

Der Treibhauseffekt existiert doch!

(aktualisiert)

Kommentierung der autorisierten Übersetzung des Papers:

Falsification Of
The Atmospheric CO₂ Greenhouse Effects
Within The Frame Of Physics

auf deutsch:

Falsifizierung der atmosphärischen CO₂-Treibhauseffekte
im Rahmen der Physik

Dipl.-Physiker Jochen Ebel

14. April 2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Fehlerbeseitigung	5
Warum?	5
Kurzfassung des Treibhauseffektes	6
Philosophisches	6

Kurzfassung	9
Vorbemerkung	10
Wortwahl	10
Weiteres	10
0 Der Schlüssel zum Verständnis	12
Titelseite der autorisierten Übersetzung	17
Zusammenfassung	18
1 Einführung	18
1.1 Problemhintergrund	18
1.2 Die Treibhauseffekt-Hypothese	21
1.3 Diese Arbeit	27
2 Der Erwärmungsmechanismus in realen Treibhäusern	29
2.1 Grundlagen der klassischen Strahlungstheorie	29
2.1.1 Einführung	29
2.1.2 Die infinitesimale spezifische Intensität	30
2.1.3 Integration	31
2.1.4 Das Stefan-Boltzmann-Gesetz	33
2.1.5 Schlussfolgerung	34
2.2 Die Sonne als ein schwarzer Strahler	35
2.3 Die Strahlung an einem sehr schönen Tag	35
2.3.1 Das Phänomen	35
2.3.2 Der Sonnenschein	37
2.3.3 Die Strahlung des Bodens	38
2.3.4 Sonnenschein versus Bodenstrahlung	40
2.3.5 Schlussfolgerung	41
2.4 Experimente für den schulischen Unterricht	42
2.5 Das Experiment von Wood	45
2.5.0 Erklärung der Beobachtungen	45
2.5.1 Text von Wood [1909]	46
2.6 Zusammenfassung der Physik des Glashauses	49
3 Die fiktiven atmosphärischen Treibhauseffekte	49
3.1 Definition des Problems	49
3.1.1 Zur Analogie Treibhauseffekt Glashauses ./ . Atmosphäre	50
3.2 Wissenschaftlicher Irrtum versus wissenschaftlicher Betrug	50
3.3 Unterschiedliche Versionen der Vermutungen vom atmosphärischen Treibhaus	53
3.3.1 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Möller (1973)	53
3.3.2 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Meyer's Enzyklopädischem Lexikon (1974)	54
3.3.3 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Schönwiese und Diekmann (1987)	54
3.3.4 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Stichel (1995)	55
3.3.5 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Anonymous 1 (1995)	55
3.3.6 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Anonymous 2 (1995)	56
3.3.7 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Anonymous 3 (1995)	56

3.3.8	Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Deutsche Meteorologische Gesellschaft (1995)	56
3.3.9	Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Graßl (1996)	57
3.3.10	Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Ahrens (2001)	58
3.3.11	Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Dictionary of Geophysics, Astrophysics, and Astronomy (2001)	58
3.3.12	Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Encyclopaedia of Astronomy and Astrophysics (2001)	59
3.3.13	Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Encyclopaedia Britannica Online (2007)	59
3.3.14	Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Rahmstorf (2007)	60
3.3.15	Schlussfolgerung	60
3.4	Die Schlussfolgerung des US Department of Energy	61
3.5	Absorption/Emission ist nicht Reflektion	62
3.5.1	Eine unbequeme Popularisierung von Physik	62
3.5.2	Reflektion	63
3.5.3	Absorption und Emission	64
3.5.4	Re-Emission	65
3.5.5	Zwei Zugänge zum Strahlungstransport	66
3.5.6	Die Temperaturabhängigkeit der Spektrallinien	68
3.6	Die Hypothesen von Fourier, Tyndall und Arrhenius	70
3.6.1	Die überlieferten Arbeiten	70
	Der »vergessene« Absatz aus Fourier	72
	Weiter im Text von G&T	73
3.6.2	Moderne Arbeiten der Klimatologie	77
3.7	Die Annahme eines Strahlungsgleichgewichts	78
3.7.1	Einführung	78
3.7.2	Eine Bemerkung über »Strahlungsbilanz-Diagramme«	79
3.7.3	Der Fall einer idealisierten Strahlungsbilanz	81
3.7.4	Die Durchschnittstemperatur eines nichtrotierendem bestrahlten Globus	83
	Zusammenhang der Mittelwerte	86
3.7.5	Die angebliche Nicht-Existenz des natürlichen Treibhauseffekts	88
3.7.6	Ein numerisches Beispiel	89
3.7.7	Die Nicht-Existenz einer globalen Temperatur	90
3.7.8	Der rotierende Globus	91
3.7.9	Der rotierende Globus mit geneigter Drehachse	92
3.7.10	Die strahlende Masse	93
3.7.11	Das umfassende Werk von Schack	95
3.7.12	Die Abkühlung einer Kugel	97
3.7.13	Abkühlung einer ebenen Oberfläche mit Gegenstrahlung	100
3.7.14	Grasfrost	103
3.7.15	Die Abkühlung einer kleinen strahlenden Gaskugel	105
3.8	Wärmeleitung versus Strahlungstransfer	107
3.8.1	Die Wärmeleitungsgleichung	107
3.8.2	Wärmeleitung durch und in der Nähe von Grenzflächen	111
3.8.3	In der Küche: Physik-besessene Hausfrau versus IPCC	111
3.9	Die Gesetze der Thermodynamik	112
3.9.0	Die Existenz der Gegenstrahlung	112
3.9.1	Einführung	114

3.9.2	Diagramme	115
3.9.3	Ein Paradoxon	115
3.9.4	Eine mögliche Auflösung des Paradoxon	119
4	Die physikalischen Grundlagen der Klimawissenschaften	119
4.1	Einführung	119
4.2	Die Erhaltungssätze der Magnetohydrodynamik	121
4.2.1	Übersicht	121
4.2.2	Erhaltung der elektrischen Ladung	123
4.2.3	Erhaltung der Masse	123
4.2.4	Die Maxwell-Gleichungen	123
4.2.5	Das Ohmsche Gesetz für bewegte Medien	123
4.2.6	Die Gleichungen für die Impulsbilanz	124
4.2.7	Die Gleichungen für die Gesamtenergiebilanz	124
4.2.8	Der Poyntingsche Satz	124
4.2.9	Die Konsequenzen der Erhaltungssätze	124
4.2.10	Die verallgemeinerte Wärmeleitungsgleichung	125
4.2.11	Diskussion	125
4.3	Wissenschaft und die Modellierung des Globalklimas	127
4.3.1	Wissenschaft und das Demarkationsproblem	127
4.3.2	Bewertung der Klimatologie und der Klimamodellierung	129
4.3.3	Schlussfolgerung	131
4.4	Pyrgeometer und Gegenstrahlung, Treibhauseffekt	132
4.4.1	Das Pyrgeometer und die Gegenstrahlung	132
4.4.2	Der zweite Hauptsatz und die Entropie	134
4.4.3	Einstein und die Strahlungstransportgleichung	135
4.4.4	Die Stärke der Gegenstrahlung	136
4.4.5	Die Tropopause	138
4.5	eMails von G&T	138
4.5.1	Kommentierung der eMails von G&T	140
4.5.2	Emissionsrichtung und Wellenlängenverschiebung	142
5	Resümee des Physikers, der nur seine Unkenntnis zeigt	143
5.1	Die wesentlichen Punkte	143
5.2	Zusammenfassung	147
6	Zu dieser deutschen Übersetzung	147
7	Dankeswort	147
7.1	Kommentar zu Personen	148
8	In stillem Gedenken	149
9	Verzeichnisse	150
	Abbildungsverzeichnis	150
	Tabellenverzeichnis	150
	Referenzen	151

Fehlerbeseitigung

In Gleichung (§1 auf Seite 84) wurde am 14. April 2021 auf der linken Seite der fälschliche Exponent beseitigt.

Verweise von Nummern auf Autor/Jahr umgestellt.

Warum?

Es gibt einige Menschen, die den Treibhauseffekt selbst oder eine Änderung des Treibhauseffektes bei Änderung der CO₂-Konzentration bestreiten. Diese Menschen betrachten das Propaganda-Paper von Gerlich und Tscheuschner [2009] (im Folgendem mit G&T abgekürzt) als wissenschaftliche Bestätigung ihrer Vorurteile, da ja beide Physiker sind und einer sogar Universitätsprofessor. Wenn man diesen Menschen sagt, daß das Propaganda-Paper ohne wissenschaftlichen Wert ist, werden die Meisten von diesen sich von dieser Aussage nicht überzeugen lassen. Deshalb muß der Unsinn an jedem einzelnen Punkt im Propaganda-Paper nachgewiesen werden. Dieser Nachweis ist auch dadurch erschwert, daß G&T Richtiges, Falsches und Fehlendes bunt durcheinander würfeln, Wichtiges so platzieren, daß es nicht als Wichtiges erkannt wird usw. Werden diese Tatsachen angesprochen, versuchen G&T sich damit herauszureden, daß die Zitate aus dem Zusammenhang gerissen wurden, falsch interpretiert werden usw. Deshalb muß das ganze Paper unverändert zitiert werden und die Kommentare an der richtigen Stelle eingefügt werden, dadurch entfallen für G&T die Möglichkeiten zu behaupten gebrachte kurze Zitate seien aus dem Zusammenhang gerissen, falsch interpretiert usw. Wie richtig dieses Vorgehen ist, zeigen wütende Kommentare zu diesem Vorgehen.

Obwohl das Propaganda-Paper schon wiederholt mehr als kritisiert wurde (z.B. Halpern u. a. [2010]) nehmen G&T das kaum zur Kenntnis - in Gerlich und Tscheuschner [2010] wird zwar an einigen Stellen etwas zurück gerudert, aber dafür neuer Unsinn gebracht. Für das Übergehen anderer Kritik diente als Vorwand, daß die Kritik eine nicht autorisierte Übersetzung verwendete.

Inzwischen ist 2015 eine Übersetzung ins Deutsche von Gerlich und Tscheuschner [2009] autorisiert auf der Homepage des einen Autors veröffentlicht. Jeder Leser kann sich durch einen Vergleich mit der schon lange im Netz stehenden Fassung ein Urteil über die Güte der Übersetzungen machen. In der autorisierten Übersetzung gibt es Stellen, die geschickter übersetzt sind, aber sehr viele andere Stellen, wo das Gegenteil der Fall ist. Neben vielen Rechtschreibfehlern¹⁾ und anderen entstand beim Autor der Eindruck, daß der Übersetzer wenig von der Materie verstanden hat, bzw. das das Korrekturlesen mangelhaft war.

Die Kritik aus dem früheren Paper konnte fast 1:1 übernommen werden, wurde aber durch Erfahrungen in Diskussionen erweitert. Die Referenzen wurden von "Numerierung" auf "Autor, Jahr" umgestellt. Dabei wurden einige Sätze etwas umgestellt, damit Doppelungen des Autornamens vermieden werden. Auch viele historische Arbeiten zur Erkenntnis des Treibhauseffektes sind inzwischen übersetzt und kommentiert in <http://www.ing-buero-ebel.de/Treib/Schriften.htm>.

¹⁾Ein Teil der Fehler wurde korrigiert und zur Unterscheidung vom autorisierten Originaltext teilweise geschlängelt unterstrichen.

Oft wiederholte Taktiken zum Verwirren (?) des Leser geschieht z.B. dadurch, das Sachverhalte, die für einen Teilaspekt zutreffen, so dargestellt werden, daß beim Leser der Eindruck entstehen muß, daß Fachleute den engen Umfang nicht kennen und deshalb widerlegt werden müssen oder wichtige Zusammenhänge einfach weggelassen werden und dieses Weglassen anderen anzukreiden. Durch die Art dieser und anderer Vernebelungstaktiken gelingt es den Autoren oft, sich herausreden, wenn sie mit ihren Verdrehungen konfrontiert werden: Der Leser hätte nur nicht verstanden, was sie geschrieben hätten.

Kurzfassung des Treibhauseffektes

Philosophisches

Den Erscheinungen in der Natur liegen keine Zaubereien zugrunde. Die Menschheit (und insbesondere die Wissenschaft) bemüht sich die zugrunde liegenden Naturgesetze zu erkennen und hat dabei große Erfolge erreicht. Wenn zwischen der scheinbaren Anwendung dieses Wissens und den Beobachtungen Widersprüche auftreten, kann das verschiedene Ursachen haben:

- Die Naturgesetze sind noch nicht ausreichend erforscht
- Die Naturgesetze werden aus mangelnder Kenntnis falsch angewandt
- Die Naturgesetze werden fahrlässig falsch angewandt
- Die Naturgesetze werden bewußt falsch benutzt
- usw.

Hier ist Bild 32 auf Seite 117 ein Beispiel (das besser als »Gegenbeispiel« zu nennen ist). In dem Bild ist die Strahlung aus der Atmosphäre zur Oberfläche dargestellt, aber die viel stärkere Strahlung von der Oberfläche zur Atmosphäre »vergessen«. Trotzdem schreiben G&T in Gerlich und Tschuschner [2010]:

Wir haben niemals behauptet - angeblich mit Bezug auf Clausius -, dass ein kalter Körper nicht Strahlung zu einem wärmeren sendet. Im Gegenteil, wir zitieren sogar eine Arbeit, in der Clausius den Strahlungsaustausch behandelt [Clausius 1887b], Clausius [1887a].

Und was steht in [Clausius, 1887b, S. 315]? Ich halte es für eine Zumutung eine Seite 315 in über 200 Referenzen zu finden - in der das Gegenteil von dem steht, was sonst in dem gesamten Paper steht. Ich kann das nur als Vorbereitung eines Alibis sehen. Das Zitat lautet (siehe Diagramm -5 auf der nächsten Seite und Diagramm -4 auf Seite 8):

Was ferner die in gewöhnlicher Weise stattfindende Wärmestrahlung anbetrifft, so ist es freilich bekannt, dass nicht nur der warme Körper dem kalten, sondern auch umgekehrt der kalte Körper dem warmen Wärme zustrahlt, aber das Gesamtergebnis dieses gleichzeitig stattfindenden doppelten Wärmeaustausches besteht, wie man als erfahrungsmässig feststehend ansehen kann, immer darin, dass der kältere Körper auf Kosten des wärmeren einen Zuwachs an Wärme erfährt.

Auf Kosten heißt, daß sich der wärmere Körper abkühlt, wenn diese »Kosten« nicht irgendwie ersetzt werden. Aber hier werden diese »Kosten« durch die Sonne ersetzt, so daß sich die Erde nicht abkühlt. Aber auch der kältere Körper (Atmosphäre) wird nicht wärmer, weil die zugeführte Wärme in den Weltraum abgestrahlt wird.

processes geschehen haben), Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übertragen werden; unser Satz soll aber ausdrücken, dass dann gleichzeitig mit diesem Wärmeübergange aus dem kälteren in den wärmeren Körper entweder ein entgegengesetzter Wärmeübergang aus einem wärmeren in einen kälteren Körper stattfinden oder irgend eine sonstige Veränderung eintreten muss, welche die Eigenthümlichkeit hat, dass sie nicht rückgängig werden kann, ohne ihrerseits, sei es unmittelbar oder mittelbar, einen solchen entgegengesetzten Wärmeübergang zu veranlassen. **Dieser gleichzeitig stattfindende entgegengesetzte Wärmeübergang oder die sonstige Veränderung, welche einen entgegengesetzten Wärmeübergang zur Folge hat, ist dann als Compensation jenes Wärmeüberganges von dem kälteren zum wärmeren Körper zu betrachten**, und unter Anwendung dieses Begriffes kann man die Worte „von selbst“ durch die Worte „ohne Compensation“ ersetzen, und den obigen Satz so aussprechen:

Ein Wärmeübergang aus einem kälteren in einen wärmeren Körper kann nicht ohne Compensation stattfinden.

Dieser von mir als Grundsatz hingestellte Satz hat viele Anfechtungen erfahren, und ich habe ihn daher zu wiederholten Malen vertheidigen müssen, wobei ich immer nachweisen konnte, dass die Einwände nur dadurch veranlasst waren, dass die Erscheinungen, in welchen man einen uncompensirten Wärmeübergang aus einem kälteren in einen wärmeren Körper zu finden geglaubt hatte, unrichtig aufgefasst waren. Es würde aber an dieser Stelle den Gang unserer Betrachtungen zu sehr unterbrechen, wenn ich die Einwände und ihre Widerlegungen hier mittheilen wollte. Ich will daher bei den hier folgenden Auseinandersetzungen den Satz, welcher gegenwärtig, wie ich glaube, von den meisten Physikern als richtig anerkannt wird, einfach als einen Grundsatz in Anwendung bringen, so wie ich es in meinen Abhandlungen gethan habe, und behalte mir vor, weiter unten auf die über ihn geführten Discussionen noch etwas näher einzugehen.

§. 6. Beweis, dass das Verhältniss zwischen der in Arbeit verwandelten Wärme und der übergegangenen Wärme von der Natur des vermittelnden Stoffes unabhängig ist.

Unter Annahme des vorstehenden Grundsatzes lässt sich beweisen, dass zwischen der Wärmemenge Q , welche in einem Kreis-

ABSCHNITT XII.

Die Concentration von Wärme- und Lichtstrahlen und die Grenzen ihrer Wirkung.

§. 1. Gegenstand der Untersuchung.

Der von mir zum Beweise des zweiten Hauptsatzes aufgestellte Grundsatz, *dass die Wärme nicht von selbst (oder ohne Compensation) aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann*, entspricht in einigen besonders einfachen Fällen des Wärmeaustausches der alltäglichen Erfahrung. Dahin gehört erstens die Wärmeleitung, welche immer in dem Sinne vor sich geht, dass die Wärme vom wärmeren Körper oder Körpertheile zum kälteren Körper oder Körpertheile strömt. Was ferner die in gewöhnlicher Weise stattfindende Wärmestrahlung anbetrifft, so ist es freilich bekannt, dass nicht nur der warme Körper dem kalten, sondern auch umgekehrt der kalte Körper dem warmen Wärme zustrahlt, aber das Gesamtergebn dieses gleichzeitig stattfindenden doppelten Wärmeaustausches besteht, wie man als erfahrungsmässig feststehend ansehen kann, immer darin, dass der kältere Körper auf Kosten des wärmeren einen Zuwachs an Wärme erfährt.

Es können aber bei der Strahlung besondere Umstände stattfinden, welche bewirken, dass die Strahlen nicht geradlinig fortschreiten, sondern ihre Richtungen ändern, und diese Richtungsänderung kann in der Weise geschehen, dass die sämtlichen Strahlen eines ganzen Strahlenbündels von endlichem Querschnitte in Einem Punkte zusammentreffen, und hier ihre Wirkung ver-

Kurzfassung

Entsprechend dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik erfordert ein Netto-Wärmestrom eine entsprechende Temperaturdifferenz - und dies erfüllt die Wärmestromkette beim Treibhauseffekt:

Die Wärmestromkette von der Sonne zum Weltraum

	von	ca.	zu	ca.
1.	der Sonne	6000 K	der Erde	288 K
2.	der Erde	288 K	der Atmosphäre	240 K
3.	der Atmosphäre	240 K	dem Weltraum	3 K

In jedem Fall (hier Fall 1. bis 3.) setzt sich jeder Gesamtwärmestrom aus einem stärkeren Wärmestrom in Richtung des Temperaturgefälles und einem kleineren Wärmestrom entgegengesetzt zum Temperaturgefälle zusammen - entsprechend der Aussage von Clausius (1887)²⁾. Dieser entgegengesetzte Wärmestrom wird oft »Gegenstrahlung« genannt.

Im Zusammenhang mit der Gegenstrahlung werden von einigen komischerweise irgendwelche Widersprüche gesehen. Bei 1. und 3. ist die Gegenstrahlung relativ klein, weil das Temperaturverhältnis sehr groß ist. Die Abstrahlung von der Erde, die ja unzweifelhaft existiert, ist ja bezüglich der Solarstrahlung eine Gegenstrahlung. Bemerkenswert (allerdings nur für Manche) ist die Gegenstrahlung aus dem Weltraum - kosmische Hintergrundstrahlung genannt, mit einer Temperatur um 3 K. Bemerkenswert für die andern ist, daß diese Gegenstrahlung (kosmische Hintergrundstrahlung) mit Meßgeräten gemessen wird, die praktisch alle wärmer sind als diese Gegenstrahlung (Hintergrundstrahlung). Je nach Richtung der Antenne dieses Meßgerätes werden verschiedene Temperaturen gemessen (es liegen also tatsächlich Meßwerte vor), die alle kleiner als die Meßgerätemperatur sind - sogar wenn die Meßgeräte zur Erhöhung der Empfindlichkeit teilweise gekühlt werden.

Einfach unverständlich ist, daß Einige Schwierigkeiten mit der Gegenstrahlung bei 2. haben. Der Sonderfall gegenüber 1. und 3. ist, daß wegen des relativ geringen Temperaturverhältnisses die Gegenstrahlung (Richtung entgegen dem Temperaturgefälle) nur mäßig kleiner als die Strahlung in Richtung des Temperaturgefälles ist. Unverständlich für einen Fachmann ist, daß die Unterschiede in der relativen Größe der Gegenstrahlung für einige Anlaß sind, die Gegenstrahlung bei 2. zu bestreiten.

Wenn die Gesamtwärmestrahlung (Nettostrahlung) vorgegeben ist (hier z.B. durch die absorbierte Solarstrahlung) muß die Strahlung in Richtung des Temperaturgefälles (und damit die Temperatur) steigen, wenn sich die Gegenstrahlung erhöht.

²⁾Die Aussage der Wärmeströme, die gegeneinander laufen, wurde später (1900) von Planck mit dem Photonenbild vollinhaltlich bestätigt. Photonen als Einzelteilchen haben keine Temperatur, aber Energie (bzw. sie transportieren Energie). Erst ein Vielteilchensystem hat eine Temperatur.

Vorbemerkung

Wortwahl

G&T legen angeblich großen Wert auf Genauigkeit. Bei einigen Gleichungen wurden die Einheiten teilweise weggelassen, wodurch diese unvollständigen Gleichungen falsch werden.

Ein Teil des englischen Textes wurde bei der Übersetzung weggelassen.

Einige Wortwahlen in der Übersetzung lassen tief blicken:

englisches Wort	übliche Übersetzung	autorisierte Übersetzung
radiative forcing	Strahlungstrieb	Strahlungserzwingung
globus	Erdball	Globus
scientist		Wissenschaftler
climatologist	Klimatologe	

Weiteres

Die Autoren von »Falsification³⁾ Of The Atmospheric CO₂ Greenhouse Effects Within The Frame Of Physics« (Prof. Gerhard Gerlich und Dr. Ralf D. Tscheuschner) fordern zur Diskussion über ihre Thesen auf. Bei einer ausführlichen Diskussion muß deutlich sein, was diskutiert wird. Dazu sind die entsprechenden Originaltexte zusammenzufassen und/oder zu zitieren. Bei den vielen notwendigen und umfangreichen Zitaten erscheint mir eine vollständige Zitierung für den Leser am Einfachsten. Dieser Vorteil dürfte wahrscheinlich auch der Grund sein, daß nach §51 des deutschen Urheberrechts diese vollständige Zitierung zulässig ist (<http://dejure.org/gesetze/UrhG/51.html>). Die Zitate sind auch deshalb so umfangreich notwendig, weil Prof. Gerlich in eMails an den Autor dieses Papers fordert: » *Wenn Sie etwas „widerlegen“, sollten Sie die entsprechenden Stellen vollständig und für den Leser verständlich (nachvollziehbar) zitieren.*« bzw. »...unterlassen Sie endlich falsche Zusammenfassungen meiner Texte.«

Damit solche Vermutungen möglichst keine Grundlage haben, wird das Paper von Gerlich und Tscheuschner vollständig auf deutsch zitiert. Die Paper stehen uneingeschränkt im Internet⁴⁾. Die übersetzten Zitate des alten Papers beruhen weitgehend auf Version 2.0⁵⁾⁶⁾. Damit die Vergleiche der Zitate mit dem englischen Originaltext bzw. der autorisierten Übersetzung leicht möglich ist, wurden Kapitelnummern, Gleichungsnummern und Bildnummern unverändert gelassen. Die Seitennr. und Fußnotenr. sind andere. Dieses Ne-

³⁾„falsification“ im Paper von G&T kann im Deutschen mehrere Bedeutungen haben: Fälschung, Verfälschung, Widerlegung

⁴⁾alt: http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0707/0707.1161v4.pdf

⁵⁾Das vorliegende Paper verwendet die autorisierte Übersetzung von Gerlich und Tscheuschner [2009].

⁶⁾Der Hauptteil sind deutsche Leser und es soll ja für den deutschen Leser verständlich sein.

beneinander von originalsprachigem Zitat und Übersetzung⁷⁾ haben das Paper von G&T auch in ihrer Arbeit gemacht.

Mit der Kommentierung beteiligt sich der Autor auch an Diskussion zum Treibhauseffekt. Z.B. in Blogs. Der früher verwendete Blog (<http://atmoz.org/blog/2007/07/10/falsification-of-the-atmospheric-co2-greenhouse-effects/>) ist nicht mehr aktuell. In der damaligen Diskussion waren schon einige der hier aufgeführten Ausführungen enthalten.

Zum Layout: Mein Paper ist zur leichteren Unterscheidung in blau, der zitierte Text ist in schwarz (berichtigte Schreibfehler sind auch in blau). »Autor« betrifft den Autor dieses Papers, das Paper von G&T erklärt den Betreff automatisch. Daß das vorliegende Layout und das Layout des Papers von G&T ähnlich ist, liegt evtl. daran, daß wahrscheinlich G&T das Paper auch mit Latex geschrieben haben.

Die Anmerkungen (a) bis (f) im Abstract des Papers von G&T (S. 18) sind teilweise berechtigt - aber statt richtiger Formulierungen wurde »Das Kind mit dem Bade ausgeschüttet«, d.h. der Treibhauseffekt existiert und ist physikalisch einwandfrei zu begründen. Z.B. fehlt in der umfangreichen Literatur die Arbeit von Albert Einstein [1916 bzw. 1917], wo er sich mit der Strahlung bei Gasen beschäftigt. Schon diese Arbeit von Einstein erklärt den Treibhauseffekt. Siehe Kapitel 4.1 auf Seite 120.

Mit Einstein ist auch die Mikrobegründung der Wechselwirkung zwischen der Strahlung und den Molekülen der Treibhausgase gegeben, die das Paper von G&T in ihrem Kapitel 1.2 auf Seite 21 fordern (Absatz nach Gleichung β auf Seite 23)) und das wird im Kapitel 4.4.3 auf Seite 135 begründet.

Desweiteren werden Vernachlässigungen genannt, die nicht explizit erwähnt werden, aber wesentlich sind.

Wesentlich für das Verständnis des Treibhauseffektes ist auch das Verständnis des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Siehe Kapitel 4.4.2 auf Seite 134, der zeigt, daß der Treibhauseffekt den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik nicht verletzt – im Gegenteil: mit dem Bestreiten des Treibhauseffektes wird implizit eine Verletzung des zweiten Hauptsatz der Thermodynamik unterstellt: Die Nichtexistenz des Treibhauseffektes würde die Entstehung spontaner Temperaturabweichungen bei isothermen Verhältnissen zur Folge haben.

Insbesondere können ohne Treibhauseffekt wesentliche Erscheinungen des Temperaturverlaufs in der Atmosphäre als Funktion der Höhe nicht beschrieben werden: z.B. die Existenz der Tropopause oberhalb derer ein fast isothermer Temperaturverlauf vorliegt und unterhalb derer ein fast adiabatischer Temperaturverlauf vorliegt. Siehe Texte in den Kapitel 3.3.4 auf Seite 55 und Kapitel 4.4 auf Seite 132.

Ich hoffe, daß mein Paper eine wissenschaftliche Diskussion auslöst und nicht das, was das Paper von G&T bei anderen bemängeln. Zitat von Seite 131:

... mit aufreizenden Behauptungen, persönlichen Attacken und Angriffen gegen das Paper von G&T, die das offenbar als Teil ihres »wissenschaftlichen« Arbeitsablaufs betrachten.

Aber es scheint leider doch anders abzulaufen – Fehler wurden mir bis zum 14. April 2021 nicht mitgeteilt, dagegen war für Polemik Zeit:

Schon die jeglicher guter Sitte widersprechende Art, den Kommentar zu einer wissenschaftlichen Arbeit in der Weise zu schreiben, dass man sich in das fremde

⁷⁾Falls Übersetzungsfehler vorhanden sind (oder auch andere Fehler) bitte ich um eine eMail, ich werde die Fehler umgehend berichtigen. Bei Fällen, wo die Übersetzung nicht eindeutig sein kann, bitte ich das Paper von G&T um eine eindeutige Formulierung.

Layout einklinkt, ist anmassend, unseriös und ohne Beispiel in der wissenschaftlichen Diskussion.

Wie denn nun? Fasse ich zusammen, dann fasse ich angeblich falsch zusammen usw., zitiere ich ausführlich, dann widerspricht es angeblich guter Sitte - und beide Male wird nicht fachlich, sondern polemisch geantwortet. Das betrachte ich als Ausrede um nicht fachlich zu antworten.

Ergänzung in der vorliegenden Fassung: Die Kommentierung ihres Papers veranlaßte G&T eMails zu schreiben, die in Kapitel 4.5 auf Seite 138 auszugsweise zitiert sind und im Kapitel 4.5.1 auf Seite 140 kommentiert werden.

0 Der Schlüssel zum Verständnis

Daß die Treibhausgase IR-Strahlung absorbieren, wird höchst selten bestritten – auch von Gerlich und Tschuschner nicht⁸⁾. Aber ein Körper, der absorbiert, muß zwangsläufig auch emittieren (siehe Kapitel 3.7.11 auf Seite 95 und Schwarzschild [1906]). Diese Tatsachen haben eine Zweiteilung der Atmosphäre zur Folge (siehe Bild -3 auf der nächsten Seite und Schwarzschild [1906]). Der Autor hält diese Form der Darstellung im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt für zweckmäßig, weil nach oben der Druck abnimmt, gleiche Molekülmengen gleiche Druckunterschiede zur Folge haben und die Treibhauseffekte von den Molekülmengen abhängen. Ein scheinbarer Nachteil dieser Darstellung ist, daß der höhenlineare Temperaturverlauf in der Troposphäre nicht drucklinear ist. Allerdings ist dadurch zu sehen, daß bei gleichen Druckdifferenzen die Temperaturdifferenzen immer kleiner werden, je weiter man nach unten kommt. Diese Abnahme hat einen immer geringer werdenden Strahlungstransport zur Folge - da der Gesamtwärmetransport aber gleich bleibt, muß der konvektive Wärmetransport zunehmen - siehe roter Bereich in Bild -2 auf Seite 15.

Im Bild ist auch die Zweiteilung der Atmosphäre zu sehen, der Übergang ist dort, wo die Adiabate verlassen wird. Diese Schichtengrenze wird als Tropopause bezeichnet. Die beiden Schichten sind folgendermaßen zu charakterisieren:

- unten die Troposphäre, in der Vertikalzirkulation herrscht, und in der der Temperaturgradient durch die Zirkulation und nicht durch die Strahlungsbilanz bestimmt wird und
- oben die Stratosphäre, in der der Temperaturverlauf durch die Strahlungsbilanz (im Durchschnitt absorbierte Strahlungsenergie = emittierte Strahlungsenergie) bestimmt wird.

Dazu ein Zitat [Anonym, 2005, Folie 4]:

Im Gegensatz zur Troposphäre, in der der Wärmeaustausch hauptsächlich durch Konvektion stattfindet, wird die Temperatur der Stratosphäre durch das Strahlungsgleichgewicht bestimmt

Das trotzdem ein Rest Konvektion bleibt, zeigt das Lexikon DWD [2014].

Randbedingung für die Strahlungsintensitäten in der Atmosphäre sind unten die hohe Infrarotstrahlung aufwärts von der warmen Erdoberfläche und oben eine Infrarotstrahlung von fast Null aus dem Weltraum.

⁸⁾Siehe aber eMail auf S. 139

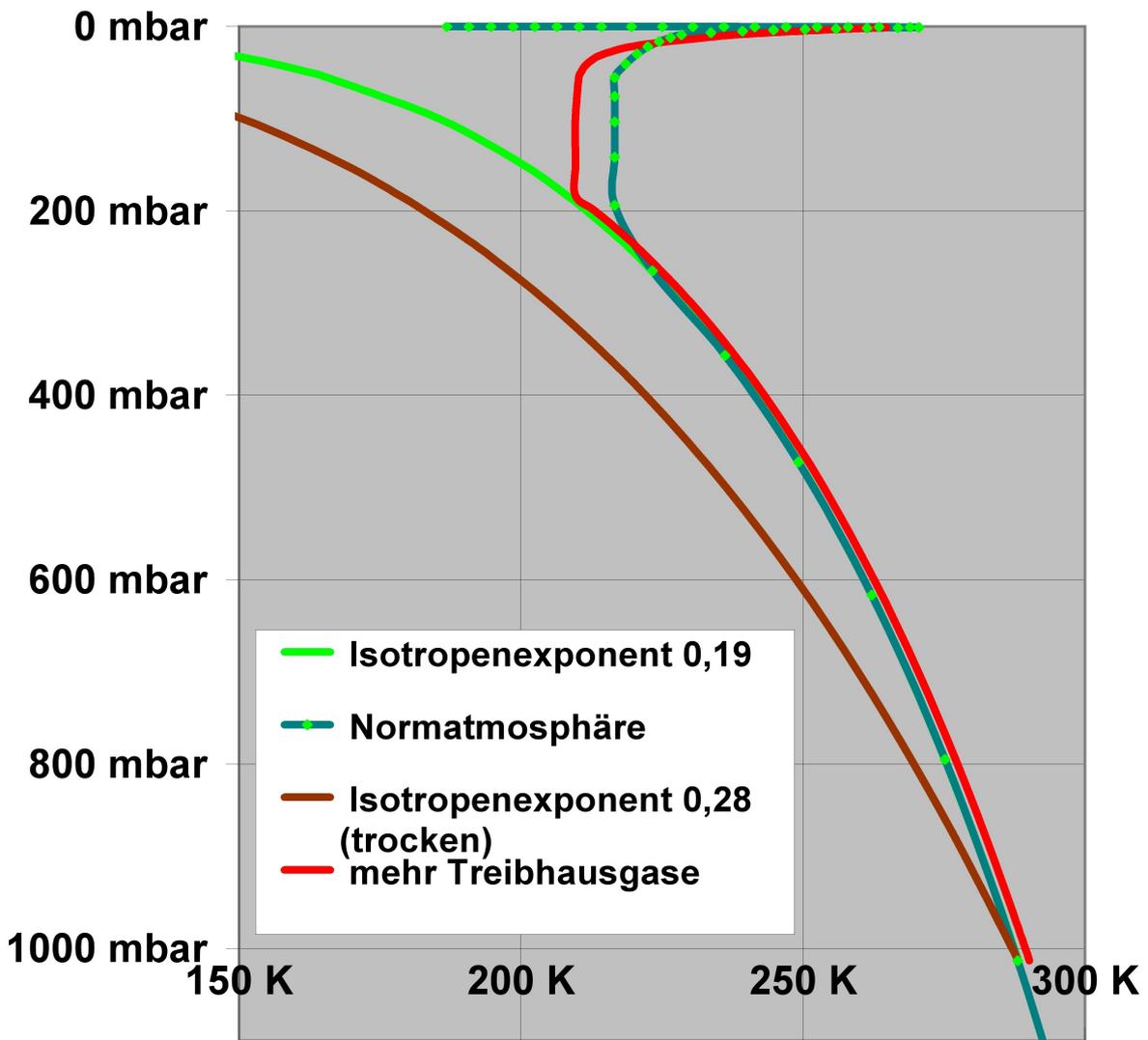


Abbildung -3: Normatmosphäre und Vergleiche

Anmerkung 1: Für Manche haben Probleme im Zusammenhang mit der Benennung von Wellenlängenbereichen. Die Farbbenennung der Bereiche (ultraviolett, violett, blau, grün, rot, infrarot) folgt hauptsächlich aus der Augenempfindlichkeitskurve des Menschen. Andere Tiere haben oft andere Empfindlichkeitskurven und die Wirkungskurve in der Atmosphäre richtet sich schon gar nicht nach der Augenempfindlichkeitskurve des Menschen. Als noch nicht bekannt war, dass den Farben ein Wellenlängenspektrum zugeordnet ist, schrieb Fourier [1824b] von heller (Solarstrahlung) und dunkler (Emission der Erde) Wärme. In diesem Sinne werden auch oft beim Klima die Emissionen von Sonne und Erde ähnlich verstanden, um nicht weitere Begriffe einzuführen. Zwar reicht jedes Spektrum von 0 bis ∞ , aber wesentlich ist fast immer nur der Bereich um das Strahlungsmaximum. In diesem Sinne sind Solarstrahlung und Infrarotstrahlung (der Erde) gut getrennt, wie z.B. die Diagramm 13 auf Seite 42 zeigt. Wegen der normierten Darstellung ist in dieser Abbildung die Grenze zwischen beiden Bereichen nicht so deutlich zusehen und wird deshalb nachfolgend berechnet:

An den jeweiligen Oberflächen ist die Intensität jedes Spektralbereiches bei höherer Temperatur höher als bei niedriger Temperatur (siehe z.B. Programm

auf Borchardt [2012]). Mit zunehmender Entfernung nimmt die Intensität ab. Bei der Sonne ist z.B. die Abstrahlung ca. $64,2 \text{ MW/m}^2$ und hat bis zur Erde auf $1,368 \text{ kW/m}^2$ (Solarkonstante) abgenommen - also ein Schwächungsfaktor von $S_f = 2,1 \times 10^{-5}$. Bei der Erde ist Emissionsort fast gleich Wirkungsort, so daß keine Schwächung stattfindet. Faßt man Konstanten in der Planckgleichung zu einer Wellenlängentemperatur T_λ oder Frequenztemperatur T_f zusammen

$$T_\lambda = \frac{hc}{\lambda k} = \frac{h\nu}{k} = T_f \quad (\text{T-f})$$

so folgt aus der Planck-Gleichung (23 auf Seite 33) unter Berücksichtigung des Schwächungsfaktors für die Wellenlänge der Intensitätsgleichheit:

$$\begin{aligned} \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{T_\lambda}{5800\text{K}}} - 1} * S_f &= \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{T_\lambda}{300\text{K}}} - 1} \\ \frac{1}{e^{\frac{T_\lambda}{5800\text{K}}} - 1} * S_f &= \frac{1}{e^{\frac{T_\lambda}{300\text{K}}} - 1} \\ \left(e^{\frac{T_\lambda}{300\text{K}}} - 1 \right) * 2,1 \times 10^{-5} &= e^{\frac{T_\lambda}{5800\text{K}}} - 1 \end{aligned}$$

Die Lösung ist $T_\lambda = 3131 \text{ K}$ oder $\lambda = 4,6 \mu\text{m}$. Bei dieser Wellenlänge ist die solare Intensität bereits auf 0,3 %, die der Erde auf 17 % abgefallen.

