

Kann Klimaschutz gelingen? Probleme einer unerprobten Technik

Martin Trömel

Institut für Anorganische und Analytische Chemie der Goethe-Universität Frankfurt

e-mail: troemel@chemie.uni-frankfurt.de

Klimapolitik sieht sich heute größeren Schwierigkeiten und Zweifeln gegenüber als noch vor wenigen Jahren. Die Kopenhagener Klimakonferenz scheiterte und nahm lediglich die Empfehlung zur Kenntnis, die Erderwärmung auf höchstens zwei Grad zu begrenzen, eine alte Zielsetzung¹, deren Begründung fragwürdig ist² und die schon vor dieser Konferenz von Fachleuten als Unsinn bezeichnet worden war³. Fehler in den Berichten des Weltklimarats IPCC weckten weitere Zweifel⁴ und führten zu der Forderung, das Verhältnis von Wissenschaft und Politik neu zu justieren, da Wissenschaft ein fehler- und irrumsanfälliger Prozeß ist⁵, ein Hinweis, der in der bisherigen Klimadiskussion allenfalls von sogenannten „Klimaskeptikern“ zu vernehmen war. Wie verlässlich sind Empfehlungen an die Politik, die nur mit Zustimmung von Regierungsvertretern beschlossen werden können?⁶ Was wird aus dem Projekt Klimaschutz, dem größten technischen Vorhaben der Menschheitsgeschichte? Nie zuvor hat ein technisches Projekt einen derartigen Aufwand an Mitteln, einen vergleichbaren zeitlichen Rahmen und ein ähnliches Maß an internationaler Zusammenarbeit erfordert. Und nur ganz selten sind technische Großprojekte ohne vorherige Erprobung der vorgesehenen Technik begonnen worden.

Beim Klimaschutz wäre das in der Sache begründet. Unter Klima ist das langjährige Mittel des rasch wechselnden Wetters zu verstehen, und die Weltorganisation der Meteorologen empfiehlt eine mindestens dreißigjährige Mittelung über Wetterdaten, wenn Klimagrößen wie Temperatur, Luftdruck, Luftbewegungen, Bewölkung, Verdunstung von Wasser, Niederschläge usw. bestimmt werden sollen⁷. Als Technik des Klimaschutzes gilt die Verringerung der Emissionen von CO₂ aus den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas. Diese Technik kann nur an der Atmosphäre selbst erprobt werden. Der enorme Aufwand dafür müßte vom ersten Tag an erbracht werden, aber erst nach Jahrzehnten wäre zu

¹ S. Rahmstorf, H. J. Schellnhuber: Der Klimawandel. C. H. Beck, München 2006, S. 99.

² J. Müller-Jung: Warum sollten maximal zwei Grad die Welt retten? Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ), 9. 12. 2009.

³ Interview: Ein Limit von zwei Grad Erwärmung ist praktisch Unsinn. FAZ, 28. 10. 2009.

⁴ M. Wyssuwa: Wohin mit den Zweifeln? FAZ, 9. 3. 2010.

⁵ O. Edenhofer: Die Fehler sind peinlich. Frankfurter Rundschau, 11. 2. 2010.

⁶ O. Edenhofer: Der Klimarat kommt auf den Prüfstand. FAZ, 10. 2. 2010.

⁷ S. Rahmstorf, U. Neu, R. Sartorius, M. Weiß, C.-D. Schönwiese: Skeptiker fragen, Wissenschaftler antworten: Häufig vorgebrachte Argumente gegen den anthropogenen Klimawandel (2008), Frage 1: Was ist eigentlich Klima?. <http://www.umweltbundesamt.de/Klimaschutz/>.

erkennen, ob das Projekt scheitert oder gelingt, ob sich also der Aufwand überhaupt lohnt. Das wäre ein Experiment mit gewaltigen Kosten und ungewissem Ausgang.

