steigung der CO₂-Konzentration und der Temperaturveränderung zur Folge, welche dann nur bei einer Veränderung von 1,85°C liegen könnte. Wenn man sich nun die Differenz zwischen den Daten der Szenarien A1FI und B2 ansieht, liegt die Vermutung nahe, dass der anthropogene Einfluss ein wichtiger Faktor ist, der maßgebend auf unser Klima einwirkt. Der IPCC nach ist die Beeinflussung durch anthropogene Faktoren also sehr bedeutend und wirkt sich deutlich auf die globale Erwärmung aus.

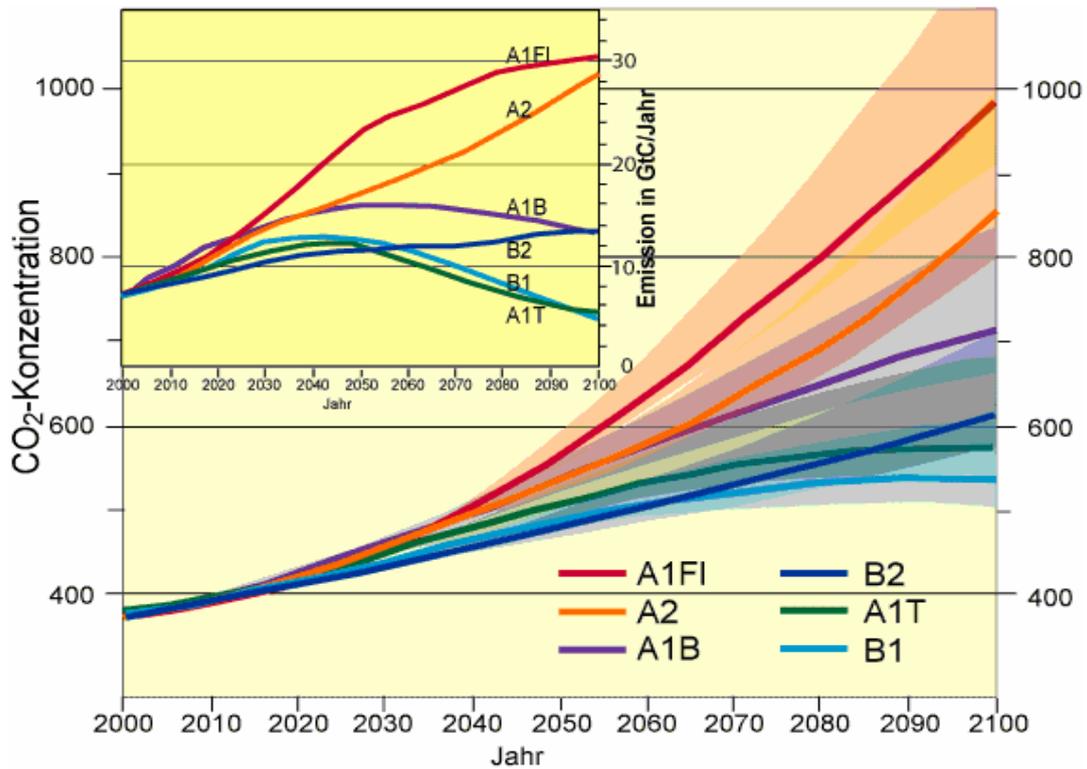


Abb.13: CO₂ Konzentration von 2000 bis 2100 in den verschiedenen IPCC-Szenarien
 (Quelle: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm>
 (05.02.09))

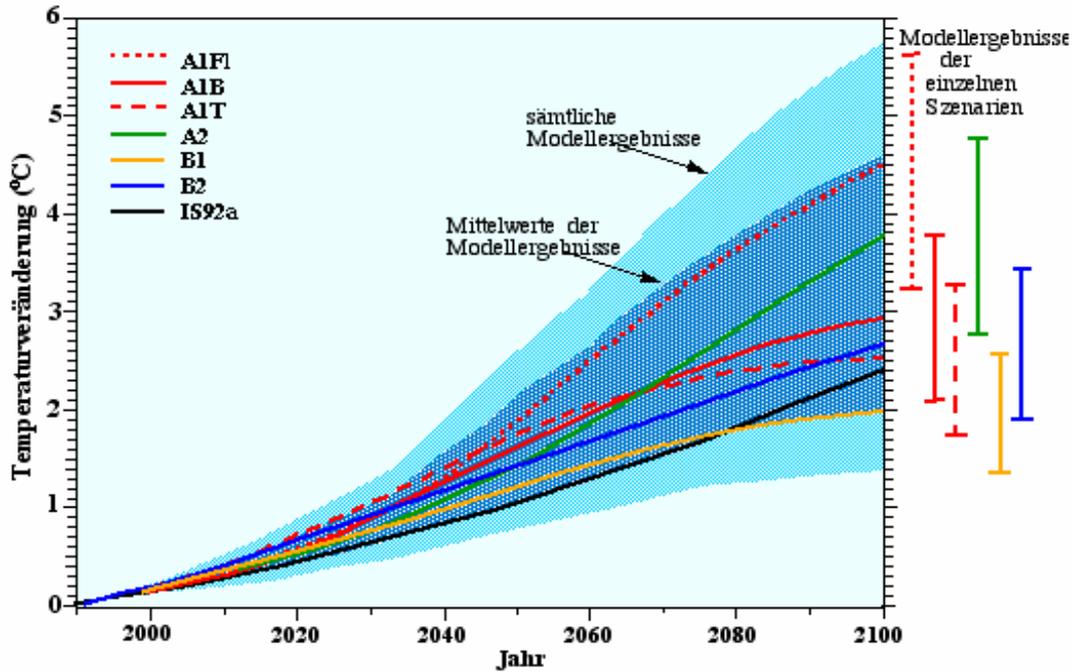


Abb. 14: Entwicklung der Durchschnittstemperatur von 200 bis 2100 in den
 verschiedenen IPCC-Szenarien
 (Quelle: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm>
 (05.02.09))