Anmerkung 2: Nach dem II. Hauptsatz der Thermodynamik ist der Nettowärmestrom immer vom wärmeren zu kühleren Körper gerichtet. Das gilt auch für den Wärmestrom durch Strahlung, sofern für die Strahlung überhaupt ein Körper vorhanden ist, das heißt eine Wechselwirkung zwischen Strahlung und Körper (Treibhausgase!) stattfindet. Die Absorption von UV-Strahlung geschieht beim Sauerstoff (Ozonschicht) und wirkt als innere Wärmequelle im Gesamtkörper Atmosphäre und von dort fließt Wärme zu den kälteren Bereichen ober- und unterhalb ab. Wegen der relativ geringen UV-Solarleistung hat dieser Wärmestrom wenig Auswirkung auf die Gesamtwärmeströme.

Da fast in der ganzen Atmosphäre der Nettowärmestrom (mit Wechselwirkung) von der warmen Oberfläche zum kalten Weltraum gerichtet ist, nimmt nach oben die Temperatur immer mehr ab (Ausnahme siehe vorheriger Absatz - Ozonschicht). Wie groß der Temperaturgradient ist, hängt von der Dichte der wechselwirkenden Körper ab. Im Weltall (fast Vakuum) sind selten wechselwirkende Körper und so ist der längenbezogene Temperaturgradient sehr klein. Mit zunehmender Dichte sind auf einer bestimmten Strecke immer mehr wechselwirkende Körper vorhanden und so nimmt der Temperaturgradient zu. Schließlich wird der Temperaturgradient so groß, daß die Luftschichtung instabil wird (Troposphäre).

Die Gesamtabstrahlung von der Erde in den Weltraum muß gleich der absorbierten Strahlung von der Sonne sein, zeitweise Abweichungen von dieser Gleichheit führen mehr oder weniger schnell (je nach Speichervermögen von Luft, feste Erde, Ozean) zu Temperaturänderungen, mit denen das Gleichgewicht wieder erreicht wird. Als Folge dieser Bedingungen nimmt die Aufwärtsintensität F_\uparrow ab und die Abwärtsintensität F_\downarrow zu - Bild -2 auf der nächsten Seite. Wird mit einer ruhend angenommenen Atmosphäre ein Temperaturverlauf bestimmt, der in jeder Höhe die Strahlungsbilanz einhält (absorbierte Strahlungsenergie =

emittierte Strahlungsenergie, der senkrechte Kurventeil in Bild -2(c) würde bis zur Oberfläche reichen und die rote Fläche wäre 0), so entsteht ein Temperaturverlauf, der in den unteren Höhen eine solch starke Temperaturänderung mit der Höhe hat (Temperaturgradient), daß selbst anfangs leichte Luftbewegungen sich schnell verstärken - etwas wärmere Luft als die Umgebung steigt immer schneller auf und etwas kältere Luft als die Umgebung sinkt immer schneller ab. Als Folge stellt sich ein Temperaturgradient ein, der etwa gerade den Grenzfall einhält: Beim Aufsteigen kühlt sich die Luft infolge der Druckabnahme ab und zwar genau so schnell, wie die Temperaturabnahme der Umgebungsluft.

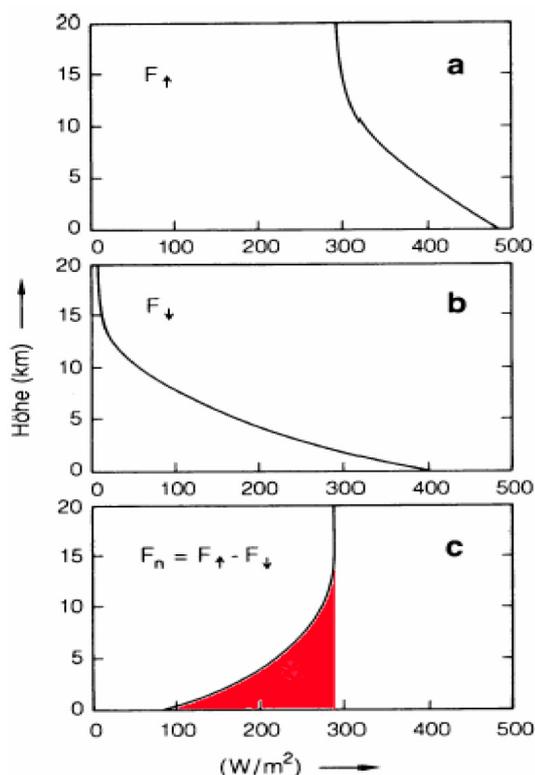


Abbildung -2: Strahlungsintensität aufwärts (a) und abwärts (b) und die Differenz beider (c - Nettostrahlungsfluß). Die Abbildung c ist mit der konvektiv eingetragenen Wärme ergänzt (rote Fläche). (Aus [Roedel, 2000, Abb. 1.22, S. 47])

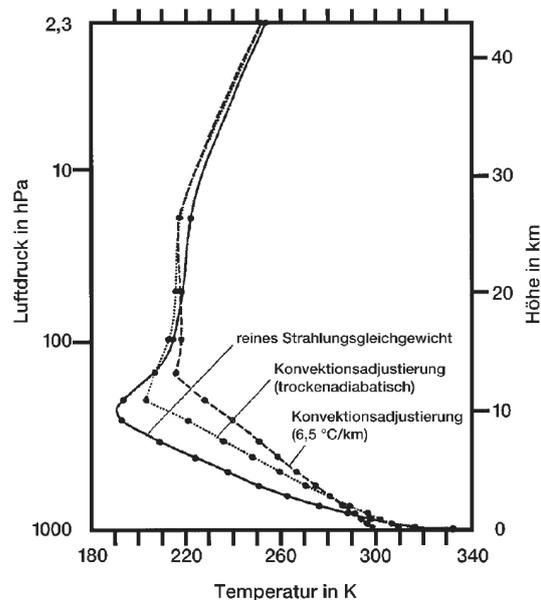


Abbildung -1: Temperaturprofil im Strahlungsgleichgewicht ohne (ausgezogene Linie) und mit Konvektionsadjustierung auf den trockenadiabatischen Temperaturgradienten (gepunktete Linie) und einen beobachteten Durchschnittsgradienten von 6,5 °C/km (gestrichelte Linie), berechnet von MANABE und STRICKLER (1964). (Aus [Bakan und Raschke, 2002, Abb.2-5])

Oben würde sich aufsteigende Luft schneller abkühlen, als die Umgebungstemperatur abnimmt – deshalb kehrt aufsteigende Luft wieder zu ihrer Ruhelage zurück und die Luftschichtung ist stabil, Bild -1 (siehe [Schwarzschild, 1906, Kapitel 3]).

„Antriebsmotor“ der Vertikalzirkulation in der Troposphäre ist, daß die Luft an der Oberfläche stärker erwärmt wird als die umgebende Luft und deshalb aufsteigt. Wegen des Überwiegens der Emission über die Absorption wird die aufsteigende Luft gekühlt und gibt dabei auch latente Wärme ab (durch Kondensation von Wasserdampf) und die Geschwin-

digkeit des Aufstieg wird immer langsamer, bis sie Null wird - und das ist das obere Ende der Troposphäre. Der konvektive und latente Wärmeeintrag in die Troposphäre ergänzt die Energiebilanz an der Oberfläche und ist die rote Fläche in Bild -2 auf der vorherigen Seite(c).

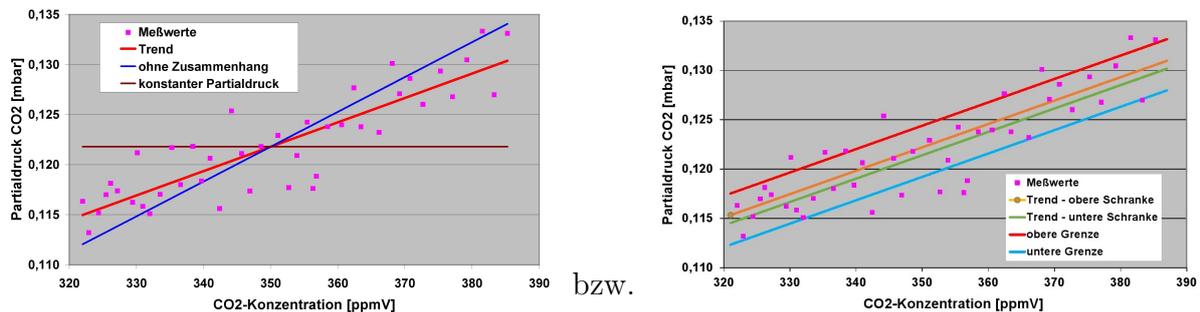


Abbildung 0: Auswertung der 42-jährigen Meßwerte in Hohenpeissen [2014]

Wie schnell in der Atmosphäre von oben der Druck (bzw. die Höhe) erreicht wird, an der der Temperaturgradient so groß wird, daß die Luftschichtung instabil wird (die Grenze zwischen Stratosphäre und Troposphäre – Tropopause) hängt von der Absorptionslänge der Strahlung in der Atmosphäre und damit von der Konzentration der Treibhausgase ab. Um so höher die Konzentration ist, um so schneller ist der kritische Wert erreicht.

Deswegen kann man in erster Näherung annehmen, daß der Säulendruck der Treibhausgase an der Tropopause konstant ist. Aber das ist nur eine sehr grobe Näherung, da auch die Temperatur in der Stratosphäre abnehmen muß: Wenn die Oberflächentemperatur zunimmt, gelangt in den Wellenlängenbereichen, in denen die Atmosphäre kaum absorbiert, mehr Strahlung direkt in den Weltraum. Demzufolge ändern sich die Temperaturverhältnisse so, daß aus den Treibhausgasen weniger in den Wärme in den Weltraum abgestrahlt wird. Das hat zur Folge, daß mit steigender Konzentration der Säulendruck der Treibhausgase relativ abnimmt, aber absolut zunimmt (Diagramm 0).

Die Strahlungsverhältnisse in der Nähe der Erdoberfläche haben also praktisch keinen Einfluß auf den Temperaturverlauf. Argumente wie Sättigung der Transparenz durch die Atmosphäre haben also keine Bedeutung.

In dem Paper von Gerlich und Tschuschner ist die Tropopause zwar drei mal erwähnt, davon zwei mal, daß die Tropopause und Ionosphäre verwechselt würden und einmal in einem Fremdzitat. Eine Verbindung mit dem Treibhauseffekt ist nicht hergestellt - die Zweiteilung der Atmosphäre ist scheinbar für Gerlich und Tschuschner ohne Ursache gegeben.

Die tatsächliche Lage der Tropopause ist in der Realität durch Wind usw. Schwankungen unterworfen.

Anmerkung: Bei niedrigen Drücken ist noch eine weitere Schicht höherer Temperatur. Das ist die Folge der UV-Absorption und Ozon-Bildung. Das UV wird absorbiert, aber die aufgenommene Energie wird im Infraroten abgestrahlt. Da das UV absorbiert⁹⁾ wird sinkt die UV-Intensität mit einer e-Funktion (nur Lambert-Beer) und bei kleinen Temperaturänderungen ist die emittierte Leistung etwa proportional der Temperatur. Die aus diesem Ansatz folgende nachfolgende Gleichung beschreibt den beobachteten Temperaturverlauf zwischen 220 mbar (~ 11 km Höhe) und 1 mbar (~ 47 km Höhe) sehr gut.

$$T = -56,5^\circ\text{C} + 67,3\text{K} \cdot \exp\left(\frac{-p}{5,03\text{ mbar}}\right) \quad (\text{k-0-1})$$

Dabei beschreibt der Exponentialterm die Heizung (UV-Ozon-Prozeß) von oben. Es ergibt sich, daß ab Drücken größer 50 mbar (kleiner als 20 km Höhe) die Heizung von oben

⁹⁾ Wegen der geringen Temperatur wird fast kein UV emittiert.

vernachlässigt werden kann ($< 3 \text{ mK}$) und nicht verantwortlich ist für den fast konstanten Temperaturverlauf im unteren Teil der Stratosphäre.

Titelseite der autorisierten Übersetzung,

der bunten Mischung aus Unsinn, Unverständnis, "Vergessenem" und Richtigem,
die mit der blauen Kommentierung als Fake-Propaganda entlarvt wird.

Falsifizierung der atmosphärischen CO₂-Treibhauseffekte im Rahmen der Physik

Deutsche Übersetzung Version 4.00-de11-A4 (11. Juni 2015)
der englischen Version 4.00 (January 6, 2009)

Gerhard Gerlich

Institut für Mathematische Physik
Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
Mendelssohnstraße 3
D-38106 Braunschweig
Federal Republic of Germany
<mailto:g.gerlich@tu-bs.de>

Ralf D. Tscheuschner

Postfach 60 27 62
D-22237 Hamburg
Federal Republic of Germany
<mailto:ralfd.tscheuschner@googlemail.com>

Zusammenfassung

Der atmosphärische Treibhauseffekt ist eine Idee, die viele Autoren auf die überlieferten Werke von Fourier [1824b], Tyndall [1861] und Arrhenius [1896]) zurückführen. Er wird in der Globalklimatologie immer noch als grundlegend angesehen und beschreibt im Wesentlichen einen fiktiven Mechanismus, in dem die planetare Atmosphäre wie eine Wärmepumpe arbeitet, die von ihrer Umgebung angetrieben wird, die sich mit dem atmosphärischen System zwar in einer *Stahlungswechselwirkung*, aber gleichzeitig in einem *Strahlungsgleichgewicht* befindet. Nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik kann eine solche planetare Maschine niemals existieren. **Falsch - siehe Gegenbeispiel auf Seite 6**. Trotzdem wird in fast allen Texten der Globalklimatologie und in einer weit verbreiteten Sekundärliteratur stillschweigend vorausgesetzt, dass ein solcher Mechanismus physikalisch möglich ist. In dieser Arbeit werden die populäre Vermutung analysiert und die physikalischen Grundlagen klargestellt.

Indem gezeigt wird,

- (a) dass die Erwärmung eines Glashauses und die fiktiven atmosphärischen Treibhauseffekte sich in keinerlei Hinsicht durch gemeinsame physikalische Gesetze auszeichnen, **»keinerlei« ist mit Sicherheit falsch, die Frage ist vielmehr welche physikalischen Gesetze zu unterschiedlichen Wirkungen führen.**
- (b) dass es keine Berechnungen gibt, welche die durchschnittliche Oberflächentemperatur eines Planeten bestimmen, **falsch: einen hohen Rechenaufwand erfordern**
- (c) dass die häufig erwähnte Differenz von 33°C eine bedeutungslose und falsch berechnete Zahl ist, **(dieser Wert hat Bedeutung als untere Grenze des Treibhauseffektes, der reale Wert ist höher - siehe Gleichung §9 auf Seite 89) und Kapitel 3.7.5 auf Seite 88)**
- (d) dass die Formeln der Hohlraumstrahlung falsch angewendet werden, **von wem? Ist es nicht eher so, daß aus Unwissenheit eine falsche Anwendung unterstellt wird?**
- (e) dass die Annahme der Strahlungsbilanz unphysikalisch ist, **wieder diese verfälschende Allgemeinheit, weil die Strahlungsbilanz nur für Stratosphäre zutrifft bzw. für die Erde bezüglich Weltraum.**
- (f) dass Wärmeleitfähigkeit und Reibung nicht gleich Null gesetzt werden dürfen, **warum darf eine (in diesem Zusammenhang) vernachlässigbare Größe (Wärmeleitfähigkeit) nicht Null gesetzt werden und die Reibung wird nicht Null gesetzt. Wieder so eine Vermengung von zwei unterschiedlichen Größen zur Irritierung des Lesers indem zwei unterschiedliche Sachverhalte gleich behandelt werden.**

ist der atmosphärische Treibhauseffekt falsifiziert. **Falsch. Mit diesen Fragen haben G&T nur gezeigt, daß sie entweder wissentlich die Physik verdrehen oder nicht in der Lage sind, die Physik auf ein für sie fremdes Fachgebiet anzuwenden.**

Elektronische Version und deutsche Übersetzung eines Artikels, publiziert in *International Journal of Modern Physics B*, Vol. 23, No. 3 (2009) 275 - 364, DOI No: 10.1142/S021797920904984X, ©World Scientific Publishing Company, <http://www.worldscinet.com/ijmpb>.

Preprint/Postprint URL: <http://arxiv.org/abs/0707.1161>

1 Einführung

1.1 Problemhintergrund

In jüngster Zeit gab es eine große Menge von Diskussionen, die sich auf die ökonomischen und politischen Folgen der Veränderlichkeit des Klimas bezogen, insbesondere auf die Möglichkeit

einer globalen Erwärmung als messbaren Effekt eines anthropogenen - das heißt vom Menschen verursachten - Klimawandels Stilbs [2006], Alley u. a. [2007], Svensmark und Friis-Christensen [1997], Heiss [1999], Mann und Jones [2003], Soon und Baliunas [2003], Weart [2004], Hardy [2003], Avery und Singer [2006], Khilyuk und Chilingar [2006], Wegman u. a. [1996], Jaworowski [2007], ... [2007a]. Eine ganze Reihe von Autoren nehmen an, dass die durch den Verbrauch von fossilen Brennstoffen verursachten Kohlendioxid-Emissionen eine ernsthafte Gefahr für die Gesundheit unseres Planeten darstellen. Diese Emissionen nämlich sollen die Klimata der Erde beeinflussen, insbesondere die Durchschnittstemperaturen der Oberfläche und der unteren Atmosphäre der Erde. Allerdings ist Kohlendioxid ein seltenes Spurengas, welches nur einen sehr kleinen Bestandteil der Erdatmosphäre darstellt. Die Konzentrationen liegen bei etwa 0,03 Vol % (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2 auf der nächsten Seite, siehe auch Ref. Anonymous [2007d])¹⁰. **Inzwischen ist die Konzentration des CO₂ auf über 0,04 Vol % gestiegen.**

Datum	CO ₂ Konzentration [ppmv]	Quelle
März 1958	315,56	Ref. Lide [2002]
März 1967	322,88	Ref. Lide [2002]
März 1977	334,53	Ref. Lide [2002]
März 1987	349,24	Ref. Lide [2002]
März 1996	363,99	Ref. Lide [2002]
März 2007	377,3	Ref. Blasing und Smith [2007]

Tabelle 1: Atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid in Volumenanteilen pro Million (1958 - 2007).

Ein Physiker beginnt die Analyse des vorliegenden Problems, indem er seine Aufmerksamkeit auf zwei (**drei**) fundamentale thermodynamische Eigenschaften richtet, nämlich auf

- die *Wärmeleitfähigkeit* λ , eine Eigenschaft, die festlegt, wieviel Wärme pro Zeiteinheit und Temperaturdifferenz in einem Medium fließt;
- die *Temperaturleitfähigkeit* a_v , eine Eigenschaft, die festlegt, wie schnell eine Temperaturänderung sich ausbreitet, ausgedrückt in Einheiten einer Fläche pro Zeiteinheit.
- **und bei Gasen (und Flüssigkeiten) überprüft, ob Wärmetransport durch Strömung erfolgt (laminarer und turbulenter Wärmetransport).**

Beide Größen, λ und a_v , werden in Beziehung gesetzt durch die Formel

$$a_v = \frac{\lambda}{\rho c_V} \quad (1)$$

wobei ρ die spezifische Masse und c_V die isochore spezifische Wärme bezeichnen. a_v ist die Proportionalitätskonstante der Wärmeleitungsgleichung

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_v \Delta T \quad (2)$$

¹⁰In einer kürzlich erschienenen Arbeit »180 Years accurate CO₂ Gas analysis of Air by Chemical Methods« [»180 Jahre genaue CO₂ Gasanalyse der Luft vermittelt chemischer Methoden«] legt der deutsche Biologe Ernst-Georg Beck Argumente vor, mit denen der Bezug des Weltklimarats IPCC auf Eisbohrkern-Daten für CO₂ fehlerhaft ist Beck [2007a], Beck [2007b]. Obwohl diese Arbeit selbst sehr interessant ist, da sie deutlich macht, dass selbst die empirisch gewonnenen Werte der CO₂-Konzentration der Gegenstand einer Diskussion sind, beeinflusst sie nicht die Argumentation der vorliegenden Arbeit, in der gezeigt wird, dass die Konzentration von CO₂ absolut keine Rolle spielt. **Außerdem ist diese Konzentrationsangabe unbrauchbar, da diese nur örtlich gilt, genauere Angaben erhält man aus Eisbohrkernen, da dort wegen der großflächigen Umgebung weitgehend die einheitliche niedrige Konzentration ist.**

mit T als Temperatur. Der Laplace-Operator Δ ist die partielle Ableitung zweiter Ordnung der Temperatur nach den Raumkoordinaten.

Da G&T den letzten Punkt der Aufmerksamkeit vergessen, ist dieser Punkt nachzuholen und ergibt, daß die nachfolgenden Betrachtungen in diesem Abschnitt für den Treibhauseffekt praktisch keine Bedeutung haben.

Um nun die relevanten Daten der Gasbestandteile der Luft zu berücksichtigen, muss man deren Massenkonzentrationen als Gewichte verwenden. Somit erhalten wir die Eigenschaften des Gemisches »Luft« - entsprechend der Gibbsschen Thermodynamik Callen [1985], Huang [1987]¹¹⁾. Daten für die Volumen-Konzentrationen (Tabelle 2) können in Daten für die Massen-Konzentrationen umgewandelt werden mit Hilfe bekannter spezifischer Massen (Tabelle 3 auf der nächsten Seite).

Gas	Formel	U.S. Standard 1976 Lide [2002] [Vol %]	Hardy u.a. 2005 Hardy [2003] [Vol %]	Arbeits- hypothese [Vol %]
Stickstoff	N ₂	78,084	78,09	78,09
Sauerstoff	O ₂	20,9476	20,95	20,94
Argon	Ar	0,934	0,93	0,93
Kohlendioxid	CO ₂	0,0314	0,03	0,04

Tabelle 2: Drei Versionen einer idealisierten Erdatmosphäre und ihre Gas-Volumen-Konzentrationen einschließlich der für diese Arbeit gewählten Arbeitshypothese.

Ein Vergleich der Volumen-Prozente und Massen-Prozente für CO₂ zeigt, dass die gegenwärtige Massen-Konzentration, welche für G&T die physikalisch relevante Konzentration ist¹²⁾, bei etwa 0,06 % und nicht bei den oft zitierten 0,03 % liegt (Tabelle 4 auf der nächsten Seite).

Aus den bekannten Wärmeleitfähigkeiten (Tabelle 5 auf der nächsten Seite), Wärmekapazitäten bei konstantem Volumen und spezifischen Massen sind die Temperaturleitfähigkeiten bei konstantem Volumen für die Komponenten der Luft bestimmt (Tabelle 6 auf der nächsten Seite). Mit dieser Information kann die effektive Wärmeleitfähigkeit der Luft in Abhängigkeit von einer Verdopplung der CO₂-Konzentration abgeschätzt werden, die angeblich binnen der nächsten 300 Jahre stattfinden könnte (Tabelle 7 auf Seite 22).

Es ist offensichtlich, dass die Verdopplung der Konzentration des Spurengases CO₂, dessen Wärmeleitfähigkeit etwa halb so groß wie die von Stickstoff und Sauerstoff sind, die Wärmeleitfähigkeit der Luft bestenfalls um 0,03 % und die Temperaturleitfähigkeit der Luft bestenfalls um 0,07 % erhöht. Diese Werte liegen im Bereich der Ungenauigkeit der Messungen und anderer Unsicherheiten wie Rundungsfehler und haben daher überhaupt keine Signifikanz. Allerdings haben weder die isochore Wärmeleitfähigkeit noch der Temperaturleitwert eine signifikante Bedeutung für den Treibhauseffekt – insofern bringt diese Betrachtung nichts.

¹¹⁾Die Wärmeleitfähigkeit eines Gas-Gemisches verändert sich im allgemeinen nicht-linear mit der Zusammensetzung der Gase. Für vergleichbare Molekulargewichte und kleine Konzentrationen ist die Nicht-Linearität allerdings vernachlässigbar Evans und Kenney [1964].

¹²⁾In Gleichung β auf Seite 23) verwenden sogar G&T die Teilchendichte, die proportional zur Volumendichte ist.

Gas	Formel	Massendichte ρ [kg/m ³]	Quelle
Stickstoff	N ₂	1,1449	Ref. Lide [2002]
Sauerstoff	O ₂	1,3080	Ref. Lide [2002]
Argon	Ar	1,6328	Ref. Lide [2002]
Kohlendioxid	CO ₂	1,7989	Ref. Lide [2002]

Tabelle 3: Massendichten von Gasen bei normalen atmosphärischen Druck (101,325 kPa) und Standardtemperatur (298 K)

Gas	Formel	x_v [Vol-%]	ρ (298 K) [kg/m ³]	x_m [Mass %]
Stickstoff	N ₂	78,09	1.1449	75,52
Sauerstoff	O ₂	20,94	1.3080	23,14
Argon	Ar	0,93	1.6328	1,28
Kohlendioxid	CO ₂	0,04	1.7989	0,06

Tabelle 4: Volumenprozent versus Massenprozent: Die Volumenkonzentrationen x_v und die Massenkonzentrationen x_m der gasförmigen Bestandteile einer idealisierten Erdatmosphäre.

Gas	Formel	λ (200 K) [W/mK] Ref. Lide [2002]	λ (298 K) [W/mK] (interpoliert)	λ (300 K) [W/mK] Ref. Lide [2002]	λ (400 K) [W/mK] Ref. Lide [2002]
Stickstoff	N ₂	0.0187	0.0259	0.0260	0.0323
Sauerstoff	O ₂	0.0184	0.0262	0.0263	0.0337
Argon	Ar	0.0124	0.0178	0.0179	0.0226
Kohlendioxid	CO ₂	0.0096	0.0167	0.0168	0.0251

Tabelle 5: Wärmeleitfähigkeiten für die gasförmigen Bestandteile der Erdatmosphäre bei Normaldruck (101,325 kPa).

Gas	c_p [J/kg K]	M_r [kg/mol]	R/M_r [J/kg K]	c_v [J/kg K]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	a_v [m ² /s]
N ₂	1039	28.01	297	742	1.1489	0.0259	$3,038 \times 10^{-5}$
O ₂	919	32.00	260	659	1.3080	0.0262	$3,040 \times 10^{-5}$
Ar	521	39.95	208	304	1.6328	0.0178	$3,586 \times 10^{-5}$
CO ₂	843	44.01	189	654	1.7989	0.0167	$1,427 \times 10^{-5}$

Tabelle 6: Isobare Wärmekapazität c_p , relative Molmasse M_r , isochore Wärmekapazität $c_v \approx c_p - R/M_r$ mit der universalen Gaskonstanten $R = 8,314\,472$ J/(mol K), Massendichte ρ , thermische Leitfähigkeit λ und isochore Temperaturleitfähigkeit a_v der Gasbestandteile bei normalen Druck der Erdatmosphäre (101,325 kPa)

1.2 Die Treibhauseffekt-Hypothese

Unter Klimatologen, insbesondere unter denjenigen, die für den Weltklimarat (Intergovernmental Panel of Climate Change - IPCC) arbeiten¹³⁾, scheint ein »wissenschaft-

¹³⁾Das IPCC wurde 1988 gemeinsam von der World Meteorological Organization (WMO) und dem United Nations Environmental Programme (UNEP) geschaffen - auf Grund der Erkenntnisse und Besorgnisse von Fachleuten.

Gas	x_m [Massen%]	M_r [kg/mol]	R/M_r [J/kg K]	c_v [J/kg K]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	a_v [m ² /s]
N ₂	75.52	28.01	1039	742	1.1489	0.0259	$3,038 \times 10^{-5}$
O ₂	23.14	32.00	929	659	1.3080	0.0262	$3,040 \times 10^{-5}$
Ar	1.28	39.95	512	304	1.6328	0.0178	$3,586 \times 10^{-5}$
CO ₂	0.06	44.01	843	654	1.7989	0.0167	$1,427 \times 10^{-5}$
Luft	100.00	29.10	1005	719	1.1923	0.02586	$3,0166 \times 10^{-5}$

Gas	x_m [Massen%]	M_r [kg/mol]	R/M_r [J/kg K]	c_v [J/kg K]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	a_v [m ² /s]
N ₂	75.52	28.01	1039	742	1.1489	0.0259	$3,038 \times 10^{-5}$
O ₂	23.08	32.00	929	659	1.3080	0.0262	$3,040 \times 10^{-5}$
Ar	1.28	39.95	512	304	1.6328	0.0178	$3,586 \times 10^{-5}$
CO ₂	0.12	44.01	843	654	1.7989	0.0167	$1,427 \times 10^{-5}$
Luft	100.00	29.10	1005	719	1.1926	0.02585	$3,0146 \times 10^{-5}$

Tabelle 7: Die Berechnung der isochoren Temperaturleitfähigkeit $a_v = \lambda/(\rho c_v)$ der Luft und deren gasförmigen Bestandteile für die gegenwärtige CO₂-Konzentration (0,06 Mass %) (**oben**) und für die **fiktiv verdoppelte** CO₂-Konzentration (0,12 Mass %) (**unten**) bei Normaldruck (101,325 kPa).

lich Konsensus« zu bestehen AAAS [2006], dass der relevante Mechanismus der atmosphärische Treibhauseffekt ist, ein Mechanismus, der wesentlich auf der Annahme beruht, dass der Wärmeübergang durch Strahlung deutlich über die anderen Kategorien von Wärmeübergängen dominiert, wie zum Beispiel die Wärmeleitung, die Konvektion, die Kondensation, *et cetera* Houghton u. a. [1990a], Houghton u. a. [1992], Houghton u. a. [1990c], Houghton u. a. [1990b], Houghton u. a. [1994], Houghton u. a. [1996], Nakićenović u. a. [2000], Houghton u. a. [2001]. **Wieder so eine verfälschende Zusammenfassung. Das, was für die Stratosphäre gilt, wird verallgemeinert für die gesamte Atmosphäre und dann diese Zusammenfassung widerlegt. Die richtigen Verhältnisse sind in Bild -2 auf Seite 15 gezeigt, wo in Oberflächennähe die Konvektion überwiegt. Trotzdem ist die Emission durch Strahlung für die Konvektion erforderlich: Durch laufende Konvektion wird laufend Wärme in die Atmosphäre eingetragen. Wenn die Wärme die Atmosphäre nicht verlassen könnte (und wegen des Vakuums im Weltraum ist das nur durch Strahlung möglich), würde sich die Atmosphäre immer mehr erwärmen, bis bei ausreichend warmer Atmosphäre die Konvektion abbricht, da kein Aufsteigen mehr möglich ist.**

In allen vergangenen Berichten des Weltklimarats IPCC und vergleichbaren wissenschaftlichen Zusammenfassungen wird der folgende Punkt hervorgehoben, vgl. Ref. [Houghton u. a., 1990c, Seite5]:

»Einer der bedeutendsten Faktoren ist der **Treibhauseffekt**. Eine vereinfachte Erklärung ist die folgende:

- Kurzwellige Sonnenstrahlung einerseits kann die Atmosphäre relativ ungehindert durchdringen.
- Langwellige terrestrische Strahlung andererseits - von der warmen Erdoberfläche ausgesandt -, wird teilweise absorbiert und von der kälteren Atmosphäre oben wieder ausgesandt.
- Da - im Mittel - die ausgehende langwellige Strahlung der einkommenden [kurzwelligen] Sonnenstrahlung die Waage hält, muss sowohl die At-

mosphäre als auch die Erdoberfläche wärmer sein als ohne Treibhausgase.

...

Der Treibhauseffekt ist real; er ist ein wohl-verstandener Effekt, basierend auf etablierten wissenschaftlichen Prinzipien.«

Um die Dinge - vermutlich - noch klarer zu machen, führte der Weltklimarat IPCC den Begriff der *Strahlungserzwingung* (engl.: *radiative forcing*) ein und setzte ihn mit der Annahme eines *Strahlungsgleichgewichts* in Beziehung. In Ref. [Houghton u. a., 1994, pp. 7-6], findet man die Aussage:

»Eine Änderung der durchschnittlichen Nettostrahlung am oberen Rand der Troposphäre (bekannt als Tropopause) wird - im Hinblick auf eine Änderung entweder der Sonnenstrahlung oder der [terrestrischen] Infrarotstrahlung - für die Zwecke dieses Berichts als *Strahlungserzwingung* bezeichnet. Strahlungserzwingung stört die Balance zwischen eingehender und ausgehender Strahlung. Über die Zeit antwortet das Klima auf diese Störung und versucht die Balance wiederherzustellen. Eine positive Strahlungserzwingung tendiert dazu, die Oberfläche zu wärmen, eine negative Strahlungserzwingung tendiert dazu, die Oberfläche zu kühlen. In der vorliegenden Definition kann die einkommende Sonnenstrahlung [selbst] nicht als Strahlungserzwingung bezeichnet werden, sondern vielmehr die Änderung der einkommenden Sonnenstrahlung . . . Der Anstieg der Konzentration des atmosphärischen CO₂ zum Beispiel führt zu einer Reduktion der ausgehenden Infrarotstrahlung und damit zu einer positiven Strahlungserzwingung.«

Ein allgemeiner »wissenschaftlicher Konsens« jedoch steht in keiner Weise in einer Beziehung zu einer wissenschaftlichen Wahrheit, wie unzählige historische Beispiele belegen. »Konsens« ist ein politischer Begriff und kein wissenschaftlicher!

So hat aus der Sicht des theoretischen Physikers der strahlungstheoretische Zugang, der sich auf das Plancksche Strahlungsgesetz oder die Stefan-Boltzmann-Formel bezieht, nur einen sehr beschränkten Gültigkeitsbereich¹⁴⁾, der das atmosphärische Problem bei weitem nicht abdeckt. Er ist daher mehr als fragwürdig Stefan [1879], Boltzmann [1884], Planck [1900], Planck [1901], Rybicki und Lightman [1979].

Ein Beispiel: In vielen ihrer Untersuchungen¹⁵⁾ führen Klimatologen Berechnungen durch, in denen idealisierte schwarze Oberflächen, die zum Beispiel eine CO₂-Schicht und die Erdoberfläche darstellen sollen, sich gegenseitig anstrahlen. In Wirklichkeit muss aber das räumlich ausgedehnte Problem behandelt werden¹⁶⁾, in dem man bei CO₂-Konzentrationen unter Normalbedingungen immer noch

$$\begin{aligned} N &\approx 3 \times 10^{-4} \cdot V \cdot N_L \\ &\approx 3 \times 10^{-4} \cdot (10 \times 10^{-6} \text{ m})^3 \cdot 2,687 \times 10^{25} \text{ Moleküle/m}^3 \\ &\approx 3 \times 10^{-4} \cdot 10^{-15} \cdot 2,687 \times 10^{25} \text{ Moleküle} \\ &\approx 8 \times 10^6 \text{ Moleküle CO}_2 \end{aligned} \tag{3}$$

¹⁴⁾Die Gültigkeit ist nicht beschränkt, nur die Voraussetzungen der Gültigkeit müssen beachtet und entsprechend behandelt werden.