Zur Rechtfertigung dieses Experiments bezeichnete der letzte Bericht des Weltklimarats es als „sehr wahrscheinlich, dass der größte Anteil der beobachteten Erwärmung seit Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts von der vom Menschen ausgelösten verstärkten Freisetzung von Treibhausgasen verursacht wird“⁸ – eine etwas gewundene Formulierung, die Anlaß zu Fragen gibt. Warum die Beschränkungen auf den größten Anteil der Erwärmung und auf die letzten sechzig Jahre? Lassen die industriellen CO₂-Emissionen nach Aussage der Klimaforscher nicht schon seit Beginn der Industrialisierung die Temperatur steigen? Das wäre doch spätestens seit Mitte des neunzehnten Jahrhunderts gewesen⁹. Und was heißt „wahrscheinlich“? Wissenschaftler nennen etwas wahrscheinlich, wenn keine Gewißheit herrscht. Würde ein Wissenschaftler jemals im Ernst sagen „Eins und Eins ist sehr wahrscheinlich Zwei“?

Auch die Gründe für diese Ungewißheit liegen in der Natur der Sache. Klimaforscher versuchen, die Erderwärmung und ihre Folgen durch aufwändige Modellrechnungen zu ermitteln, indem sie Klimaszenarien oder Klimaprojektionen für die Zukunft erstellen¹⁰. Die selben Rechnungen wenden sie aber auch auf die Vergangenheit an, um die Richtigkeit ihrer Modelle zu prüfen. Indessen enthalten solche Modellrechnungen immer vereinfachende Annahmen, u.a. weil fehlende Daten durch Mittelwerte ersetzt werden müssen. Manche davon wirken sich stark darauf aus, wieviel von der einfallenden Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche gelangt und wieviel Wärme wieder zurückgestrahlt wird. Ihr Einfluß und ihr Zusammenwirken kann nicht ohne Willkür abgeschätzt werden. Es ist auch nicht möglich, die Richtigkeit eines Modells zu beweisen, indem man solche Parameter an ältere Daten anpaßt, weil auch ein unzulängliches Modell für begrenzte Zeiträume befriedigende Ergebnisse liefern kann. So bleiben die Aussagen über die Zukunft ungewiß.

Das hat auch aktuelle Bedeutung. Die heftig diskutierte Frage, ob die industriellen CO₂-Emissionen um 20, 30 oder 50 Prozent vermindert werden müßten, um die Erderwärmung auf 2 °C zu beschränken, stützt sich auf Klimaprojektionen und –szenarien genau so wie die eindrucksvollen Schilderungen der Folgen des Temperaturanstiegs. Aber die Erfolgsaussichten des Projekts Klimaschutz lassen sich mit weit einfacheren Mitteln beurteilen. Das Vorhaben kann ja nur gelingen, wenn die Temperatur der Atmosphäre bisher

⁸ Zitiert nach M. Müller, U. Fuentes, H. Kohl (Hrsg.): Der UN-Weltklimareport. Kiepenheuer und Witsch, Köln 2007, S. 43.

⁹ Rahmstorf, Schellnhuber, S. 37, Abb. 2.3.

¹⁰ Rahmstorf, Schellnhuber, S. 46 ff.

entsprechend deren CO₂-Gehalt gestiegen ist und wenn die CO₂-Emissionen, die jetzt verringert werden sollen, diesen Anstieg verursacht haben. Das kann mit einem einfachen PC geprüft werden, auf Grund von Daten, die CDIAC (das Carbon Dioxide Information Analysis Center in den USA) seit sechs Jahrzehnten für die Klimadiskussion sammelt, analysiert und veröffentlicht¹¹. Sie reichen für die CO₂-Emissionen aus fossilen Energieträgern und aus der Zementproduktion bis ins 18. Jahrhundert zurück. Für den CO₂-Gehalt der Atmosphäre liegen seit 1959 Monats- und Jahresmittel auf Grund sehr genauer Messungen vor, und aus Eisbohrkernen wurde auch der Wert für die vorindustrielle Zeit (um 1750) bestimmt. Die mittlere Jahrestemperatur der Nordhalbkugel mit ihren verhältnismäßig vielen Meßstationen ist für die Zeit von 1881 bis 2008 angegeben.