3.5 Temperaturveränderungen nach dem A1B-Szenarium zwischen 2011/2040 und 1861/1890

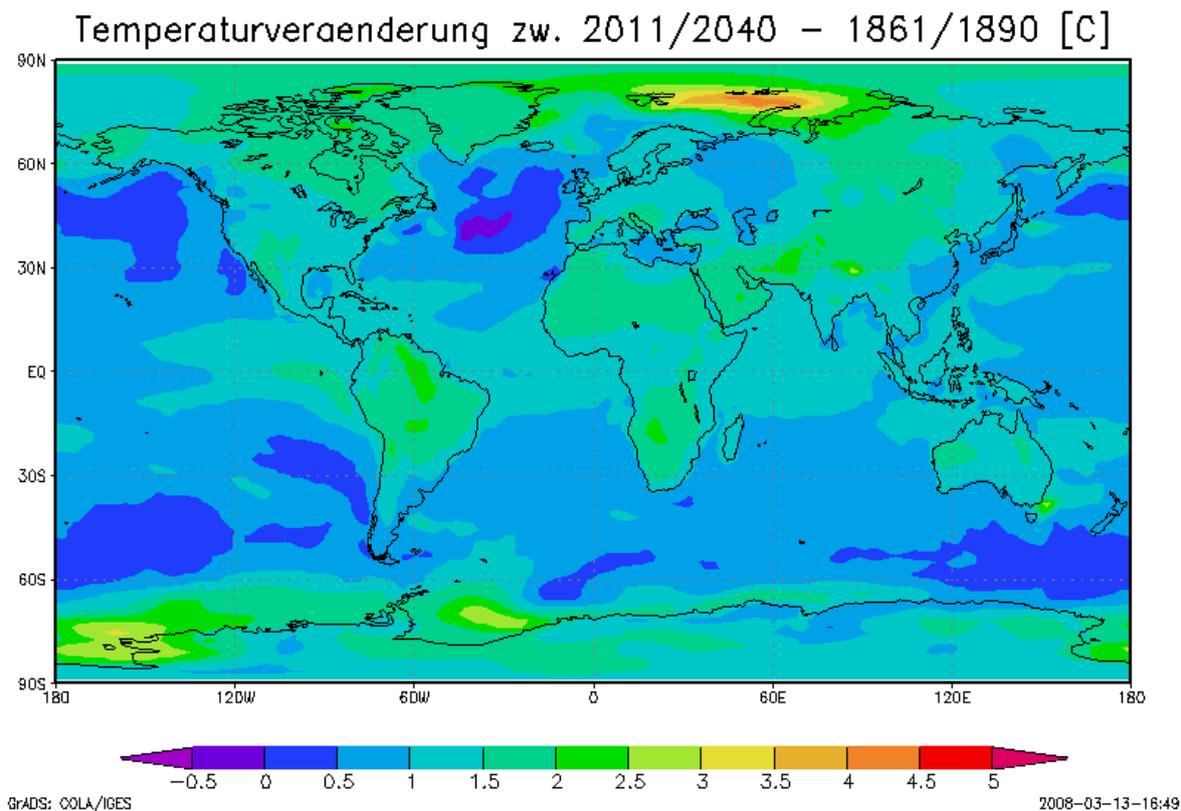


Abb. 15: Temperaturveränderung zwischen 2011/2014-1861/1890

Das in Abb. 15 (selbsterstellt) dargestellte Szenarium ist ein A1B Szenarium. Bei diesem Szenarium wird davon ausgegangen, dass der Mensch fossile und nicht-fossile Energieträger in einem ausgewogenen Verhältnis benutzt. Auf der Grafik wird die globale Erwärmung in den letzten 100 Jahren sehr deutlich. Insgesamt kann man sagen, dass sich die Temperaturen im Durchschnitt zwischen 0,5 und 1°C erwärmen. Diese Erwärmung entsteht möglicherweise durch den anthropogen verursachten Treibhauseffekt, auf welchen später eingegangen werden soll. Die stärkste Erwärmung von fast 4°C liegt laut Abb. 4 beim Franz-Joseph-Land vor. Diese starke Erwärmung könnte dadurch entstehen, dass das Franz-Joseph-Land raues, antarktisches Klima aufweist und viele Gebiete das ganze Jahr über zugefroren sind. Wegen der globalen Erwärmung schmilzt der Schnee nun schneller und der Boden wärmt sich auf, wodurch immer mehr Schnee schmilzt, da dieser die Sonnenstrahlen nun nicht mehr reflektieren kann. Die einzige Region, in welcher sich die Temperaturen abkühlen werden, ist der Atlantische Ozean zwischen Kanada und Europa.

4. Klimaskeptiker und ihre Thesen zur Nachweisfrage

4.1 Einleitung

Skeptiker sollte man nicht nur negativ darstellen. Denn auch die Thesen der Wissenschaftler sind nicht immer vollständig korrekt. Da jede These und jedes Modell Kritik brauchen, können Fehler entdeckt und verbessert werden. Beim Thema Kritik gibt zum Beispiel die IPCC zu, wenn ihre Thesen nicht korrekt sind/waren; die meisten Skeptiker verteidigen ihre eigenen Ansichten jedoch um jeden Preis. Leider behaupten die meisten Skeptiker, dass die IPCC Panikverursacher und

Klimaverschwörer seien und übertreiben würden. Wissenschaftler haben Schwierigkeiten, die richtigen Faktoren von den falschen zu unterscheiden und diese zu teilen. Kaum ein Skeptiker ist ein richtiger Wissenschaftler, und wenn diese Person vielleicht ein Wissenschaftler ist, dann weder ein Physiker, Klimatologe oder Meteorologe. Es gibt zwei Sorten von Skeptikern: Einmal diejenigen, welche behaupten, es gäbe gar keine Klimaveränderung und belegen dies mit angeblich falschen Messungen und ähnlichem. Die anderen sind jene Skeptiker, die zugeben, dass es eine Klimaerwärmung gibt, jedoch die Modelle und Thesen dazu als zu ungenau bezeichnen, sodass mit ihnen noch keine genaueren Schlussfolgerungen gezogen werden können.

4.2 Die Verbreitung von Skeptikerthesen durch die GCC

Klimaskeptiker werden mit ihren Thesen besonders stark von den Medien unterstützt, mithilfe derer sie ihre Thesen und Meinungen am schnellsten verbreiten können. Sie haben aber auch noch andere Mittel, um ihre Thesen unter das Volk zu bringen: So gründen sie Organisationen, die sich nur ihrem Thema widmen und mit Flugblättern und Unterschriften-Aktionen ihre Thesen verbreiten. Auch locken sie mit eigenen Fachbüchern Käufer an, welche dann, angetan von aufregenden Titeln, auch Vorlesungen und öffentlichen Auftritte besuchen. Skeptiker suchen sich große Firmen zur Unterstützung ihrer Thesen und umgekehrt. 1989 gründeten große Öl-Firmen eine Gruppe gegen den weltweiten Klimaschutz, sie nannten sich *Global Climate Coalition* (GCC). Sie wollten ihre Kunden nicht verlieren und nicht weniger Geld verdienen, nur weil die Menschen die Erde schützen wollten. Schnell schlossen sich große Öl-Firmen wie Shell, Daimler Chrysler und General Motors der GCC an. Die GCC erzählte der Bevölkerung, dass es durch den Klimaschutz zu einem wirtschaftlichen Einbruch kommen werde. Sie zeigten auf ihren Veranstaltungen Bilder von Arbeitslosen und den wirtschaftlichen Einbruch der Öl- und Autoindustrie. Sie schürten große Ängste bei der Bevölkerung, was dazu führte, dass keiner den Klimaschutz mehr ernst nahm. Doch 2002 kam der Umschwung; die Firmen befürchteten, dass ihr Ruf durch diese Kampagne in ein schlechtes Licht gerückt werden könnte und stiegen aus. Kurz danach löste sich die Global Climate Coalition wieder auf.

4.3 Skeptiker und das Thema Klimakatastrophe

Manche Skeptiker sagen, dass die Bezeichnung 'Klimakatastrophe' schon falsch sei. Das Wort 'Klima' sei nicht korrekt, denn Klima beschreibe das Durchschnittswetter auf der Erde. 'Katastrophe' sei auch nicht passend, da ein Durchschnittswert keine Katastrophe ergeben könne. Wenn man schon etwas nicht Vorhandenem einen Namen geben muss, sollte dieser also zumindest korrekt sein.