¹⁵⁾Solche vereinfachten Beispielrechnungen sind keine Untersuchungen sondern sollen Prinzipien des Treibhauseffektes erklären.

¹⁶⁾Es wird auch als räumlich ausgedehnter Sachverhalt behandelt - siehe Kapitel 3.5.5 auf Seite 66, wo G&T den Klimawissenschaftlern die Verwendung von »*physikalisch wohlbegründeten Strahlungstransportgleichungen*« bescheinigen.

CO₂-Moleküle in einem Würfel V mit Kantenlänge $10\ \mu\text{m}$ hat, die typische Wellenlänge der relevanten Infrarot-Strahlung¹⁷⁾. In diesem Zusammenhang ist die Anwendung der Formeln der Hohlraumstrahlung der bare Unsinn.

Inwieweit die Teilchendichte eine Rolle spielt, zeigt sich bei Absorptionsexperimenten: Wenn die Absorption eines strahlungsaktiven Gases in geringer Beimischung zu einem strahlungsinaktiven Gas gemessen wird, ist die Absorption proportional der Konzentration – wäre eine elektromagnetische Vielteilchenwechselwirkung tatsächlich vorhanden, so wäre so ein Meßergebnis unverständlich. Trotzdem spielt die Wechselwirkung der Teilchen eine Rolle, denn die Form der Absorptionskurve ändert sich in Abhängigkeit von Gesamtdruck aller Gase und deren Temperatur – aber diese Teilchenwechselwirkung ist weitgehend unabhängig vom Strahlungsfeld - siehe Harde [2013].

Es kann gar nicht genügend betont werden, dass eine mikroskopische Theorie, welche die Grundlage für die Bestimmung der makroskopischen Größen wie die thermodynamischen und elektromagnetischen Transportkoeffizienten darstellt, eine hoch entwickelte Vielkörpertheorie sein muss. Zwar ist der Wärmetransport letztlich auf die interatomaren Wechselwirkungen zurückzuführen, die durch das elektromagnetische Feld vermittelt werden. Was soll eine solche Aussage? Seit Einstein [1916 bzw. 1917] ist die Wechselwirkung weitgehend verstanden, moderne Darstellungen hat Hermann Harde als Professor für Lasertechnik gemacht Harde [2013], Harde [2011] - wenn auch Prof. Harde Probleme mit der Konvektion hat (sicherlich ist das so, weil es nicht sein Fachgebiet ist), so daß er zu einer zu kleinen Klimasensitivität kommt. Aber es ist irreführend, sich ein Photon als ein Teilchen oder Wellenpaket vorzustellen, welches von dem einen zum anderen Molekül fliegt. Die Dinge sind schon etwas komplexer und können nicht einmal verstanden werden im Rahmen des klassischen Teilchen-Welle-Dualismus oder etwa im Feynman-Graphen-Bild - Hauptsache sie sind verstanden und das ist der Fall. Daß die Zusammenhänge sehr komplex sind, ist nur für Laien eine Hürde. Wenn man heute nicht tiefer in die Zusammenhänge eingedrungen wäre, wüßte man nicht, daß die Zusammenhänge im Einzelnen komplexer sind und die Wissenschaftler hätten ihre Zeit vertrödel.

Andererseits enthalten die makroskopischen thermodynamischen Größen eine große Menge an Information über ein physikalisches System. Sie können direkt und genau im Labor gemessen werden. Interessanterweise ist die Wärmeleitfähigkeit von CO₂ nur etwa halb so groß wie die von Stickstoff und Sauerstoff. In einer Atmosphäre bestehend aus 100 Prozent CO₂ leuchtet eine konventionelle Glühlampe heller¹⁸⁾, da die Wärmeleitfähigkeit ihrer Umgebung reduziert ist¹⁹⁾. Dies hat aber nichts mit dem vermuteten CO₂-Treibhauseffekt zu tun, der sich auf Spurengas-Konzentrationen bezieht. Die Global-Klimatologen behaupten, dass der natürliche Treibhauseffekt die Erde um 33°C wärmer hält, als sie es ohne die Anwesenheit dieser Spurengase wäre. Etwa 80 Prozent dieser Erwärmung wird dem Wasserdampf zugerechnet, etwa 20 Prozent den 0.03 Volumen-Prozenten CO₂. Wenn es tatsächlich einen solch extremen Effekt gäbe, so müsste er doch in einem Laborexperiment sichtbar gemacht werden können, und zwar als Anomalie in der Wärmeleitung (Wieso? Der Treibhauseffekt hat doch praktisch nichts mit der Wärmeleitung zu tun.) für hoch konzentriertes CO₂. Dieser Effekt würde sich als eine neue Art eines »Supra-Isolators« manifestieren, der die gewöhnliche Wärmeleitungsgleichung verletzt. (Da der Treibhauseffekt wenig mit der

¹⁷⁾ N_L wird durch die bekannte Loschmidt-Zahl bestimmt Virgo [1933].

¹⁸⁾Die Glühlampe leuchtet auch heller bei höherer Spannung - die Nennspannung wird nicht so hoch gewählt, damit die Lampe nicht schnell durchbrennt. Die Lebensdauer einer Glühlampe ist ein komplexer Vorgang, z.B. reflektiert ein Füllgas aus schweren Molekülen verdampfende Atome des Glühdrahtes besser zurück zum Glühdraht, auch chemische Reaktionen (Halogenlampe) können die Lebensdauer verlängern.

¹⁹⁾ähnliches gilt übrigens für Argon, das kein sogenanntes Treibhausgas ist.

Wärmeleitungsgleichung zu tun hat, liegt auch keine Verletzung vor.) Für CO₂ hat man einen solchen anomalen Wärmetransport allerdings niemals beobachten können. Richtig – aber anomale Wärmetransporteigenschaften werden auch nicht zur Erklärung des Treibhauseffekts benötigt.

Deshalb werden in dieser Arbeit die populären Treibhaus-Ideen, die wesentlich zur Unterhaltung im weltweiten Club der Globalklimatologen beigetragen haben, noch einmal neu betrachtet, jetzt aber im strengen Rahmen der Theoretischen Physik und der Experimentalphysik.

Viele Autoren beziehen diese Ideen auf die Arbeiten von Fourier [1824a], Fourier [1824b], Tyndall [1861], Tyndall [1863b], Tyndall [1863a], Tyndall [1873a], Tyndall [1873b] und Arrhenius [1896], Arrhenius [1901], Arrhenius [1906]. Eine vorsichtige Analyse [durch G&T](#) der historischen Arbeiten offenbart, dass die Arbeiten von Fourier und Tyndall *nicht wirklich* das Konzept des atmosphärischen Treibhauseffekts behandeln, während das Werk von Arrhenius sich fundamental von heutigen Arbeiten *unterscheidet*. Mit der Ausnahme von Ref. Arrhenius [1906] erschienen diese historischen Arbeiten früher als die epochalen Werke der modernen Physik, wie zum Beispiel Plancks Arbeiten über die Strahlung des schwarzen Körpers Planck [1900], Planck [1901]. Obwohl Arrhenius' Argumente schon von seinen Zeitgenossen [vermeintlich](#) widerlegt worden waren²⁰⁾, wurden sie von Callendar [1938], Callendar [1939], Callendar [1940], Callendar [1941], Callendar [1949], Callendar [1958], Callendar [1961] und Keeling [1960], Keeling [1973], Keeling u. a. [1976], Keeling [1978], Keeling u. a. [1989], Keeling u. a. [1996], Keeling [1998] wiederaufgegriffen, die beide als die Begründer der modernen Treibhauseffekt-Hypothese betrachtet werden können.²¹⁾

Interessanterweise ist diese Hypothese so vage geblieben wie seit eh und je. Selbst Keeling [1978] stellte fest:

»Über die Idee, dass aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe emittiertes CO₂ sich in der Atmosphäre ansammeln und eine Erwärmung der unteren Atmosphäre bewirken könnte, wurde schon seit Ende des 19. Jahrhunderts spekuliert (Arrhenius [1903]). Zu dieser Zeit war der Gebrauch von fossilem Brennstoff zu geringfügig, um einen Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration zu erwarten. Diese Idee wurde zwar überzeugend dargestellt von Callendar [1938], Callendar [1940], aber immer noch ohne gesicherte Evidenz für den Anstieg der CO₂-Konzentration.«

Schon wieder so ein bewußtes Mißverständnis: Nach dem Zitat war für Arrhenius und Callendar die Wirkung einer Erhöhung der CO₂-Konzentration unzweifelhaft, nur der Anstieg der CO₂-Konzentration war zu deren Zeit noch unerheblich (»ohne gesicherte Evidenz«), aber der ist inzwischen gesichert - siehe von G&T die Tabelle 1 auf Seite 19 und Kapitel 3.7.11 auf Seite 95.

Der Einfluss von CO₂ auf das Klima wurde auch eingehend diskutiert in einer Zahl von Arbeiten, die zwischen 1909 und 1980 hauptsächlich in Deutschland erschienen Albrecht [1988], Albrecht [1935], Albrecht [1951], Barker und Adel [1933], Baur und Philips [1934],

²⁰⁾ Die »Widerlegung« der Arbeit von Arrhenius [1896] ist nur die halbe Wahrheit, ja noch nicht mal die halbe. Zwar hat Ångström [1900] Arrhenius »widerlegt«, aber das war so fehlerhaft Ångström [1901], daß Arrhenius [1901] sofort die Fehler nachweisen konnte. Offensichtlich hat das Ångström akzeptiert, denn er erfand 1905 ein Meßgerät für die Gegenstrahlung Ångström [1905].

²¹⁾ Erst vor kurzem bewertete von Storch den Skeptizismus gegen die menschengemachte globale Erwärmung, indem er die ganze Diskussion als »eine Diskussion von gestern und vorgestern« charakterisierte Stilbs [2006]. Ironischerweise waren es Calendar and Keeling, die eine »eine Diskussion von gestern und vorgestern« reaktivierten, die auf *bereits falsifizierten* Argumenten beruhte (s.u.).

Baur und Philips [1935], Cess [1990], Curtis und Goody [1956], de Bary u. a. [1954], Gold [1909], ... [1978], Hofmann [1955], Manabe und Strickler [1964], Manabe und Wetherald [1967], Manabe [1969a], Manabe [1969b], Manabe und Wetherald [1980], Martin und Barker [1932], Mecke [1921], Möller und Mügge [1933], Möller [1948], Möller [1943], Möller [1954], Möller [1959], Möller und Mannabe [1961], Mügge und Möller [1932], Schaefer und Philipps [1926], Wimmer [1926]. Die einflussreichsten Autoren des zitierten Papers waren de Bary u. a. [1954], Möller und Mügge [1933], Möller [1948], Möller [1943], Möller [1954], Möller [1959], Möller und Mannabe [1961], Mügge und Möller [1932], der auch ein Lehrbuch über Meteorologie schrieb Möller [1973a], Möller [1973b] und Manabe und Strickler [1964], Manabe und Wetherald [1967], Manabe [1969a], Manabe [1969b], Manabe und Wetherald [1980], Möller und Mannabe [1961]. Es scheint, dass das gemeinsame Werk von Möller und Mannabe [1961] einen wesentlichen Einfluss auf die Formulierung der aktuellen Vermutungen und Hypothesen vom atmosphärischen CO₂-Treibhauseffekt haben.

In einem sehr umfassenden Report des US Department of Energy (DOE), der 1985 erschien ... [1985], wurde die Hypothese vom atmosphärischen Treibhauseffekt in seine endgültige Form gebracht. Dieser Meilenstein wurde dann der Ausgangspunkt für alle nachfolgenden Publikationen des Weltklimarats IPCC Houghton u. a. [1990c], Houghton u. a. [1990b], Houghton u. a. [1994], Houghton u. a. [1996], Nakićenović u. a. [2000], Houghton u. a. [2001].

Aber selbst wenn die übervereinfachten Bilder, die im Umfeld der vom Weltklimarat IPCC geförderten Global-Klimatologie kursieren, physikalisch falsch sein sollten, könnte es natürlich sein, dass eine sorgfältige und physikalisch saubere Analyse einen nicht vernachlässigbaren Einfluss gewisser Strahlungsmechanismen (zusätzlich zur direkten Wirkung des Sonnenlichts) auf das Wetter und somit auf die Klimata aufdeckt. Diesen könnte man dann »CO₂-Treibhauseffekt« nennen.

Dann blieben drei Fragen übrig, selbst wenn dieser Effekt nur als Anstoß für eine Kette von Prozessen in der Atmosphäre dienen sollte:

1. Gibt es einen fundamentalen CO₂-Treibhauseffekt in der Physik? **Suggestiv falsche Fragestellung. Richtig wäre z.B. : Folgt aus den Gesetzen der Physik ein fundamentaler CO₂-Treibhauseffekt?**
2. Wenn dies der Fall ist, welche grundlegenden physikalischen Prinzipien stehen dann hinter diesem CO₂-Treibhauseffekt? **Die Antwort ist ganz einfach: die Absorption und Emission von Strahlung durch strahlungsaktive Gase (Treibhausgase).**
3. Ist es physikalisch richtig, den Wärmeübergang durch Strahlung als den grundlegenden Mechanismus zu betrachten, der das Wetter steuert, und können gleichzeitig die Wärmeleitfähigkeit und die Reibung gleich Null gesetzt werden? **Die Reibung wird im Allgemeinen nicht Null gesetzt, da z.B. die konvektive (Strömungs-) Wärmeübertragung turbulent erfolgt und Turbulenz ohne Reibung nicht möglich ist (siehe Reynolds-Zahl als Verhältnis von Verhältnis von Trägheits- zu Reibungskräften Wallén [1981]). Daß in der Troposphäre starke turbulente Strömungen herrschen, dürfte kaum jemand bestreiten. Für die Atmosphäre (bestehend aus Troposphäre und einem Teil der Stratosphäre kann eine Dicke von $d \approx 10$ km angesetzt werden. Als Temperaturdifferenz über dieser Höhendifferenz sind weniger als $\Delta T \approx 100$ K anzusetzen. Nach Tabelle 7 auf Seite 22 ist $\lambda < 0,03$ W/(mK). Damit wird der Wärmestrom durch Wärmeleitung = $\lambda * \Delta T/d < 0,3$ mW/m². Die durch Strömung und Strahlung transportierten Wärmemengen sind > 100 W/m², also ein erhebliches Vielfaches größer als die durch Wärmeleitung transportierte Wärmemenge, so daß die letztere vernachlässigt werden kann - d.h. der Fehler ist unwesentlich, wenn die Wärmeleitfähigkeit λ gleich Null gesetzt wird (Ausnahme wenige mm über der Oberfläche, wo die Reibungswirkung an der Oberfläche die**

Strömungswärmeleitung so erschwert, daß die Wärmeleitung eine Rolle spielt - das zeigt auch die Unbedeutenheit der Wärmeleitung: wenige *mm* zur gesamten Atmosphärendicke.)²²⁾.

Das angestrebte Ziel dieser Arbeit besteht darin,

- eine endgültige *negative* Antwort auf diese Fragen zu geben, und sie damit auf rhetorische Fragen zu reduzieren.
- Eine gründliche wissenschaftlichen Diskussion über den Treibhauseffekt anzustoßen?
Oder
- unsinnige negative Antworten zu verbreiten?

1.3 Diese Arbeit

In der Sprache der Physik ist *ein Effekt* ein nicht notwendigerweise offensichtliches, aber reproduzierbares *und* messbares Phänomen *zusammen mit* seiner physikalischen Erklärung. Weder der Erwärmungsmechanismus in einem Glashaus *noch* der vermutete menschengemachte Erwärmungsmechanismus in der Erdatmosphäre sind die Konsequenz eines Effekts im Sinne der obigen Definition:

- Im ersten Fall, dem Gärtner-Treibhaus, hat man es mit einem *trivialen Phänomen* zu tun.
- Im zweiten Fall, der Erdatmosphäre, gibt es *nichts*, was man messen könnte, sondern man beschränkt sich auf heuristische Rechnungen. *Man kann sehr deutlich messen, siehe Kapitel 4.4.1 auf Seite 132.*

An der Universität ist die Erklärung des Erwärmungsmechanismus in einem echten Treibhaus eine Übungsaufgabe in den Kursen der ersten Semester, in denen Optik, Kernphysik und klassische Strahlungstheorie behandelt werden. Auf diesem Niveau sind weder die mathematische Formulierung des Ersten und Zweiten Hauptsatzes, noch die irreversible Thermodynamik bekannt. So wird das Phänomen mit vergleichsweise einfachen Mitteln behandelt.

Wenn man jedoch unter Verwendung der Suchbegriffe »Glashaus-Effekt«, »Treibhauseffekt«, usw. in den klassischen Lehrbüchern der Experimentalphysik oder Theoretischen Physik nachschlägt, so stellt man - möglicherweise zu seiner Überraschung und Enttäuschung - fest, dass dieser Effekt nirgendwo beschrieben wird, mit wenigen Ausnahmen, wo in aktualisierten Auflagen plötzlich Werke aus der Klimatologie zitiert werden²³⁾. Ein bekanntes Beispiel ist die 1990er-Ausgabe des Lehrbuchs von Kittel über »Thermal Physics«, dem auf Seite 115 ein einschlägiges »Supplementum«²⁴⁾ zugefügt wurde Kittel [2000]:

»Der Treibhauseffekt beschreibt die Erwärmung der Erdoberfläche, die durch eine infrarot-absorbierende Schicht in der Erdatmosphäre hervorgerufen wird. Diese zwischen Erde und Sonne liegende Schicht besteht aus Wasser, und zwar in der Form von Wasserdampf und Wolken, und aus Kohlendioxid. Der Beitrag des Wassers zum Erwärmungseffekt mag bei 90 Prozent liegen.«

Kittels »Supplementum«²⁴⁾ bezieht sich auf die 1980 und 1992 erschienenen Bücher von J.T. Houghton *et al.* über den Klimawandel (»Climate Change«), die nichts anderes sind als die Berichte des Weltklimarats IPCC Houghton u. a. [1990c], Houghton u. a. [1992]. Im

²²⁾Die Punkte dürfte wieder der Verwirrung dienen da Reibung und Wärmeleitung als eines behandelt wird und mit der Antwort Wärmeleitung = 0 auch Reibung = 0 unterstellt wird - was natürlich Unsinn ist.

²³⁾Der Treibhauseffekt ist ein ganz triviales Beispiel für die Anwendung der Physik, daß schon Fourier [1824a] beherrschte. Erst der Versuch den Treibhauseffekt zu bestreiten führte dazu, daß er auch in physikalischer Literatur genannt wird.

Allgemeinen beziehen sich die meisten klimatologischen Texte nicht auf irgendein grundlegendes Werk der Thermodynamik oder Strahlungstheorie. In einzelnen Fällen wird das klassische astrophysikalische Buch von Chandrasekhar [1960] zitiert, aber es ist überhaupt nicht klar, welche Resultate wo angewandt werden, und wie die Schlussfolgerungen eines Chandrasekhar über die Physik der heißen Sternenatmosphären in den Rahmen des infraroten Strahlungstransports in den kalten planetaren Atmosphären passen soll.

Zitat aus [Rössler, 2009, S. 106]:

Die Physik steht auf Grund ihrer vielen Experimente auf sicheren Grundlagen und was Schöne an der Physik ist, sagt Chandrasekhar:

Voneinander getrennte, scheinbar völlig unabhängige Phänomene zugleich erklären zu können, Erscheinungen miteinander in Beziehung zu setzen, wo kaum jemand gedacht hätte, dass hier ein Zusammenhang bestehe, gehört in tiefverwurzelter Weise zum Wesen der Physik. Und für Chandrasekhar ist dies zugleich Ausdruck ihrer Schönheit.

Zwar sind die Leistungen und Temperaturen von Sternen und Planeten anders, aber sie sind noch nicht mal völlig unabhängige Phänomene, nur die in die Gleichungen einzusetzenden Zahlenwerte unterscheiden sich - die Lösungswege sind gleich.

Offensichtlich gibt es keine Quelle, in der ein atmosphärischer Treibhauseffekt allein aus den Prinzipien der an der Universität gelehrteten Physik hergeleitet ist. Der Treibhauseffekt ist einfach zu verstehen, aber die ausführliche Beschreibung erfordert ganze Bücher - und die existieren.

Selbstverständlich ist das Problem des atmosphärischen Treibhauseffekts kein grundlegendes Problem der Wissenschaftstheorie, das am besten durch das Münchhausen-Trilemma charakterisiert ist²⁴⁾, welches besagt, dass man sich stets begnügen muss mit der ternären Alternative²⁵⁾

unendliche Regression - Dogma - Zirkelschluss

Der atmosphärische Treibhauseffekt ist vielmehr eine Vermutung, die eigentlich schon im Rahmen der Ingenieursthermodynamik (nach Meinung von G&T in ihrem Paper) bestätigt oder widerlegt werden kann Schack [1983], F. Kreith u. a. [1999], Baukal [1999]. Genau dieses wurde von Alfred Schack getan, der ein klassisches Lehrbuch über dieses Thema schrieb Schack [1983]. Bereits Schack [1972] zeigte, dass der Anteil der Strahlung am Wärmeübergang von CO₂ bei atmosphärischen Temperaturen vernachlässigt werden kann, obwohl sie bei den in Brennkammern vorherrschenden Temperaturen eine wesentliche Rolle spielt. In der gesamten Atmosphäre sind die Temperaturen wesentlich unter den Brennkammertemperaturen und es sind wenig andere Wärmeübertragungswege im Gegensatz zu Brennkammern, so daß CO₂ doch die wesentliche Rolle spielt. Zwar steht in der Vorbemerkung in Schack [1972] (wobei nicht klar ist, ob diese Bemerkung von Schack stammt) »daß der CO₂-Gehalt der Atmosphäre praktisch ohne Einfluß ist.«, aber in dem weiteren Text vergißt Schack, was er selbst schreibt: »Die Absorption der ein Gas durchsetzenden Wärmestrahlung

²⁴⁾Der Begriff wurde von dem kritischen Rationalisten Hans Albert geprägt, siehe zum Beispiel Ref. Albert [1985]. Für die gegenwärtige Diskussion der globalen Erwärmung könnte das Werk von Hans Albert sehr interessant sein. Nach Albert können sich neue Einsichten nicht leicht verbreiten, da es häufig ein ideologisches Hindernis gibt, für das Albert den Begriff Immunität gegen Kritik geprägt hat.

²⁵⁾Eine Alternative ist - gemäß der ursprünglichen Bedeutung des Wortes - die Wahl zwischen zwei Möglichkeiten, nicht etwa eine der Möglichkeiten selbst. Eine ternäre Alternative verallgemeinert die gewöhnliche (binäre) Alternative zu einer dreifachen Wahl.

ist im Beharrungszustand genau gleich der Wärmestrahlung dieses Gases. Denn wenn hierbei Abweichungen beständen, würden sich in einem dies Gas erfüllenden Hohlraum von selbst Temperaturdifferenzen bilden, was nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik nicht möglich ist.«. Schack berechnet die Absorption der CO₂-Strahlung zu 98,5 % und bei verdoppelter CO₂-Konzentration zu 99,3 % - aber er vergißt die Berücksichtigung der Emission. Wenn die Absorption verdoppelt wird, dann verdoppelt sich auch die Emission, also lassen sich mit alleiniger Berücksichtigung der Absorption keine Aussagen machen. Zur gemeinsamen Absorption und Emission siehe Kapitel 3.5.5 auf Seite 66

Der Rest der Arbeit ist wie folgt aufgebaut:

- In Diagramm w in Diagr. 2 wird der Mechanismus der Erwärmung in echten Treibhäusern diskutiert, der streng von der von Arrhenius aufgestellten kontroversen Vermutung zu unterscheiden ist.
- Diagramm w in Diagr. 3 auf Seite 49 idmet sich der Frage, ob ein atmosphärischer Treibhauseffekt möglich ist. Es wird dargelegt, dass dieser Effekt weder eine experimentelle noch eine theoretische Basis hat und daher als *frei erfunden* betrachtet werden muss. Die Behauptung, dass die Emissionen des Spurengases CO₂ einen menschengemachten Klimawandel auslösen könnten, hat keine physikalische Grundlage. **Doch - und der Leser wird zum gleichen Schluß kommen, wenn er die Kommentare gelesen hat.**
- In Diagramm w in Diagr. 4 auf Seite 119 werden Theoretische Physik und Klimatologie im Kontext der Wissenschaftstheorie einander gegenüber gestellt. Es wird die Frage aufgeworfen, inwieweit globale Computer-Klimatologie in den Rahmen der exakten Naturwissenschaften - sprich Physik - passt.
- **Im Kapitel 4.4 auf Seite 132 werden theoretische Physik und der Treibhauseffekt aus experimenteller Sicht besprochen.**
- Das abschließende Diagramm i in Diagr. 5 auf Seite 143 ist das Resümee des Physikers, **der wenig vom Treibhauseffekt versteht.**

2 Der Erwärmungsmechanismus in realen Treibhäusern

2.1 Grundlagen der klassischen Strahlungstheorie

2.1.1 Einführung

Seit Jahren wird der Erwärmungsmechanismus in realen Treibhäusern - umschrieben als »Treibhauseffekt« - missbraucht, um den vermuteten atmosphärischen Erwärmungseffekt zu erklären. In Schulbüchern, in populär-wissenschaftlichen Debatten und selbst in wissenschaftlichen Debatten auf hohem Niveau wird behauptet, dass der Mechanismus, den man in einem Glashaus beobachten kann, einige gewisse Ähnlichkeiten zur menschengemachten globalen Erwärmung aufweise. Inzwischen geben aber selbst Mainstream-Klimatologen zu, dass der Erwärmungsmechanismus im echten Glashaus streng zu unterscheiden ist vom behaupteten atmosphärischen CO₂ Treibhauseffekt, **bzw. die Gemeinsamkeiten sind festzustellen.** In beiden Fällen sind die Bodentemperaturen durch die Wirkung der Schichten darüber höher als ohne diese Schichten - aber es gibt auch Unterschiede: im Inneren eines Glashauses sind die Lufttemperaturen durch Konvektion fast einheitlich, der Temperaturabfall ist über der Dicke der Glasscheiben (innen warm, außen fast Umgebungstemperatur). Beim Treibhauseffekt ist der Temperaturabfall monoton mit der Höhe (Ausnahme Ozonschicht).

Dennoch sollten wir einen Blick auf das klassische Glashaus-Problem werfen, um einige grundlegende Prinzipien der Thermodynamik und Strahlungstheorie zu studieren. Danach

werden wir die relevante Strahlungsdynamik behandeln und den Unterschied zum Glashaufbau herausarbeiten. **Bzw. die Gemeinsamkeiten werden festgestellt.**

Wärme ist die (**chaotische**) kinetische Energie (Bewegungsenergie) von Molekülen und Atomen und wird übertragen durch Kontakt (**auch der Kontakt ist kein echter Kontakt = Berührung, sondern eine Wechselwirkung bei geringen Abständen**) und Strahlung. Im ersten Fall, der durch die Coulomb-Wechselwirkung bzw. die van der Waals-Wechselwirkung beherrscht wird, sind dies die virtuellen (sog. *off-shell*) Photonen, im zweiten Fall sind dies die reellen (sog. *on-shell*) Photonen. **Verblüffend: hier wird ein sehr einfaches Bild benutzt, obwohl nach Gleichung 3 auf Seite 23) (auf Seite 24) kräftig gegen eine vereinfachte Darstellung polemisiert wird - der Unterschied ist erklärlich: hier ist eine eigene Darstellung, dort wird gegen andere polemisiert.** Die Wechselwirkung von Photonen und Elektronen (und anderen Teilchen, die elektrisch geladen sind oder ein nicht-verschwindendes magnetisches Moment haben) wird mikroskopisch beschrieben durch die Gesetze der Quantentheorie. Im Prinzip könnten die thermische Leitfähigkeit und die Strahlungsübertragung in einem vereinheitlichten Rahmen beschrieben werden. Das Vielkörperproblem für das Nichtgleichgewicht ist aber hochgradig nicht-trivial und Gegenstand der Disziplin der physikalischen Kinetik, die Quantentheorie und Statistische Mechanik für das Nichtgleichgewicht vereinigt.

Glücklicherweise führt aber schon eine Analyse unter Anwendung der Methoden und Resultate der klassischen Strahlungstheorie zu interessanten Resultaten.

2.1.2 Die infinitesimale spezifische Intensität

In der klassischen Strahlungstheorie Chandrasekhar [1960] ist die Grundgröße die *spezifische Intensität* I_ν . Sie ist definiert als der *Betrag der Strahlungsenergie* dE_ν in einem spezifizierten Frequenzintervall $[\nu, \nu + d\nu]$, der transportiert wird durch eine Fläche $d\mathbf{F}_1$ in Richtung einer weiteren Fläche $d\mathbf{F}_2$ während der Zeit dt :

$$dE_\nu = I_\nu d\nu dt \frac{(\mathbf{r} d\mathbf{F}_1)(\mathbf{r} d\mathbf{F}_2)}{|\mathbf{r}|^4} \quad (4)$$

wobei \mathbf{r} der Abstandsvektor von $d\mathbf{F}_1$ nach $d\mathbf{F}_2$ ist (Bild 1).

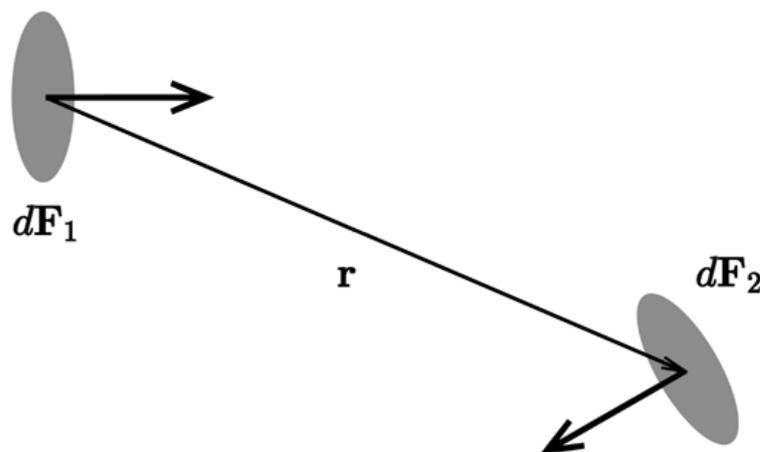


Abbildung 1: Die Geometrie der klassischen Strahlung: Eine strahlende infinitesimale Fläche $d\mathbf{F}_1$ und eine bestrahlte infinitesimale Fläche $d\mathbf{F}_2$ im Abstand \mathbf{r} .

Für ein allgemeines Strahlungsfeld schreibt man

$$I_\nu = I_\nu(x, y, z; l, m, n; t) \quad (5)$$

wobei (x, y, z) die Koordinaten, (l, m, n) die Richtungskosinus und t die Zeit bezeichnen, auf die sich I_ν bezieht.

Mit Hilfe der Definition des Skalarprodukts kann Gleichung (4 auf der vorherigen Seite) gebracht werden in die Form

$$dE_\nu = I_\nu d\nu dt \frac{(\cos \vartheta_1 dF_1)(\cos \vartheta_2 dF_2)}{r^2} \quad (6)$$

Ein spezieller Fall ist gegeben durch

$$\cos \vartheta_2 = 1 \quad (7)$$

Mit

$$\begin{aligned} \vartheta &:= \vartheta_1 \\ d\sigma &:= dF_1 \\ d\omega &:= dF_2/r^2 \end{aligned} \quad (8)$$

wird Gleichung (6) zu

$$dE_\nu = I_\nu d\nu dt \cos \vartheta d\sigma d\omega \quad (9)$$

und definiert damit den *Stift der Strahlung* Chandrasekhar [1960].

Gleichung (6), welche weiter unten benutzt wird, ist ein wenig allgemeiner als Gleichung (9), welche in der Literatur gebräuchlicher ist. Beide Gleichungen können vereinfacht werden, indem man eine *integrierte Intensität*

$$I_0 = \int_0^\infty I_\nu d\nu \quad (10)$$

einführt und dazu eine *Strahlungsleistung* dP . Zum Beispiel kann Gleichung (6) in die Form gebracht werden

$$dP = I_0 \frac{(\cos \vartheta_1 dF_1)(\cos \vartheta_2 dF_2)}{r^2} \quad (11)$$

2.1.3 Integration

Im Rahmen der Durchführung der Integration darf man eine Buchhaltung über die Dimensionen der verwendete Größen nicht vernachlässigen. Gewöhnlich wird über die Fläche dF_1 integriert und die Gleichung in einer Weise so umgestellt, dass die Intensität I (bzw. die Intensität multipliziert mit einem Flächenelement $I dF$) auf beiden Seiten der Gleichung erscheint.

Insbesondere sind drei Fälle interessant:

- (a) *Zwei parallele Flächen mit Abstand a* . Nach Bild 2 auf der nächsten Seite kann man schreiben

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 =: \vartheta \quad (12)$$

Indem man

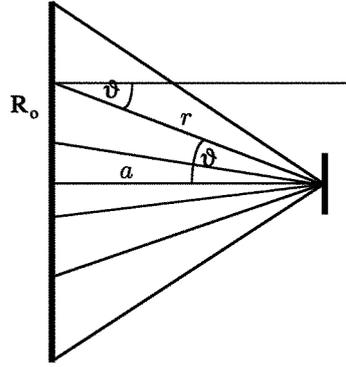


Abbildung 2: Zwei parallele Flächen mit Abstand a .

$$r^2 = r_0^2 + a^2 \quad (13)$$

$$2r \, dr = 2r_0 \, dr_0 \quad (14)$$

$$\cos \vartheta = \frac{a}{r} \quad (15)$$

setzt, erhält man

$$\begin{aligned}
 I_{\text{parallele Flächen}} &= \int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} I_0 \frac{(\cos \vartheta)^2}{r^2} r_0 \, dr_0 \, d\varphi \\
 &= \int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} I_0 \frac{a^2}{r^4} r_0 \, dr_0 \, d\varphi \\
 &= \int_0^{2\pi} \int_a^{\sqrt{R_0^2 + a^2}} I_0 \frac{a^2}{r^4} r \, dr \, d\varphi \\
 &= 2\pi I_0 a^2 \int_a^{\sqrt{R_0^2 + a^2}} \frac{dr}{r^3} \\
 &= \pi I_0 a^2 \left. \frac{-1}{r^2} \right|_a^{\sqrt{R_0^2 + a^2}} \\
 &= \pi I_0 a^2 \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{R_0^2 + a^2} \right) \\
 &= \pi I_0 \frac{R_0^2}{R_0^2 + a^2} \quad (16)
 \end{aligned}$$

(b) *Zwei parallele Flächen mit Abstand $a \rightarrow 0$*

Wenn der Abstand a sehr klein wird, während R_0 endlich gehalten wird, hat man

$$I_{\text{parallele Flächen}} (a \rightarrow 0) = \lim_{a \rightarrow 0} \left(\pi I_0 \frac{R_0^2}{R_0^2 + a^2} \right) = \pi I_0 \quad (17)$$

Diese Beziehung korrespondiert der Halbraum-Intensität für eine Strahlung von der Einheitsfläche.

