

Hermann Harde

# Was trägt $\text{CO}_2$ wirklich zur globalen Erwärmung bei?

Spektroskopische Untersuchungen und Modellrechnungen zum Einfluss von  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{O}_3$  auf unser Klima



Hamburg 2011

Hermann Harde

# Was trägt $\text{CO}_2$ wirklich zur globalen Erwärmung bei?

Spektroskopische Untersuchungen und Modellrechnungen  
zum Einfluss von  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{O}_3$  auf unser Klima

Hamburg 2011

Books on Demand

**Impressum:**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

**Harde, Hermann:**

Was trägt  $CO_2$  wirklich zur globalen Erwärmung bei?

Norderstedt: BoD, 2011

ISBN 978-3-8448-6287-4

Inhalt und Abbildungen dieses Buches sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb des Urheberrechtsgesetzes ohne Zustimmung des Autors ist unzulässig und strafbar.

© 2011 Hermann Harde

Herstellung und Verlag: Books on Demand GmbH, Norderstedt

Prof. Dr. Hermann Harde

1944 in Nordstemmen geboren, Wehrdienst von 1964-1966.

Studium von 1966-1970 mit Schwerpunkt Atom- und Laserphysik an der TU Hannover, danach Wissenschaftlicher Assistent an der Universität Kaiserslautern von 1971-1974 und Promotion zum Dr. rer. nat.

1975 Ruf auf die Professur Lasertechnik und seit 1982 Professor für Lasertechnik und Werkstoffkunde an der Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg.

Arbeitsgebiete:

- Erzeugung und Nachweis ultrakurzer Lichtimpulse
- Ausbreitung ultrakurzer Lichtimpulse in Glasfasern
- Quanteninterferenz-Phänomene bei Atomen und Molekülen
- Entwicklung von Gassensoren für die Umweltmesstechnik
- Oberflächenmikrostrukturierung mit Lasern
- Ferninfrarot-Untersuchungen mit Femtosekunden THz Impulsen
- Ausbreitung von elektromagnetischer Strahlung in der Atmosphäre

## **Vorwort**

Spätestens seit dem Kyoto-Protokoll 1997 ist es über Staats- und Parteigrenzen hinweg der erklärte Wille vieler Politiker, von fossilen Energieträgern abzurücken oder zumindest deren Einsatz stark einzuschränken, um die von Klimawissenschaftlern prognostizierte globale Erwärmung durch Treibhausgase, die vor allem auf menschliche Aktivitäten zurückgeführt wird, zu begrenzen. Gemäß dem Kyoto-Protokoll haben sich die Vertragsstaaten verpflichtet, ihre Emissionen im Zeitraum von 2008-2012 um mindestens 5% unter das Niveau von 1990 zu senken, Deutschland hat sich sogar verpflichtet, die Emissionen in diesem Zeitraum um mindestens 20% zu senken.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde 2005 innerhalb der Europäischen Union der Handel mit Emissionszertifikaten ( $CO_2$ -Zertifikate) eingeführt, durch den der Klimaschutz marktwirtschaftlich umgesetzt werden und dort stattfinden soll, wo er am kostengünstigsten realisiert werden kann. Dabei besteht kein Zweifel, dass hiermit weitere erhebliche Kosten auf Energieversorger und Unternehmen mit hohem  $CO_2$ -Ausstoß zukommen und diese Kosten letztlich von den Endverbrauchern zu tragen sind.

Zudem hat nach den verheerenden Auswirkungen und der Zerstörungen von Kernkraftwerken in Japan durch den Tsunami Anfang 2011 die Bundesregierung kurzfristig zusammen mit den Ländern den Ausstieg aus der Kernenergie bis zum Jahr 2022 beschlossen. Es wird auf regenerative Energien gesetzt, die allerdings ebenso wie die dafür erforderlichen Netze noch nicht annähernd in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen.

In dieser Phase ist eine weitere Reduktion von  $CO_2$ -Emissionen kaum vorstellbar, vielmehr ist von einem

zumindest vorübergehenden weiteren Anstieg auszugehen, der gleichzeitig mit den ausgegebenen Emissionszertifikaten eine neue Einnahmequellen für den Staat bildet, um die immensen Ersatzkosten für die abgeschalteten Kraftwerke ebenso wie die Entwicklungskosten für die erneuerbaren Energien finanzieren zu können.