4.4 Die Thesen der Skeptiker

4.4.1 CO₂ und andere Gase

Die eine Gruppe der Skeptiker, welche behaupten, es gebe einen Treibhauseffekt, argumentieren, dass CO₂ keine bedeutende Rolle beim Treibhauseffekt habe, da Wasserdampf viel mehr Auswirkungen habe. CO₂ hat nur ca. 0,12% Einfluss auf den Treibhauseffekt und davon sind nur 3% künstlich erzeugt. Der größte Teil der CO₂-Emissionen ist natürlichen Ursprungs, diese kommen vom Land und vom Meer und ergeben 97% der jährlichen CO₂-Emissionen. Wasserdampf dagegen trage zu 95% zum Treibhauseffekt bei, dies werde im Bericht der IPCC von 2007 nicht erwähnt.

Die andere Gruppe der Skeptiker bestreitet, dass es überhaupt einen Treibhauseffekt gibt, und dass es in der Erdgeschichte schon Perioden gab, in denen die Strahlungsintensität zehnmal so hoch war wie heute. Das sei vor etwa fünf Millionen Jahren gewesen, dort betrug die CO₂-Konzentration ca. 3500ppm. Hinzu komme, dass der CO₂-Gehalt im Laufe der Erdgeschichte erst angestiegen sei, nachdem die Temperaturen angestiegen sind. Diese Tatsache stelle den Treibhauseffekt erheblich in Frage.

4.4.2 Die Erdgeschichte und der Treibhauseffekt

Skeptiker sagen, dass in der Erdgeschichte viele klimatische Vorkommnisse mit den heutigen Erwärmungen und deren Faktoren nichts zu tun haben. Dazu gehört einmal, dass die IPCC in ihren Berichten mit der Durchschnittstemperaturkurve der Erde schon im Mittelalter beginnt, wo die Temperatur 1°C geringer war als heute. Dabei zeige sich nicht, dass in der frühromischen Warmperiode zwischen 200 v. Chr. und 600 n. Chr. die Durchschnittstemperatur 1°C höher war als heute. Die Skeptiker behaupten, dass es viele Aspekte in der Erdgeschichte gebe, die beweisen, dass es in bestimmten Zeitabschnitten wärmer oder kälter als heute war. Dies würde beweisen, dass es keinen Treibhauseffekt gibt und man sich keine Sorgen über das Klima machen müsste, da es ganz normal sei. Im Jahre 1000, als die Wikinger lebten, war die Erde viel wärmer als heute und sie haben trotzdem überlebt. 1690 dagegen war es kälter als heute und die Bevölkerung litt unter Hunger, 40 Jahre später gab es wiederum eine starke Erwärmung. Diese Erwärmung war ebenfalls stark und entwickelte sich sehr schnell. Schwankungen in den Temperaturen auf der Erde seien typisch, so die Skeptiker, und die IPCC wolle der Bevölkerung lediglich Angst machen.

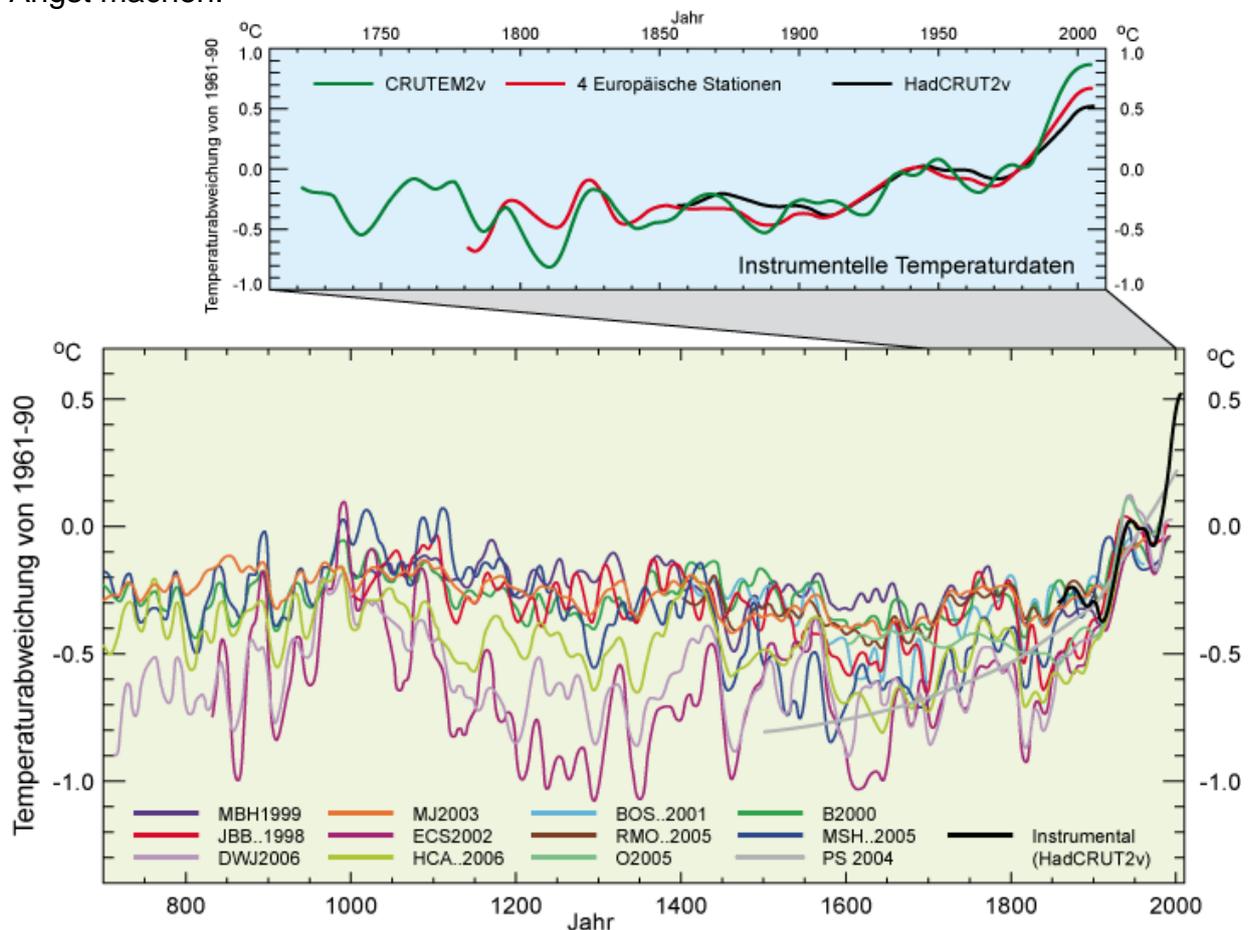


Abb.16: Rekonstruierte Temperaturänderungen der letzten 1300 Jahre nach Proxydaten

(Quelle: Abb. verändert nach IPCC (2007): Climate Change 2007, Working Group I: The Science of Climate Change, Figure 6.10: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima>

4.4.3 Die Sonne und der Treibhauseffekt

Eines der am häufigsten vorgebrachten Argumente der Skeptiker ist, dass es gar keinen Treibhauseffekt gebe und die *Sonne* die Erde erwärme. Diese Gruppe Skeptiker, welche den Treibhauseffekt anerkenne, aber meine, dass die Sonne zu wenig beachtet werde bei der Klimaveränderung, sagt: Die Sonne verändert ihre Intensität im Laufe der Zeit und beeinflusst so das Klima. Sonnenflecken spielen hierbei eine wichtige Rolle, ist die Sonne besonders aktiv, gibt es auch viele Sonnenflecken und es wird wärmer auf der Erde.