(c) *Die von der Sonne angestrahlte Erde*

Mit I_0^{Sonne} als Faktor I_0 für die Sonne ist die solare Halbraum-Intensität gegeben durch

$$I_{\text{Sonnenoberfläche}} = \pi \cdot I_0^{Sonne} \quad (18)$$

Wenn man

$$a = R_{\text{Erdbahn}} \quad (19)$$

$$R_0 = R_{\text{Sonne}} \quad (20)$$

setzt, erhält man für die Intensität der Sonnenstrahlung an der Erdbahn

$$\begin{aligned} I_{\text{Erdbahn}} &= \pi I_0^{Sonne} \frac{R_{\text{Sonne}}^2}{R_{\text{Sonne}}^2 + R_{\text{Erdbahn}}^2} \\ &= I_{\text{Sonnenoberfläche}} \frac{R_{\text{Sonne}}^2}{R_{\text{Sonne}}^2 + R_{\text{Erdbahn}}^2} \\ &\approx I_{\text{Sonnenoberfläche}} \frac{R_{\text{Sonne}}^2}{R_{\text{Erdbahn}}^2} \\ &\approx \frac{I_{\text{Sonnenoberfläche}}}{215^2} \end{aligned} \quad (21)$$

2.1.4 Das Stefan-Boltzmann-Gesetz

Für einen perfekten schwarzen Körper und eine Einheitsfläche, die in seiner Nähe positioniert ist, können wir die Intensität I mit Hilfe der Kirchhoff-Planck-Funktion berechnen, für die es zwei Versionen

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (22)$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (23)$$

gibt, die gemäß

$$B_\nu(T)d\nu = B_\nu(T)\frac{d\nu}{d\lambda}d\lambda = -B_\nu(T)\frac{c}{\lambda^2}d\lambda = -B_\lambda(T)d\lambda \quad (24)$$

miteinander im Zusammenhang stehen, mit

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (25)$$

wobei c die Lichtgeschwindigkeit, h die Plancksche Konstante, k die Boltzmann-Konstante, λ die Wellenlänge, ν die Frequenz und T die absolute Temperatur ist. Wenn wir über alle Frequenzen und Wellenlängen integrieren, erhalten wir das Stefan-Boltzmann T^4 -Gesetz

$$I = \pi \cdot \int_0^\infty B_\nu(T)d\nu = \pi \cdot \int_0^\infty B_\lambda(T)d\lambda = \sigma T^4 \quad (26)$$

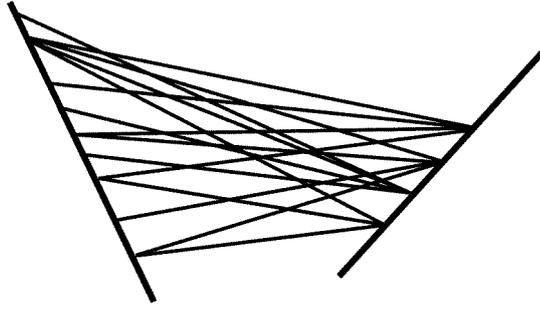


Abbildung 3: Die Geometrie der klassischen Strahlung: Zwei gegeneinander strahlende Flächen.

mit

$$\sigma = \pi \cdot \frac{2\pi^4 k^4}{15c^2 h^3} = 5,670\,400 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \quad (27)$$

Es ist üblich, etwas abgekürzt zu schreiben

$$S(T) = 5,67 \cdot \left(\frac{T}{100 \text{ K}} \right)^4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (28)$$

Dies ist die Netto-Strahlungsenergie pro Einheitszeit (**Bruttostrahlleistung**)²⁶⁾ pro Einheitsfläche platziert in der Nachbarschaft einer strahlenden ebenen Fläche eines schwarzen Körpers.

2.1.5 Schlussfolgerung

Drei Tatsachen sollten hier hervorgehoben werden:

- In der *klassischen Strahlungstheorie* wird Strahlung *nicht* durch ein Vektorfeld beschrieben, das jedem Punkt im Raum einen entsprechenden Vektor zuordnet. Vielmehr werden jedem Raumpunkt viele Strahlen zugeordnet (Bild 3). Dies steht in scharfem Kontrast zur modernen Beschreibung des Strahlungsfeldes als elektromagnetisches Feld mit einem Poynting-Vektorfeld als der zugeordneten relevanten Größe Jackson [1962]. Was soll das? Es kommt bei allen auf Anwendungsbereich und Zielstellung an, ob das gesuchte Ergebnis mit einfachen Mitteln erreicht werden kann. Z.B. wird eine Ballbewegung kaum mit der Relativitätstheorie beschrieben - die Newton'sche Mechanik reicht aus. Auch zur Berechnung optischer Systeme wird nicht nur mit dem Strahlungsfeld gearbeitet, sondern auch klassisch Fischer [2008].
- Die Konstante σ , die in dem T^4 -Gesetz erscheint, ist *keine* universelle Konstante der Physik. Sie hängt stark von der besonderen Geometrie des betrachteten Problems ab²⁷⁾. Warum dann Bild 28 auf Seite 107 bis Bild 32 auf Seite 117 wenn alles falsch ist? Die »besondere Geometrie« wird durch einen Emissionsfaktor ε beschrieben.
- Das T^4 -Gesetz wird nicht mehr gelten, wenn man über ein gefiltertes Spektrum integriert, welches die Situation in der realen Welt widerspiegelt. Dies ist in

²⁶⁾ Siehe [Stefan, 1879, S. 411]

²⁷⁾ Für die Berechnung der Strahlungsübertragung in einer Anordnung vieler Schichten zum Beispiel, ist der korrekte Ausgangspunkt der infinitesimale Ausdruck für die Strahlungsintensität, nicht etwa der bereits berechnete integrierte Stefan-Boltzmann-Ausdruck, der ja für eine vollständig andere Situation berechnet wurde.

Bild 4 auf der nächsten Seite illustriert. Würde das T^4 -Gesetz gelten, würden beide Kurven zusammenfallen.

Viele Pseudo-Erklärungen im Kontext der Globalklimatologie sind bereits durch diese drei Beobachtungen der mathematischen Physik falsifiziert.

2.2 Die Sonne als ein schwarzer Strahler

Die Kirchhoff-Planck-Funktion beschreibt einen idealen Schwarzkörper-Strahler. Aus Gründen der Bequemlichkeit definiert man

$$B_{\lambda}^{\text{Sonnenschein}} = B_{\lambda}^{\text{Sonne}} \cdot \frac{R_{\text{Sonne}}^2}{R_{\text{Erdbahn}}^2} = B_{\lambda}^{\text{Sonne}} \cdot \frac{1}{215^2} \quad (29)$$

Bild 5 auf der nächsten Seite zeigt das Spektrum des Sonnenlichts unter der Annahme, dass die Sonne ein schwarzer Körper der Temperatur $T = 5780 \text{ K}$ ist.

Um den Teil der Strahlung für ein gewisses Wellenlängen-Intervall $[\lambda_1, \lambda_2]$ zu bestimmen, muss man den Ausdruck

$$\frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_{\lambda}^{\text{Solarstrahlung}}(5780 \text{ K}) d\lambda}{\int_0^{\infty} B_{\lambda}^{\text{Solarstrahlung}}(5780 \text{ K}) d\lambda} \quad (30)$$

berechnen. Tabelle 8 zeigt die prozentualen Anteile des ultravioletten, sichtbaren und infraroten Sonnenlichts. Hier ist angenommen, dass der sichtbare Bereich des Lichtes zwischen 380 nm und 760 nm liegt. Es sollte erwähnt werden, dass der sichtbare Bereich vom Individuum abhängt.

Band	Bereich [nm]	Anteil [%]
ultraviolett	0 – 380	10,0
sichtbar	380 – 760	44,8
infrarot	760 – ∞	45,2

Tabelle 8: Der prozentuale Anteil des ultravioletten, sichtbaren und infraroten Sonnenlichts.

Wie auch immer, der Anteil des eingestrahltten Sonnenlichts im infraroten Bereich ist größer als der im sichtbaren Bereich. In den meisten Arbeiten, die den Treibhauseffekt diskutieren, wird diese bedeutende Tatsache einfach verschwiegen. Für den Treibhauseffekt wird unterschieden zwischen dem durchlässigen und dem absorbierenden Wellenlängenbereich der Atmosphäre - die Wellenlängengrenze des für den Menschen sichtbaren Bereichs ist dabei unwesentlich.

2.3 Die Strahlung an einem sehr schönen Tag

2.3.1 Das Phänomen

Jeder Autofahrer kennt eine bestimmte Art eines Glashauses- oder Treibhauseffekts, insbesondere nach dem heißen Sommer eines Jahres. Wenn er sein normal temperiertes Fahrzeug am Morgen abstellt und die Sonne ins Innere des Wagen scheint, bis er wieder am Mittag zurückkehrt, verbrennt er sich fast die Finger am Steuerrad, wenn das Armaturenbrett einer direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt war. Die Luft innerhalb des Wagens ist unerträglich

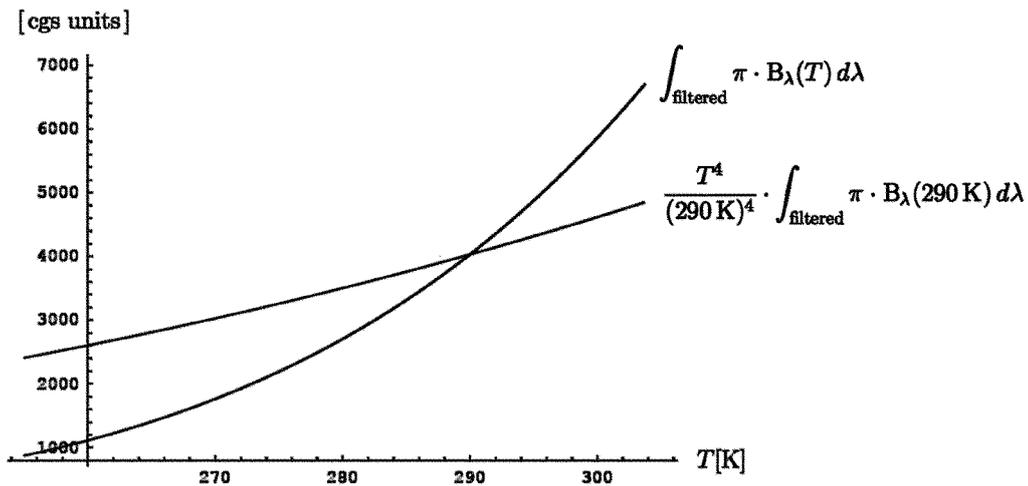


Abbildung 4: Die Strahlung eines schwarzen Körpers verglichen mit der Strahlung eines farbigen Probekörpers. Die nicht-universelle Konstante σ ist so normalisiert, dass beide Kurven bei $T = 290 \text{ K}$ zusammenfallen. Das Stefan-Boltzmann T^4 -Gesetz gilt nicht länger im letzten Fall, indem nur über zwei Bänder integriert wird, nämlich über das sichtbare Licht und über die infrarote Strahlung von $3 \mu\text{m}$ bis $5 \mu\text{m}$, was zu einer steileren Kurve führt.

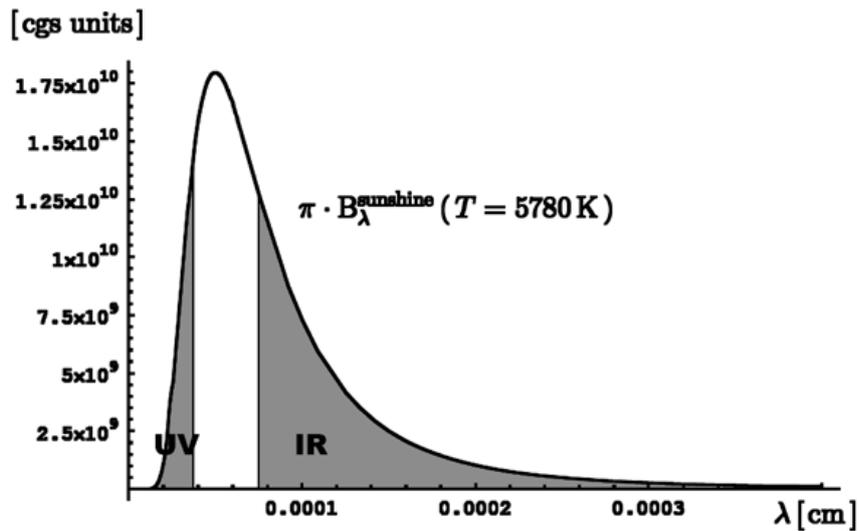


Abbildung 5: Das Spektrum des Sonnenlichts unter der Annahme, dass die Sonne ein schwarzer Körper der Temperatur $T = 5780 \text{ K}$ ist.

heiß geworden, selbst wenn es außerhalb ganz angenehm ist. Man öffnet dann das Fenster und das Schiebedach, aber unangenehm heiße Luft vom Armaturenbrett kommt einem während der Fahrt immer noch entgegen. Einen ähnlichen Effekt kann man im Winter beobachten; nur freut man sich dann über die Tatsache, dass es innen wärmer ist als draußen.

In Treibhäusern oder Glashäusern wird dieser Effekt ausgenutzt: Es ist umweltfreundliche Sonnenenergie, für die vermutlich auch in ferner Zukunft keine Energiesteuer bezahlt werden muss, die hier zum Heizen verwendet wird. Trotzdem haben Glashäuser nicht die konventionellen Gebäude ersetzt, nicht nur weil viele Leute gerne Energiesteuern bezahlen, um im Winter zu heizen, und an Sommertagen in einem kälteren Apartment zu leben, sondern weil

die Glashäuser auch gewisse andere Nachteile haben. Mit der vakuumisolierten transparenten Gebäudedämmung kann sich das ändern – aber die Kosten sind noch sehr hoch.

2.3.2 Der Sonnenschein

Man muss kein Experte in Physik sein, um sofort zu erklären können, warum der Wagen innen so heiß ist. Es ist die Sonne, welche das Innere des Wagens aufheizt. Jedoch ist ein wenig schwieriger zu erklären, weshalb es außerhalb des Wagens nicht so heiß ist, obwohl die Sonnenstrahlung den Boden ohne jegliche Hindernisse trifft.

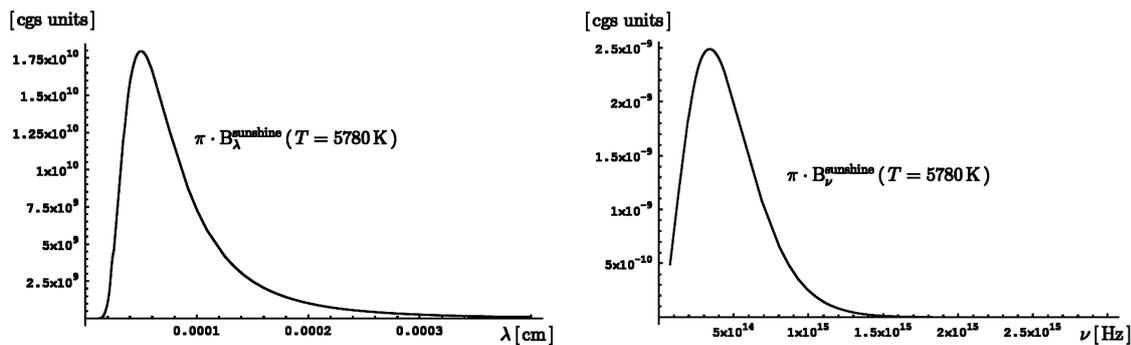


Abbildung 6: Die ungefilterte spektrale Verteilung der auf die Erde einkommenden Sonnenstrahlung unter der Annahme, dass die Sonne ein schwarzer Körper ist mit der Temperatur $T = 5780 \text{ K}$ (links: im Wellenlängen-Raum, rechts: im Frequenz-Raum).

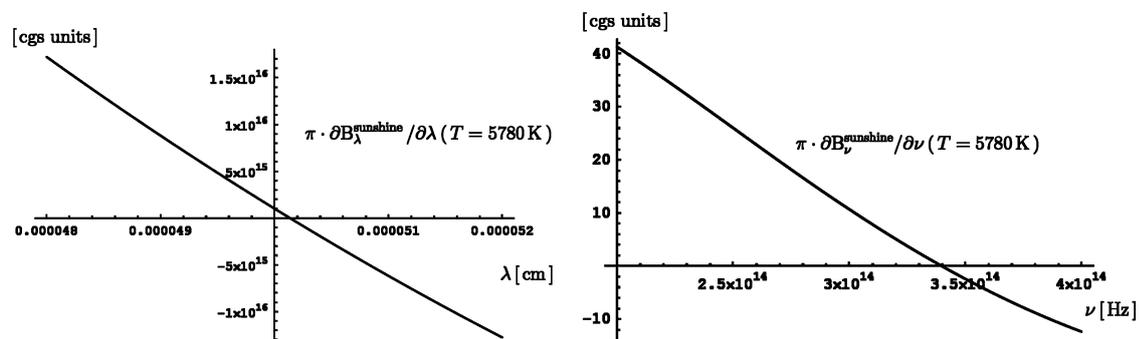


Abbildung 7: Die exakte Position der Nullstellen der partiellen Ableitungen der Strahlungsintensitäten der auf der Erde eintreffenden Sonnenstrahlung. (links: im Wellenlängenraum, rechts: im Frequenzraum).

Schon Physikstudenten der ersten Semester können mit Ihrem Standard-Wissen diese Art eines Treibhauseffekts leicht »erklären«. Der Hauptteil der Sonnenstrahlung (Bild 6) passiert das Glas, weil das Maximum (Bild 7) der Sonnenstrahlung im Bereich der blaugrünen Wellenlänge

$$\lambda_{\text{blaugruen}} = 0,5 \mu\text{m} \quad (31)$$

liegt, welche das Glas durchlässt. Dieser Teil kann mit der Kirchhoff-Planck-Funktion berechnet werden.

Es ist klar, dass dieses Ergebnis von der Art des Glases abhängt. Wenn es zum Beispiel für elektromagnetische Strahlung im Bereich 300 nm - 1000 nm transparent ist, dann hätte man

$$\frac{\int_{0,3 \mu\text{m}}^{1 \mu\text{m}} B_{\lambda}^{\text{Solarstrahlung}}(5780 \text{ K}) d\lambda}{\int_0^{\infty} B_{\lambda}^{\text{Solarstrahlung}}(5780 \text{ K}) d\lambda} = 77,2 \% \quad (32)$$

Im Falle eines Glases, von dem man annimmt, es sei nur gegenüber sichtbarem Licht (380 nm - 760 nm) transparent, erhalte man

$$\frac{\int_{0,380 \mu\text{m}}^{0,760 \mu\text{m}} B_{\lambda}^{\text{Solarstrahlung}}(5780 \text{ K}) d\lambda}{\int_0^{\infty} B_{\lambda}^{\text{Solarstrahlung}}(5780 \text{ K}) d\lambda} = 44,8 \% \quad (33)$$

Wegen der Fresnel-Reflexion Jackson [1962] an den beiden Grenzflächen der Glasscheibe muss man 8 - 10 Prozent abziehen, so dass nur 60 - 70 Prozent (bzw. 40 Prozent) der Sonnenstrahlung das Innere des Wagens erreichen. Hochwirksam getöntes Glas, auch als *spektral-sensitiv getöntes Glas* bekannt, reduziert die Erwärmung durch solare Einstrahlung um einen Faktor von 0.50 (um einen Faktor von 0.69 im sichtbaren Bereich) verglichen mit dem Standardglas Anonymous [2000].

2.3.3 Die Strahlung des Bodens

Der Boden eines Glashauses hat eine Temperatur von etwa 290 K (Bild 8).

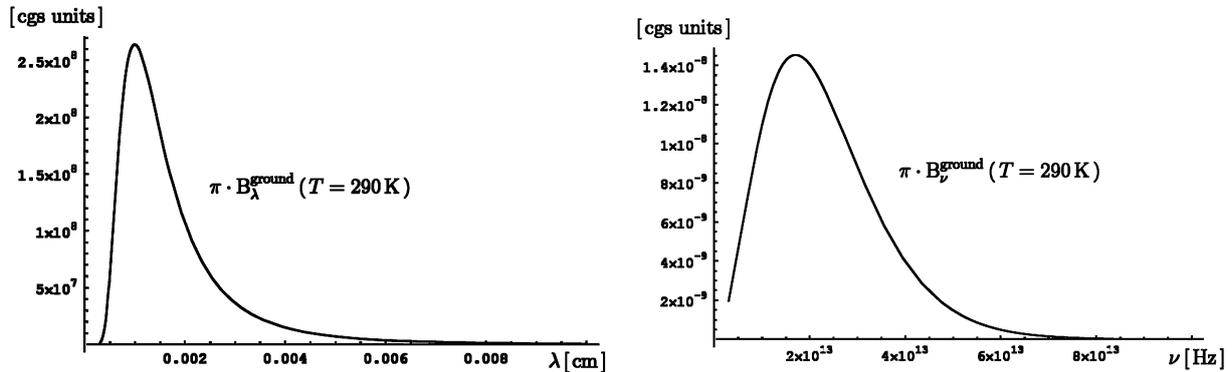


Abbildung 8: Die ungefilterte spektrale Verteilung der Strahlung des Bodens unter der Annahme, dass die Erde ein schwarzer Körper ist mit Temperatur $T = 290 \text{ K}$ (links: im Wellenlängenraum, rechts: im Frequenzraum).

Das Maximum der Schwarzkörper-Strahlung kann mit Hilfe des Wienschen Verschiebungsgesetz berechnet werden (vergleiche Bild 9 auf der nächsten Seite und Bild 10 auf Seite 40)²⁸⁾:

$$\lambda_{max}(T) \cdot T = const \quad (34)$$

gibt

$$\lambda_{max}(300 \text{ K}) = \frac{6000 \text{ K}}{300 \text{ K}} \cdot \lambda_{max}(6000 \text{ K}) = 10 \mu\text{m} \quad (35)$$

²⁸⁾ Wegen der Verschiedenheit der Abzissenachse in ν und λ ist $\lambda_{max} \neq \nu_{max}$.

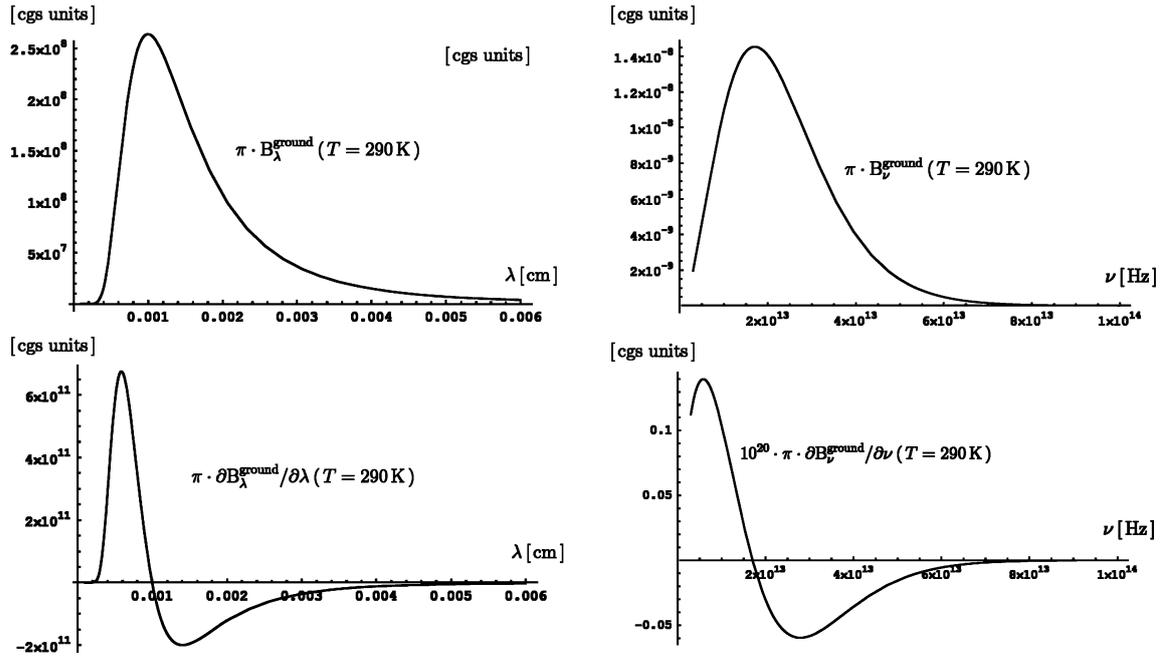


Abbildung 9: Die Strahlungsintensität des Bodens *und* seine partielle Ableitung als eine Funktion der Wellenlänge λ (linke Spalte) und der Frequenz ν (rechte Spalte).

Dies ist weit im infraroten Wellenlängenbereich, wo das Glas nach der Beerschen Formel Weizel [1963] praktisch alles Licht reflektiert. Praktisch 100 Prozent der Schwarzkörper-Strahlung bei Bodentemperaturen liegen oberhalb der Wellenlängen von $3,5 \mu\text{m}$. Die thermische Strahlung ist somit von den Glasscheiben »eingefangen«. Die Beschreibung mit »eingefangen« ist zu einfach. Die im Innern absorbierte Wärme muß das Innere wieder verlassen, das geschieht dadurch das die Innenseite des Glases durch Strahlung und Konvektion erwärmt wird, die Wärme geht durch Wärmeleitung durch das Glas und wird in den Außenbereich durch Infrarotstrahlung und Konvektion abgegeben. Wegen der Wirkung der Glasscheibe hängt die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen von den Eigenschaften der Glasscheibe ab.

Nach dem Wienschen Potenzgesetz, das die Intensität des Wellenlängen-Maximums beschreibt

$$B_{\lambda_{max}}(T) \propto T^5 \quad (36)$$

ist die Intensität der Strahlung auf dem Boden an der Stelle des Maximums bei Annahme einer einheitlichen Bodentemperatur von 300 K ($\approx 27^\circ\text{C}$), in der Realität ist die tatsächlich Bodentemperatur nicht einheitlich und sowohl höher als auch niedriger.

$$\frac{T_{\text{Sonne}}^5}{T_{\text{ErdOberfläche}}^5} \approx \frac{6000^5}{300^5} = 20^5 = 3,2 \times 10^6 \quad (37)$$

mal kleiner als auf der Sonne und

$$\frac{T_{\text{Sonne}}^5}{T_{\text{ErdOberfläche}}^5} \cdot \frac{R_{\text{Sonne}}^2}{R_{\text{Erdbahn}}^5} \approx \frac{20^5}{215^2} \approx 70 \quad (38)$$

mal kleiner als die Sonnenstrahlung auf der Erde. Die *Gesamtstrahlung* kann berechnet werden aus dem Stefan-Boltzmann-Gesetz

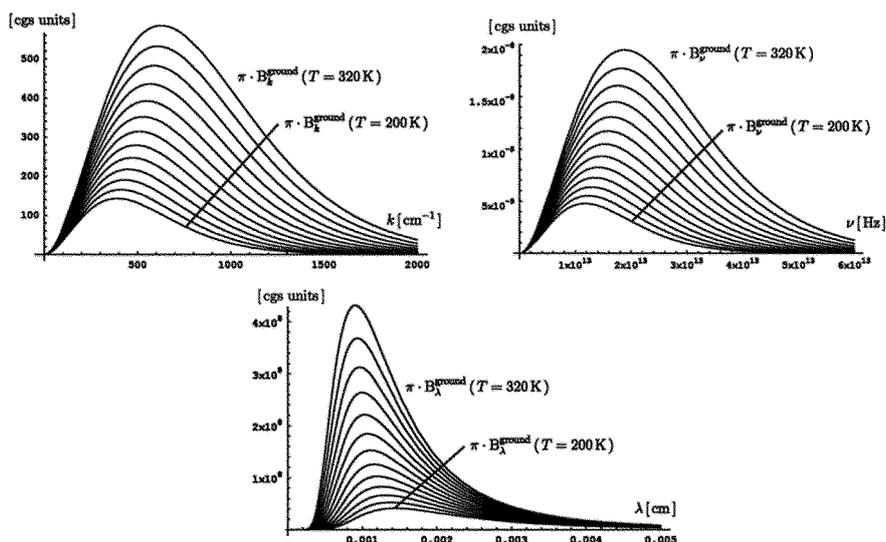


Abbildung 10: Drei Versionen der Familien von Strahlungskurven für die Bodenstrahlung (als Funktion der Wellenzahl k , der Frequenz ν und der Wellenlänge λ) unter der Annahme, dass die Erde ein schwarzer Körper sei.

$$B_{total}(T) = \sigma \cdot T^4 \quad (39)$$

Somit ist das Verhältnis von Sonnenstrahlung und Bodenstrahlung gegeben durch

$$\frac{T_{Sonne}^4}{T_{ErdOberfläche}^4} \cdot \frac{R_{Sonne}^2}{R_{Erdbahn}^5} \approx \frac{20^4}{215^2} \approx 3,46 \quad (40)$$

Grob gesprochen ist die Strahlung des Bodens etwa vier mal schwächer als die einkommende Sonnenstrahlung. Dieses “vier mal schwächer“ ist die Folge der angenommenen Temperatur von 300 K, diese Annahme ist einigermaßen begründet, da die Oberfläche einer Kugel (Erdkugel) etwa 4 mal so groß ist wie der Kugelquerschnitt.

2.3.4 Sonnenschein versus Bodenstrahlung

Um die Unterschiede noch klarer zu machen, ist es praktisch, die spektrale Verteilung der Intensität der Sonnenstrahlung an der Erdbahn und die spektrale Verteilung der Intensität der Strahlung eines schwarzen Körpers von 290 K in Relation zu den Wellenlängen (Bild 11 auf der nächsten Seite, Bild 12 auf der nächsten Seite und Bild 13 auf Seite 42) darzustellen. Um beide Kurven in einer Zeichnung gegenüberzustellen, verwendet man die Technik der überhöhten Darstellung und/oder wendet eine geeignete Re-Skalierung an.

Es wird unmittelbar deutlich,

- dass die Maxima bei $0,5 \mu\text{m}$ bzw. $10 \mu\text{m}$ liegen,
- dass die Intensitäten der Maxima sich durch einen Faktor von mehr als eine Größenordnung von 10 unterscheiden,
- dass oberhalb von $0,8 \mu\text{m}$ (Infrarot) die Luminosität (Helligkeit) der einkommenden Sonnenstrahlung eine beachtenswerte Intensität hat.

Bild 13 auf Seite 42 ist ein obszönes Bild, weil es physikalisch irreführend ist²⁹⁾. Die Obszönität wird allerdings nicht im Auge des Betrachters verweilen, wenn er einen Blick auf

²⁹⁾ Wieso irreführend? Die Fachleute verstehen sowieso die Physik des Treibhauseffektes und für eine populärwissenschaftliche Darstellung sind manchmal Kompromisse zweckmäßig.

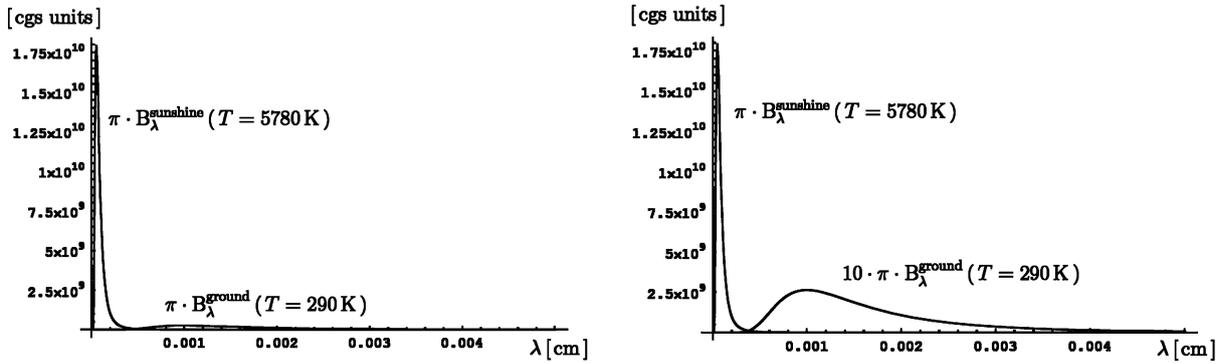


Abbildung 11: Die ungefilterte spektrale Verteilung der auf der Erde ankommenden Sonnenstrahlung unter der Annahme, dass die Sonne ein schwarzer Körper ist mit Temperatur $T = 5780 \text{ K}$ und die ungefilterte spektrale Verteilung der Bodenstrahlung unter der Annahme, dass die Erde ein schwarzer Körper ist mit Temperatur $T = 290 \text{ K}$, beide in einem Diagramm (links: normal, rechts: überhöht um einen Faktor von 10 für die Bodenstrahlung).

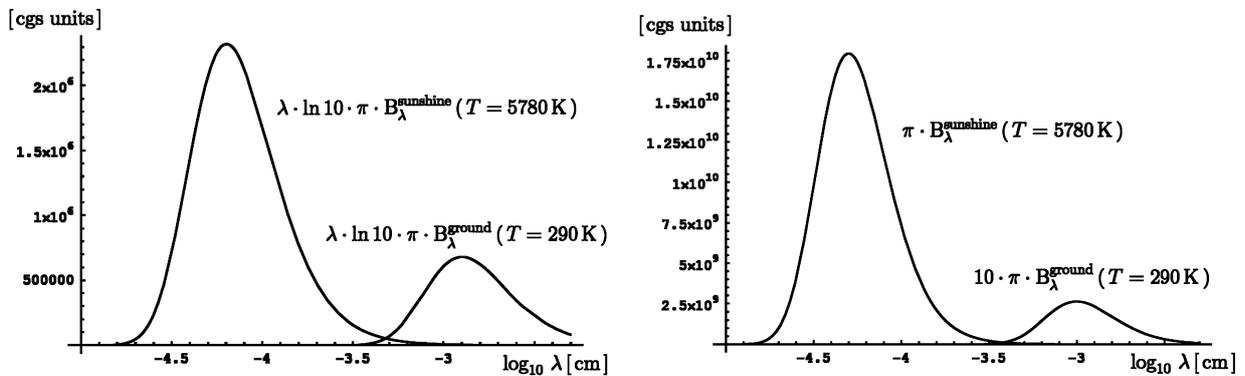


Abbildung 12: Die ungefilterte spektrale Verteilung der auf der Erde ankommenden Sonnenstrahlung unter der Annahme, dass die Sonne ein schwarzer Körper ist mit Temperatur $T = 5780 \text{ K}$ und die ungefilterte spektrale Verteilung der Bodenstrahlung unter der Annahme, dass die Erde ein schwarzer Körper ist mit Temperatur $T = 290 \text{ K}$, beide in einem semilogarithmischen Diagramm (links: normalisiert in einer Weise, dass gleiche Flächen gleichen Intensitäten entsprechen, rechts: überhöht um einen Faktor 10 für die Bodenstrahlung).

die obskuren Skalierungsfaktoren wirft, die schon Bakan und Raschke in undokumentierter Weise in ihrem Paper über den sogenannten natürlichen Treibhauseffekt anwenden Bakan und Raschke [2002]. Dies ist ein wissenschaftliches Fehlverhalten, ebenso wie die fehlende Zitierung. Bakan und Raschke übernahmen diese Abbildung aus Ref. Luther und Ellingson [1985], wobei die Skalierungsfaktoren, welche für die ganze Diskussion von äußerster Bedeutung sind, unspezifiziert bleiben. Dies ist ebenso ein wissenschaftliches Fehlverhalten.

2.3.5 Schlussfolgerung

Obwohl in den meisten Fällen die gegebene »Erklärung« ausreicht, um eine akzeptable Lösung der Standard-Problems vorzulegen, wie es in Kursen der unteren Semester präsentiert wird, so lässt die Analyse die Hauptfrage unbeantwortet, nämlich weshalb die Luft innerhalb des Autos wärmer ist als außerhalb, und weshalb das Armaturenbrett im Wagen heißer ist als der Boden außerhalb des Wagens. Im Folgenden werden wir deshalb uns der Situation

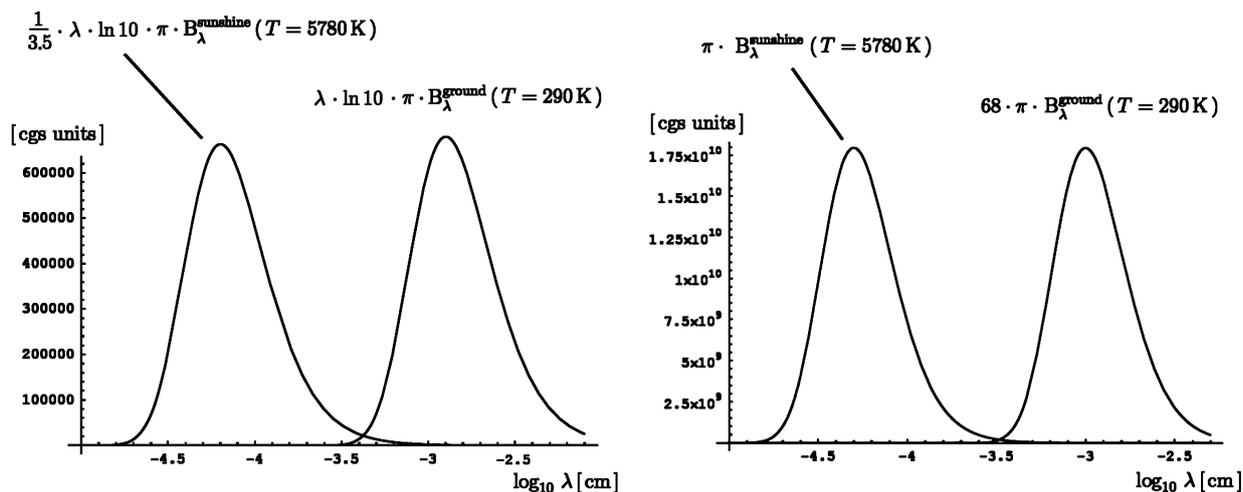


Abbildung 13: Die ungefilterte spektrale Verteilung der auf der Erde ankommenden Sonnenstrahlung unter der Annahme, dass die Sonne ein schwarzer Körper ist mit Temperatur $T = 5780\text{ K}$ und die ungefilterte spektrale Verteilung der Strahlung des Bodens unter der Annahme, dass die Erde ein schwarzer Körper ist mit Temperatur $T = 290\text{ K}$, beide in einem semi-logarithmischen Diagramm (links: normalisiert in einer Weise, dass gleiche Flächen gleichen Intensitäten entsprechen mit einer zusätzlichen Re-Skalierung der Sonnenschein-Kurve um einen Faktor von $1/3,5$, rechts: überhöht um einen Faktor von 68 für die Bodenstrahlung).

experimentell nähern. Die Erklärung ist ganz einfach. Ohne Zusatzheizung ist es im Innern des Autos genau so warm wie außerhalb. Mit Zusatzheizung ist es wärmer. Dabei ist es gleich von welcher Art die Zusatzheizung ist und wie sie ihre Energie erhält. Die Zusatzheizung kann ein Katalyofen sein, der seine Energie aus dem mitgeführten Benzin erhält oder eine elektrische Heizung, die ihre Energie aus dem Netz erhält oder aus der Autobatterie oder eben eine Oberfläche, die ihre Energie durch die Solarstrahlung erhält.