Aus den Jahrestemperaturen läßt sich die Klimakurve der Temperatur als 31jähriges Mittel für 1896 bis 1993 berechnen (in Abbildung 1 rot). Die starken jährlichen Schwankungen der Temperatur sind in der Klimakurve weitgehend ausgeglichen, und die Kurve gibt den Trend gut wieder. Umgerechnet auf ein Jahrhundert ergibt sich ein Temperaturanstieg um 0,88 °C.

Der sehr geringe CO₂-Gehalt der Atmosphäre ist seit 1959 stetig angestiegen (in der Abbildung schwarz), und die Meßpunkte weichen nur wenig von denen einer einfachen Funktion ab, mit der Werte für die Zeit zwischen 1750 und 1959 abgeschätzt werden können. Er beträgt heute etwa das 1,4fache des vorindustriellen Wertes, nämlich fast 390 statt 279 ppm (0,390 statt 0,279 Promille).

Man würde nun erwarten, dass der Temperaturverlauf in etwa dem Anstieg des CO₂-Gehalts der Atmosphäre gefolgt ist, eventuell durch positive oder negative Rückkopplung verstärkt oder geschwächt. Das ist jedoch nicht der Fall. Während das atmosphärische CO₂ gleichmäßig zunahm, ist die Klimakurve der Temperatur zunächst kräftig angestiegen, zwischen 1945 und 1963 aber wieder abgefallen und hat den Wert von 1945 erst 1978 wieder erreicht, als der CO₂-Gehalt der Atmosphäre von 306 ppm auf 336 ppm angewachsen war. Auch zwischen 1929 und 1965, zwei Jahren mit gleicher Temperatur in der Klimakurve, gab es eine Zunahme des CO₂-Gehalts der Atmosphäre von 298 ppm auf 320 ppm. Erst seit 1963 ist die Temperatur der Atmosphäre ähnlich angestiegen wie ihr CO₂-Gehalt. So wird die Aussage über die wahrscheinliche Ursache der Erwärmung im IPCC-Bericht verständlich. Anscheinend wurden für diese Aussage die Daten aus der Zeit vor 1963 nicht angemessen berücksichtigt. Ließe man andere Zeiträume außer Betracht, so könnte man aus der Kurve noch ganz anderes herauslesen, für die Zeit von 1945 bis 1963 sogar eine Abnahme der

¹¹ <http://cdiac.ornl.gov/>

Temperatur bei steigendem CO₂-Gehalt¹². Wenn aber der Treibhauseffekt bei zunehmendem CO₂-Gehalt der Atmosphäre die Temperatur ansteigen läßt¹³, dann müssen der abweichende Temperaturverlauf und insbesondere die beobachtete Abkühlung andere Ursachen gehabt haben, die sich stärker auswirken als der Treibhauseffekt. Klimaschutz durch Verminderung von technischen CO₂-Emissionen ist dann nur ein Wunschtraum. Wie soll eine Verringerung der Emissionen die Erwärmung aufhalten, wenn die Temperatur bei zunehmendem CO₂-Gehalt mal steigt und mal fällt? Man dreht dann an der falschen Stellschraube.