Ende des 17. Jahrhunderts gab es eine extreme Kälteperiode durch das Ausbleiben der Sonnenflecken. Heute gibt es doppelt so viele Sonnenflecken und es wird entsprechend wärmer auf der Erde. Dies bestreiten aber die Wissenschaftler, da es angeblich einen elfjährigen Zyklus gebe, welcher die Anzahl der Sonnenflecken und die Aktivität der Sonne reguliere. Die Sonne soll somit einen 'magnetischen Motor' besitzen, der diesen Zyklus auslöst. Diese Theorie kann aber nicht stimmen, sagen die Skeptiker. Wenn man sich den Zyklus von der Vergangenheit bis heute anschaut, stellt man fest, dass dieser Zyklus nicht immer regelmäßig war. In Wirklichkeit schwankt der Zyklus zwischen sieben und 17 Jahren. Mit den unregelmäßigen Zyklus kann man die Schwankungen in der Erdgeschichte erklären. Ende des 19. Jahrhunderts betrug die eine Periode des Zyklus nur elfeinhalb Jahre. In den 80er Jahren des 21. Jahrhunderts betrug die Periode nur zehn Jahre. Eine der Thesen der Skeptiker ist, dass der Zyklus nach und nach kürzer werde und irgendwann ganz ausbleibe. Dieses Phänomen könnte man an einem Stern beobachten, welcher der Sonne sehr ähnlich ist: *Delta Piscium* hatte lange Zeit einen elfjährigen Zyklus, der dann plötzlich abbrach. Ende des 17. Jahrhunderts war es sehr kalt, dies sei eine Vorwarnung für den Abbruch des Zyklus gewesen. Ein Vorwurf der Skeptiker an die IPCC war zudem, dass sie den Antrag, die Sonne zu berücksichtigen, abgelehnt habe (vgl. Calder 1998).

4.4.4 Kosmische Strahlen und der Treibhauseffekt

Kosmische Strahlen sind Partikel, die nach Auffassung der Skeptiker als Kondensationskerne für die Wolkenbildung dienen und auf diese Weise die Erde abkühlen. Zu Zeiten auf der Erde, an denen es sehr kalt war, war es also auch sehr bewölkt. Die Intensität der kosmischen Strahlung hängt von der Intensität der Sonne ab: Ist die Sonneneinstrahlung sehr intensiv, hält sie die kosmische Strahlung ab und die Erde erwärmt sich. Gibt es also viele Sonnenflecken, nehmen die kosmischen Strahlen ab und somit auch die Wolkenbildung.

Der Rückgang der kosmischen Strahlung läuft parallel mit dem Anstieg der Temperaturen ab, behaupten die Skeptiker. In den 90er Jahren des 17. Jahrhunderts sorgte die hohe Anzahl an kosmischer Strahlung für eine Kälteperiode. 1986 bis 1987 war die kosmische Strahlung auf ihrem Höchststand, es war in dieser Zeit sehr kalt. Wird die Sonne immer aktiver und die Sonnenflecken nehmen zu, wird sich die Wolkendecke um 3% verringern. Dies führt zur Erwärmung der Erde. Eine Abnahme der Wolkendecke um 3% bei höherer Sonnenaktivität erwärmt die Erdoberfläche um 0,8 bis 1,7 Watt pro Quadratmeter.

4.5 Verfälschte Messungen und Modelle

Viele Daten der Wissenschaftler sind ungenau durch verschiedene Faktoren. Die Skeptiker zweifeln an der Glaubwürdigkeit der Messungen der IPCC.

4.5.1 Messstationen

Zum Einen liegt es an den Messstationen, dass Skeptiker zweifeln. In einigen Ländern werden die Stationen wegen Geldmangels nicht ordentlich gewartet oder es fehlt an Sorgfalt beim Ablesen der Daten. Zusätzlich werden die Stationen nicht genügend geschützt vor Wettereinflüssen wie zum Beispiel Wind. Dadurch werden die Daten verfälscht. In reicheren Ländern seien die Messdaten präziser. 1996 waren nur rund 40% des Globus erfasst, in den letzten Jahren sind diese um 20% gesunken. Die Skeptiker fragen sich nun, wie die IPCC solche Daten veröffentlichen kann, da stets fälschlicherweise von globalen Veränderungen gesprochen werde, diese aber durch Messungen gar nicht nachgewiesen werden könnten.

4.5.2 Satelliten

Die meisten Klimamessungen werden von Satelliten durchgeführt, aber auch hier gebe es fragwürdige Messungen, so die Skeptiker: Die Satelliten kommen von „Microwave Sounding Unit“ (MSU) und seien damit zuverlässiger als Bodenmessungen. Die Satelliten zeigen keine Erhöhung der Temperaturen, sondern sogar einen leichten Abwärtstrend von 0,05°C, gemessen werden sie in der unteren Troposphäre (0,7km über NN). Wenn es wirklich eine Erwärmung gäbe, müsste sie hier zu messen sein. Treibhausgase wirken nämlich am stärksten in der Atmosphäre, der Klimawandel müsste dort also am deutlichsten nachzuweisen sein.

4.5.3 Wärmeinseln

Wärmeinseln sind ein weiterer Punkt, Messungen zu verfälschen. Als Wärmeinseln werden große Städte bezeichnet. In der Nacht strahlen die Städte Wärme aus, welche in Steinoberflächen gespeichert wird. Nachts ist es auf dem Land immer kühler, da dort weniger Wärme gespeichert und wieder abgegeben werden kann. Diese künstlich erzeugte Stadt-Wärme verfälsche die Messdaten, da sie nicht zur natürlichen Vegetation gehöre. Die städtischen Wärmeinseln sind zusätzlich von der dortigen Einwohnerzahl abhängig: 500.000 bis 1.000.000 Einwohner ergebe eine Temperaturerhöhung von 1,1- 1,2°C, mehr als 1.000.000 Einwohner eine Temperaturerhöhung von 1,2- 1,5°C.

4.6 Meinungen der Bevölkerung

4.6.1 Umfrage zum Thema Klimawandel

Dies ist der Fragebogen, welchen wir in Bargteheide in verschiedenen Altersklassen eingesetzt haben.

Umfrage zum Thema Klimawandel

1. Glauben Sie an den Klimawandel?

Ja Nein

2. Glauben Sie, dass die Natur oder der Mensch am Klimawandel Schuld ist?

Der Mensch Die Natur beide keiner

3. Wie viel Einfluss hat nach Ihrer Einschätzung die Natur oder der Mensch? (in Prozent)

_____ Mensch _____ Natur

4. Haben Sie sich über das Thema Klimawandel informiert? Wenn ja, wo?

Ja Nein

Wo?.....

5. Glauben Sie ihrer Quelle? Wenn ja, warum?

6. Glauben Sie, dass Sie eine Mitschuld am Klimawandel haben?

Ja Nein

7. In welchen Bereichen würden Sie sich für ein besseres Klima einschränken?

- Auto Flugzeug Duschen statt baden Papier sparen
- Einschränkungen bei den Elektrogeräten Heizung
- Nahrungsmittel aus der Umgebung

4.6.2 Auswertung der Umfrage

Die Durchführung der Umfrage war für uns sehr interessant und hat in unseren Augen zu teilweise nicht geahnten Ergebnissen geführt. Es zeigt, dass die Menschen in Bargteheide wissen, was um sie herum passiert, und dass sie es nicht ignorieren.