2.4 Experimente für den schulischen Unterricht

An einem heißen Nachmittag im Sommer wurden mit einem Standard-Digitalthermometer vom ersten Autor Temperaturmessungen durchgeführt Gerlich [1995], Gerlich [2004], Gerlich [2005b], Gerlich [2005a], Gerlich [2007]. Experimente dieser Art wurden kürzlich vom zweiten Autor erfolgreich wiederholt.

In der Sommerzeit können solche Messungen sehr leicht von jedermann reproduziert werden. Die Resultate der Experimente sind in der Tabelle 9 auf der nächsten Seite aufgelistet.

Gegen diese Messungen³⁰⁾ könnte man einwenden, dass man die Feuchtigkeit des Bodens berücksichtigen muss. Zu manchen Zeiten im Jahr zum Beispiel werden die Steine im Regen nass. Die oben erwähnten Messungen wurden zu einer Zeit gemacht, als es wochenlang nicht geregnet hatte. Es handelt sich um wirklich gemessene Werte, nicht um über Breiten und Längen der Erde, über Tag und Nacht, über alle Jahreszeiten und alle Wetteränderungen gemittelte Durchschnittswerte. Diese Messungen seien jedem Klimatologen empfohlen, der an den atmosphärischen CO_2 -Treibhauseffekt glaubt, weil er bereits während der Messung fühlt, dass der gerade beschriebene Effekt **nichts zu tun hat mit** eingefangener thermischer

³⁰⁾ Die Messungen sind in Ordnung, nur die Interpretation nicht.

Strahlung. Fachleute sprechen kaum von “eingefangener“ Strahlung, sondern von Behinderung der Strahlungsausbreitung.

Ort des Thermometers	Temperatur
innerhalb des Wagens, in der Sonne	71 °C
innerhalb des Wagens, im Schatten	39 °C
in der Nähe des Wagens, direkt in der Sonne, dicht oberhalb des Bodens	31 °C
in der Nähe des Wagens, im Schatten, dicht oberhalb des Bodens	29 °C
im Wohnzimmer	25 °C

Tabelle 9: Gemessene Temperaturen innerhalb und außerhalb des Wagens an einem heißen Sommertag.

Berührt man die Fenster des Wagens, stellt man fest, dass die Scheiben, die angeblich das infrarote Licht absorbieren, ziemlich kalt sind und das Innere des Wagens in keiner Weise heizen. Die Außenwände eines geheizten Zimmers sind auch – sogar auf der Innenseite – kühler als die Raumluft. Wenn man seine Hand im Schatten in der Nähe eines sehr heißen Teils des Armaturenbretts hält, so spürt man praktisch keine thermische Strahlung trotz der Temperatur von 70 °C, während man klar die heiße Luft fühlen kann. Dicht oberhalb des Erdbodens kann man erkennen, warum es dort kälter ist als im Wagen: Die Luft innerhalb des Wagens »steht still«, aber oberhalb des Erdbodens fühlt man stets eine leichte Bewegung der Luft. Der Erdboden ist niemals perfekt eben, so dass es immer Licht und Schatten gibt, was die Zirkulation am Laufen hält. Früher wurde dieser Effekt in vielen alten Gebäuden in Braunschweig ausgenutzt. Die Südseiten der Häuser hatten Ausbuchtungen. Damit lagen Teile der Wände im Schatten, und durch die so angeregte Zirkulation heizten sich die Wände weniger auf.

Im Auto ist es wärmer, weil das Autoinnere ohne Solarstrahlung so warm wie die Umgebung wäre, durch die eindringende Solarstrahlung entsteht eine Zusatzheizung, genau wie ein zusätzlicher Ofen im Winter zum Vorwärmen des Autos. Wie der Zusatzheizung die Energie zugeführt wird ist unwesentlich. Sie kann zugeführt werden

- durch Benzin (Katalyofen)
- Elektrokabel von der Garage (Elektroheizung) oder
- durch Solarstrahlung (statt des Elektrokabels)

Um den Erwärmungseffekt zu studieren, kann man einen Körper betrachten mit der spezifischen Wärme c_V und Dicke d , dessen Querschnitt F eine Strahlung der Intensität S erfährt (siehe Bild 14 auf der nächsten Seite). Man hat bei grober Vernachlässigung der Wärmeausbreitung über die Dicke (siehe Gleichung 2 auf Seite 19)) und Vernachlässigung von Abstrahlung und konvektiven Wärmeverlust (wie es einige Absätze weiter steht)

$$\rho F d c_V \frac{dT}{dt} = F S \quad (41)$$

bzw.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{S}{\rho c_V d} \quad (42)$$

was nach Integration

$$T = T_0 + \frac{S}{\rho c_V d} (t - t_0) \quad (43)$$

ergibt. In dieser Näherung gibt es einen linearen Anstieg der Temperatur in der Zeit infolge der zugestrahlten Intensität. Man sieht, dass die Temperatur besonders schnell steigt, wenn die absorbierenden Körper kleine Durchmesser haben. Entsprechendes gilt für die Wärmekapazität pro Volumen:

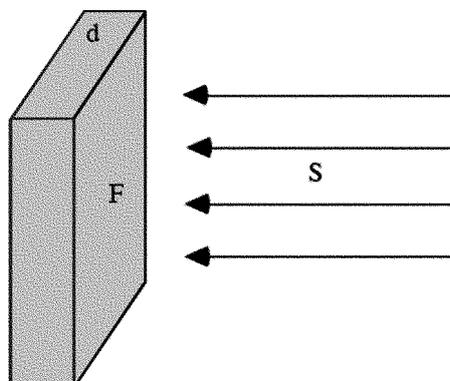


Abbildung 14: Ein Parallelepiped der Dicke d und des Querschnitts F unter Sonnenbestrahlung.

- Ist die Wärmekapazität groß, so wird die Temperaturänderung langsam sein.
- Ist die Wärmekapazität klein, so wird die Temperaturänderung schnell sein.

So ist die zugestrahlte Intensität verantwortlich für die schnellen Wechsel der Temperatur, *nicht* für ihren Wert. Der Anstieg der Temperatur wird durch die Wärmeübertragung an die Umgebung begrenzt. Das bedeutet, der Körper verliert durch Wärmeübertragung genau so viel Energie, wie er von der bestrahlende Intensität absorbiert - beide Größen bilanzieren also, wenn die Temperatur hoch genug ist, der durchgehende Energiestrom ist also eine Bilanzgröße.

Insbesondere in der Thermodynamik für Ingenieure werden die verschiedenen Arten der Wärmeübertragung und ihr Wechselspiel miteinander ausführlich diskutiert Schack [1983], F. Kreith u. a. [1999], Baukal [1999]. Eine umfassende Quelle ist das klassische Lehrbuch von Schack [1983]. Die theoretischen Resultate wurden in der Praxis überprüft zum Beispiel in Brennkammern und haben damit einen starken experimentellen Hintergrund.

Man hat zu unterscheiden zwischen

- Wärmeleitung
- Konvektion
- Strahlung
- Übertragung latenter Wärme in Phasenübergängen wie zum Beispiel Kondensation und Sublimation³¹⁾

Wärmeleitung, Kondensation und Strahlung, welche den Anstieg der Temperaturen begrenzen, wirken innerhalb und außerhalb des Wagens praktisch in identischer Weise. Der einzig mögliche Grund für einen *Unterschied* in der Endtemperatur muss daher in der Konvektion liegen (*unzutreffend, der Grund ist die Zusatzheizung*): Ein Volumenelement

³¹⁾Unter diesen Phänomenen, die sich durch Austausch latenter Wärme auszeichnen, ist der *Strahlungsfrost* zu finden, ein schlagendes Beispiel für die Abkühlung der Erdoberfläche durch Emission von Infrarot-Strahlung. Und gleichzeitig ein klarer Beweis für die Existenz der Gegenstrahlung (siehe Tabelle 15 auf Seite 104). Mit der auch von G&T anerkannten Wärmeleitungsgleichung kann man die Abkühlungsgeschwindigkeit berechnen. Der Vergleich zwischen Rechnung und Messung zeigt, daß zur Erklärung der niedrigen Abkühlgeschwindigkeit die Existenz der Gegenstrahlung berücksichtigt werden muß - siehe Kapitel 4.4 auf Seite 132 und Kapitel 3.7.13 auf Seite 100.

der Luft dicht über dem Boden, das durch Strahlung erhitzt wurde, heizt sich (vermittelt Wärmeübertragung durch Wärmeleitung) auf, steigt auf und wird ersetzt durch kältere Luft. Deshalb gibt es eine höhere Differenz der Temperaturen zwischen dem Boden und der Luft und eine höhere Wärmeübertragung verglichen mit der Situation, in der die Luft nicht ersetzt werden kann.

Genauso läuft dies im Innenraum des Wagens ab; aber dort ist die Luft eingeschlossen, und der Teil der Luft, der die aufsteigende ersetzen könnte, wird wärmer und wärmer, was zu einem schlechteren Wärmeübergang führt. Außerhalb des Wagens gibt es natürlich viel mehr kältere Luft als innen. Insgesamt gibt es eine höhere Temperatur sowohl für die Flächen, die das Sonnenlicht absorbieren (**die als Heizkörper wirken**), als auch für die Luft. Natürlich verliert der exponierte Körper selbst Energie durch Strahlung. Der wärmere Körper innerhalb des Wagens würde mehr Wärme in einem vorgegebenen Zeitintervall verlieren als der kältere Boden außen, was zu einer höheren Temperatur außerhalb führen würde, wenn dieser Temperaturanstieg nicht durch einen anderen Mechanismus zu Nichte gemacht werden würde. Wenn man sich nun klar macht, dass nur ein kleiner Teil der oben berechneten 60 - 70 Prozent der Intensität der Sonnenstrahlung - wegen seiner Komponenten aus Metall - den Innenraum des Wagens erreicht, dann würde dieser Effekt viel stärker auf die Temperaturen außerhalb wirken. Diese »Erklärung« dieses physikalischen Treibhauseffekts nur mit der Strahlungsbilanz würde somit zu dem umgekehrten Effekt führen. Der oben diskutierte Effekt der »eingesperrten« Wärmestrahlung durch reflektierende Glasscheiben bliebe bestehen, und man könnte ihn als Behinderung der Wärmeübertragung interpretieren - **wie bei jeder Zusatzheizung**. Er bedeutete eine Verlangsamung der Abkühlungsprozesses.

Weil jedoch die Wärmeübertragung durch Strahlung im Vergleich zur Wärmeübertragung durch Konvektion unbedeutend ist, bleibt nichts von der Absorption und Reflektion des Glases im Hinblick auf infrarote Strahlung übrig, um den Treibhauseffekt zu erklären. Weder der Absorptionskoeffizient noch der Reflektionskoeffizient für Glas und infrarotes Licht ist relevant für den physikalischen Treibhauseffekt - **wie bei jeder Zusatzheizung**. Relevant ist lediglich die Bewegung der Luft, die durch die Glasscheiben behindert wird. **Die Luft innerhalb des Autos ist ziemlich unerheblich für den Erwärmungseffekt, Vakuum-Solar-Kollektoren erreichen sogar 450 °C (statt 71 °C), obwohl die Form des »Auto«-inneren nicht prinzipiell anders ist.** Obwohl die Meteorologen dieses schon seit Urzeiten wissen Lee [1973], Berry [1974], benutzen einige von ihnen immer noch den physikalischen Treibhauseffekt, um die Temperaturen der planetaren Atmosphären zu erklären. Zum Beispiel bauen Schönwiese und Diekmann in ihrem Buch über den angeblichen atmosphärischen Treibhauseffekt ihre Argumente auf dem Glashauseffekt auf Schönwiese und Diekmann [1987]. Ihre Liste von Literaturzitatoren enthält eine bedeutende Primärveröffentlichung, die klar zeigt, dass dies unzulässig ist ... [1985].

2.5 Das Experiment von Wood

2.5.0 Erklärung der Beobachtungen

Im nachfolgenden Abschnitt vermutet Wood, daß die absorbierte Strahlung die Ursache des Treibhauseffektes ist, aber diese nicht gefangen ist. Damit hat er Recht, aber er ist nicht auf die eigentliche Ursache gekommen.

Natürlich spielt auch die Absorption und Emission beim Experiment von Wood eine Rolle - aber für eine Interpretierung seiner Meßergebnisse als Folge von Strahlungswirkung reichen weder die Reproduzierbarkeit noch die Messgenauigkeit seines Aufbaus. Um das zu beweisen, werden die Daten der relevanten Größen gebraucht. Mit photoakustischen Messungen kann man die Absorptionsstärke absorbierender Gase messen, sogar deren Konzentration

bestimmen Angster [2015] - auch wenn die Konzentrationen viel geringer als in der Atmosphäre sind. Mit den gemessenen Daten kann man den Anteil des Treibhauseffektes an den Meßergebnissen von Wood berechnen - er liegt um 1 mK und ist damit im Wood-Versuch nicht meßbar.

Zur nachfolgenden Erklärung eine einfache Frage: Warum ist es in einer geheizten Wohnung wärmer als in der Umgebung? Ganz einfach, weil durch die Umfassungswände der Wohnung die Heizwärme nur bei erhöhter Innentemperatur durch die Wände abfließen kann. Weshalb läßt man im Winter die Türen geschlossen? Damit die Wärme der Heizung nicht durch die kalte Außenluft fortgetragen wird.

Nun zu Wood³²⁾: Ohne Solarstrahlung herrscht in der Einschließung die gleiche Temperatur wie in der Umgebung. Kommt jetzt durch die Solarstrahlung wie bei einer Heizung zusätzliche Wärme in die Einschließung muß sich das Innere so lange erwärmen, bis der Wärmeabfluß durch die Wandung genau so groß ist, wie die zusätzliche Wärme, die durch die absorbierte Solarstrahlung in die Einschließung eingebracht wird. Wenn es draußen kälter wird, muß man deshalb auch mehr heizen weil der Wärmeabfluß ansteigt (wegen des höheren Temperaturgradienten in der Wand).

Die Temperaturen im Innern hängen nicht davon ab, wie die Heizleistung zugeführt wird – ob durch Drähte (einer Elektroheizung), durch Absorption von Mikrowellenstrahlung (Mikrowelle in der Küche) oder aber als Solarstrahlung durch eine durchsichtige Fläche. Gleiche Heizleistungen ergeben gleiche Erwärmungen, das zeigt sich z.B. in einer Heizungsreduzierung wenn die Sonne ins Zimmer scheint.

Die Bedeutung der Behinderung des Wärmeabflusses zeigen besonders Vakuum-Solar-Kollektoren: Bei diesen ist der Absorber (bei Wood immer als Boden bezeichnet) nicht von einer einfachen Glasumhüllung, sondern zuerst von Vakuum umgeben. Da kann die Wärme noch nicht mal durch eine Konvektionsströmung verteilt werden – aber die Temperaturen gehen bis 450 °C, weil erst bei dieser Temperatur der Wärmeverlust über die Umhüllung genau so groß ist wie die absorbierte Wärme.

Der gleiche Mechanismus wirkt auch beim atmosphärischen Treibhauseffekt, allerdings ist es noch etwas komplizierter, weil die Strahlungseigenschaften der Atmosphäre genau zu betrachten sind.

2.5.1 Text von Wood [1909]

Obwohl das Erwärmungsphänomen in einem Glashauss seine Ursache in der Unterdrückung der Konvektion, also der Luftkühlung, hat³³⁾, bleibt es trotzdem richtig, dass die meisten Gläser Infrarotlicht bei Wellenlängen von 1 μm und höher beinahe vollständig absorbieren. Ein *experimentum crucis*³⁴⁾ ist daher der Aufbau eines Glashauses mit Scheiben, die aus NaCl oder KCl bestehen, die sowohl gegenüber sichtbarem Licht als auch gegenüber Infrarotlicht transparent sind. Für Steinsalz (NaCl) wurde ein solches Experiment schon im Jahre 1909 von Wood realisiert Wood [1909]. Jones und Henderson-Sellers [1990], Schloerer [2007], Connolly [2007] (Übersetzung anschließend):

³²⁾1909 konnte Wood noch nicht die Arbeit von Einstein aus dem Jahr 1916 kennen Einstein [1916 bzw. 1917], außerdem schreibt Wood selbst, sich nicht gründlich mit dem Problem befaßt zu haben.

³³⁾Ein Problem, mit dem alle diejenigen vertraut sind, die sich ständig mit PC-Hardware-Problemen auseinandersetzen müssen.

³⁴⁾Als *experimentum crucis* (lat. Experiment des Kreuzes) bezeichnet man ein Experiment, dessen Ausgang eine Hypothese entweder bestätigt oder widerlegt. Die Bezeichnung geht auf F. Bacon zurück.

Nur in seltenen Fällen ergibt sich in der Forschung eine Situation, bei der ein *experimentum crucis* möglich ist. Im allgemeinen erhöht der Ausgang eines Experiments nur den Bestätigungsgrad einer Hypothese oder setzt ihn herab. Nach der Duhem-Quine-These ist die Bestimmung einzelner Sätze als *experimentum crucis* für eine Theorie nicht möglich. Wiedemann [2007]

»There appears to be a widespread belief that the comparatively high temperature produced within a closed space covered with glass, and exposed to solar radiation, results from a transformation of wave-length, that is, that the heat waves from the Sun, which are able to penetrate the glass, fall upon the walls of the enclosure and raise its temperature: the heat energy is re-emitted by the walls in the form of much longer waves, which are unable to penetrate the glass, the greenhouse acting as a radiation trap.

I have always felt some doubt as to whether this action played any very large part in the elevation of temperature. It appeared much more probable that the part played by the glass was the prevention of the escape of the warm air heated by the ground within the enclosure. If we open the doors of a greenhouse on a cold and windy day, the trapping of radiation appears to lose much of its efficacy. As a matter of fact I am of the opinion that a greenhouse made of a glass transparent to waves of every possible length would show a temperature nearly, if not quite, as high as that observed in a glass house. The transparent screen allows the solar radiation to warm the ground, and the ground in turn warms the air, but only the limited amount within the enclosure. In the »open«, the ground is continually brought into contact with cold air by convection currents.

To test the matter I constructed two enclosures of dead black cardboard, one covered with a glass plate, the other with a plate of rock-salt of equal thickness. The bulb of a thermometer was inserted in each enclosure and the whole packed in cotton, with the exception of the transparent plates which were exposed. When exposed to sunlight the temperature rose gradually to 65 °C, the enclosure covered with the salt plate keeping a little ahead of the other, owing to the fact that it transmitted the longer waves from the Sun, which were stopped by the glass. In order to eliminate this action the sunlight was first passed through a glass plate.

There was now scarcely a difference of one degree between the temperatures of the two enclosures. The maximum temperature reached was about 55 °C. From what we know about the distribution of energy in the spectrum of the radiation emitted by a body at 55 °C, it is clear that the rock-salt plate is capable of transmitting practically all of it, while the glass plate stops it entirely. This shows us that the loss of temperature of the ground by radiation is very small in comparison to the loss by convection, in other words that we gain very little from the circumstance that the radiation is trapped.

Is it therefore necessary to pay attention to trapped radiation in deducing the temperature of a planet as affected by its atmosphere? The solar rays penetrate the atmosphere, warm the ground which in turn warms the atmosphere by contact and by convection currents. The heat received is thus stored up in the atmosphere, remaining there on account of the very low radiating power of a gas. It seems to me very doubtful if the atmosphere is warmed to any great extent by absorbing the radiation from the ground, even under the most favourable conditions. I do not pretend to have gone very deeply into the matter, and publish this note merely to draw attention to the fact that trapped radiation appears to play but a very small part in the actual cases with which we are familiar.«

Auf deutsch liest sich dies etwa so:

»Es scheint einen weit verbreiteten Glauben zu geben, dass die vergleichsweise hohe Temperatur, die in einem mit Glas abgedeckten abgeschlossenen Raum,

entsteht, welcher der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, das Resultat einer Transformation der Wellenlänge ist: Die Wärmewellen von der Sonne, die fähig sind, das Glas zu durchdringen, fallen auf die Wände des eingeschlossenen Raums und erhöhen dessen Temperatur; dabei wird die Wärmeenergie von den Wänden zurückgestrahlt in Form von viel längeren Wellen, die unfähig sind, das Glas zu durchdringen, so dass das Treibhaus als Strahlungsfalle wirkt.

Ich habe immer ziemliche Zweifel gehabt, ob dieser Mechanismus im Hinblick auf die Erhöhung der Temperatur eine wesentliche Rolle spielt. Es erschien viel wahrscheinlicher, dass die Rolle des Glases in der Verhinderung des Austausches der von dem Boden (oder einer anderen Heizung) erwärmten Luft in der Kammer besteht. Wenn wir an einem kalten und windigen Tag die Türen eines Treibhauses öffnen, scheint der Einfang der Strahlung vieles von seiner Wirkung zu verlieren. Nach meiner Meinung ist es eine Tatsache, dass ein Treibhaus aus Glas, welches transparent gegenüber allen möglichen Wellenlängen ist, eine Temperatur zeigt, die näherungsweise, wenn nicht sogar exakt so hoch ist, wie sie in einem gewöhnlichen Glashaushaus beobachtet wird. Der transparente Schirm erlaubt der Sonnenstrahlung, den Boden zu wärmen, und der Boden erwärmt wiederum die Luft in dem eingeschlossenen Raum, aber nur um einen begrenzten Betrag. Im geöffneten Zustand steht der Boden in kontinuierlichem Kontakt mit der kalten Luft außen, und zwar durch Konvektionsströme.

Um die Angelegenheit zu überprüfen, konstruierte ich aus pechschwarzem Karton zwei Kammern, wobei die eine mit einer Glasplatte, die andere mit einer Steinsalzplatte gleicher Dicke abgedeckt war. In jede Kammer wurde ein Thermometer platziert und das Ganze in Baumwolle gepackt, wobei die transparenten Scheiben frei blieben. Dem Sonnenlicht ausgesetzt, stieg die Temperatur nach und nach auf 65°C, wobei die Kammer, die mit der Steinsalz-Platte abgedeckt war, sich etwas schneller erwärmte, was darauf zurückzuführen ist, dass sie auch die längeren Wellen von der Sonne durchließ, die von der Glasplatte aufgehalten werden. Um diese Wirkung auszuschließen, wurde das Licht zuerst durch eine Glasplatte gefiltert.

Nunmehr gab es kaum einen Unterschied von einem Grad zwischen den Temperaturen der beiden Kammern. Die maximalen Temperaturen, die erreicht wurden, lagen bei 55°C. Von dem, was wir über die Verteilung der Energie im Spektrum der Strahlung wissen, die von einem Körper bei 55°C ausgesandt wird, ist es offensichtlich, dass die Steinsalzplatte praktisch alles durchlässt, während die Glasplatte es vollständig aufhält. Dies zeigt, dass der Temperaturverlust des Bodens der Kammer durch Strahlung sehr gering ist im Vergleich zum Abfall der Temperatur durch Konvektion. Mit anderen Worten: Wir gewinnen sehr wenig aus dem Umstand, dass die Strahlung eingefangen ist.

Ist es daher notwendig, bei der Herleitung der Temperatur eines Planeten darauf zu achten, dass die Atmosphäre die Strahlung einfängt? Die Sonnenstrahlen durchdringen die Atmosphäre, erwärmen den Boden, der seinerseits die Atmosphäre durch Kontakt und Konvektionsströme erwärmt. Die empfangene Wärme ist in der Atmosphäre gespeichert und sie bleibt dort, wobei nur eine sehr geringe Strahlungsleistung des Gases zu berücksichtigen ist. Es scheint mir sehr zweifelhaft, ob die Atmosphäre zu einem großen Anteil durch Absorption der Bodenstrahlung erwärmt wird, selbst unter günstigen Bedingungen.

Ich behaupte nicht, sehr tief in die Materie eingedrungen zu sein, und

veröffentliche diese Note nur, um die Aufmerksamkeit auf die Tatsache zu lenken, dass eingefangene Strahlung in den betrachteten Fällen, die uns doch so vertraut sind, nur eine sehr kleine Rolle spielt.«

Dieser Text ist allen Globalklimatologen zu empfehlen, die sich auf den Treibhauseffekt beziehen. Wood ist tatsächlich »*nicht . . . sehr tief in die Sache gegangen*«, deswegen spielt bei ihm die Schichtung in adiabatische Atmosphäre, Tropopause usw. keine Rolle. 1909 waren schon die Arbeiten von Schwarzschild [1906] und Gold [1909] erschienen, wo Schwarzschild den Grund für die Tropopause herleitete (Schwarzschild-Kriterium) und Gold ein Ansteigen der Tropopausenhöhe bei höherer CO₂-Konzentration vermutete (und das wird heute gemessen). **Anmerkung:** Das Schwarzschild-Kriterium gilt nicht nur bei der Sonnenatmosphäre. Schwarzschild hat es allgemein hergeleitet und dann entsprechend seiner Arbeit die allgemeine Herleitung auf die Sonnenatmosphäre angewandt. Aber schon 1913 hat der Schwiegersohn von Karl Schwarzschild das Schwarzschild-Kriterium auf die Erdatmosphäre angewandt Emden [1913].

2.6 Zusammenfassung der Physik des Glashauses

Es ist nicht die »eingefangene« Infrarot-Strahlung, welche die Erwärmungsphänomene in echten Treibhäusern erklärt, sondern es ist die Unterdrückung der Luftkühlung³⁵⁾³⁶⁾ – wie bei jeder Heizung. Nochmal zur Wiederholung: Im stationären Zustand muß die abgegebene Wärme gleich der zugeführten Wärme sein. Die Temperatur stellt sich dann so ein, daß diese Bedingung erfüllt wird. Eine Erhöhung der Temperatur kann deshalb auf zwei Wegen erfolgen: entweder durch Erhöhung der Heizleistung und/oder durch Behinderung der Wärmeabgabe. Im Zusammenhang mit der Solarstrahlung ist die zugeführte Heizleistung fast konstant - aber die Wärmeabgabe ist unterschiedlich. Im Gärtnertreibhaus, muß die Wärme durch die Umfassungswände gehen und je nach Größe des Wärmewiderstand ist die Temperatur unterschiedlich hoch. Der Wärmewiderstand hängt davon ab, wie die Umfassung gebaut ist (einfaches Glas, dickeres Glas, Vakuumisolierung usw.). Im Inneren des Gärtnertreibhauses ist Konvektion und ohne Konvektion wäre zwar die Bodentemperatur höher, aber da ruhende Luft ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, wäre nur eine dünne, bodennahe Schicht erwärmt. Eine spezielle Form des Gärtnertreibhauses (der Vakuumröhrenkollektor) erreicht in der Sonne sogar Temperaturen über 200 °C. Die Erde ist durch das Vakuum des Weltalls sehr perfekt isoliert. Aber da der weitere Aufbau der Erde nicht so optimal ist wie beim Vakuumröhrenkollektor ist die Durchschnittstemperatur der Erde »nur« ca. 15 °C.

3 Die fiktiven atmosphärischen Treibhauseffekte

3.1 Definition des Problems

Nachdem ausführlich diskutiert wurde, dass der physikalische Treibhauseffekt im Wesentlichen eine Erklärung ist, weshalb die Lufttemperaturen im Innern eines geschlossenen Glashauses höher sind als außerhalb, sollte man die fiktiven atmosphärischen Treibhauseffekte näher betrachten.

Mittlerweile gibt es viele unterschiedliche Phänomene und unterschiedliche Erklärungen dieser Effekte, so dass es gerechtfertigt ist, den Plural zu verwenden.

³⁵⁾Wie beinahe jeder weiß, ist dieses auch ein Standard-Problem in PCs.

³⁶⁾wie es tatsächlich ist siehe Kapitel 2.5.0 auf Seite 45

Abhängig von der jeweiligen »Denkschule« und dem jeweiligen Grad der Popularisierung, führt die Annahme, dass die Atmosphäre für sichtbares Licht transparent und für infrarote Strahlung eher undurchlässig ist,

- zu einer Erwärmung der Erdoberfläche *und/oder*
- zu einer Erwärmung der bodennahen Atmosphäre *und/oder*
- zu einer Erwärmung einer bestimmten Schicht der Atmosphäre *und/oder*
- zu einer Verlangsamung der natürlichen Kühlung der Erdoberfläche

und so weiter.

Unglücklicherweise gibt es keine Quelle in der Literatur, wo der Treibhauseffekt in Harmonie mit den wissenschaftlichen Standards der Theoretischen Physik eingeführt ist. Wie schon betont, gibt es in Kittels Buch über »Thermal Physics« (Physik der Wärme) ein »Supplementum« (*sic!*) Kittel [2000], welches sich auf die IPCC-Bewertungen Houghton u. a. [1990a], Houghton u. a. [1992] bezieht. Prominente Globalklimatologen (ebenso »Klimaskeptiker«) präsentieren ihre Ideen in Handbüchern, Enzyklopädien, und in diverser Sekundär- und Tertiärliteratur. Da kann ich weitgehend mitgehen, aber außerdem gibt es die entsprechenden Fachzeitschriften. Auch die grundlegenden physikalischen Erkenntnisse sind zuerst in Fachzeitschriften veröffentlicht worden, z.B. Planck [1900], Planck [1901] und Einstein [1916 bzw. 1917]. Wegen der vielen Fehler und Unzulänglichkeiten widerlegt das vorliegende Paper sowieso nicht den tatsächlich existierenden Treibhauseffekt.

3.1.1 Zur Analogie Treibhauseffekt Glashaus ./ . Atmosphäre

Wenn die Solarstrahlung wegfällt, fällt die Zusatzheizung in beiden Fällen weg. Da die Umgebungen von beiden kälter sind, kühlen sich beide ab. Je nach Güte der Wärmeisolierung und Temperatur der Umfassung geht es schnell oder langsam. Die Temperatur und Wärmeisolierung des Bodens ist in beiden Fällen ähnlich, die untere Atmosphäre hat (braucht) keine Seitenwände, weil sie eine Kugelschale ist. Der größte Unterschied besteht beim Dach. Die Atmosphäre ist eine dicke Schicht, die nur langsam abkühlt (weniger als 5 K in 12 Stunden), aber relativ kühl ist (die Intensität ist etwa äquivalent einer Schwarzkörperstrahlung von -40°C). Welche Bedeutung diese Abstrahlung hat, sieht man beim Vergleich mit dem atmosphärenlosen Mond, wo es keine Gegenstrahlung gibt.

Auch andere Mechanismen kommen nicht in Frage, da der atmosphärische Temperaturgradient eher die Bodenkühlung beschleunigt als verringert und die Windgeschwindigkeiten viel kleiner als die Wanderungsgeschwindigkeit der Schattengrenze der Sonne ist.

3.2 Wissenschaftlicher Irrtum versus wissenschaftlicher Betrug

Kürzlich betonte der deutsche Klimatologe Graßl, dass Fehler in der Wissenschaft unvermeidbar seien, auch in der Klimaforschung Graßl [2007]. Und das IPCC gewichtet die meisten seiner offiziellen Stellungnahmen mit einer Form eines »Wahrscheinlichkeitsmaßes« Alley u. a. [2007]. So scheint es, dass selbst in der Mainstream-Diskussion über die vermutete anthropogene (menschengemachte) globale Erwärmung ein Raum bleibt für wissenschaftliche Fehler und ihre Korrekturen. Einige Autoren und Filmemacher liefern (nach Meinung von G&T) jedoch Argumente dafür, dass die Treibhauseffekt-Hypothese nicht auf einem Irrtum basiert, sondern ganz klar einen wissenschaftlichen Betrug darstellt. Der Treibhauseffekt ist nicht nur eine Hypothese, sondern die Gesetze der Physik bestimmen ihn eindeutig. Deswegen ist es weder Irrtum noch Betrug.

Fünf Beispiele:

- Schon 1990 zeigte der australische Film »The Greenhouse Conspiracy« (Die Treibhaus-

Verschwörung), dass das Denkgebäude des Treibhauseffekts auf vier Pfeilern steht Anonymous [1990]:

1. auf *Tatsachenmaterial*, zum Beispiel der Aufnahme von Klimadaten, die angeblich nahelegen, dass eine globale Erwärmung beobachtet wird und außergewöhnlich ist;
2. auf der *Annahme*, dass Kohlendioxid der Grund für die Ursache dieser Änderungen ist;
3. auf den *Voraussagen der Klimamodelle*, dass eine Verdopplung der CO₂-Konzentration zu einer vorherhersagbaren globalen Erwärmung führt;
4. auf einer *unterliegenden Physik*.

In diesem Film werden alle vier Pfeiler demontiert und bringen das Denkgebäude zum Einsturz. Der Sprecher stellt fest:

»In einer jüngst erschienen Arbeit über die Effekte von Kohlendioxid zieht Professor Ellsaesser von den Lawrence Livermore Laboratories, einer renommierten US-Forschungseinrichtung in Kalifornien, fest, dass eine Verdopplung der Kohlendioxid-Konzentration einen geringen bis keinen Effekt auf die Temperatur der Erdoberfläche hat, und wenn doch, dann würde es eher die Oberfläche kühlen. Der Leser sei auf die Originalarbeit von Ellsaesser verwiesen Ellsaesser [1984].

Was sich G&T mit der Literaturstelle Ellsaesser [1984] erlauben ist ein starkes Stück. In einem Paper von 2007 ein Paper von 1984 als »jüngst erschienen« zu bezeichnen ist schon ein Witz. Noch nicht mal das Update von 1990 Ellsaesser [1990] war 2007 als »jüngst erschienen« zu bezeichnen (bei so viel Unsinn fällt fast gar nicht ins Gewicht, daß der Name falsch geschrieben ist - es fehlt ein »l«). Aber am Putzigsten ist, daß G&T Ellsaesser als »Beweis« heranziehen, obwohl er schreibt:

»Es ist meine persönliche und berufliche Meinung, daß ... [It is my personal and professional opinion that ...]«

Dazu kommt noch, daß für Ellsaesser vom Treibhauseffekt als physikalische Selbstverständlichkeit ausgeht:

»Dies ist ein etwas vereinfachtes, aber physikalisch gültiges Bild des Mechanismus, durch den ein Anstieg des Treibhausgasgehalts in der Atmosphäre zu einer klimatischen Erwärmung führt. [This is a somewhat simplistic but physically valid picture of the mechanism by which increases in the greenhouse gas content of the atmosphere will lead to climatic warming.]«

Seine Meinung bezieht sich nur darauf, daß er die Größe des Treibhauseffekts für kleiner hält. Aber er schreibt auch physikalisch unsauber: Er schreibt so, als ob die Emission aus einer Fläche erfolgt, während aus einem Volumen emittiert wird.

- Zwei Bücher des populären deutschen Meteorologen, promovierten Soziologen und ehemaligen ZDF-Wettermoderators Wolfgang Thüne mit dem *Titel Der Treibhauswindel* (1998) Thüne [1998] und *Freispruch für CO₂* (2002) Thüne [2002] versuchten zu zeigen, dass die Hypothese vom CO₂-Treibhauseffekt purer Unsinn ist.

Mit Thüne hatte der Autor einen eMail-Wechsel, wobei Thüne dem Autor empfahl das Buch Schuster und Kolobrodov [2000] zu lesen. Als der Autor das Buch gelesen hat und Thüne auf die Wirksamkeitsaussage zum CO₂ in diesem Buch hinwies, war Schluß mit der Kommunikation.

- Ein Buch von Heinz Hug unter dem Namen *Die Angsttrompeter* (2002) beleuchtete die Geschichte und den Hintergrund des aktuellen Treibhaus-Business Hug [2006]. Hug vergißt bei seinen Betrachtungen auch, daß Gase nicht nur absorbieren, sondern auch emittieren.
- Ein weiterer Film wurde kürzlich auf Channel 4 (UK) gezeigt. Er trägt den Titel »The

great global warming swindle« (Der große Schwindel über die globale Erwärmung«). Er unterstützt die These, dass die behauptete angeblich von CO₂ verursachte anthropogene globale Erwärmung keine wissenschaftliche Basis hat Anonymous [2007e].

- In seiner Arbeit »CO₂: The Greatest Scientific Scandal of Our Time« (CO₂: Der größte wissenschaftliche Skandal unserer Zeit) legte der herausragende multidisziplinäre Wissenschaftler Dr. Dr. Dr. Jaworowski aus seiner Sicht als Atmosphärenwissenschaftler fundierte Schlussfolgerungen vor Jaworowski [2007].