Wie illusorisch der vorgeschlagene Klimaschutz ist, zeigt auch ein Vergleich der jährlichen technischen CO₂-Emissionen mit dem jährlichen Zuwachs des Gases in der Atmosphäre, der aus den gemessenen Werten des CO₂-Gehalts leicht ermittelt und in Gigatonnen (Gt = Milliarden Tonnen) CO₂ umgerechnet werden kann. Der jährliche Zuwachs (in Abbildung 2 rot) hat im letzten halben Jahrhundert von Jahr zu Jahr viel stärker geschwankt als die Emissionen (schwarz). Diese Schwankungen überdecken auch eine Abnahme der Emissionen um etwas mehr als eine Gigatonne CO₂ zwischen 1979 und 1983 und weitere geringere Abnahmen, die in der Abbildung markiert sind. Ursache dieser starken Schwankungen müssen andere Vorgänge gewesen sein, bei denen CO₂ in die Atmosphäre emittiert oder aus ihr entfernt wurde. Schon vor Jahren ist der Beitrag aller solchen Prozesse zum CO₂-Kreislauf abgeschätzt worden. Demnach übertrifft der natürliche Austausch von CO₂ zwischen Atmosphäre und Erdoberfläche (Ozeane und Kontinente) alle anderen Vorgänge bei weitem. Auf die Freisetzung von CO₂ aus fossilen Rohstoffen entfallen lediglich 2,5 % der Gesamtemissionen. Bezieht man die Entwaldung mit ein, so beträgt der technisch bedingte Anteil 3,4 %¹⁴. Das Übrige, mehr als 96 %, sind natürliche Emissionen. Sie hängen möglicherweise auch mit den starken Schwankungen der Temperatur von einem Jahr zum andern zusammen, da die Ausgasung von CO₂ aus Wasser mit der Temperatur stark zunimmt.

Angesichts dieser Befunde kann man von einer Verringerung der technischen CO₂-Emissionen keinen Schutz des Klimas erwarten. Steht deshalb die so oft beschworene Klimakatastrophe bevor? Durchaus nicht. Der Temperaturanstieg um weniger als 1 °C im letzten Jahrhundert war ein ganz undramatischer Vorgang, und es wäre möglich, seinen längerfristigen Folgen rechtzeitig entgegenzuwirken. In diesem Zusammenhang sind auch die Ergebnisse der Paläoklimatologie zu beachten, die sich mit dem Klima der Vorzeit befaßt. Danach hat in den letzten 570 Millionen Jahren der CO₂-Gehalt der Atmosphäre stark

¹² Entsprechendes zeigt auch eine elfjährigen Mittelung der Globaltemperatur⁴.

¹³ Rahmstorf, Schellnhuber, S. 30 ff.

¹⁴ U. Siegenthaler, J. L. Sarmiento, Science **365** (1993), S. 119-127.

geschwankt und war zeitweise sehr viel höher als heute. Warm- und Kaltzeiten traten ganz unabhängig davon auf. Das führte zu dem Schluß, dass das atmosphärische CO₂ in dieser langen Zeit die Lufttemperatur nicht maßgeblich gesteuert hat¹⁵.

Eine große Rolle spielt aber das Wasser, das über 70 % der Erdoberfläche bedeckt und sehr ungewöhnliche physikalische Eigenschaften hat¹⁶. Deshalb betrachten Paläoklimatologen nicht Schwankungen, sondern Konstanz des Klimas und verhältnismässig geringe Temperaturdifferenzen von 11 – 24 °C zwischen Kalt- und Warmzeiten als besonderes Kennzeichen der Erdgeschichte¹⁷. Auf Grund seiner extrem hohen spezifischen Wärme und Verdampfungswärme ist Wasser eine ideale Kühlflüssigkeit. Verdunstungskühlung, die wirksamste technische Kühlmethode, überführt z.B. in den Kühltürmen von Kraftwerken den größeren Teil der umgesetzten Energie als Wärme in die Atmosphäre. Entsprechendes findet in vielfach größerem Maße auch zwischen Ozeanen und Atmosphäre statt, so dass der Vergleich mit einer Klimaanlage naheliegt. Sonnenstrahlung wird von Ozeanwasser zu mehr als 90 % in Wärme umgewandelt, ohne dass dieses sich dabei allzu stark erwärmt. Wegen seiner hohen spezifischen Wärme bleibt seine Temperatur vielmehr weltweit ständig zwischen –2 °C und +33 °C, während sich auf den Kontinenten weit höhere Temperaturdifferenzen ausbilden. Der ständige Austausch von Energie, Wasserdampf und Wasser zwischen Ozeanoberfläche und Atmosphäre hängt vom Dampfdruck des Wassers und damit von der Temperatur ab. Abbildung 3 zeigt die Vorgänge an der Ozeanoberfläche. Bei Temperaturen von –2 °C oder weniger bildet sich im Salzwasser der Ozeane Eis. Mit steigender Temperatur nimmt die Verdunstung stark zu und entzieht dabei dem Ozeanwasser so viel Wärme, dass dessen Temperatur 33 °C nicht übersteigt¹⁸. Die feuchtwarme Luft kühlt sich im Aufsteigen ab, Wolken bilden sich, und es fallen Niederschläge, die erheblich kühler sind als das Ozeanwasser. Dabei entstehen mehr oder weniger starke Wirbel, die als Hurrikane oder Zyklone verheerende Stürme und Regenfälle mit sich bringen sowie als Tiefdruckgebiete auch über Randgebiete der Kontinente wandern und dort das mildfeuchte maritime Klima erzeugen. Bei alledem strömt ständig kühleres Ozeanwasser aus höheren Breiten in die Tropen, wo mehr Sonnenenergie eingestrahlt wird als in allen anderen Klimazonen zusammen und daher auch Verdunstung und Niederschläge besonders stark sind.