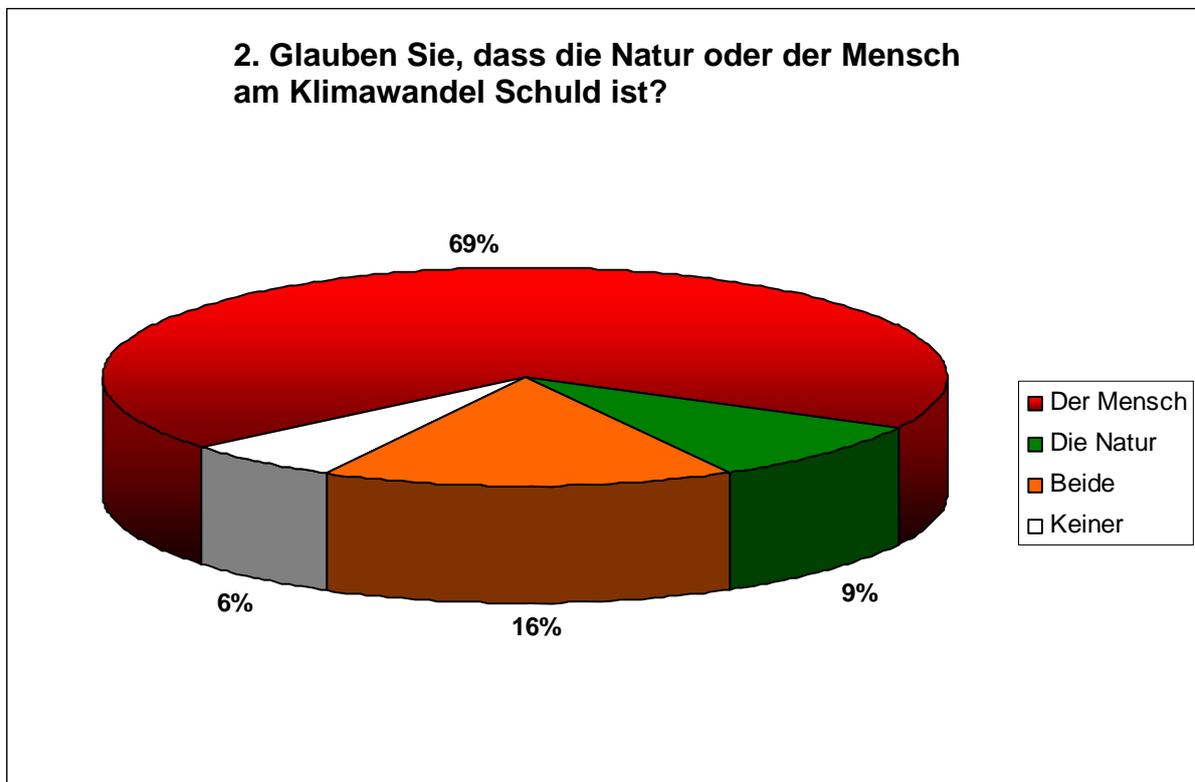


Abb. 17: Auswertung zu Frage 2: Glauben Sie, dass die Natur oder der Mensch am Klimawandel Schuld ist?

In Grafik 17 kann man deutlich sehen, dass die meisten Bargteheider denken, dass nur der Mensch am Klimawandel Schuld ist und die Natur gar keinen Einfluss hat. Diese Menschen müssten sich noch mehr informieren, da nicht alle Veränderungen nur vom Menschen ausgehen. Auch hier gibt es Skeptiker, die sagen, dass eigentlich nichts passiert und keiner Einfluss auf unser Leben und unsere Umgebung hat.

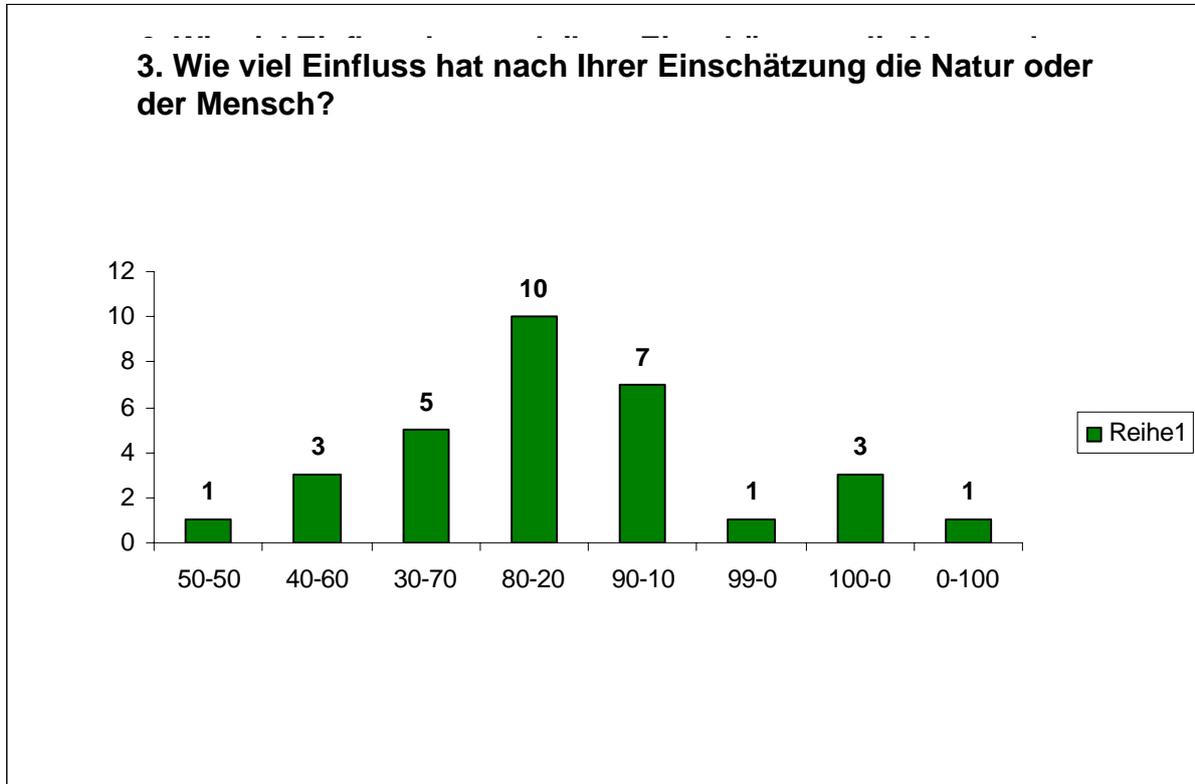


Abb. 18: Auswertung zu Frage 3: Wie viel Einfluss hat nach Ihrer Einschätzung die Natur oder der Mensch? (in Prozent)

Bei dieser Einschätzung liegen die meisten gar nicht so falsch, indem sie der Natur den größeren Einfluss zuschreiben.