Ob aber wirklich das  $CO_2$  einen so maßgeblichen Einfluss auf unser Klima hat und für einen so dramatischen Temperatur- und Meeresspiegelanstieg verantwortlich gemacht werden kann, wie vom Weltklimarat vorhergesagt, wird nach wie vor von einer wachsenden Zahl von Wissenschaftlern und einschlägigen Klimaexperten bezweifelt. Dabei wird vielfach nicht infrage gestellt, dass es einen anthropogenen Treibhauseffekt gibt, wohl aber dessen Ausmaße und Einfluss auf unser Klima.

Zweifellos werden Ankündigungen über eine bevorstehende Klimakatastrophe in der Bevölkerung und unter Politikern besonders aufmerksam wahrgenommen, sie lösen gewissermaßen Endzeithysterien aus, wie dies etwa mit den Prognosen zur Bevölkerungsexplosion und den befürchteten Hungerkatastrophen oder dem Waldsterben in den 80er Jahren zu beobachten war. Dies darf aber nicht dazu führen, wissenschaftliche Erkenntnisse, die noch nicht zweifelsfrei abgesichert sind, so zu dramatisieren und überzuinterpretieren, dass sich hieraus ein Glaubenskrieg in unserer Gesellschaft und eine Polarisierung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern mit der Forderung nach Schuld und Sühne entwickelt hat<sup>1</sup>.

In diesem Beitrag kann nicht auf die vielschichtigen Quellen und Senken von Treibhausgasen, ihren Verweilzeiten in der Atmosphäre oder Prognosen einer zukünftigen Klimaentwicklung eingegangen werden. Auch geht es nicht um Fragen, ob die fossilen Vorräte, die dem Menschen noch zur Verfügung stehen, überhaupt für einen Anstieg der

derzeitigen  $CO_2$ -Konzentration auf den doppelten Wert ausreichen würden und in welchem Zeitraum ein solches Szenario denkbar wäre. Vielmehr wird als wichtigstes Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen der Frage nachgegangen, welche globale Erwärmung mit einer hypothetischen Verdopplung der  $CO_2$ -Konzentration verbunden wäre, also der Ermittlung der sogenannten  $CO_2$ -Klimasensitivität. Dieser Wert wird maßgeblich von dem gegenseitigen Einfluss der zwei wichtigsten Treibhausgase  $H_2O$  und  $CO_2$  bestimmt, die sich in weiten Spektralbereichen überlappen und mit steigender Konzentration deutliche Sättigungseffekte zeigen. Dies erfordert umfangreiche spektroskopische Rechnungen, bei denen auf die neusten Daten dieser Gase zurückgegriffen wird.

Der Verfasser dieser Schrift ist kein Klimawissenschaftler, er hat sich nur über viele Jahre mit der Ausbreitung von lang- und kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung in der Atmosphäre beschäftigt. Erst aus dem Bedürfnis nach einem tieferen Verständnis und einer eigenen Einordnung der allseits verbreiteten Meldungen zu einer bevorstehenden Klimakatastrophe, insbesondere aber der großen Spannweite der vom Weltklimarat veröffentlichten Daten zum Temperatur- und Meeresspiegelanstieg sind hieraus eigene Rechnungen zum Absorptionsverhalten der Treibhausgase und zur Klimaempfindlichkeit entstanden.

Das vorliegende Buch wurde verfasst mit der Absicht, einen kleinen Beitrag zur Klärung einiger Grundzusammenhänge und zur weiteren Versachlichung der Klimadiskussion zu leisten. Es wendet sich vor allem an Leser, die sich tiefer für die physikalischen Zusammenhänge des Treibhauseffekts und seinem Einfluss auf unser Klima interessieren. Es wurde deshalb besonderer Wert darauf gelegt, die Vorgehensweise sowohl bei der Berechnung der

Spektren als auch bei der Entwicklung eines eigenen Klimamodells und dessen Vergleich mit anderen Modellrechnungen möglichst transparent zu gestalten.