¹⁵ U. Berner, H. Streif (Hrsg.): Klimafakten / Der Rückblick – ein Schlüssel für die Zukunft. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 4. Aufl. 2004, S. 84 sowie Abbildungen 4.12 und 7.1.

¹⁶ M. Schwarzbach: Das Klima der Vorzeit. Ferdinand Enke Verlag, 4. Aufl., Stuttgart 1988, S. 268 ff.

¹⁷ M. Schwarzbach, S. 306 ff. sowie S. 312 ff.. Berner und Streif, Abb. 7.1, S. 112, geben als niedrigste und höchste Jahresmittel 9 °C bzw. 25 °C an.

¹⁸ Temperaturen bis 32,2 °C für den Golf von Mexiko finden sich in H. Berghaus: Physikalischer Atlas, Verlag von Justus Perthes, Gotha 1845, S. 32 und S. 38 (Reprint als Beilage zu A. v. Humboldts Kosmos: Eichborn Verlag, Frankfurt am Main 2004).

Das Ganze wirkt als sehr robuste und zudem weit überdimensionierte natürliche Temperaturregelung. Die Wärmekapazität der Ozeane ist mehr als tausendmal größer als die der Atmosphäre. Daher stellt sich die Lufthülle der Erde in thermodynamischer Hinsicht nur als winziges Anhängsel der Ozeane dar. Für die kühlende Wirkung des Ozeanwassers ist auch von Bedeutung, dass Wasser, auch das Salzwasser der Ozeane, bei etwa 4 °C seine größte Dichte hat. Deshalb sinkt Wasser dieser Temperatur zum Meeresboden ab (Abbildung 3), breitet sich dort aus, und als Folge hat das Wasser in den tieferen Teilen der Ozeane weltweit eine Temperatur von 5 °C oder weniger.

Für den Klimaschutz bedeutet das alles: wir können die natürlichen Regelvorgänge der Atmosphärentemperatur nicht beeinflussen. Die Energiemengen, die bei diesen Vorgängen ständig umgesetzt werden, übertreffen bei weitem alles, was uns an Energie für technische Zwecke zur Verfügung steht. Die Temperaturregelung läßt beträchtliche Erwärmungen zu, wie sie im Verlauf der Erdgeschichte öfters stattgefunden haben. Diese verschieben die Klimazonen zu den Polen hin, während sich in den Tropen die Temperaturen weniger ändern und das Gesamtklima der Erde gleichförmiger wird¹⁹, wobei man in den Tropen wegen der stärkeren Verdunstung mit höheren Niederschlägen zu rechnen hat. Das „Kippen des Klimas“, ein unbegrenzter Anstieg der Temperatur, der angeblich bei einer globalen Erwärmung um mehr als 2 °C eintreten soll, wird durch die Temperaturregelung jedoch wirksam verhindert, ebenso wie eine vollständige Vereisung der Erde bei verringerter Sonnenstrahlung²⁰. (Übrigens ist auch nicht zu erkennen, wo die Energie für das „Kippen des Klimas“ herkommen könnte.)