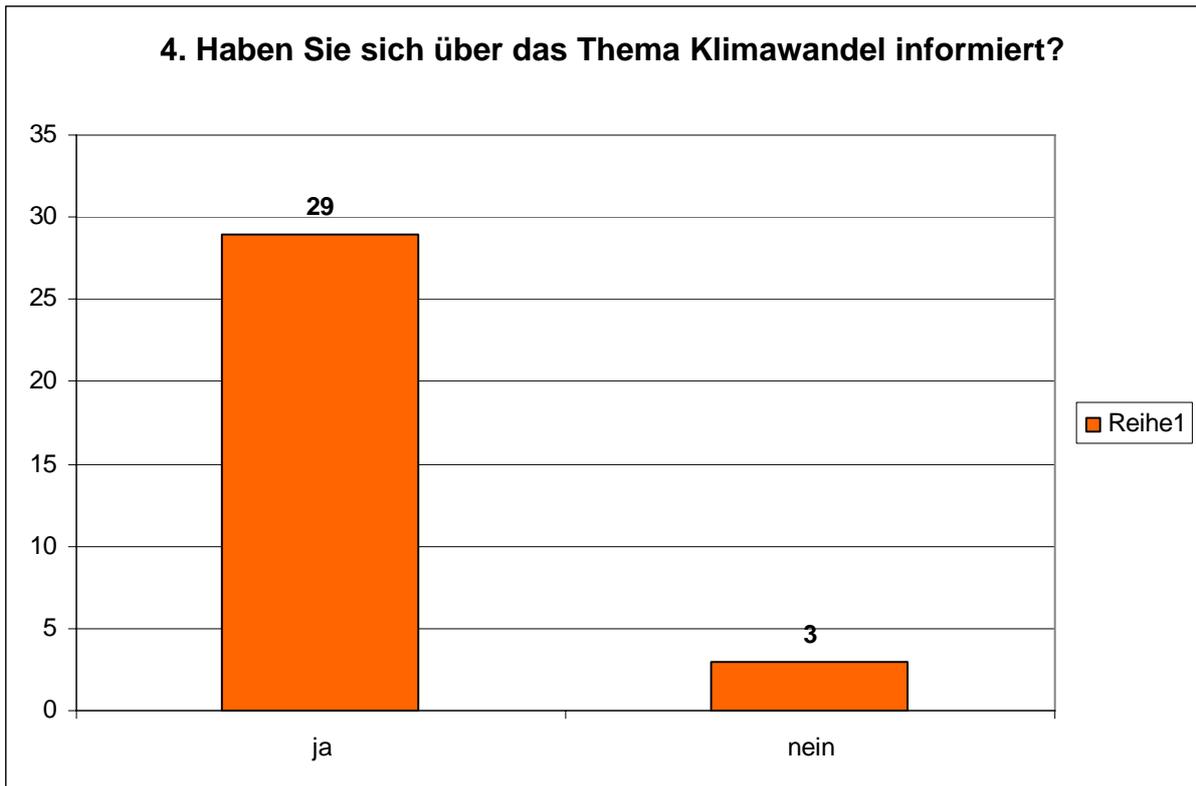


Abb. 19: Auswertung zu Frage 4: Haben Sie sich über das Thema Klimawandel informiert?

Dieses Ergebnis ist sehr zufriedenstellend. Die Menschen informieren sich, was passiert und warum das so ist. Sie nehmen es nicht einfach nur wahr, sondern mischen sich so ein und bilden sich ihre eigenen Meinung.

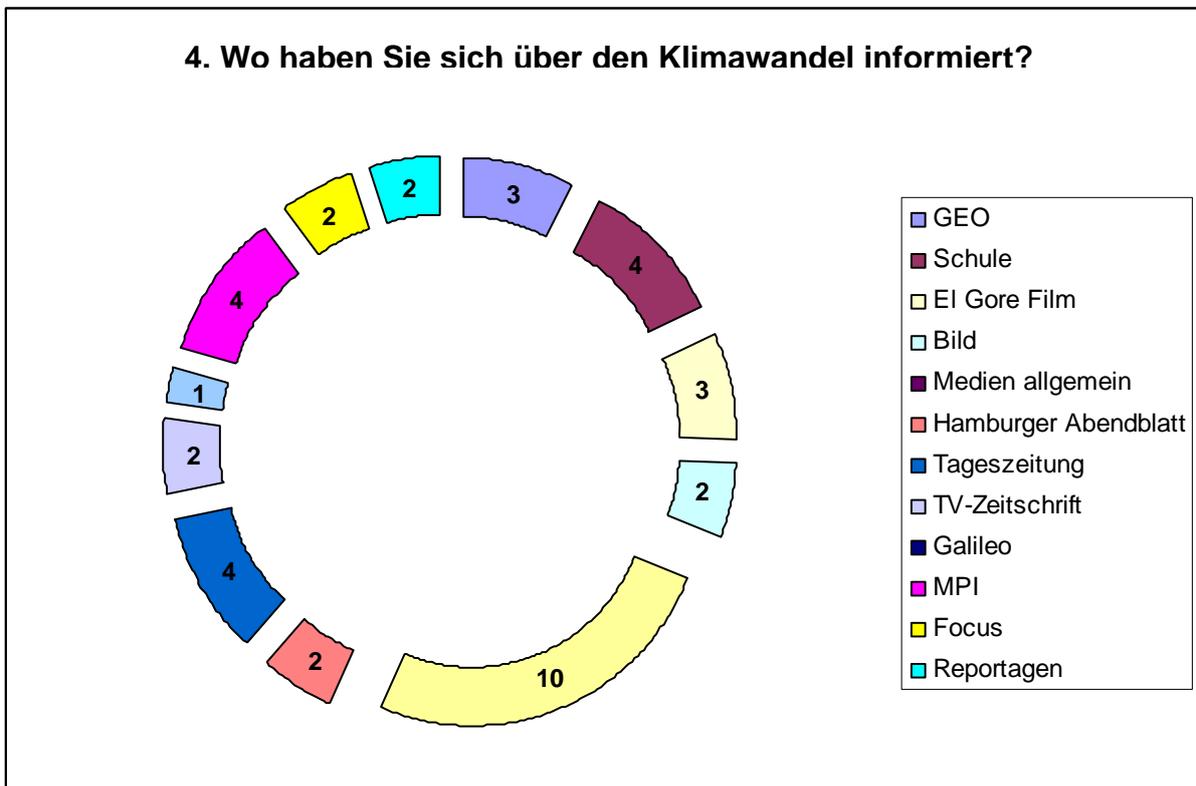


Abb. 20: Auswertung zum zweiten Teil der Frage 4: Wo haben Sie sich über den Klimawandel informiert?

Dieses Ergebnis hat uns ein wenig schockiert, da sich die Menschen über so ein wichtiges und schwieriges Thema in ihrer TV-Zeitschrift informieren oder in der BILD-Zeitung, die eigentlich nicht auf einer wissenschaftlichen Basis veröffentlicht. Immerhin haben sich zehn Befragte den El Gore Film angeschaut, der sehr der Wahrheit entspricht und auch zum Handeln ermuntert.