Wenn G&T als Beweis für ihre Thesen so viel Unsinn heranziehen, weiß man, was von ihren Thesen zu halten ist.

Auf der anderen Seite behauptete der wissenschaftliche Berater der britischen Regierung, Sir David King, dass »die globale Erwärmung für die Menschheit eine größere Bedrohung als der Terrorismus darstelle«³⁷⁾. Andere Individuen stecken Kritiker des Konzepts der anthropogenen globalen Erwärmung in die gleiche Kategorie wie die Leugner des Holocausts. In unzähligen Beiträgen zu Zeitungen oder Fernsehsendungen in Deutschland warnt der bekannte Klimatologe Mojib Latif³⁸⁾ die Öffentlichkeit vor den Konsequenzen der steigenden menschengemachten Treibhausgas-Emissionen Anonymous [2007f]. Aber bis heute ist es *unmöglich*, ein Buch über Thermodynamik des Nichtgleichgewichts oder ein Buch über Strahlungstransport zu finden, wo dieser Effekt aus ersten Prinzipien hergeleitet ist.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist nicht, die Linie zwischen Irrtum und Betrug zu ziehen, sondern herauszufinden, wo der Treibhauseffekt im Rahmen der Physik erscheint oder *verschwindet*. Daher werden in Kapitel 3.3 auf der nächsten Seite mehrere verschiedene Variationen von Hypothesen für einen atmosphärisches Treibhaus analysiert und widerlegt. **Tatsächlich?** Die Autoren (G&T) beschränken sich auf Aussagen, die erst *nach* einer Publikation von Lee im bekannten *Journal of Applied Meteorology* 1973 erschienen sind, siehe Ref. Lee [1973] und weiteren Verweise dort.

Diese Arbeit von Lee von 1973 ist ein Meilenstein. Am Anfang schreibt Lee:

»Der sogenannte Strahlungs-»Treibhaus«-Effekt ist eine Fehlbenennung. Während das Konzept ironischerweise nützlich ist, wenn wir beschreiben wollen, was in der Atmosphäre der Erde passiert, so ist es ungültig für die Kryptoklimaten (verborgenen Klimaten), die erzeugt werden, wenn man einen Raum durch Glas einschließt, zum Beispiel Treibhäuser und Sonnenenergie-Kollektoren. Erhöhte Temperaturen unter Glas können aber nicht auf das spektrale Absorptionsvermögen von Glas zurückgeführt werden.

Dieses Missverständnis wurde experimentell von R. W. Wood vor mehr als 60 Jahren ausgeräumt³⁹⁾ (Wood [1909]) und kürzlich noch einmal von Businger [1963] eingehend analysiert. Fleagle und Businger [1963] widmeten einen Abschnitt ihrer Arbeit diesem Punkt und legten nahe, dass der Einfang der Strahlung durch die Atmosphäre der Erde besser »Atmosphäreneffekt« genannt werden sollte, um die ständige Fehlbenennung zu verhindern. Munn [1966] hob abermals hervor, dass die Analogie zwischen dem »Atmosphären«-Effekt und »Treibhaus«-Effekt »nicht korrekt ist, weil ein wesentlicher Faktor im Treibhausklima der Schutz des Glases vor turbulenten Wärmeverlusten ist«. In einem Beispiel beobachtet Lee [1966] dass der Netto-Fluss von Strahlungsenergie in einer »6-

³⁷⁾ vergleiche Singers Resümee auf der Konferenz in Stockholm im Jahre 2006 Stilbs [2006].

³⁸⁾ Es ist lange her, als einer der Autoren (R.D.T.) in seiner Rolle als Praktikumsassistent den Meteorologie-Studenten Mojib Latif im Physikpraktikum betreute, und ihn in die Methode der Experimentalphysik einführte (Messen, Auswerten, gewissenhafte Diskussion der Fehler ...).

³⁹⁾ **Anmerkung des Autors: siehe Kapitel 2.5.0 auf Seite 45**

mil polyvinyl«-Kammer (»mil« steht für 0,001 inch, also 6 mil \approx 0,15 mm) auf weniger als 10 % vermindert wurde.

Trotz dieser klaren Evidenz wiederholen moderne Lehrbücher über Meteorologie und Klimatologie nicht nur diese irreführende Fehlbenennung, sondern unterstützen auch die falsche Vorstellung, dass »das die Wärme zurückhaltende Verhalten der Atmosphäre in Analogie zu dem steht, was in dem Treibhaus passiert« (Miller [1966]), oder dass »die Funktion der Treibhausgase darin besteht, die Funktion einer Strahlungsfalle zu erfüllen« (Pettersen [1958]) (siehe auch Sellers [1965], Chang [1968], Cole [1970]). Der Fehler ist oft subjektiv, gründet auf angeblichen Ähnlichkeiten von Atmosphäre und Glas und wird motiviert mit der Liebe zur *Schönheit des Beispiels* im Hinblick auf die Lehre. Das Problem kann berichtigt werden, durch eine einfache Analyse, die auch für die Schule geeignet ist.«

Lee setzt seine Analyse fort, indem er auf Basis der Strahlungsbilanzgleichungen eine Rechnung durchführt. Die Gültigkeit der ersteren ist allerdings äußerst fragwürdig. Das Gleiche gilt für einen Kommentar von Berry [1974] über die Arbeit von Lee. Trotzdem ist die Arbeit von Lee ein Meilenstein, der *den Tag* markiert, *nach dem* jeder seriöse Wissenschaftler, Dozent, Lehrer nicht mehr das Treibhaus mit der Atmosphäre vergleichen sollte. **Wieso nicht? Beide werden von der Sonne erwärmt und haben höhere Temperaturen. Sinnvoll ist eher die Betrachtung wo die Unterschiede liegen - eine unterdrückte Konvektion ist es jedenfalls nicht.**

Diese Analogie gehört auch **nicht** in den Schulunterricht, auf den sich Lees Arbeit ausdrücklich bezieht!

3.3 Unterschiedliche Versionen der Vermutungen vom atmosphärischen Treibhaus

3.3.1 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Möller (1973)

In seinem populären Lehrbuch über Meteorologie schreibt Möller [1973a], Möller [1973b]:

»In einem wirklichen Glashauss (nicht künstlich geheizt, also kein Treibhaus) ist die Abdeckung durch Glas für solare Strahlung durchlässig, für terrestrische Strahlung nicht durchlässig. Der Wärmeausgleich muss also durch die Wärmeleitung innerhalb des Glases erfolgen, wozu ein Temperaturgefälle nötig ist. Dann kann die Wärmeabgabe durch Abstrahlung der kühleren Außenfläche des Glases erfolgen. In der Atmosphäre übernehmen nach den vorstehenden Betrachtungen der Wasserdampf und die Wolken die Rolle des Glases.«

Widerlegung: Die Existenz eines Treibhauseffekts wird als notwendiges Kriterium für Wärmeleitung betrachtet. Dies ist physikalischer Unsinn. Außerdem wird behauptet, dass die spektrale Durchlässigkeit eines Mediums dessen Wärmeleitfähigkeit direkt bestimmt. Dies ist ebenfalls physikalischer Unsinn.

In der "Widerlegung" wird die Aussage Möllers umgedreht: Nicht die "Existenz eines Treibhauseffekts wird als notwendiges Kriterium für Wärmeleitung betrachtet" sondern die Existenz einer Wärmeleitung ist das notwendige Kriterium für einen Treibhauseffekt.

Die Tatsache, daß durch die Umhüllung beim Treibhaus und bei Solar-Kollektoren die Wärmeabgabe erschwert wird (mit der Folge höhere Innentemperatur), zeigen sowohl die erreichten Ergebnisse als auch die Folgen des Öffnens der Türen.

3.3.2 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Meyer's Enzyklopädischem Lexikon (1974)

In der Ausgabe des Meyer's Enzyklopädischem Lexikon von 1974 findet man unter »Glas-hauseffekt« Anonymous [1974]:

»Bezeichnung für den Einfluss der Erdatmosphäre auf den Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde, der der Wirkung eines Gewächshausglasdaches ähnelt: Wasserdampf und Kohlendioxid in der Atmosphäre lassen die kurzwellige Sonnenstrahlung mit relativ geringer Abschwächung zu Erdoberfläche gelangen, absorbieren bzw. reflektieren jedoch den von der Erdoberfläche ausgehenden langwelligeren Wärmestrahlungsanteil (atmosphärische Gegenstrahlung ...).«

Widerlegung: Erstens liegt der wesentliche Teil der Sonnenstrahlung außerhalb des sichtbaren Lichts. Zweitens wird hier Reflektion mit Emission durcheinander gebracht. Drittens beruht das Konzept der atmosphärischen Rückstrahlung auf einer unzulässigen Anwendung der Formeln der Hohlraumstrahlung. Dies wird diskutiert in Kapitel 3.5 auf Seite 62

Der Schnittpunkt etwa gleicher Leistung zwischen Solarstrahlung und Emission der Erdoberfläche liegt tatsächlich im infraroten Bereich – aber so liegt etwa auch die Wellenlängengrenze zwischen durchlässiger und absorbierender Atmosphäre, wobei diese Grenze nicht scharf ist. Reflexion und Emission werden tatsächlich verwechselt. Zur Gegenstrahlung: Die kann erstens gemessen werden und zweitens mit den Einsteingleichungen berechnet werden Einstein [1916 bzw. 1917], wird aber oft falsch allein mit der Hohlraumstrahlung erklärt. Siehe auch Kapitel 4.1 auf Seite 120

3.3.3 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Schönwiese und Diekmann (1987)

Der prominente Klimatologe Schönwiese und sein Co-Autor Diekmann behaupten Schönwiese und Diekmann [1987]:

»Um das zu verstehen, verwenden wir zunächst das Bild einer Glasscheibe, die wir zwischen Sonne und Erdoberfläche halten ... Diese Glasscheibe lässt die Sonneneinstrahlung weitgehend ungehindert zur Erdoberfläche hindurch, absorbiert aber einen Teil der Wärmeausstrahlung der Erde. Das Glas emittiert entsprechend seiner Temperatur Wärme in beide Richtungen zur Erdoberfläche und zum interplanetarischen Raum. Dadurch wird die Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche erhöht, die von der Glasscheibe hinzukommende Energie wird an der Erdoberfläche fast vollständig absorbiert, und es kommt zu einer Erwärmung der Erdoberfläche. Diese Erwärmung hält so lange an, bis sich auf auf einem höheren Temperaturniveau der Erdoberfläche ein neues Strahlungsgleichgewicht eingestellt hat.«

Widerlegung: Dass die Glasscheiben das Sonnenlicht ungehindert passieren lassen, ist einfach falsch. Natürlich geht auch eine gewisse Menge Strahlung seitwärts. Wie schon experimentell in Kapitel 2.4 auf Seite 42 gezeigt, sind die Fensterscheiben relativ kalt. Dies ist nur eine von vielen Gründen, dass die Glas-Analogie unbrauchbar ist. Daher ist diese Aussage - wissenschaftlich gesehen - inhaltsleer.

Die Erklärung ist ziemlich gut (auch die Atmosphäre ist kälter als die Erdoberfläche) - aber damit ist die Wirkung eines Anstiegs der CO₂-Konzentration schwer zu erklären. Außerdem sind die Wirkungen vertauscht: Auch ohne Solarstrahlung emittiert die Glasfläche

entsprechend ihrer (ggf. niedrigen) Temperatur, die zusätzliche Energie ist die durchgelassene Solarstrahlung.

3.3.4 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Stichel (1995)

Stichel, ehemaliger stellvertretender Vorsitzender des Arbeitskreises Energie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), behauptete Stichel [1995]:

»Es ist inzwischen anerkanntes Lehrbuchwissen, dass langwellige Infrarotstrahlung, emittiert von der erwärmten Erdoberfläche, teilweise von CO₂ und anderen Spurengasen in der Atmosphäre absorbiert und re-emittiert wird. Dieser Effekt führt zu einer Erwärmung der unteren Atmosphäre und aus Gründen des Gesamtstrahlungshaushaltes gleichzeitig zu einer Abkühlung der Stratosphäre.«

Widerlegung: Dies wäre ein *Perpetuum mobile der zweiten Art*. Eine detaillierte Diskussion ist gegeben in Kapitel 3.9 auf Seite 112. Außerdem gibt es keinen Gesamtstrahlungshaushalt, weil es keine individuellen Erhaltungssätze für die unterschiedlichen Formen von Energie gibt, die hier eine Rolle spielen. Die fraglichen (infraroten) Strahlungsenergien sind vernachlässigbar - verglichen mit den relevanten geophysikalischen und astrophysikalischen Energien. Schließlich hängt die Strahlung von der Temperatur ab und nicht umgekehrt.

Es ist kein Perpetuum Mobile der Zweiten Art, selbst wenn es so wäre, hätte diese Behauptung schon im Kapitel 3.3.3 auf der vorherigen Seite stehen müssen. Im Paper von G&T liegt noch eine Verwechslung vor: Eine Bilanz ist kein Erhaltungsgesetz: Bilanz bedeutet, daß sich solange etwas verändert, bis nach Erreichen eines gewissen Gleichgewichts die Änderungen aufhören bzw. minimal werden. Diese Veränderung bei der Strahlungsbilanz ist die Temperatur: Sie verändert sich so lange, bis der Energieverlust genau so groß wie der Energiegewinn ist – es bleibt keine Energie mehr übrig, um den betreffenden Körper weiter zu erwärmen oder abzukühlen: die Temperatur bleibt also konstant. Dazu kommt eine Ungenauigkeit bei Stichel: Die Strahlungsbilanz ist die Folge der Vorgänge und nicht die Ursache. Die erste Folge der Erhöhung der CO₂-Konzentration ist: in großen Höhen erhöht sich die Emission, die zu einer Kühlung der Stratosphäre führt, wodurch deren Temperatur sinkt. Als weitere Folge steigt die Höhe der Tropopause (siehe Kapitel 4.4.5 auf Seite 138): Oberhalb der Tropopause kompensieren sich Absorption und Emission weitgehend, obgleich die abwärts gerichtete Strahlung von 0 (an der Oberseite der Atmosphäre) an stark zunimmt. Unterhalb der Tropopause ist die Kompensation nicht mehr möglich und die Emission überwiegt. Da die Energiedifferenz zwischen Emission und Absorption nur durch konvektiven und latenten Wärmetransport zu decken ist und die Wärmeleitung dafür nicht ausreicht, entsteht zwingend eine vertikale Luftströmung. Mit vertikaler Luftströmung ist aber ein adiabatischer Temperaturverlauf verbunden, der auch näherungsweise beobachtet wird. Eine Differenztemperatur zwischen Adiabate und tatsächlicher Temperatur wird durch den Wärmeabgabe erzwungen, da eine rein adiabatische Temperaturänderung den Energieinhalt eines Luftpaketes nicht ändert. Der Wärmetransport (bzw. die Luftströmung) wird durch die Emission angetrieben: die durch die Emission gekühlte Luft sinkt ab und erzwingt das Aufsteigen warmer Luft.

3.3.5 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Anonymous 1 (1995)

»Das Kohlendioxid in der Atmosphäre lässt die Strahlung der Sonne, deren Maximum im sichtbaren Licht liegt, vollständig durch, während es andererseits einen Teil der von der Erde in den Weltraum ausgestrahlten Wärme wegen ihrer

größeren Wellenlänge absorbiert. Dies führt zu höheren bodennahen Lufttemperaturen.

Widerlegung: Die erste Aussage ist falsch, weil offensichtlich ein nicht vernachlässigbarer infraroter Anteil der einkommenden Sonnenstrahlung absorbiert wird (vergleiche Kapitel 2.2 auf Seite 35). Die zweite Aussage ist falsifiziert durch ein Beispiel, welches jede Hausfrau kennt: Der Wassertopf auf dem Herd. Ohne eingefülltes Wasser wird der Boden des Topfes nach einer Weile rotglühend. Nun ist Wasser ein exzellenter Absorber für infrarote Strahlung. Wenn man also Wasser in den Topf füllt, wird der Boden des Topfes nicht etwa noch heißer, sondern erheblich kälter, so dass die Glut völlig verschwindet. Ein anderes Beispiel wäre der Ersatz des Vakuums bzw. Gases zwischen zwei Fensterscheiben durch Glas. Glas absorbiert die Infrarotstrahlung sehr gut, aber schließt die Wärmeisolation des Isolierfensters sozusagen kurz und macht sie damit wirkungslos.

Die Widerlegung ist offensichtlich unkorrekt, da nichts über den Strahlungsanteil im Infraroten gesagt wird – daß das Strahlungsmaximum im sichtbaren Bereich liegt ist zutreffend. Zum Wassertopf siehe Kommentar in Kapitel 3.8.3 auf Seite 111. Allerdings ist in dem Zitat nicht die Emission erwähnt.

3.3.6 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Anonymous 2 (1995)

»Wenn man in der Atmosphäre den Anteil von Kohlendioxid, der das Infrarotlicht absorbiert und der das sichtbare Licht weitgehend ungehindert durchlässt, erhöht, ist der durch die Sonnenstrahlung aufgeheizte Boden bzw. die bodennahe Luft wärmer, weil durch das Kohlendioxid die Abkühlung verlangsamt wird.«

Widerlegung: Es ist bereits in Kapitel 1.1 auf Seite 18 gezeigt worden, dass die Wärmeleitfähigkeit sich nur noch marginal ändert, wenn man die CO₂-Konzentration der Atmosphäre der Erde verdoppelt.

Die Aussage in der »Widerlegung« hat keine Bedeutung, weil der Wärmeleitwert beim Treibhauseffekt keine wesentliche Bedeutung hat.

3.3.7 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Anonymous 3 (1995)

»Wenn man in der Atmosphäre ein Gas hinzufügt, wodurch von der Atmosphäre Teile der Bodenstrahlung absorbiert werden, sind die Bodentemperaturen und bodennahen Lufttemperaturen größer.«

Widerlegung: Das Gegenbeispiel ist wieder der Wassertopf auf dem Herd, siehe Kapitel 3.3.5 auf der vorherigen Seite.

Eine Atmosphäre ist kein Wassertopf und der Wassertopf bestätigt den Treibhauseffekt – siehe Kommentar in Kapitel 3.8.3 auf Seite 111

3.3.8 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Deutsche Meteorologische Gesellschaft (1995)

In ihrer Stellungnahme von 1995 (hier die leicht korrigierte Version von 1999), lässt die Deutsche Meteorologische Gesellschaft (DMG) verlauten Anonymous [1995]:

»Als Ausgangspunkt wird zunächst der Strahlungshaushalt der Erde ohne Atmosphäre beschrieben. In diesem Fall wird die auf die Erdoberfläche ungeschwächt

einfallende Sonnenstrahlung teilweise absorbiert und teilweise reflektiert. Der absorbierte Anteil wird in Wärme umgewandelt und muss im Gleichgewichtszustand im infraroten Spektralbereich ([Infrarot wegen der niedrigen Temperatur](#)) wieder abgestrahlt werden. Unter diesen Umständen ergibt sich aus einfachen Modellrechnungen an der Erdoberfläche eine mittlere Temperatur von etwa -18°C . . . Bei Hinzunahme der Atmosphäre wird die an der Erdoberfläche einfallende solare Strahlung nur wenig geschwächt, da die Atmosphäre im sichtbaren Spektralbereich weitgehend durchlässig ist. Im infraroten Spektralbereich dagegen wird die vom Boden emittierte Strahlung nun zu einem großen Teil von der Atmosphäre (insbesondere von Gasen wie H_2O , CO_2 , O_3) absorbiert und von dieser - allerdings entsprechend ihrer Temperatur - wieder in alle Richtungen abgestrahlt. Nur in sogenannten Fensterbereichen (insbesondere im großen atmosphärischen Fenster im Wellenlängenbereich von 8 bis $13\ \mu\text{m}$) kann die Infrarotstrahlung vom Boden teilweise direkt in den Weltraum entweichen. Die von der Atmosphäre nach unten emittierte Infrarotstrahlung (die sogenannte Gegenstrahlung) erhöht die Energiezufuhr der Erdoberfläche. Ein Gleichgewichtszustand kann sich nur einstellen, wenn die Bodentemperatur sich erhöht und damit durch das Plancksche Gesetz eine erhöhte Abstrahlung möglich wird. Dieser unbestrittene natürliche Treibhauseffekt führt zu einer mittleren Erdoberflächentemperatur von $+15^{\circ}\text{C}$.

Widerlegung: Das Konzept des Strahlungshaushalts ist physikalisch falsch. Die Durchschnittstemperatur ist in einer falschen Weise berechnet. Außerdem wird ein nicht-vernachlässigbarer Anteil der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre absorbiert. Wärme darf nicht mit Wärmestrahlung verwechselt werden. Die Annahme, dass die von der Atmosphäre nach unten emittierte Infrarotstrahlung (die sogenannte Gegenstrahlung) die Energiezufuhr der Erdoberfläche erhöht, ist unphysikalisch. Der beschriebene Mechanismus der Wiederherstellung des Gleichgewichtszustandes hat ebenso keine physikalische Basis. Die Gesetze der Hohlraumstrahlung gelten nicht für Gase und Flüssigkeiten.

[Warum eine Strahlungsbilanz doch existiert ist auf Seite 110 genauer ausgeführt. Daß die Atmosphäre »nur« nach unten emittiert, steht nicht im Text. Für die Strahlungen von Gasen gelten die Einsteingleichungen Einstein \[1916 bzw. 1917\]. Siehe auch Kapitel 4.1 auf Seite 120](#)

3.3.9 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Graßl (1996)

Professor Hartmut Graßl, von 1994 - 1999 Direktor des Weltklimaforschungsprogramms (WCRP) bei der World Meteorological Organization (WMO) in Genf, erlaubte sich die folgende Aussage Graßl [1996]:

»Sofern die Gashülle das Vordringen von Sonnenenergie zur Planetenoberfläche weniger behindert als die direkte Abstrahlung der Wärme von der Oberfläche in den Weltraum, müssen die Oberfläche und die untere Atmosphäre, um wieder im Mittel genau so viel Energie abzustrahlen, wie von der Sonne aufgenommen wurde, wärmer werden als ohne diese Atmosphäre.«

Widerlegung: Diese Aussage ist leer, sogar im wörtlichen Sinne. Man kann nämlich nicht die Temperatur der bodennahen Atmosphäre mit der Situation vergleichen, in der die Atmosphäre gar nicht vorhanden ist. Außerdem, wie schon gezeigt in Kapitel 2.2 auf Seite 35, ist der Anteil der von der Sonne ankommenden Infrarotstrahlung größer als der Anteil des

von der Sonne ankommenden sichtbaren Lichts. Grob gesprochen, haben wir eine 50-zu-50-Situation. Die Erwärmung von unten wäre dann in diesem Bilde vergleichbar mit der Erwärmung von oben. Auch in der übervereinfachten Logik eines Graß hätten wir einen verschwindenden Temperaturgradienten und somit einen Null-Effekt.

Hier widersprechen das Paper von G&T sogar ihrer Aussage an anderer Stelle in diesem Paper (Kapitel 3.7.4 auf Seite 83), wo stillschweigend atmosphärenlos gerechnet wird. Außerdem steht in der Aussage noch nicht mal das Wort »infrarot«, das Paper von G&T widersprechen also nur ihrer eigenen Unterstellung.

3.3.10 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Ahrens (2001)

In seinem Lehrbuch »Essentials in Meteorology: In Invitation to the Atmosphere« behauptet der Autor Ahrens Ahrens [2001]:

»Früher dachte man, dass die Absorptionseigenschaften von Wasserdampf, CO₂ und anderen Gasen wie Methan und Stickoxiden ...dem Glas eines Gärtner-Treibhauses ähnlich seien. In einem Treibhaus erlaubt das Glas, der sichtbaren Strahlung ins Innere zu gelangen, aber es hemmt zu einem gewissen Grade den Durchgang ausgehender Infrarot-Strahlung. Aus diesem Grund wurde das Verhalten von Wasserdampf und CO₂ in der Atmosphäre populär »Treibhauseffekt« genannt. Jedoch zeigten Studien, dass die warme Luft innerhalb des Treibhauses eher durch das Unvermögen der Luft, zu zirkulieren und sich mit der Außenluft zu mischen, verursacht wird. Aufgrund dieser Erkenntnisse bestehen Wissenschaftler darauf, dass der Treibhauseffekt besser »Atmosphären-effekt« genannt werden sollte. Um es möglichst allen Recht zu machen, werden wir den Begriff »atmosphärischen Treibhauseffekt« verwenden, wenn wir die Rolle, die Wasserdampf und CO₂ spielen, um die mittlere Oberflächentemperatur der Erde höher zu halten, als es andernfalls der Fall wäre, beschreiben wollen.«

Widerlegung: Das Konzept der mittleren Oberflächentemperatur der Erde ist schlecht definiert. Deshalb ist auch das Konzept der Erhöhung der mittleren Oberflächentemperatur der Erde schlecht definiert.

[Kritik an Definitionen ist keine Widerlegung eines Sachverhalts.](#)

3.3.11 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Dictionary of Geophysics, Astrophysics, and Astronomy (2001)

Das Dictionary of Geophysics, Astrophysics, and Astronomy [2001] schreibt:

»Treibhauseffekt: Die gesteigerte Erwärmung der Oberflächentemperatur eines Planeten, verursacht durch den Einfang von Wärme in der Atmosphäre durch bestimmte Arten von Gasen (genannt Treibhausgase; hauptsächlich Kohlendioxid, Wasserdampf, Methan und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)). Sichtbares Sonnenlicht geht zum größten Teil durch die Atmosphäre und wird von der Oberfläche des Bodens absorbiert. Die Oberfläche strahlt dann diese Energie als langwellige Infrarot-Strahlung (Wärme) zurück. Wenn irgendeines der Treibhausgase in der Troposphäre des Körpers präsent ist, dann ist die Atmosphäre transparent gegenüber sichtbarem Licht, aber trübe gegenüber dem Infrarot, und die Infrarot-Strahlung wird nahe der Oberfläche eingefangen und bewirken, dass die Temperatur in Bodennähe wärmer ist, als es sie von solarer Heizung allein wäre.«

Widerlegung: Infrarot-Strahlung ist mit Wärme durcheinander gebracht. Es ist nicht erklärt, was mit »die Infrarot-Strahlung wird nahe der Oberfläche eingefangen« gemeint sein könnte. Ist es ein MASER, ist es »Superisolation«, das heißt verschwindende Wärmeleitfähigkeit, oder ist es einfache Thermalisierung (Umwandlung von absorbiertes Strahlung in Wärme)?

Das ist keine Widerlegung, sondern nur Aufzeigen einer schlechten Erklärung.

3.3.12 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Encyclopaedia of Astronomy and Astrophysics (2001)

Die Encyclopaedia of Astronomy and Astrophysics [2001] definiert den Treibhauseffekt wie folgt:

»Der Treibhauseffekt ist der von der Atmosphäre eines Planeten ausgeübte Strahlungseinfluss, der bewirkt, dass die Temperatur auf der Oberfläche über den Wert steigt, den er normalerweise erreichen würde, wenn er in direktem Gleichgewicht mit dem Sonnenlicht stünde - unter Berücksichtigung der planetaren Albedo (Weißheit). Dieser Effekt ergibt sich aus der Tatsache, dass gewisse atmosphärische Gase die Fähigkeit besitzen, den größten Anteil der Sonnenstrahlung durchzulassen, aber die Infrarotstrahlung der Oberfläche zu absorbieren. Die thermische (d.h. infrarote) Strahlung - von der Atmosphäre abgefangen - wird dann teilweise zum Boden zurückgestrahlt. Obwohl die Analogie im Hinblick auf die beteiligten Prozesse nicht ganz befriedigend ist, kann man leicht die Parallelen zwischen dem Treibhauseffekt im Atmosphäre-Erdoberfläche-System und dem Gärtnertriebhaus sehen: Die planetare Atmosphäre spielt die Rolle der Glasabdeckung, die den Sonnenschein durchlässt, um den Boden zu heizen und gleichzeitig die vom Boden austretende Wärme zurückhält. Die Analogie geht sogar noch weiter, indem sie die Funktion von solchen Fenstern (*opacity windows*) übernehmen kann . . . , die es erlauben, in einem heimischen Treibhaus die Temperatur zu regeln.«

Widerlegung: Das Konzept des »direkten Gleichgewichts mit dem Sonnenlicht« ist physikalisch falsch, wie im Detail in Kapitel 3.7 auf Seite 78 gezeigt wird. Selbst die Beschreibung der Physik des Gärtnertriebhauses ist hier falsch. Die Analogie stinkt.

Zur Analogie siehe Kapitel 3.1.1 auf Seite 50.

3.3.13 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Encyclopaedia Britannica Online (2007)

Die Encyclopaedia Britannica Online [2007] erklärt den Treibhauseffekt in der folgenden Weise:

»Die Atmosphäre lässt den größten Anteil des Sonnenlichtes bis zur Erdoberfläche durch. Indem die Erdoberfläche durch das Sonnenlicht erwärmt wird, strahlt sie einen Teil dieser Energie als infrarote Strahlung in den Raum zurück. Im Unterschied zu sichtbarem Licht tendiert diese Strahlung dazu, von den Treibhausgasen in der Atmosphäre absorbiert zu werden, und erhöht damit deren Temperatur. Die aufgeheizte Atmosphäre wiederum strahlt infrarote Strahlung auf die Erdoberfläche. Trotz seines Namens unterscheidet sich der Treibhauseffekt von der Erwärmung in einem Treibhaus, wo die Glasscheiben sichtbares Sonnenlicht durchlassen, aber die Wärme im Gebäude halten, indem sie die eingeschlossene

erwärmte Luft gefangen halten. Ohne die Erwärmung durch den Treibhauseffekt betrüge die Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche nur etwa -18°C (0°F).«

Widerlegung: Das Konzept der Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche ist mathematisch und physikalisch schlecht definiert und daher nutzlos. Dies wird gezeigt in Kapitel 3.7 auf Seite 78.

Auch vorstehende »Widerlegung« ist keine Widerlegung. Allerdings ist der Text der Enzyklopädie unsauber: nicht anschließend strahlen die Treibhausgase, sondern die Treibhausgase strahlen entsprechend ihrer Temperatur. Es kommt aber nach Einstellung des Gleichgewichts zu keiner Abkühlung, weil die abgestrahlte Energie durch Absorption und Wärmetransport ersetzt wird.

3.3.14 Atmosphärischer Treibhauseffekt nach Rahmstorf (2007)

Der anerkannte deutsche Klimatologe Rahmstorf [2007] behauptet (aktuelle Formulierung von 2015):

»Vor allem Wasserdampf und CO_2 -Moleküle absorbieren einen Teil der von der Erde abgegebenen Strahlung, und strahlen dann selber die Energie wieder in alle Richtungen ab. Ein Teil der Strahlungsenergie kommt damit wieder auf die Erde zurück. . . . An der Erdoberfläche gilt eine etwas andere Energiebilanz - zur Sonnenstrahlung kommt der Anteil der langwelligen Strahlung noch dazu, der von den Molekülen weiter oben teilweise auch nach unten gestrahlt wird. Daher kommt unten mehr Strahlung an, und zum Ausgleich muss die Oberfläche mehr Energie abgeben, also wärmer sein ($+15^{\circ}\text{C}$), um auch dort unten wieder ein Gleichgewicht zu erreichen. Ein Teil dieser Wärme wird von der Oberfläche auch durch atmosphärische Konvektion nach oben abgeleitet. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt wäre die Erde lebensfeindlich und völlig vereist . . . Diese Störung der Strahlungsbilanz muss zu einer Erwärmung der Erdoberfläche führen, wie sie ja auch tatsächlich beobachtet wird.«

Widerlegung: Reflektion und Emission werden miteinander vermengt. Das Konzept der Strahlungsbilanz ist fehlerhaft. Dies wird erklärt in Kapitel 3.7 auf Seite 78.

In dem Zitat steht nichts von einer Reflexion. Die Strahlungsbilanz ist der Zustand nach Einstellung des Gleichgewichts. Siehe Kommentare im Kapitel 3.7 auf Seite 78

3.3.15 Schlussfolgerung

Es ist interessant, zu beobachten,

- dass bis heute der »atmosphärische Treibhauseffekt« nicht erscheint
 - in irgendeinem fundamentalen Werk über Thermodynamik,
 - in irgendeinem fundamentalen Werk der physikalischen Kinetik,
 - in irgendeinem fundamentalen Werk über Strahlungstheorie;
- dass die Definitionen, die in der Literatur jenseits einer aufrichtigen Physik gegeben werden, sehr unterschiedlich sind und sich teilweise untereinander **widersprechen**.

Noch interessanter ist es, die angeblichen »Widerlegungen« zu analysieren und die weitgehend gleichen Grundzüge der Definitionen zu betrachten. Unterschiedliche Autoren legen natürlich ihre eignen Wichtungen in ihre Aussagen.

Both of these perspectives describe the process by which increases in the atmospheric abundance of *greenhouse gases* lead to warming at the Earth's surface. The term *greenhouse gases* refers to gases that are highly transparent to solar radiation but are relatively opaque to longwave radiation, similar to glass in a greenhouse. The process by which warming occurs in a greenhouse is different from that described above. In this regard the terms *greenhouse gas* and *greenhouse effect* are misnomers.

Abbildung 15: Ein Auszug aus Seite 28 des DOE-Reports (1985).

3.4 Die Schlussfolgerung des US Department of Energy

Alle fiktiven Treibhauseffekte haben eines gemeinsam, nämlich dass es eine und nur eine Ursache für sie gibt: Eine mögliche Erhöhung in der Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre soll zu höheren bodennahen Lufttemperaturen führen. Aus Gründen der Bequemlichkeit nennen wir im Kontext dieser Arbeit einen solchen Mechanismus »atmosphärischen CO₂-Treibhauseffekt«⁴⁰⁾

Das Ergebnis von Lee [1973] zeigt, dass das Erwärmungsphänomen in einem Glashaus nichts mit dem vermuteten atmosphärischen Treibhauseffekt zu tun hat. Es wurde bestätigt im Bericht des United States Department of Energy aus dem Jahre 1985, erschienen unter dem Titel »Projecting the climatic effects of increasing carbon dioxide« ... [1985]. In dieser umfassenden Publikation vor Gründung des IPCC im Jahre 1988 stellt MacCracken ausdrücklich fest, dass die Bezeichnungen »greenhouse gas« (Treibhausgas) und »greenhouse effect« (Treibhauseffekt) Fehlbenennungen sind ... [1985], Cracken [1985]. Eine Kopie des letzten Paragraphen des entsprechenden Abschnitts auf Seite 28 ist gezeigt in Bild 15.

Das Folgende sollte hervorgehoben werden:

- Das Erwärmungsphänomen im Glashaus und der vermutete atmosphärische Treibhauseffekt haben die gleichen Teilnehmer, aber im letzten Fall ist die Situation umgekehrt.
- Methodisch gesehen, gibt es eine große Differenz: Für den physikalischen Treibhauseffekt (im Auto oder Gärtnertriebhaus) kann man Messungen machen und auf die Unterschiede in den Anzeigen der Instrumente achten. Man kann den Effekt ohne eine wissenschaftliche Erklärung und ohne irgendein Vorurteil beobachten.

Im Falle des atmosphärischen Treibhauseffekts kann man **angeblich** überhaupt nichts beobachten. Man kann nur die eine Rechnung mit der anderen vergleichen: Früher äußerst einfache Berechnungen, die mehr und mehr intransparent werden. Heutzutage werden Computer-Simulationen benutzt, die beinahe niemand reproduzieren kann. Anonymous [2007a].

Natürlich kann man auch beim Treibhauseffekt messen. Ein typischer Meßort ist z.B. der Druck der Tropopause (z.B. mit Wetterballons). Schon die Existenz der Tropopause ist ohne Treihauseffekt kaum zu erklären. Die Tropopause und ihr Anstieg folgt schon aus den Papern von Schwarzschild [1906] und Gold [1909].

Im Folgenden werden die verschiedenen Aspekte der der atmosphärischen Situation zugrunde liegenden Physik ausführlich diskutiert.

⁴⁰⁾Diese Namensgebung verallgemeinert sich in natürlicher Weise auf andere Spurengase.

3.5 Absorption/Emission ist nicht Reflektion

3.5.1 Eine unbequeme Popularisierung von Physik

Bild 16 zeigt ein Screenshot aus dem kontroversen preisgekrönten »Dokumentarfilm« über den »Klimawandel«, speziell über die »globale Erwärmung« (Hauptrolle: Al Gore, der frühere US-Vize-Präsident, Regie: Davis Guggenheim) Gore [2006], Guggenheim [2006]. Der Film wurde unterstützt von Managern und Politikern rund um die Welt und wurde gezeigt in Schulen und Open-Air-Events. Lewis [2006] schrieb ein interessante Arbeit unter dem Titel »A Skeptic's Guide to An Inconvenient Truth«, die das Machwerk von Gore im Detail bewertet.