Hamburg, im Juli 2011  
Hermann Harde

---

<sup>1</sup> siehe z.B.: Forderungen des *Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU)* nach einem Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation.



## Übersicht

Es werden detaillierte spektroskopische Untersuchungen zum Absorptionsvermögen der Treibhausgase Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan und Ozon vorgestellt, die auf den aktuellen Daten der *HITRAN 2008*-Datenbank basieren und darauf ausgerichtet sind, den Einfluss sowie die Wirkung dieser Gase auf unser Klima zu überprüfen und genauer zu quantifizieren. Die Rechnungen sowohl für die Absorption des Sonnenlichts von  $0.1 - 8 \mu\text{m}$  (kurzwellige Strahlung) wie der von der Erde ausgehenden Wärmestrahlung im Bereich von  $3 - 100 \mu\text{m}$  (langwellige Strahlung) zeigen einerseits, dass durch die starke Überlappung der  $\text{CO}_2$ - und  $\text{CH}_4$ -Spektren mit dem Wasser der Einfluss dieser Gase mit wachsender Wasserdampfkonzentration deutlich zurückgedrängt wird und andererseits ein mit wachsender  $\text{CO}_2$ -Konzentration deutliches Sättigungsverhalten auftritt.

Für den Wasserdampf, der in seiner Konzentration sowohl mit der Höhe über dem Erdboden wie mit der Klimazone erheblich variiert, werden für die Tropen, die Gemäßigten Breiten und die Polregionen getrennt Verteilungen angegeben, die auf neueren GPS-Messungen zum Wassergehalt in diesen Regionen basieren und für die Absorptionsrechnungen herangezogen werden. Die vertikale Änderung in Luftfeuchtigkeit und Temperatur, in den Gaspartialdrücken wie im Gesamtdruck wird berücksichtigt, indem die Atmosphäre vom Erdboden bis in  $86 \text{ km}$  Höhe in bis zu 228 Schichten unterteilt und für jede dieser Lagen das Absorptionsspektrum berechnet wird. Der vom Einfallswinkel der Sonnenstrahlung und damit der geographischen Breite abhängige Absorptionsweg durch die Atmosphäre wird dadurch einbezogen, dass die Erde als abgestumpftes Ikosaeder (Bucky Ball) betrachtet wird, das

aus 32 Flächen mit definierten Einfallswinkeln besteht und diese Flächen den drei Klimazonen zugeordnet werden.

Um die aus der Absorption der Gase resultierenden Auswirkungen auf das Klima und insbesondere den Einfluss einer wachsenden  $CO_2$ -Konzentration auf die Erwärmung der Erde erfassen zu können, wird ein Zwei-Lagen-Klimamodell vorgestellt, das die Atmosphäre und die Erde als zwei Schichten beschreibt, die jeweils als Absorber und gleichzeitig als Planck'sche Strahler wirken. Ebenfalls wird ein Wärmeaustausch durch Konvektion und Evapotranspiration zwischen diesen zwei Schichten und horizontal durch Wind- oder Meeresströmungen zwischen den Klimazonen berücksichtigt. Im Gleichgewicht geben dabei die Atmosphäre wie die Erde jeweils so viel Leistung wieder ab, wie sie von der Sonne und der angrenzenden Lage aufgenommen haben. Um insbesondere die atmosphärische Abstrahlung in Richtung Erdoberfläche ebenso wie ins All genau erfassen zu können, die empfindlich das Energiegleichgewicht beeinträchtigt, wird die Strahlausbreitung durch numerisches Lösen der Strahlungstransfergleichung ermittelt.

Mit diesem Modell wird die Temperaturentwicklung der Erde und der Atmosphäre, abhängig von der  $CO_2$ -Konzentration und einer Reihe weiterer Parameter wie der Wolkenabsorption, der kurz- und langwelligen Streuung an Wolken sowie der Reflexion an der Erdoberfläche für jede Klimazone getrennt berechnet. Ebenfalls wird die mit steigender Temperatur anwachsende Wasserdampfkonzentration sowie die vom veränderten Temperaturgefälle in der Atmosphäre beeinflusste atmosphärische Rückstreuung in den Rechnungen berücksichtigt.