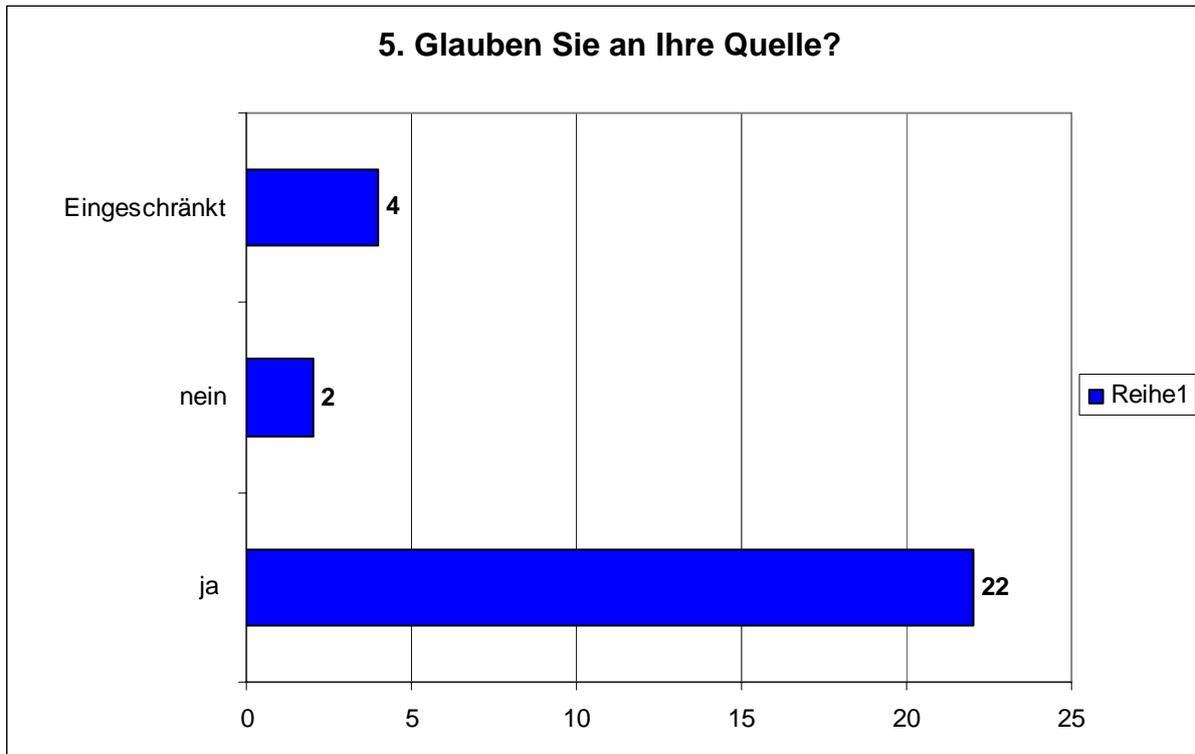


Abb. 21: Auswertung zu Frage 5: Glauben Sie an Ihre Quelle?

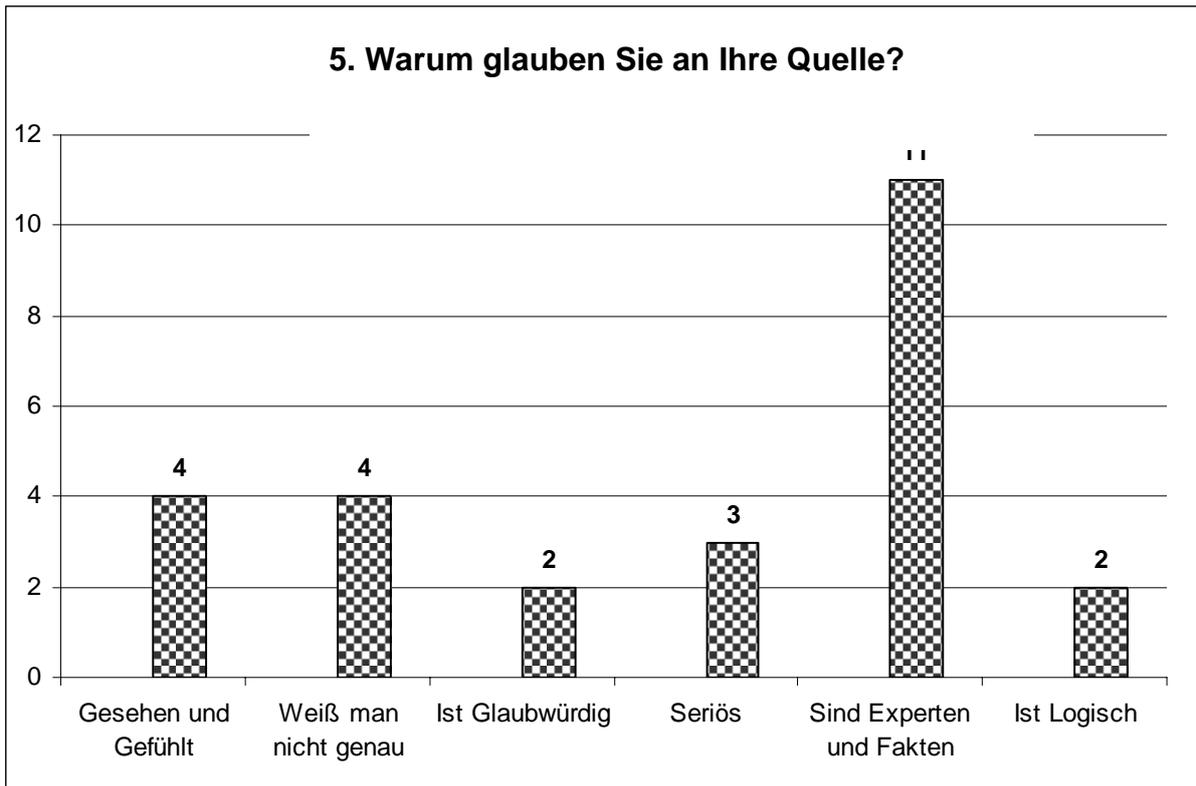


Abb. 22: Auswertung zum zweiten Teil der Frage 5: Warum glauben Sie an Ihre Quelle?

Warum die Befragten an ihre Quellen glauben, war nicht allen ganz klar. Wahrscheinlich haben sie nicht darüber nachgedacht. Die meisten informieren sich bei Experten und das ist der richtige Weg.