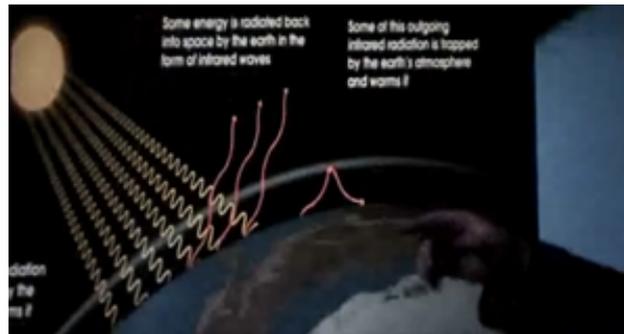


Abbildung 16: Ein sehr populärer physikalischer Fehler, dargestellt im Film »An Inconvenient truth« (Eine unbequeme Wahrheit) von Davis Guggenheim mit Al Gore (2006).

Aus der Sicht eines ausgebildeten Physikers ist Gores Film ziemlich grotesk, weil er entsetzlich falsch ist. Jeder lizenzierte Funkamateurler⁴¹⁾ erkennt sofort, dass das, was in Figure 16 dargestellt ist, nur richtig sein könnte

- wenn die hier graphisch dargestellte Strahlung langwellige oder kurzwellige Radiowellen wären;
- wenn die hier dargestellte reflektierende Sphäre eine bestimmte Schicht der Ionosphäre wäre Budden [1966].

Kurzwellen (zum Beispiel im 20m/14 MHz-Band) werden reflektiert an der F-Schicht der Ionosphäre, 120 - 400 km oberhalb der Erdoberfläche, was transatlantische QSOs (Funkverbindungen⁴²⁾) möglich macht. Die Ausbreitungsbedingungen hängen stark von der Sonnenaktivität ab, zum Beispiel vom Sonnenfleckenzyklus, wie jeder lizenzierte Funkamateurler (Old Man, OM⁴³⁾) sehr gut weiß. Die Reflektionseigenschaften⁴⁴⁾ der Ionosphäre werden schlechter oberhalb 30 MHz. In den Ultrakurzwellen-Bändern (Very High Frequency, VHF) zum Beispiel im 2 m/144MHz Band, beobachtet man sogenannte Sporadic-E-Wolken, 90 - 120 km oberhalb der Erdoberfläche, die immerhin noch QSOs⁴²⁾ zum Beispiel von Deutschland nach Italien erlauben. Auf der anderen Seite des Spektrums, bei extrem niedrigen Frequenzen (Extremely Low Frequencies, ELF), mit dem Frequenzbereich 3 - 30 Hz, verhält sich die Erde wie ein Hohlraumresonator, und man beobachtet die sogenannten Schumann-Resonanzen Schumann [1952]. Diese können benutzt werden, um die obere Schranke für die Photon-Masse

⁴¹⁾Rufzeichen von R.D.T.: DK8HH

⁴²⁾QSO: Abkürzung für »Gespräch über Funk tätigen«

⁴³⁾OM = old man = alter Mann, Bezeichnung der Funkamateurler untereinander

⁴⁴⁾Da in dieser Arbeit großer Wert auf Exaktheit gelegt wird, muß ergänzt werden, daß das, was der OM als Reflexion bezeichnet in der Regel eine Beugung ist. Die Bedingungen für Reflexion (Kapitel 3.5.2 auf der nächsten Seite) sind nur bei der Bodenreflexion, aber nicht in der Ionosphäre erfüllt.

abzuschätzen⁴⁵⁾, und sie erscheinen überraschenderweise in der Diskussion über den Klimawandel Fullekrug [2006]. Das Radiosignal von Al Gores Mobiltelefon (im Zentimeter-Bereich) kann sich aber nicht weltweit ausbreiten, so wie es Bluetooth, Radar, Mikrowellen oder Infrarotstrahlung (das heißt elektromagnetische Wellen im Sub-Millimeter-Bereich) auch nicht könnten.

Ionosphärisches Radar arbeitet typischerweise im 6 m-Band, das heißt bei 50 MHz. Meteorologische Radars arbeiten im 0.1 - 20 cm-Bereich (speziell von 90 GHz bis 1,5 GHz), die Radars im 3 - 10 cm-Bereich (von 10 GHz bis 3 GHz) werden benutzt für die Beobachtung von Stürmen und die Wetter-Beobachtung ... [1990]. Es ist offensichtlich, dass Al Gore die Ionosphäre mit der Tropopause verwechselt, die Region, die als Grenzschicht zwischen Troposphäre und Stratosphäre zu verstehen ist. Die Tropopause liegt bei den Polen in 6 km Höhe und am Äquator in 17 km Höhe oberhalb der Erdoberfläche⁴⁶⁾. Außerdem bringt Al Gore *Absorption/Emission* mit *Reflektion* durcheinander. Dies wird auch in vielen klimatologischen Arbeiten implizit oder explizit so getan, oft indem die vage definierten Begriffe »Re-Emission«, »Re-Radiation« und »Rückstrahlung« verwendet werden.

3.5.2 Reflektion

Wenn sich elektromagnetische Wellen von einem Medium mit gegebenem Brechungsindex n_1 in ein zweites Medium mit gegebenem Brechungsindex n_2 ausbreiten, dann kann sowohl Reflektion (Rückwurf) als auch Refraktion (Brechung) der Wellen auftreten Born und Wolf [1997]. In dem Fall, in dem der Sprung des Brechungsindex innerhalb einer Länge von der Größenordnung einer Wellenlänge stattfindet, tritt Reflektion auf. Der Bruchteil der Intensität der einfallenden elektromagnetischen Welle, der von der Grenzschicht reflektiert wird, ist gegeben durch den Reflektionskoeffizient R , der Bruchteil der Intensität der einfallenden elektromagnetischen Welle, der von der Grenzschicht gebrochen wird, ist gegeben durch den Transmissionskoeffizient T . Die Fresnel-Gleichungen, die auf der Annahme basieren, dass beide Materialien dielektrisch sind, können benutzt werden, um den Reflektionskoeffizient R und den Transmissionskoeffizient T für eine gegebene Situation zu berechnen.

Im Falle eines normalen Einfalls ist die Formel für den Reflektionskoeffizienten gegeben durch

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (44)$$

Im Falle starker Absorption (hohe elektrischer Leitfähigkeit σ) könne einfache Formeln für größere Einfallswinkel γ angegeben werden (Beersche Formeln):

$$R_s = \frac{(n_2 - n_1 \cos \gamma)^2 + n_2^2 \sigma^2 \cos^2 \gamma}{(n_2 + n_1 \cos \gamma)^2 + n_2^2 \sigma^2 \cos^2 \gamma} \quad (45)$$

und

$$R_p = \frac{(n_1 - n_2 \cos \gamma)^2 + n_2^2 \sigma^2 \cos^2 \gamma}{(n_1 + n_2 \cos \gamma)^2 + n_2^2 \sigma^2 \cos^2 \gamma} \quad (46)$$

⁴⁵⁾ Als Assistent für die Übungen zur Experimentalphysik an der Universität Hamburg bzw. dem DESY lernte R.D.T. dies von Professor Herwig Schopper.

⁴⁶⁾ Einige Klimatologen behaupten, dass es eine CO₂-Schicht in der Tropopause gibt, welche die vom Boden abgestrahlte Infrarot-Strahlung einfängt und reflektiert. **Das dürften aber keine Fachleute sein, denn Fachleute wissen, dass die Konzentration von CO₂ im größten Teil der Atmosphäre fast gleich ist.**

Wenn der Sprung des Brechungsindex innerhalb einer Länge von der Größenordnung einer Wellenlänge stattfindet, tritt Reflektion auf, welche im Falle hoher Absorption bedeutend ist. Für dielektrische Medien hingegen, deren elektrische Leitfähigkeit null ist, kann man nicht die Beerschen Formeln verwenden. Dies war das Problem in Maxwells Theorie über das Licht.

3.5.3 Absorption und Emission

Wenn eine Fläche mit dem Strahlungsfeld im thermodynamischen Gleichgewicht ist, dann ist die Intensität E_ν (bzw. E_λ) für die Strahlung pro Einheitsraumwinkel und Einheitsfrequenz (bzw. Einheitswellenlänge) gleich dem Absorptionsgrad A_ν (bzw. A_λ) multipliziert mit einer universellem Frequenzfunktion $B_\nu(T)$ (bzw. einer Wellenlängenfunktion $B_\lambda(T)$), die von der absoluten Temperatur T abhängt:

$$E_\nu = A_\nu \cdot B_\nu(T) \quad (47)$$

$$E_\lambda = A_\lambda \cdot B_\lambda(T) \quad (48)$$

Dies ist ein Theorem von *Kirchhoff*. Die Funktion $B_\nu(T)$ (bzw. $B_\lambda(T)$) wird *Kirchhoff-Planck-Funktion* genannt. Sie wurde schon betrachtet in Kapitel 2.1.4 auf Seite 33.

Der *Reflektionsgrad* ist gegeben durch

$$R_\nu = 1 - A_\nu \quad (49)$$

$$R_\lambda = 1 - A_\lambda \quad (50)$$

und liegt zwischen 0 und 1, genau wie der *Absorptionsgrad* A_ν . Wenn für einen Körper $R = 0$ und $A = 1$, so nennt man diesen *einen ideal schwarzen Körper*. Das Emissionsvermögen ist für einen ideal schwarzen Körper am höchsten. Der Vorschlag, einen ideal schwarzen Körper zu realisieren, indem man eine Cavity (Hohlraumresonator) mit einem kleinen strahlenden Loch verwendet, wurde schon von Kirchhoff gemacht und ist in Bild 17 auf der nächsten Seite dargestellt. Aus diesem Grunde wird die Strahlung eines ideal schwarzen Körpers mit $A_\nu = 1$ (bzw. $A_\lambda = 1$) *Hohlraumstrahlung* genannt. Die abgestrahlte Energie kommt von seinen Wänden, die in einem Wärmebad bei konstanter Temperatur gehalten werden. Wenn dies mit dem Teil der Oberfläche eines Körpers realisiert werden sollte, wird klar, dass beide Sichten nur dann miteinander verträglich sind, wenn die elektromagnetische Strahlung durch eine extrem dünne Oberflächenschicht emittiert oder absorbiert wird. Aus diesem Grunde ist es unmöglich, Volumina von Gasen mit dem Modell der Hohlraumstrahlung zu beschreiben⁴⁷⁾. Weil Wärmestrahlung elektromagnetische Strahlung ist, müsste die Strahlung im Falle von Gasen durch die thermische Bewegung verursacht sein, was bei Raumtemperaturen nicht sehr effektiv ist. Die thermische Bewegung darf bzw. kann bei Raumtemperaturen nicht so effektiv anregen, wie bei hohen Temperaturen. Andernfalls würde ja die Strahlungsintensität unabhängig von der Temperatur sein. Aber das Gesetz der Intensität der Gasstrahlung wurde schon von Einstein [1916 bzw. 1917] erkannt - als das Strahlungsgesetz von Planck [1900] mit den entsprechenden Stößen. Bei den Temperaturen in Sternen ist die Situation eine andere: Dort sind die Energieniveaus stets durch Stöße angeregt. Die Situation ist nicht verschieden: Auch in der Atmosphäre sind die strahlenden Energieniveaus hauptsächlich durch Stöße angeregt und entsprechen weitgehend der Boltzmann-Verteilung. Siehe auch Schack [1972].

⁴⁷⁾Ist auch nicht notwendig, da Einstein bereits 1916 die Strahlungseigenschaften von Gasen verstanden hat Einstein [1916 bzw. 1917]. Siehe auch Kapitel 4.1 auf Seite 120



Abbildung 17: Ein Hohlraum, die einen ideal schwarzen Körper näherungsweise realisiert.

3.5.4 Re-Emission

Die nachfolgende Untersuchung ist unnötig, da schon Willy Wien [1894] diese Fragen mit spiegelnden Wänden untersucht hat. Spiegelnde Wände sind bestimmt keine δ -Dichte einer Wand mit Emission und Absorption.

Im Falle von Strahlungstransportrechnungen wird Kirchhoffs Gesetz »verallgemeinert« auf die Situation, in der die entsprechende Formel für die Emission bzw. Absorption (pro Einheitslänge längs der Richtung ds) aller Vermutung nach anwendbar ist⁴⁸⁾:

$$\varepsilon_\nu ds = \alpha_\nu ds \cdot B_\nu(T) \quad (51)$$

Die physikalische Bedeutung dieser »Verallgemeinerung« kann leicht gesehen werden, wenn man das Kirchhoffsche Gesetz mathematisch aus der Formel extrahiert. Um dies zu tun, definierten wir

$$\varepsilon_\nu ds = E_\nu \delta(s - s_0) \quad (52)$$

$$\alpha_\nu ds = A_\nu \delta(s - s_0) \quad (53)$$

mit einer δ -Dichte lokalisiert auf der Grenzfläche. Physikalisch gesehen heißt dies, dass die gesamte Absorption und Emission aus einer dünnen Oberfläche erfolgt. Genau wie beim richtigen Kirchhoffschen Gesetz nutzen wir die Tatsache aus, dass alle absorbierte Strahlung wieder emittiert wird. Andernfalls würde der Volumenbereich seine Temperatur im thermischen Gleichgewicht erhöhen. Das Kirchhoffsche Gesetz hat nichts mit Temperaturänderungen zu tun. Beispielsweise erwärmt sich der Absorber, wenn die einfallende Strahlungsintensität aus einer Quelle mit einer höheren Temperatur als reflektierende Körper stammt. Die mathematische Extraktion ist Unsinn, weil eine δ -Funktion an dem Punkt s_0 einen unendlichen Wert mit der Dicke 0 hat. Aber ε sein kann nie größer als 1 sein. Es ist auch nicht im Einklang mit der Realität. Beweis: Wenn ein Wandmaterial ausreichend dünn geschliffen wird, dann wird jeder Dünnschliff durchscheinend sein. Weiterhin hängt » ε « von der Art der Oberfläche ab - und sogar von den Oberflächenmolekülen und nicht nur von den Oberflächenatomen. Moleküle sind keine δ -Funktionen, bedeutet dies, dass die Dicke der Oberflächenschicht nicht 0, wie in einer δ -Funktion ist. So ist in der Realität jede Reflexion usw. ein Volumeneffekt wie in der Atmosphäre - die Dichte eines Wandmaterials ist »nur« dichter als die Atmosphäre. Diese Annahme ist die Annahme des *Lokalen Thermodynamischen Gleichgewichts* (Local Thermodynamical Equilibrium, LTE). Diese Interpretation des LTE ist falsch, das LTE bedeutet, daß die Verteilung der angeregten Zustände fast der Boltzmann-Verteilung entspricht. Dabei ist in der Regel (Troposphäre) die Emission höher als die Absorption, der

⁴⁸⁾Vielleicht gibt es solche Herleitungen, aber sie dürften unzutreffend sein, denn richtig wird die Strahlungstransportgleichung aus den Einsteingleichungen Einstein [1916 bzw. 1917] und dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik hergeleitet - siehe Kapitel 4.4.3 auf Seite 135. Insofern haben die nachfolgenden Ausführungen, die auf einer falschen Herleitung der Strahlungstransportgleichung beruhen, keine Relevanz.

Energieverlust wird durch Wärmeanlieferung durch Luftströmung gedeckt. Das LTE ist bei hoher Gasdichte vorhanden, weil es dort so häufig zu Kollisionen zwischen den Molekülen kommt, so daß die mittlere Kollisionszeit klein gegenüber der Lebensdauer eines ungestörten angeregten Zustandes ist. Ein bedeutender physikalischer Unterschied zum richtigen Kirchhoffschen Gesetz liegt in der Tatsache, dass es keine Formel für die Absorption pro linearer Einheit analog zu

$$R_\nu = 1 - A_\nu \quad (54)$$

gibt. Mit ρ als Dichte des Mediums kann man einen *Absorptionskoeffizienten* κ_ν bzw. einen *Emissionskoeffizienten* j_ν definieren, indem man

$$\alpha_\nu ds = \kappa_\nu \rho \quad (55)$$

$$\varepsilon_\nu ds = j_\nu \rho \quad (56)$$

setzt. Das Verhältnis von Emissionskoeffizient und Absorptionskoeffizient

$$S_\nu = \frac{j_\nu}{\kappa_\nu} \quad (57)$$

beschreibt die Re-Emission der Strahlung und wird *Quellfunktion* genannt. Die Emission und Absorption hängen ganz eng zusammen und aus diesem engen Zusammenhang wird sowohl die Hohlraumstrahlung Einstein [1916 bzw. 1917] als auch der Quellterm richtig beschrieben (Siehe auch Kapitel 4.1 auf Seite 120). Dieser enge Zusammenhang wird physikalisch durch die Energieerhaltung und den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik beschrieben. Insofern ist die enge Verwandtschaft der Strahlungstransportgleichung und der Kirchhoffschen Gesetze nicht verwunderlich.

3.5.5 Zwei Zugänge zum Strahlungstransport

Vorbemerkung: Die »*physikalisch wohlbegründeten Strahlungstransportgleichungen*« (Zitat aus dem nachfolgendem Text) sind explizit Gleichungen zur Berechnung der Änderung der Strahlintensität längs des Ausbreitungsweges eines Strahls durch Absorption und Emission. In der Troposphäre ist der Temperaturverlauf durch die Konvektion vorgegeben. Anders in der Stratosphäre: Implizit ist mit den Gleichungen der Temperaturverlauf zu bestimmen. In der Stratosphäre existiert ein Strahlungsgleichgewicht, d.h. absorbierte Energie und emittierte Energie müssen in der Summe 0 ergeben, damit sich in Zukunft die Temperatur nicht mehr ändert. Die Absorption ist fast temperaturunabhängig, die Emission stark temperaturabhängig (Planck-Gleichung). Deshalb findet die Bilanzierung zwischen Absorption und Emission bei einer bestimmten Temperatur statt und diese Temperaturen können mit Hilfe der Strahlungstransportgleichungen bestimmt werden.

In einem Gas ändert sich die Strahlungsintensität einer Fläche in Richtung eines Wegelements ds gemäß

$$- \frac{I_\nu}{ds} = \alpha_\nu I_\nu - \varepsilon_\nu \quad (58)$$

Mit Hilfe der Funktionen, die in Gleichung (55) - Gleichung (57) eingeführt wurden, kann dies ausgedrückt werden als

$$\frac{1}{\kappa_\nu \rho} \frac{I_\nu}{ds} = I_\nu - S_\nu \quad (59)$$

Diese Gleichung wird *Strahlungstransportgleichung* genannt. Zwei komplett unterschiedliche Zugänge zeigen, dass diese Emissionsfunktion nicht einfach durch die physikalischen Gesetze bestimmt wird Chandrasekhar [1960] (natürlich wird die Emissionsfunktion durch physikalische Gesetze bestimmt):

1. Der übliche Zugang des *Lokalen Thermodynamischen Gleichgewichts (LTE)* ist gegeben durch den Ansatz

$$S(x, y, z; l, m, n) = B_\nu(T(x, y, z; l, m, n)) \quad (60)$$

B_ν Chandrasekhar [1960]. LTE hat nur dann eine gewisse Bedeutung für Strahlungstransportrechnungen, wenn die Absorptionskoeffizienten unabhängig von der Temperatur sind. (diese unnötige Einschränkung wird nirgends gemacht. Natürlich kann man diese Abhängigkeit auch explizit erwähnen $\kappa_\nu = \kappa_\nu(T, p)$. Aber die Temperaturabhängigkeit ist so klein, dass diese Abhängigkeit fast ignoriert werden kann - siehe die Tabelle der Temperaturkoeffizienten, die von Messwerten erhalten wurden (und ergänzt durch Berechnungen), die allgemein verfügbar ist »HITRAN« Rothman u. a. [1998]. Was sich ändert ist der durchschnittliche Absorptionsfaktor, denn zusammen mit der Temperatur ändert sich auch die Wellenlängenverteilung - siehe z.B. Diagramm [Kneer, 2006, S. 41ff]. (Die Variable in diesen Diagrammen ist leider nicht Konzentration, sondern der Druck.)) Dies ist nicht der Fall bei niedrigen Temperaturen. Das ist natürlich Unsinn - siehe Kapitel 3.5.6 auf der nächsten Seite. In modernen Klimamodell-Berechnungen wird dieser Zugang dennoch ohne Skrupel verwendet. ... [1985]. Das ist natürlich auch Unsinn. Bei genauen Rechnungen wird natürlich die Temperatur- und Druckabhängigkeit der Spektrallinien berücksichtigt (die Daten zur Temperatur- und Druckabhängigkeit sind nicht umsonst in den Spektraldatenbanken) einschließlich des Übergangs zur streuenden Atmosphäre (siehe nächster Punkt). Für einfache Rechnungen zur Prinzipklärung reichen ganz starke Vereinfachungen, wie sie z.B. Schwarzschild [1906] verwendet hatte.

2. Ein anderer Zugang⁴⁹⁾ ist die *Streuende Atmosphäre*. Sie ist gegeben durch

$$S_\nu = \frac{1}{4\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} p(\delta, \varphi; \delta', \varphi') I_\nu(\delta', \varphi') \sin \delta' d\delta' d\varphi' \quad (61)$$

Diese extrem unterschiedlichen Zugänge zeigen, dass selbst die physikalisch wohlbegründeten Strahlungstransportgleichungen zu einem gewissen Grade beliebig sind (nein). Eine formale Integration der Strahlungstransport-Gleichung §9 auf der vorherigen Seite) ergibt

$$I_\nu(s) = I_\nu(0) e^{-\tau(s,0)} + \int_0^s S_\nu(s') e^{-\tau(s,s')} \kappa_\nu \varrho ds' \quad (62)$$

mit der optischen Dicke

$$\tau(s, s') = \int_0^s \kappa_\nu \varrho ds'' \quad (63)$$

⁴⁹⁾ Beide Näherungen beschreiben verschiedene Sachverhalte und müssen geeignet addiert werden. Beide Terme sind bei unterschiedlichen Gasdichten relevant: Der Streuterm bei niedrigen Dichten (weil eine absorbierte Photonenenergie meistens schon wieder emittiert wurde bevor es zur Teilchenkollision kommt), der Emissionsterm bei hohen Dichten (weil zwischen Absorption und Emission viele Teilchenkollision passieren). Siehe Milne [1928], Harde [2013] und Harde [2011]

Warum fehlt in der autorisierten Übersetzung der nachfolgende Teil (ist in magenta) der englischen Fassung?

Die Integrationen für die getrennten Richtungen sind voneinander unabhängig. Insbesondere haben diejenigen nach oben nichts mit denjenigen nach unten zu tun. Das ist richtig, leider findet man oft etwas anderes. Es kann nicht genug betont werden, daß die Differentialgleichungen nur die Berechnung von Änderungen auf der Grundlage von bekannten Parametern erlauben. Die Anfangswerte (oder Randbedingungen) können nicht aus den zu lösenden Differentialgleichungen abgeleitet werden.

Insbesondere gilt das sogar für dieses einfache Integral. Das ist richtig. Dazu kommt, daß wegen des Energiegleichgewichts der Temperaturverlauf selbst von der Lösung der Strahlungstransportgleichungen mitbestimmt wird. Darüber hinaus ist der Temperaturgradient in der Troposphäre (Schwarzschild-Kriterium) durch die vorhandene Konvektion niedriger als ein Temperaturverlauf ohne Konvektion, wo nur das Strahlungsgleichgewicht bestimmend ist. Dadurch ist die Temperatur geringer als im reinen Strahlungsgleichgewicht mit den höheren Temperaturen. Entsprechend dem Schwarzschild-Kriterium setzt die Konvektion ein, wenn der Temperaturgradient im Strahlungsgleichgewicht den adiabatischen Temperaturgradienten überschreiten würde - womit die Troposphäre beginnt. Das wurde schon in Schwarzschild [1906] festgestellt. In der Troposphäre ist der Temperaturgradient fast unabhängig von der Höhe - bis auf wenige mm in Oberflächennähe. Besonders groß ist die Abweichung wenige mm über der Oberfläche, da dort die Konvektion durch Bodenreibung ganz stark behindert wird.

Als Randbedingungen liegen vor:

Strahlung nach unten: Wert Null am oberen Rand der Atmosphäre.

Strahlung nach oben: Ist am oberen Rand der Atmosphäre so stark - wie etwa die absorbierte Solarenergie ist: daraus folgt die Oberflächentemperatur.

Konvektion: Setzt ein, wenn der Betrag des Temperaturgradienten im reinen Strahlungsgleichgewicht den adiabatischen Wert übersteigen würde.

Diese Rechnung ergibt eine Tropopause und eine etwa isotherme Temperatur oberhalb dieser (Ausnahme Ozonschicht) und einen nahezu adiabatischen Temperaturverlauf unterhalb. Siehe auch Kommentar im Kapitel 3.3.4 auf Seite 55 (speziell S. 55).

Wenn man annimmt, dass die Temperatur eines Volumen-Elements konstant sein sollte, kann man keine steigende Temperatur berechnen. Diese Unmöglichkeit wird leider manchmal gemacht, ich glaube, daß das z.B. in Harde [2011] und Harde [2013] der Fall ist, u.a. kommt der Autor deswegen zu einer zu kleinen Klimasensitivität.

3.5.6 Die Temperaturabhängigkeit der Spektrallinien

Nach Gleichung (60 auf der vorherigen Seite) steht »wenn die Absorptionskoeffizienten unabhängig von der Temperatur sind«. Zwar ist diese Einschränkung unnötig, aber trotzdem ist die Temperaturabhängigkeit gering.

Die Temperaturabhängigkeit der Absorptionsstärke ist so gering, daß diese Abhängigkeit fast vernachlässigt werden kann - siehe die aus Meßwerten gewonnene Tabelle der Temperaturkoeffizienten (ergänzt durch Berechnungen), die in der HITRAN-Datenbank allgemein zugänglich sind Rothman u. a. [1998]. Was sich ändert ist der durchschnittliche Absorptionsfaktor, weil sich bei Temperaturänderungen mit der Änderung der Wellenlängenverteilung die Wichtung ändert – siehe Diagramm in [Kneer, 2006, S. 41ff]. (Parameter dieser Diagramme ist eine konstante Teilchenmenge, ausgedrückt als Drucklänge.)

Die Temperaturabhängigkeit der Absorption entsteht u.a. dadurch, daß der Grundzustand einer Absorptionslinie oft selbst ein angeregter Zustand ist.

Die nachfolgenden Absätze zeigen die Zusammenhänge genauer. Eine Absorption aus einem elektromagnetischem Feld durch ein Molekül kann nur passieren, wenn das Molekül ein Dipolmoment hat. Lineare symmetrische Moleküle wie das CO₂ haben im Ruhezustand kein Dipolmoment. Deswegen könnte bei ganz tiefen Temperaturen die Absorptionsfähigkeit geringer werden, weil dann die meisten Moleküle im Ruhezustand sind - aber jedes Molekül mit angeregter Knickschwingung hat die gleiche Absorptionsfrequenz, so daß die Absorptionsstärke hoch ist und sich nicht auf verschiedene Moleküle mit unterschiedlichen Frequenzen verteilt. Durch die temperaturabhängige Anregungen der Knickschwingungen variieren aber die Linienintensitäten. Mit der Wiedergabe von [Rothman u. a., 1998, S.708 - 710] wird das deutlich. Bei höherer Temperatur können mehr Frequenzen absorbieren, aber die starke Linie wird verteilt (größere Partitionssumme Q in Gleichung (k-63-2)).

Zum einfachen Verständnis werden einige der Größen in Rothman u. a. [1998] zusammengefaßt. Ein Produkt tritt immer wieder auf: $c_2 E$ mit $c_2 = 1,4388 \text{ cm K}$ und E in der Maßeinheit cm^{-1} . Das Produkt ist eine Temperatur T_ν (siehe auch Gleichung (T-f auf Seite 14) und T_{grund} als Energie der Knickschwingung):

$$T_\nu = c_2 E = \frac{h\nu}{k} \quad (\text{k-63-1})$$

Damit erhält Gleichung [Rothman u. a., 1998, (A5)] folgende Form:

$$S(T) = \text{Konstante} \frac{e^{-(T_{grund}/T)}}{Q(T)} [1 - e^{-T_\nu/T}] \quad (\text{k-63-2})$$

Dabei ist die Partitionssumme Q (auch als TIPS bezeichnet) wie folgt definiert (siehe Gl. [Rothman u. a., 1998, (A4)]):

$$Q(T) = \sum_{\eta} g_{\eta} e^{-T_{\nu,\eta}/T}$$

Die Partitionssumme Q muß man nicht jedes Mal ausrechnen, obwohl sie in HITRAN nicht direkt angegeben ist. Es gibt dafür Tabellen, die auch als Datensatz in Programmen zur Interpolation enthalten sind Gamache [2013].

Die Absorptionsstärke S wird in Tabellen bei einer Referenztemperatur (HITRAN: $T_{ref} = 296 \text{ K}$) angegeben. Mit Quotientenbildung wird von auch von der Referenzabsorptionsstärke ausgegangen:

$$S(T) = S(T_{ref}) \frac{Q(T_{ref})}{Q(T)} \frac{e^{-(T_{grund}/T)}}{e^{-(T_{grund}/T_{ref})}} \frac{1 - e^{-T_\nu/T}}{1 - e^{-T_\nu/T_{ref}}} \quad (\text{k-63-3})$$

Der letzte Term unterscheidet sich bei den Temperaturen und Wellenlängen der Atmosphäre nur wenig von 1 und kann deshalb vernachlässigt werden. So wird:

$$S(T) = S(T_{ref}) \frac{Q(T_{ref})}{Q(T)} (e^{-(T_{grund}/T - T_{grund}/T_{ref})}) \quad (\text{k-63-4})$$

mit Gleichung (k-63-4) sind die temperaturabhängigen Linienstärken ausgerechnet. Durch die Änderungen von Exponentialfunktion und Partitionssumme werden in Abhängigkeit von der Temperatur einzelne Linien schwächer, andere stärker. Gezeigt wird das bei einem Auszug um $15 \mu\text{m}$ in Diagramm 101 auf der nächsten Seite.

Diagramm 101 auf der nächsten Seite und die Ähnlichkeit mit der Bildung der Partionssumme läßt vermuten, daß die Summen der Intensitäten in einem ausreichend breiten Band

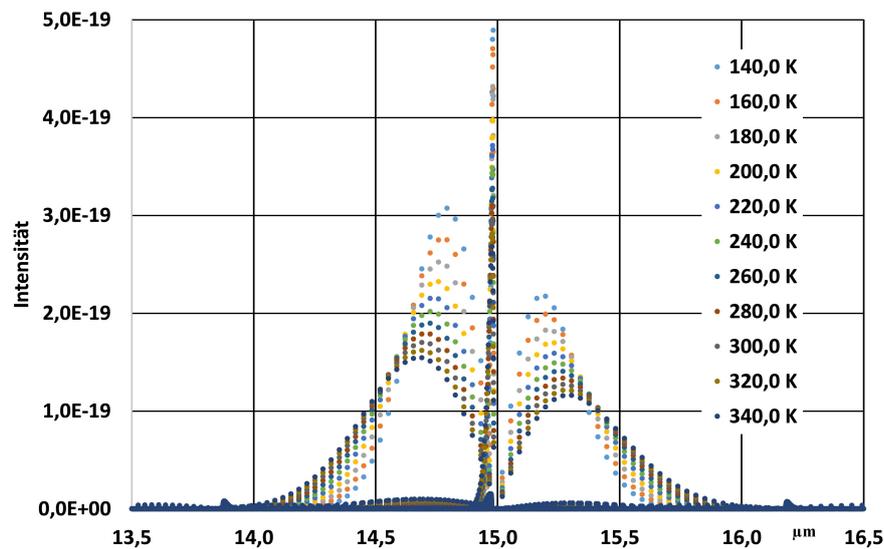


Abbildung 101: Temperaturabhängigkeit der Linienstärken um 15 μm .

fast konstant sind - siehe Diagramm 102 (um die Kurven gemeinsam darzustellen, sind alle durch Zehnerpotenzen auf ca. 1 normiert). Wie sich zeigt, ist die Temperaturabhängigkeit fast vernachlässigbar.

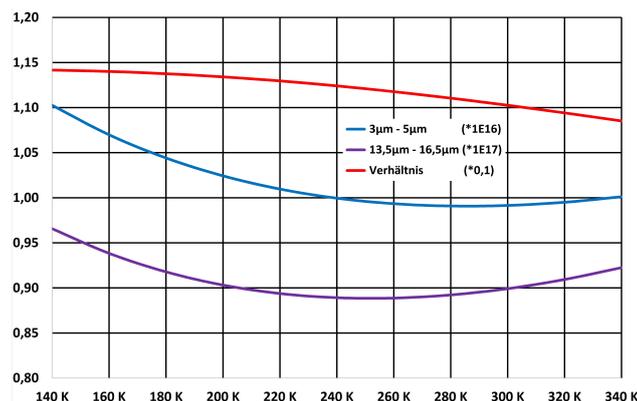


Abbildung 102: Normierte Temperaturabhängigkeit der Summenstärken in 2 Bändern und deren Verhältnis.

3.6 Die Hypothesen von Fourier, Tyndall und Arrhenius

3.6.1 Die überlieferten Arbeiten

In ihren Forschungs- und Übersichtsartikeln beziehen sich die Klimaforscher auf die legendären Publikationen von Svante August Arrhenius (19. Februar 1859 - 2. Oktober 1927), einem Nobelpreisträger für Chemie. Arrhenius veröffentlichte eine der frühesten - extrem einfachen - Rechnungen im Jahre 1896, deren Gültigkeit sofort und unberechtigterweise (siehe Fußnote ²⁰⁾ auf Seite 25) angezweifelt wurden und die dann auch gleich für Jahrzehnte in Vergessenheit gerieten Arrhenius [1896], Arrhenius [1901], Arrhenius [1906]. Es ist eine Arbeit über den Einfluss der Kohlendioxid in der Luft auf die Temperatur des Erdbodens. In diesem ziemlich langen Paper stellte er die Hypothese zur Diskussion, dass das Auftreten

der Warmzeiten und Eiszeiten in der Erdgeschichte mit dem Einfluss bestimmter Gase, die Wärmestrahlung absorbieren, erklärbar sei.

In diesem Zusammenhang zitierte Arrhenius eine Publikation von Fourier aus dem Jahre 1824⁵⁰⁾ mit dem Titel »Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires« Fourier [1824a], Fourier [1824b]. Arrhenius stellt fälschlicherweise fest, dass Fourier der erste⁵¹⁾ war, der behauptete, dass die Atmosphäre wie das Glas eines Treibhauses⁵²⁾ wirkt, weil es die Strahlen der Sonne durchlässt und die sogenannte dunkle Wärme in dessen Innerem hält. **Falsch: Fourier schreibt von einer Behinderung der Abstrahlung dunkler Wärme (heute Infrarot genannt) und nicht vom Halten dunkler Wärme.**

Die deutsche Übersetzung der relevanten Passage bei Fourier [Fourier, 1824a, Seite 585] lautet:

»Man verdankt dem berühmten Reisenden M. von Saussure ein Experiment, das geeignet scheint, Licht auf diese Frage zu werfen. Es besteht darin, den Sonnenstrahlen ein von mehreren durchsichtigen Glasscheiben bedecktes Gefäß auszusetzen, welche in einem gewissen gegenseitigen Abstand übereinander gestapelt werden. Das Innere des Gefäßes wird mit einer dicken Schicht aus schwarzem Fett bedeckt, geeignet zur Absorption und Speicherung von Wärme. Die erhitzte Luft wird von allen Seiten eingesperrt, sei es im Inneren des Gefäßes oder in jedem Intervall zwischen zwei Scheiben. Thermometer im Gefäß und in den höheren Zwischenräumen zeigen in jedem dieser Volumina den Grad von Wärmesteigerung an. Dieses Instrument wurde um Mittag der Sonne ausgesetzt, und man hat in verschiedenen Experimenten gesehen, wie das Thermometer des Gefäßes auf 70, 80, 100, 110 Grad und darüber stieg (oktogesimale Skala⁵³⁾). Die in den höhergelegenen Zwischenräumen platzierten Thermometer zeigten hingegen viel weniger Wärmegrade an, und zwar. nahmen diese vom Gefäßboden angefangen bis zum höchstgelegenen Zwischenraum ab.«

⁵⁰⁾Offensichtlich gibt es einen Fehler in der Arbeit von Arrhenius. Das Jahr der Veröffentlichung von Fouriers Originalarbeit ist 1824, nicht 1827, wie behauptet in vielen aktuellen Arbeiten, deren Autoren offensichtlich nicht die Originalarbeit von Fourier gelesen haben. Es ist daher auch fraglich, ob Arrhenius die Originalarbeit überhaupt gelesen hat. **Die Originalarbeit von Fourier ist fast unverändert im Abstand von 3 Jahren in 2 verschiedenen Zeitschriften erschienen Fourier [1824b], Fourier [1824a]. Das Paper von 1927 ist (und war) offensichtlich leichter zu bekommen - das war wahrscheinlich auch der Grund der Doppelveröffentlichung.**

⁵¹⁾So ein Unsinn. Fourier hat nur die Behinderung der Strahlungsausbreitung durch die Erdatmosphäre genannt. Arrhenius machte in Arrhenius [1896] auf Tyndall aufmerksam Tyndall [1865]. Von Tyndall sollte man die Seiten 401 - 408 lesen. Daraus 2 Zitate:

»und ich zweifle nicht daran, dass, je mehr diese Frage geprüft wird, umso deutlicher wird es erscheinen, dass die strahlende und absorbierende Wirkung dieser Substanz einen wichtige Rolle in den Erscheinungen der Meteorologie spielt.«

Mit dieser Substanz ist Wasserdampf gemeint. Aber auch CO₂ ist erwähnt:

»wird Wasserdampf, nicht mit Luft, sondern mit der leistungsstärkeren Kohlensäure verglichen«

⁵²⁾Dieser Satz steht nur als eine einfache Einführung, denn wie Fourier die möglichen Zusammenhänge sah schrieb er später im Inhalt des Aufsatzes - hier zielt in Kapitel 3.6.1 auf der nächsten Seite

⁵³⁾Reaumur-Skala: Die Reaumur-Skala wurde im Jahr 1730 von R.A. Ferchault de Reaumur eingeführt. Dabei wird der Abstand zwischen dem Siedepunkt des Wassers (80°R) und dem Schmelzpunkt des Eises (0°R) in 80 gleiche Teile unterteilt. Einer Temperaturdifferenz von 1 °C (Grad Celsius) entspricht eine Temperaturdifferenz von 4/5°R. Die angegebenen Temperaturen sind also 88 °C, 100 °C, 125 °C, 138 °C.