Alles in allem ist festzustellen: Der Klimawandel wird sich nicht aufhalten lassen. Seine Folgen werden manche Regionen begünstigen, anderen werden sie schaden. Deshalb müßten die Mittel, die für ein aussichtsloses Klimaschutz-Experiment notwendig wären, zur Hilfe für die Menschen eingesetzt werden, die unter diesen Folgen zu leiden haben. Sind z.B. die Wirbelstürme und Hochwasserkatastrophen, die in den letzten Jahren tropische Gebiete rund um den Globus verheert haben, Anzeichen der fortschreitenden Klimaerwärmung, so wären Hilfsmaßnahmen für die betroffene Bevölkerung schon seit Jahren notwendig gewesen. Unabhängig davon bleiben Energieeinsparung durch effektivere Nutzung sowie die Erschließung regenerativer Energien dringend erforderlich. Nicht um das Klima zu schützen, sondern weil der steigende Energiebedarf der wachsenden Menschheit die Energiekosten auch in Zukunft weiter in die Höhe treiben wird.

¹⁹ Siehe z. B. M. Schwarzbach, S. 213.

²⁰ Rahmstorf, Schellnhuber, S. 15 ff.

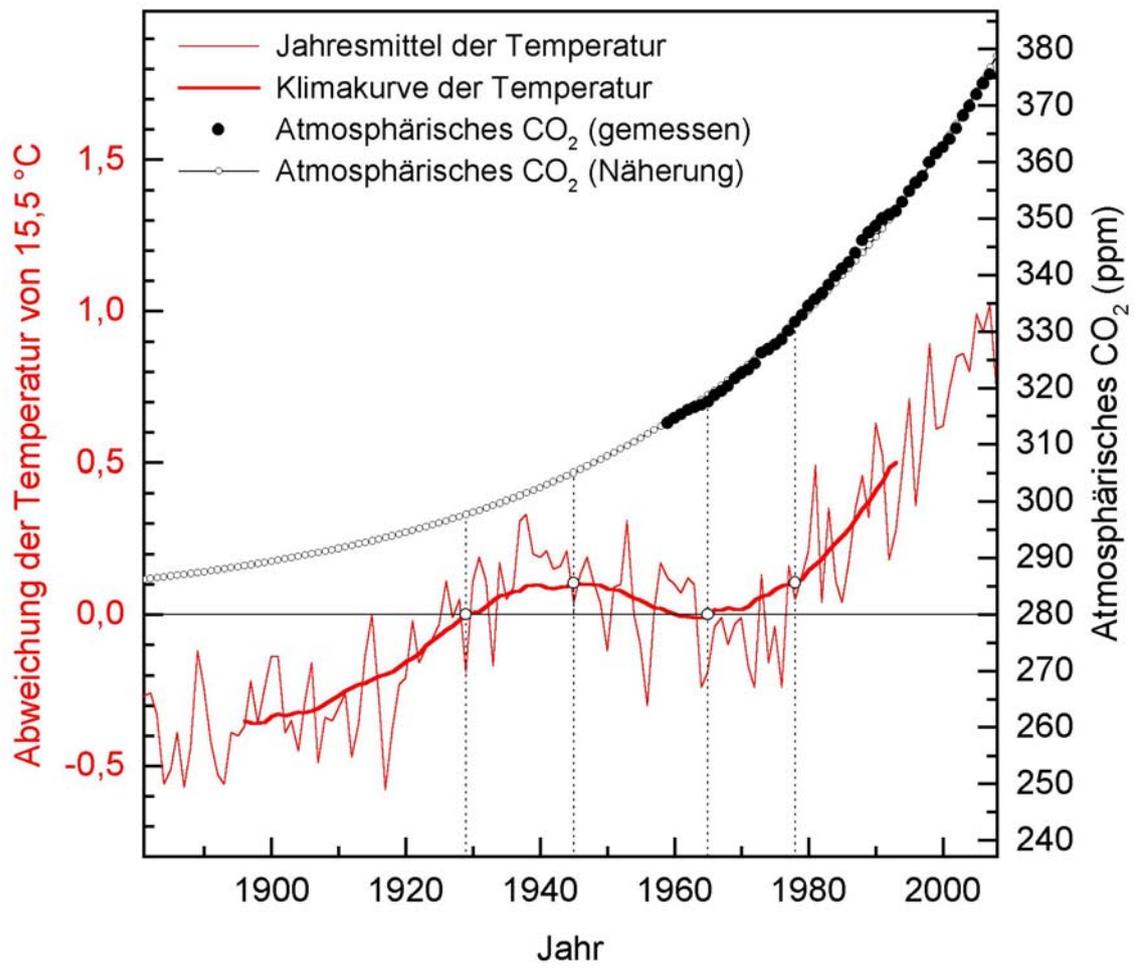


Abbildung 1

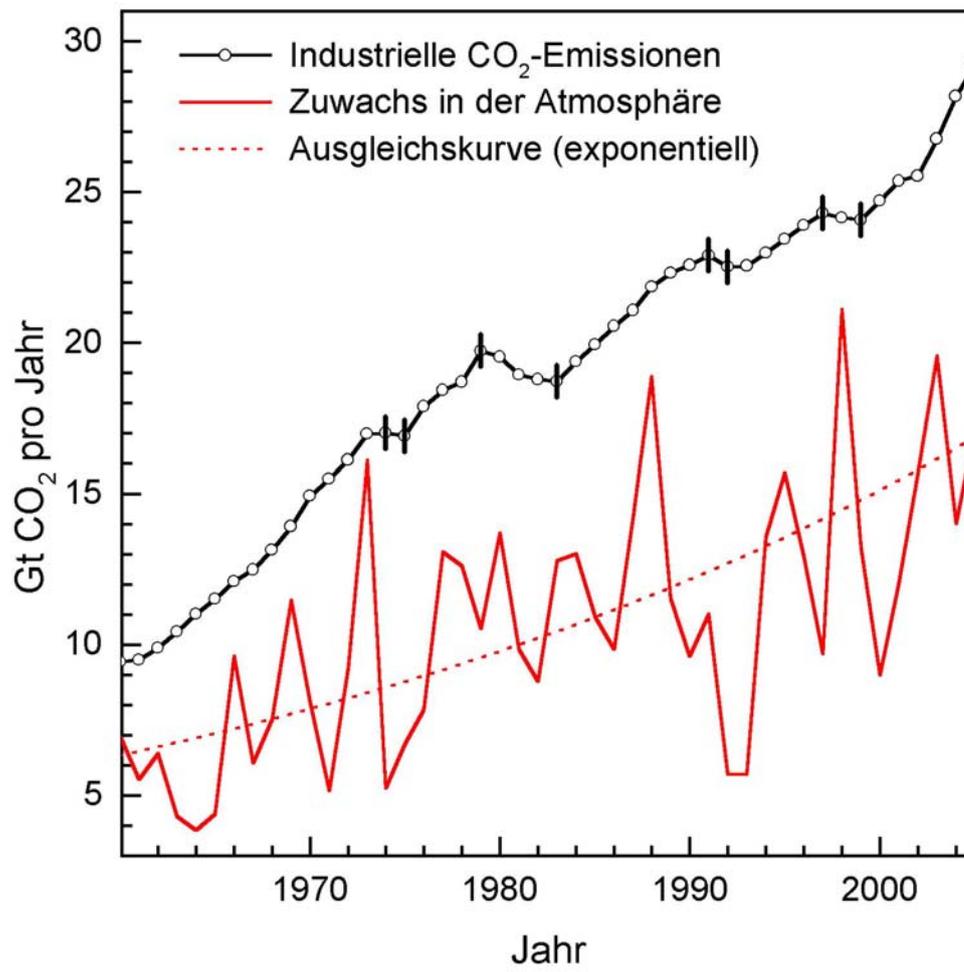


Abbildung 2

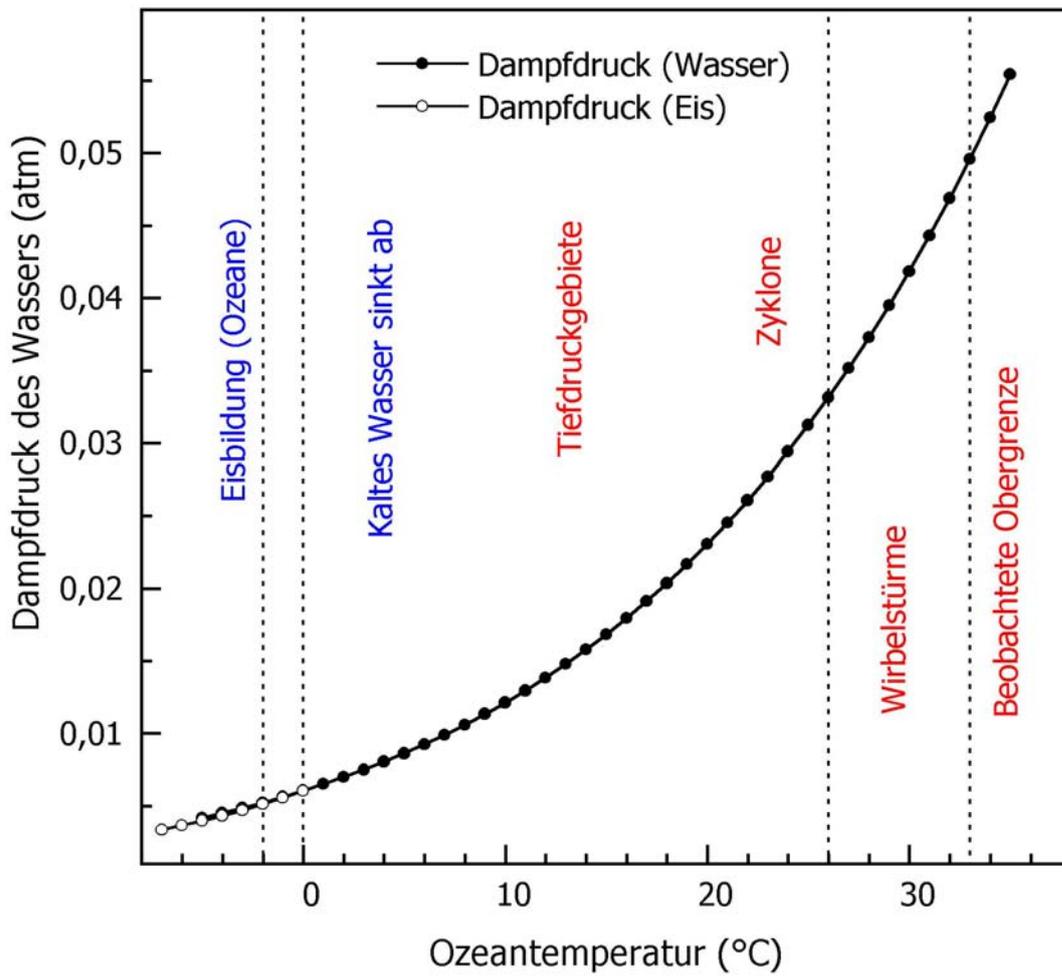


Abbildung 3