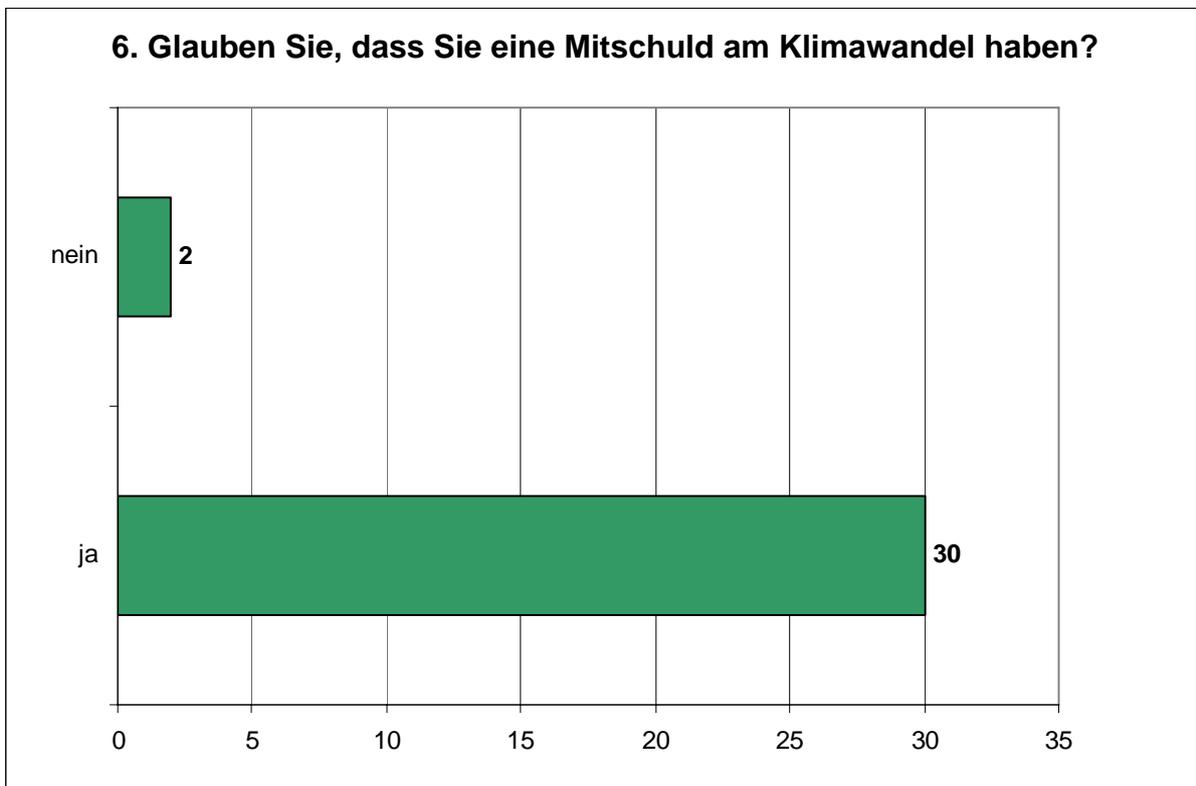


Abb. 23: Auswertung der Frage 6: Glauben Sie, dass Sie eine Mitschuld am Klimawandel haben?

Diese Einsicht ist für unser zukünftiges Klima sehr positiv, denn wenn die Menschen so einsichtig sind, fangen sie auch schneller an, etwas für das Klima zu tun. Hier gibt es auch Skeptiker, die denken, sie haben mit alledem nichts zu tun und es gehe sie nichts an.



Abb. 24: Auswertung der Frage 7: In welchen Bereichen würden Sie sich für ein besseres Klima einschränken?

Diese Ergebnisse sind sehr positiv, da viele Menschen in vielen Bereichen Energie und ähnliches einsparen wollen und teilweise auch schon tun.

5. Fazit

Bei unserer Projektarbeit sind wir letzten Endes zu der Meinung gekommen, dass es nicht möglich ist, die Natur und den Menschen einzeln als den Grund für den Umbruch des Erdklimas darzustellen. Das erste Kapitel (Klimageschichte) zeigte, dass es auch schon vor der Zeit, in welcher der Mensch einen spürbaren Einfluss gehabt haben könnte, starke Schwankungen in der Durchschnittstemperatur der Erde gab. Der zweite Teil unserer Ausarbeitung beschäftigte sich mit natürlichen Faktoren, welche auf unser Klima einwirken, und bevor unsere Gattung überhaupt erschien, bereits eingewirkt hatten. Sie lieferten Erklärungen für die Temperaturschwankungen in jener Zeit, in der es Menschen noch nicht gab und sind sicher ein wichtiger Faktor für Klimaveränderungen auf unserer Erde. Der dritte Teil der Projektarbeit handelte von den anthropogenen Einflüssen, die seit dem Industrialisierungszeitalter immer deutlicher hervortreten. Wie man in diesem Kapitel sah, stieg die Temperatur seit dem 18. Jahrhundert stetig und beinahe synchron mit der Konzentration von Treibhausgasen an. Doch ebenfalls war uns bewusst, dass der anthropogene Einfluss eigentlich nur ein kleiner Einfluss im Gegensatz zur

enormen Kraft der Natur ist. Uns wurde zudem klar, dass nicht alle Skeptiker unseriös sind, sondern dass manche gute und plausible Erklärungen für die eigene Ansicht liefern können. Viele dieser Skeptiker gehen von einem von der Natur verursachten Klimawandel aus.

So beantworten wir die Leitfrage dieser Arbeit folgendermaßen:

Der Mensch verstärkt durch seine Treibhausgasemissionen den atmosphärischen Treibhauseffekt, wodurch das Klimasystem der Erde gestört wird. Dieser verhältnismäßig klein erscheinende Einfluss ist der eigentliche Faktor für die globale Erwärmung. Somit hat der Mensch unserer Meinung nach den größeren Einfluss.

6. Quellenverzeichnis

Calder, Nigel:

www.solidaritaet.com/fusion/1998/1/calder.htm (14.04.08)

Darum ist es auf dem Berg kälter:

http://www.wdr.de/themen/forschung/1/kleine_anfrage/antworten/berg_kalt.jhtml
(15.05.08)

Glaser, Rüdiger (2001): Klimageschichte Mitteleuropas.

Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt S.13, S.176-178.

Hamburger Bildungsserver:

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima> (05.04.08)

Kasang, Dieter (2008): Die atmosphärische Konzentration von Kohlenstoffdioxid:

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima> (01.05.08)

Kasang, Dieter (2007): Die IPCC-Szenarien:

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima/index.htm>
(07.05.08)

Kasang, Dieter: Die letzten 1000 Jahre:

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima>(15.11.07)

Kasang, Dieter (2007): Distickstoffoxid:

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima> (08.06.08)

Kasang, Dieter (2007): Treibhausgase und Aerosole:

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima/index.htm>
(03.04.08)

Kasang, Dieter (2007): Veränderung der Methan-Konzentration in den letzten 1000 Jahren:

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima> (16.06.08)

Kleine Eiszeit:

http://de.wikipedia.org/wiki/Kleine_Eiszeit (03.02.08)

Meijer, P.J. (1997): Vulkane und Thermalquellen. Köln:

<http://www.vulkanausbruch.de/text.htm>

Peiplein, Peter (2007):

www.secarts.org/journal/index.php?show=article&id=517 (05.04.08)

Scheuermann, Mario: Kleine Eiszeit:

<http://www.weinwissen.com/inc-main/weinabc-d.asp?wort=1082> (03.02.08)

Schreiner, Camiller (2004): Wie ändern Menschen das Klima?:

http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3d78d2917682f050cdd6cee0b8f68b2d_0/Mehr/1__mensch-gemachter_Klimawandel_2c4.html (18.03.08)

Scinexx:

www.scinexx.de/inc/artikel_drucken.php?id=564&a_flag=2 (19.03.08)

www.scinexx.de/inc/artikel_drucken.php?id=565&a_flag=2

www.scinexx.de/inc/artikel_drucken.php?id=566&a_flag=2

www.scinexx.de/inc/artikel_drucken.php?id=575&a_flag=2 (18.03.08)

Treibhauseffekt (2001):

<http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBluft/Treibhauseffekt.php> (05.04.08)

Uherek, Elmar (2001/02): Wasser...:

<http://www.espere.net/Germany/water/deoverviewde.html>

Wiechoczek, Dagmar (2005): Der "Albedo-Effekt" von Eis und Wolken:

<http://www.chemieunterricht.de/dc2/wasser/w-albedo.htm>

Wikipedia:

<http://de.wikipedia.org/wiki/CH4> (14.04.08)

<http://de.wikipedia.org/wiki/FCKW> (19.05.08)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid> (05.04.08)

<http://de.wikipedia.org/wiki/N2O> (17.04.08)

<http://de.wikipedia.org/wiki/SF6> (05.04.08)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt> (20.03.08)

Zechel, Susanne (2003): Klimazyklen im Atlantik – Milankovitch-Theorie, Foraminiferen - Geochemie, Heinrich-Events:

http://www.geo.tu-freiberg.de/oberseminar/os02_03/susanne_zechel.pdf (11.03.09)