Die Simulationen zum Temperaturanstieg der Erde und Atmosphäre zeigen einen mit wachsender  $CO_2$  -

Konzentration deutlich abflachenden Verlauf, der auf die stark gesättigte Absorption der intensiven  $CO_2$  -Banden zurückzuführen ist. Die Klimasensitivität  $C_S$  als Maß, wie weit die Temperatur bei einer Verdopplung der derzeitigen  $CO_2$ -Konzentration weiter ansteigt, ergibt für die Tropen einen Wert von  $C_S = 0.61^\circ C$ , für die Gemäßigten Breiten  $0.59^\circ C$  und für die Polargebiete  $0.87^\circ C$ .

Hieraus resultiert als gewichteter Mittelwert über alle Klimazonen eine globale Klimasensitivität von  $C_S = 0.62^\circ C$  mit einer Unsicherheit von 30%, die vor allem aus der Unkenntnis der Konvektion zwischen Boden und Atmosphäre sowie der atmosphärischen Rückstreuung an Wolken resultiert. Der hier angegebene Wert für die globale Klimasensitivität ist um den Faktor 5 kleiner als der mittlere vom *IPCC* veröffentlichte Wert von  $3.2^\circ C$ .

# Inhaltsübersicht

1. Vorbemerkungen
  - 1.1 Zur Temperaturmessung
  - 1.2 Vermutete Gründe und Ursachen einer globalen Erwärmung
  - 1.3 Motivation und Schwerpunkte dieser Arbeit
2. Absorption in der Atmosphäre
  - 2.1 Sonnenspektrum
  - 2.2 Absorption des Sonnenlichts in der Atmosphäre
    - 2.2.1 Atmosphärische Druck- und Temperaturänderungen
    - 2.2.2 Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre
    - 2.2.3 Absorptionsspektren von  $H_2O$ ,  $CO_2$  und  $CH_4$ 
      - a) Linienzahl
      - b) Spektrale Transmission und Absorption
      - c) Absorption durch  $CO_2$  und  $CH_4$
      - d) Schichtenzahl
      - e) Spektrale Auflösung
      - f) Transmittiertes Spektrum für  $CO_2$  und  $CH_4$
      - g) Spektrum mit  $H_2O$
      - h) Überlappung der Absorptionsbanden
      - i) Sättigungsverhalten von  $CO_2$
      - j) Absorptionsweg in der Atmosphäre
    - 2.2.4 Die Erde als Bucky Ball
  - 2.3 Terrestrische Wärmestrahlung
    - 2.3.1 Treibhauseffekt

- 2.3.2 Die Erde als Planck'scher Strahler
- 2.3.3 Berechnung der Absorptionsspektren
  - a) Absorption durch  $CO_2$  und  $CH_4$
  - b) Absorption unter Berücksichtigung des Wasserdampfes
  - c) Absorption durch  $O_3$
  - d) Spektrale Überlappung und Sättigung
- 2.4 Zusammenstellung der Ergebnisse
  - 2.4.1 Tropengebiete
  - 2.4.2 Gemäßigte Breiten
  - 2.4.3 Polargebiete
  - 2.4.4 Änderung der Absorption mit der Bodentemperatur
- 3. Strahlungstransfer in der Atmosphäre
  - 3.1 Vorbemerkungen
  - 3.2 Strahlungstransfer-Gleichung
- 4. Zwei-Lagen-Klimamodell
- 5. Einfluss von Kohlenstoffdioxid auf das Klima
  - 5.1 Simulation für Tropengebiete
  - 5.2 Simulation für Gemäßigte Breiten
  - 5.3 Simulation für Polargebiete
  - 5.4 Globale Erwärmung und Strahlungsbilanz
  - 5.5 Bewertung der Ergebnisse
    - 5.5.1 Spektralrechnungen
    - 5.5.2 Wasserdampfverteilung
    - 5.5.3 Aufteilung der Klimazonen
    - 5.5.4 Strahlungstransfer in der Atmosphäre
    - 5.5.5 Klimamodell
- 6. Vergleich zu anderen Klimamodellen