Der »vergessene« Absatz aus Fourier's Paper

Am Ende des vorhergehenden Kapitel 3.6.1 auf Seite 70 ist ein Absatz aus Fourier [1824b] zitiert, der wenig mit dem Treibhauseffekt zu tun hat - es sind eher übereinander gestapelte Gärtertreibhäuser. Dabei werden nur 3 Absätze weiter die Atmosphärenzusammenhänge behandelt. Fourier schreibt (magenta):

In der Tat wenn alle Luftschichten, die die Atmosphäre bilden, ihre Dichte und ihre Transparenz behalten und nur die Mobilität verlieren (d.h. keine Konvektion oder Zirkulation entstehen kann), so verhält sich diese Luftmasse wie ein durchsichtiger Festkörper, wie er im vorigen Absatz dargestellt wurde, der Sonnenstrahlen ausgesetzt wird und es (die immobile Atmosphäre) würde genau die gleiche Wirkung entstehen wie sie im vorigen Absatz beschrieben ist. Die Wärme, die in Form von Licht an der Erdoberfläche ankommt, würde plötzlich und fast vollständig die Fähigkeit⁵⁴⁾ verlieren, die sie hatte um einen durchsichtigen Feststoff zu durchqueren, sie wird sich in den unteren Schichten der Atmosphäre sammeln, die damit hohe Temperaturen erreichen⁵⁵⁾. Gleichzeitig wäre der erworbene Wärmegrad (d.h. die Temperatur) um so geringer, je weiter man sich über die Erdoberfläche erhebt⁵⁶⁾. Die Beweglichkeit der Luft, die schnell verschiebbar ist und die aufsteigt (Konvektion), wenn sie durch die Bestrahlung mit dunkler Wärme erwärmt wird, verringert die Intensität der Effekte, die in einer transparenten und unbeweglichen Atmosphäre stattfinden würde⁵⁷⁾, kann diese aber nicht vollständig verhindern⁵⁸⁾. Die Wärme (Temperatur) wird in den hohen Regionen der Luft reduziert, hört aber keinesfalls auf, durch die Wirkung der Atmosphäre wird die Temperatur der Oberfläche erhöht, weil die Wärme beim Eindringen in die Luft im Lichtzustand ist und deswegen weniger Hindernis findet als beim Verlassen, wenn sie in dunkle Wärme umgewandelt ist.

Da kaum anzunehmen ist, daß dieser Absatz G&T unbekannt ist, wenn sie einen Absatz zitieren, der nur 3 Absätze vorher steht, erhebt sich die Frage, warum dieser Absatz nicht

⁵⁴⁾Heutige Beschreibung: Die Wärme wird in Infrarot umgewandelt.

⁵⁵⁾Im heutigen Sprachgebrauch wird die Tatsache der Wärmestrahlung mit Nettowärmestrahlung bezeichnet. Diese Nettowärmestrahlung setzt sich zusammen aus der Aufwärtsstrahlung und der Gegenstrahlung. Richtig darf der II. Hauptsatz der Thermodynamik nur auf die Nettostrahlung angewendet werden - eine getrennte Anwendung auf die Gegenstrahlung zeigt nur mangelndes Verständnis des der II. Hauptsatzes.

⁵⁶⁾Fußnote von Pierrehumbert [2004]: *Diese Argumentation ist teilweise richtig für eine Atmosphäre, die sich nicht bewegt, aber sie erfasst nicht den wahren Grund dafür, dass Lufttemperatur mit der Höhe abnimmt. In der Tat verringert die durch den Auftrieb angetriebene Bewegung die Temperatur, durch die adiabatische Kühlung der aufsteigenden Luftpakete, die sich ausdehnen. Es ist klar, dass Fourier versteht, dass sich die Luft abkühlt, wenn sie sich ausdehnt (siehe seine Bemerkung über episodische Anfälle von extremer Kälte), aber er scheint diesen Effekt bei der allgemeinen Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe nicht eingeschlossen zu haben. Er erkennt auch nicht die wichtige Rolle dieser Temperaturabnahme für die Größe der Infrarotstrahlung ins All, die sich reduziert, wenn die Temperatur der »strahlenden Oberfläche« abnimmt.*

Dabei war dieser Effekt schon seit 1817 bekannt (Dulong, MM. and Petit: Des Recherches sur la Mesure des Temperatures et sur les Loix de la communication de la chaleur. Annales de Chimie et de Physique, p. 225 - 265 und 337 - 368. Aber auch ohne Konvektion sinkt die Temperatur mit der Höhe - dieser Sachverhalt liegt in der Stratosphäre vor. Allerdings wird dieser Sachverhalt von der starken UV-Absorption in der Ozonschicht überdeckt.

⁵⁷⁾Nach heutigem Wissen ca. 340 K

⁵⁸⁾Heutiger Stand ca. 288 K

zitiert ist. Fourier beschreibt in diesem Absatz zur Atmosphäre die Zusammenhänge sehr gut, wenn er auch noch keine Kenntnis von Wellenlängen hatte (dunkle Wärme = Infrarot) und von der Zweiteilung der Atmosphäre (Troposphäre und Stratosphäre) noch keine Ahnung hatte. Die Mobilität der Luft geschieht nur in der Troposphäre. Die Zweiteilung der Atmosphäre wurde erst 80 Jahre später entdeckt Schwarzschild [1906] und Gold [1909].

Weiter im Text von G&T

Der Arbeit von Arrhenius (1896) gingen die Arbeiten von Tyndall (1861 - also 35 Jahre vor Arrhenius) voraus, der entdeckte, dass bestimmte Gase Infrarot-Strahlung absorbieren Tyndall [1861], Tyndall [1863a], Tyndall [1863b], Tyndall [1873a], Tyndall [1873b].

Faksimiles der ersten Seiten der oft zitierten Arbeiten von Fourier und Arrhenius sind gezeigt in Bild 18 bzw. in Bild 19 auf der nächsten Seite.

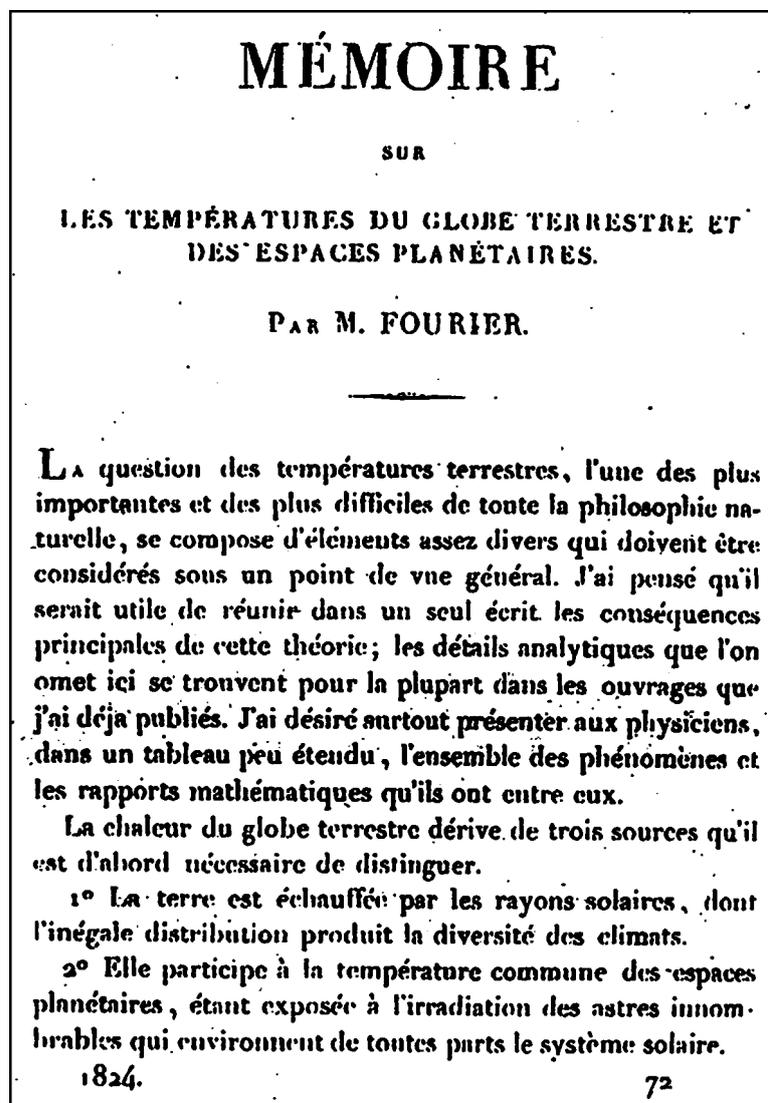


Abbildung 18: Die erste Seite der Arbeit von Fourier aus dem Jahre 1824.

In was für einer phantastischen Weise Arrhenius das Stefan-Boltzmannsche Gesetz benutzte, um diesen angeblichen Effekt zu berechnen, kann aus einer anderen Publikation ersehen

THE
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* By Prof. SVANTE ARRHENIUS*.

I. *Introduction: Observations of Langley on Atmospherical Absorption.*

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. Tyndall† in particular has pointed out the enormous importance of this question. To him it was chiefly the diurnal and annual variations of the temperature that were lessened by this circumstance. Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hot-house, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet§; and Langley was by some of his researches led to the view, that "the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to -200° C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.

† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 405 (Lond., 1885).

‡ *Mém. de l'Ac. R. d. Sci. de l'Inst. de France*, t. vii. 1827.

§ *Comptes rendus*, t. vii. p. 41 (1838).

Phil. Mag. S. 5. Vol. 41. No. 251. April 1896. S

Abbildung 19: Die erste Seite der Arbeit von Arrhenius aus dem Jahre 1896.

werden, in der er seine Eiszeit-Hypothese verteidigt Arrhenius [1906], siehe Bild 20 auf der nächsten Seite, Bild 21 auf Seite 76 und Bild 22 auf Seite 76.

Zuerst schätzt Arrhenius ab, dass 18,7% der Infrarotstrahlung der Erde nicht in den Raum abgestrahlt wird, weil sie durch Kohlensäure absorbiert werden würde. Dies könnte berücksichtigt werden, indem man die effektive Strahlungstemperatur T_{eff} ⁵⁹⁾ auf eine reduzierte Temperatur $T_{reduziert}$ verminderte⁶⁰⁾. Arrhenius vermutete dann, dass

$$T_{eff} = 15^{\circ}\text{C} = 288\text{K} \quad (64)$$

und machte unter der Annahme der Gültigkeit des Stefan-Boltzmann-Gesetzes den Ansatz

⁵⁹⁾Mit T_{eff} als mittlere Temperatur der Erde bei dem damaligen CO_2 -Gehalt der Atmosphäre. **Anmerkung:** Die Mittelwerte von $\langle T \rangle$ (durchschnittliche Temperatur) und $\langle T^4 \rangle$ (durchschnittliche Strahlungsleistung) sind nicht durch eine Gleichung sondern durch eine Ungleichung (Höldersche Ungleichung) verknüpft - siehe Gleichung §5 auf Seite 85).

⁶⁰⁾Bei einer Atmosphäre ohne CO_2 .

MEDDELANDEN

FRÅN

K. VETENSKAPSAKADEMIENS NOBELINSTITUT

BAND 1. N:o 2.

Die vermutliche Ursache der Klimaschwankungen

von

SVANTE ARRHENIUS.

In seiner Bakerian Lecture vom 7. Febr. 1861¹ gab Tyndall die Resultate einiger Untersuchungen über die relativ kräftige Absorption von Wärmestrahlen durch Wasserdampf und Kohlensäure. Auf Grund dieser Untersuchungen sprach er die Ansicht aus, dass Veränderungen im Gehalt der Atmosphäre an Kohlensäure und Wasserdampf »alle die Klimaschwankungen, welche durch die Untersuchungen der Geologen konstatiert sind, erklären könnten.«

Später habe ich versucht diese Idée über den thermischen Einfluss der atmosphärischen Absorption, welche von De Saussure, Fourier und Pouillet vor etwa hundert Jahren entwickelt wurde, weiter quantitativ zu entwickeln, indem ich zu berechnen versuchte, wie viele Grade Temperatursteigerung der Erdoberfläche einer bestimmten Schwankung des Kohlensäuregehalts der Atmosphäre entsprechen. Seitdem ich meine letzte Berechnung ausführte, sind einige Untersuchungen erschienen, welche diese interessante Frage berühren und welche ich nicht unerwähnt lassen möchte, da sie teilweise zu unrichtigen Schlussfolgerungen veranlassen könnten.

Die erste dieser Untersuchungen stammt von Hrn Koch.² Er beobachtete die Strahlung von einer 100° warmen Quelle,

¹ Neugedruckt in John Tyndall: Contributions to molecular physics London 1872. Die citierte Stelle findet sich auf S. 40.

² S. Arrhenius: Phil. Mag. (5) 41. 237, April 1896. Bihang der Stockh. Ak. d. Wiss. Bd. 22, Abth. 1 N:o 1, 1896, Drudes Annalen d. Phys. Bd. 4, 690, 1901, Öfversigt d. Stockh. Ak. 1901, N:o 1. p. 55 und 56.

³ J. Koch: Öfversigt der Stockh. Ak. 1901. 475.

Abbildung 20: Auszug (a) aus der Arbeit von Arrhenius aus dem Jahre 1906.

$$\frac{\sigma \cdot T_{\text{reduziert}}^4}{\sigma \cdot T_{\text{eff}}^4} = \frac{(1 - 0,187) \cdot I_0}{I_0} \quad (65)$$

so dass

$$T_{\text{reduziert}} = T_{\text{eff}} \cdot \sqrt[4]{1 - 0,187} \quad (66)$$

und

$$T_{\text{reduziert}} = \sqrt[4]{0,813} \cdot 288 \text{ K} = 273,47 \text{ K} \quad (67)$$

was einer Verminderung der Erdtemperatur um 14,5°C entspricht.

Diese Äusserung kann wohl die Vorstellung erwecken, als ob von mir geäussert worden wäre, dass eine Verminderung des Kohlensäuregehalts der Atmosphäre um 20 Prozent genügend wäre, um die Temperatur der Eiszeit hervorzurufen, d. h. um die mittlere Temperatur Europas, um vier bis fünf Grad C. zu erniedrigen. Um zu verhindern dass eine solche Vorstellung um sich greife, möchte ich hervorheben, dass nach der alten Berechnung eine Abnahme der Kohlensäuremenge um 50 Prozent eine Temperaturabnahme von 4 (1897) bzw. 3,2 (1901) Grad hervorrufen würde.

Die Ansicht, dass eine Kohlensäureabnahme der Luft die Temperatur einer Eiszeit erklären kann, wird nicht eher als unhaltbar erwiesen, als bis man zeigt, dass das vollkommene Verschwinden der Kohlensäure aus der Atmosphäre nicht genügend wäre, um eine Temperaturabnahme von vier bis fünf Grad hervorzurufen. Es ist nun leicht eine Schätzung auszuführen wie tief die Temperatur sinken würde, wenn die Strahlung der Erde im Verhältniss 1 zu 0,775, d. h. um 29 Prozent, steigen würde, was einigermaßen den Daten von Hrn. Rubens und Ladenburg entspricht. Ein Steigen der Ausstrahlung um 1 Proz. entspricht einer Temperatursenkung von $0,72^{\circ}$ C. ($=\frac{1}{100} \cdot 288$, da die mittlere absolute Temperatur der Erdoberfläche zu 15° C. $= 288^{\circ}$ abs. angenommen wird). Man könnte demnach eine Temperatursenkung von etwa $20,9^{\circ}$ als Folge des Verschwindens der Kohlensäure aus der Atmosphäre vermuten.

Abbildung 21: Auszug (b) aus der Arbeit von Arrhenius aus dem Jahre 1906.

Eine genauere Rechnung, wobei die geringe Strahlung der Kohlensäure berücksichtigt wird, und wovon ich die Details in meiner Untersuchung von 1901 gegeben habe,¹ führt zu etwas niedrigeren Zahlen. Nach derselben würde von den 22,5 Prozent der Erdstrahlung, welche durch die Kohlensäure der Atmosphäre in ihrem jetzigen Zustand absorbiert werden, 3,8 Prozent wieder von der Kohlensäure in den Weltraum ausgestrahlt werden, so dass die wirkliche Verminderung der Erdstrahlung 18,7 Prozent betragen würde. Anstatt der jetzigen Temperatur von 15° C. $= 288^{\circ}$ abs. hätte man also nach Verschwinden der Kohlensäure eine absolute Temperatur T, für welche gilt:

$$T^4 : 288^4 = (1 - 0,187) : 1 \quad (68)$$

woraus $T = 273,4$ abs. $= 0,4^{\circ}$ C. (69)

Die jetzige Kohlensäuremenge würde demnach die Temperatur der Erdoberfläche um $14,6^{\circ}$ C. erhöhen; ihr Verschwinden aus der Atmosphäre würde infolgedessen eine etwa drei mal so starke Temperaturerniedrigung als diejenige, welche für die Eiszeit charakteristisch war, hervorrufen.

In ähnlicher Weise berechne ich, dass eine Verminderung des Kohlensäuregehalts zur Hälfte oder eine Zunahme desselben auf den doppelten Betrag Temperaturänderungen von $-1,5^{\circ}$ C. bzw. $+1,6^{\circ}$ C. entsprechen würde.

Abbildung 22: Auszug (c) aus der Arbeit von Arrhenius aus dem Jahre 1906.

Für den Fall, dass jemand nicht glauben sollte, dass eine solche absurde Forderung formuliert werden könnte, ist ein Faksimile der Passage in dem Bild 21 auf der vorherigen Seite und Bild 22 auf der vorherigen Seite dargestellt. Es ist ein interessanter Punkt, dass Arrhenius in der Arbeit versucht, **die Beweislast umzukehren**⁶¹⁾:

»Die Ansicht, dass eine Kohlensäureabnahme der Luft die Temperatur einer Eiszeit erklären kann, wird sich nicht eher als unhaltbar erweisen, als bis man zeigt, dass das vollkommene Verschwinden der Kohlensäure aus der Atmosphäre nicht genügend wäre, um eine **Temperaturerhöhung Temperaturabnahme**⁶²⁾ von vier bis fünf Grad hervorzurufen.«

Dieser manipulative Trick der Beweislastumkehr zieht sich wie ein roter Faden durch fast alle modernen Arbeiten über den Einfluss CO₂ auf das sogenannte globale Klima. Die Nennung der Beweisrichtung ist also keine Manipulation - aber G&T wollen manipulieren indem Wichtiges weglassen (Fourier), sich verschreiben (Temperaturerhöhung - Temperaturabnahme) und auch Arrhenius Angabe der Klimasensitivität (Temperaturerhöhung bei Verdopplung der CO₂-Konzentration) ist weggelassen. Arrhenius schreibt

Wenn man mit den führenden Geologen annimmt, dass die Temperatur während der Eiszeit 4 bis 5 Grad niedriger, während der Eozänzeit dagegen 8 bis 9 Grad höher war wie jetzt, so würde ein Sinken des jetzigen Kohlensäuregehalts auf etwa 50 bis 60 Prozent der Eiszeit, ein Steigen desselben auf den vierfachen bis sechsfachen Betrag einer Eozänzeit entsprechen.

Wenn beim vierfachen bis sechsfachen die Temperatur um 8 bis 9 Grad steigt, dann folgt daraus eine Klimasensitivität von ca. 3 bis 4 K - ein Wert der sich sehr modern anhört. Das erklärt aber auch die Einstellung von G&T zu Arrhenius.

3.6.2 Moderne Arbeiten der Klimatologie

Callendar [1938], Callendar [1939], Callendar [1940], Callendar [1941], Callendar [1949], Callendar [1958], Callendar [1961] und Keeling [1960], Keeling [1973], Keeling u. a. [1976], Keeling [1978], Keeling u. a. [1989], Keeling u. a. [1996], Keeling [1998], die Begründer der modernen Treibhausehypothese, recycelten Arrhenius' »Diskussion von Gestern und Vorgestern«⁶³⁾, indem sie den Fehler der Vergangenheit wiederholten und neue Fehler hinzufügten.

In den siebziger und achtziger Jahren des vorherigen Jahrhunderts fielen zwei Entwicklungen zusammen: Eine beschleunigte Entwicklung der Computer-Technik und das Entstehen

⁶¹⁾Diese Beweisrichtung ist der Wissenschaft eigen - der Begriff »Beweislastumkehr« ist ein Begriff aus Rechtsverhältnissen. In der Wissenschaft gilt jede Erkenntnis gilt so lange uneingeschränkt als richtig, bis eine Weiterentwicklung oder Widerlegung die alten Erkenntnis überholt - Arrhenius hat das nur explizit genannt. Max Planck sah das sogar noch kritischer. Er schrieb Beier [2015]:

»Irrlehren der Wissenschaft brauchen 50 Jahre, bis sie durch neue Erkenntnisse abgelöst werden, weil nicht nur die alten Professoren, sondern auch ihre Schüler aussterben müssen.« (Max Planck)

Beispiele: Newtonsche Mechanik → Relativitätstheorie; Newtonsche Korpuskeltheorie des Lichts verworfen, Huygenssche Wellentheorie → Quantentheorie

⁶²⁾In der autorisierten Übersetzung steht »Temperaturerhöhung«, im Original Arrhenius [1906] steht aber »Temperaturabnahme« - siehe Bild 20 auf Seite 75. Das und der »vergessene« Absatz aus Fourier's Paper Kapitel 3.6.1 auf Seite 72 erscheinen mir mehr als zufällig zu sein - wahrscheinlich soll der Leser absichtlich verwirrt werden.

⁶³⁾eine Phrase, die von Hans von Storch in Ref. Stilbs [2006] benutzt worden ist.

zweier entgegengesetzter politischer Richtungen: Die eine, die die Entwicklung der zivilen Nutzung der Kernenergie unterstützte, die andere, die die sogenannten grünen politischen Bewegungen favorisierte. Plötzlich wurde die CO₂-Frage ein Tagesordnungspunkt und mit ihm die Computer-Simulationen des Klimas.

Die Forschungsergebnisse hingegen blieben vage wie seit eh und je:

- In der Siebziger Jahren sagten die Computer-Simulationen des »Globalklimas« für eine Verdopplung der CO₂-Konzentration eine globale Temperaturerhöhung von 0,7 - 9,6 K voraus Schneider [1975].
- Später tendierten die Computer-Simulationen in Richtung eines Null-Effekts⁶⁴⁾:
 - Im IPCC-Bericht von 1992 sagten Computer-Simulationen des »globalen Klimas« eine globale Temperaturerhöhung von etwa 0,27 - 0,82 K per Dekade voraus Houghton u. a. [1992].
 - Im IPCC-Bericht von 1996 sagten Computer-Simulationen des »globalen Klimas« eine globale Temperaturerhöhung von etwa 0,08 - 0,33 K per Dekade voraus Houghton u. a. [1996].
- Vor zwei Jahren (2005) sagten Computer-Simulationen des »globale Klimas« für eine Verdopplung der CO₂-Konzentration eine globale Temperaturerhöhung von 2 - 12 K voraus, wobei alle diejenigen Szenarien weggelassen worden waren, die eine *globale Abkühlung* voraussagten Stainforth u. a. [2005].

Der Stand der Kunst der Klimamodellierung im Jahre 1995 ist im Detail beschrieben in dem Artikel Ref. Cubasch u. a. [1995]. Heute ist jeder Heimcomputer größer als ein Großrechner zu jener Zeit, und jeder Amateur kann die alten Programme nach Herzenslust testen und modifizieren McGuffie und Henderson-Sellers [2006]. Natürlich gibt es keine realitätsnahen lösbaren Gleichungen für die Wetterparameter. Inzwischen gibt es aber »Computer-Modelle«, die auf fast jedem PC laufen Stainforth u. a. [2005], McGuffie und Henderson-Sellers [2006] oder sogar im Internet Anonymous [2007b].

Aus diesen Computer-Spielen eine Klimakatastrophe abzuleiten und die Menschheit zu ängstigen, ist ein Verbrechen.

3.7 Die Annahme eines Strahlungsgleichgewichts

3.7.1 Einführung

Wie im Falle des physikalischen Mechanismus, der in Glashäusern am Werke ist, handelt der angebliche CO₂-Treibhauseffekt von zwei unterschiedlichen physikalischen Situationen⁶⁵⁾. Unglücklicherweise ändert sich die exakte Definition des atmosphärischen Treibhauseffekts von Auditorium zu Auditorium. Es gibt also viele Variationen des Themas. Dennoch gibt es einen gemeinsamen methodologischen Aspekt:

- eine Berechnung für ein fiktives Modell für einen Himmelskörper *ohne* Atmosphäre wird verglichen mit
- einer Berechnung für ein fiktives Modell für einen Himmelskörper *mit* Atmosphäre.

So werden zum Beispiel »Durchschnittstemperaturen« für

- die Erde *ohne* Atmosphäre⁶⁶⁾. und für

⁶⁴⁾Für diese wertvolle Information ist G.G. dem verstorbenen Wissenschaftsjournalist Holger Heuseler dankbar Heuseler [1996].

⁶⁵⁾Jeder Vergleich, der global kommt ist falsch, zu einem Vergleich gehört immer dazu, was tatsächlich verglichen wird – und da ist schon Einiges vergleichbar – siehe Kapitel 3.1.1 auf Seite 50.

⁶⁶⁾»ohne« Atmosphäre ist zu ergänzen mit »oder einer treibhausgaslosen Atmosphäre«, denn die Oberflächentemperaturen sind etwa die gleichen

- die Erde *mit* Atmosphäre⁶⁷⁾ berechnet⁶⁸⁾ und miteinander verglichen.

Es ist amüsant festzustellen, dass es in diesem methodologischen Kontext keine Berechnungen für

- eine Erde *ohne* Ozeane gibt, denen Berechnungen für
- eine Erde *mit* Ozeanen

gegenüber gestellt werden. Diese Feinheiten sollen jetzt aber nicht im Detail diskutiert werden. Der Leser sei daher verwiesen auf Ref. McGuffie und Henderson-Sellers [2006], wo auch weitere Literaturquellen zu finden sind.

Obwohl es eine gewaltige Menge von Verallgemeinerungen gibt, bleibt ein gemeinsamer Aspekt übrig, nämlich die Annahme eines Strahlungsgleichgewichts, das eine zentrale Rolle in den Publikationen des IPCC und damit in der öffentlichen Propaganda spielt. Im Folgenden wird bewiesen werden, dass diese Annahme physikalisch falsch ist.

Wieder so eine unzulässige falsche Verallgemeinerung. Es muß deutlich unterschieden werden zwischen Troposphäre und Stratosphäre. In der Troposphäre herrscht ein Energiegleichgewicht, da zur örtlichen Bilanz nicht nur die Emission und Absorption von Strahlung beiträgt, sondern auch konvektiv herangeführte Wärme. In der Stratosphäre ist das anders. Da dort kaum Konvektion herrscht, tragen fast nur Emission und Absorption von Strahlung zur örtlichen Bilanz bei. Dabei ist zu berücksichtigen, daß nur durchschnittliche Bilanzen gemeint sind. Meistens liegen geringe Abweichungen nach plus und minus vor - z.B. im Tagesgang.

3.7.2 Eine Bemerkung über »Strahlungsbilanz-Diagramme«

Vorbemerkung: Eine Bilanzgröße unterscheidet sich grundsätzlich von einer Erhaltungsgröße, in vorliegender Paper ist dieser Unterschied selten gemacht worden. Eine Erhaltungsgröße ist zu jeder Zeit exakt die Gleiche, sonst wäre es keine Erhaltungsgröße. Eine Bilanzgröße braucht sogar nie exakt erfüllt zu sein (und wird am Anfang sogar selten erfüllt sein). Nach genügend langer Zeit sollte allerdings der Mittelwert der Bilanzabweichungen gegen Null tendieren. Beispiel hierfür ist in diesen Paper die Bemerkung nach der Gleichung (43 auf Seite 43).

Aus der Definition, die in Kapitel 2.1.2 auf Seite 30 vorgestellt wurde, folgt unmittelbar, dass die Strahlungsintensität I_ν keine Stromdichte ist, die durch ein Vektorfeld $\mathbf{j}(x, t)$ beschrieben werden kann. Das heißt, dass Erhaltungssätze (Kontinuitätsgleichungen, Bilanzgleichungen, Budgetgleichungen) nicht für Intensitäten niedergeschrieben werden können⁶⁹⁾! Unglücklicherweise wird genau dies in den meisten klimatologischen Arbeiten getan. Dies ist der **Kardinalfehler der Globalklimatologie**. Dieser fundamentale Fehler wurde solange übersehen, weil das Problem der realen Welt übervereinfacht wurde, indem es als quasi-ein-dimensionales Problem behandelt wurde. So müssen die in der sogenannten Klimaforschung so populären »Strahlungsbilanzdiagramme«, die quasi-ein-dimensionale Situationen (vergleiche Bild 23 auf der nächsten Seite) beschreiben als wissenschaftliche Verfehlungen bewertet, weil sie die mathematischen und physikalischen Grundlagen nicht angemessen repräsentieren.

⁶⁷⁾Das trifft nicht ganz zu: »mit« reicht nicht, denn es muß heißen »mit einer treibhausgashaltigen«

⁶⁸⁾Das trifft nicht ganz zu: Die mittlere Temperatur der Erde kann benutzt werden, weil implizit voraus gesetzt wird, daß die Erde ohne Treibhausgase eine Atmosphäre hat, die durch konvektiven Wärmetransport (Stürme) die Temperaturen in hohem Maße mittelt.

⁶⁹⁾Das wird auch nicht gemacht. Strahlungsbilanzen sind keine Erhaltungsgrößen, sondern das Ergebnis, nachdem über viele Änderungsvorgänge eine gewisse Stationarität erreicht haben. Das ist der Unterschied zu Erhaltungssätzen(z.B. Energieerhaltungssatz) beim dem die Erhaltung zu jeder Zeit zutrifft.

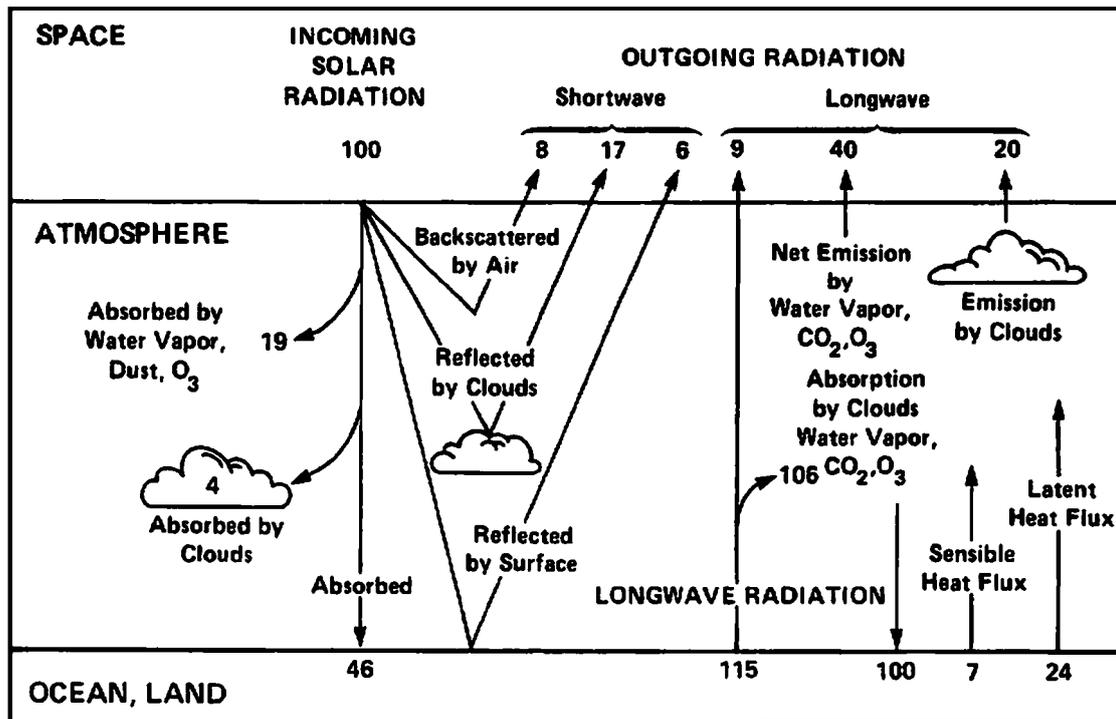


Abbildung 23: Ein schematisches Diagramm, welches die global gemittelten Anteile der Energiebilanz der Erde beschreiben soll. Diagramme dieser Art **widersprechen nicht der Physik** und brauchen zu keiner Zeit exakt erfüllt zu sein, sondern sind nur im Zeitmittel weitgehend gültig.

Diagramme in der Art von Bild 23 sind die Eckpfeiler der »klimatologischen Beweise« des angeblichen Treibhauseffekts in der Atmosphäre Cracken [1985]. Sie sind hoch suggestiv, weil sie an die Kirchhoffschen Regeln der Elektrotechnik erinnern, insbesondere an die Knotenregel, welche die Erhaltung der elektrischen Ladung beschreibt Paul [2001]. Leider wird in der Literatur über Globalklimatologie nirgendwo erklärt, was die Pfeile in den »Strahlungsbilanzdiagrammen« physikalisch bedeuten. Es ist leicht zu zeigen, dass ihnen im Rahmen der Physik keine sinnvolle Bedeutung zugewiesen werden kann.

Die Strahlungsbilanzdiagramme der Klimaforschung sind Unsinn,

1. weil sie nicht Strahlungsintensitäten darstellen können, was die natürlichste Interpretation der Pfeile in Bild 23 wäre, wie schon in Kapitel 2.1.2 auf Seite 30 und Kapitel 2.1.5 auf Seite 34 erklärt;
2. weil sie nicht quellfreie Flüsse, - das heißt, divergenzfreie Vektorfelder in drei Dimensionen, - darstellen können, da eine verschwindende drei-dimensionale Divergenz immer noch erlaubt, dass stets noch ein Anteil des Feldes seitwärts geht;
3. weil sie nicht in den Rahmen der Feynman-Diagramme passen, die mathematische Ausdrücke repräsentieren, die im Rahmen der Quantenfeldtheorie klar definiert sind. Itzykson und Zuber [1980].
4. weil sie nicht in die Standardsprache der Systemtheorie bzw. des *Systems Engineering* passen Anonymous [2007h].

Knotenregeln im Sinne von Kirchhoff gelten nur in Fällen, in denen es eine erhaltene Größe gibt (siehe Vorbemerkung am Anfang dieses Kapitel 3.7.2 auf der vorherigen Seite) und der unterliegende Raum beschrieben wird durch einen topologischen Raum, der fast überall wie eine ein-dimensionale Mannigfaltigkeit aussieht, wobei die Singularitäten gerade

die Netzwerk-Knoten sind. Dies trifft zum Beispiel auf gewöhnliche elektrische Schaltkreise Paul [2001] oder auf mesoskopische Netzwerke zu Balachandran und Ercolessi [1992], und, im Falle elektromagnetischer Wellen, auf Hohlleiter-Netzwerke⁷⁰⁾ Montgomery u. a. [1948], Marcuvitz [1986]. Jedoch zeigt sich: Obwohl Kirchhoffs Maschen-Analyse erfolgreich auf Mikrowellen-Netzwerke angewendet werden können, sind die Details sehr verwickelt. Und die Analyse bricht zusammen, wenn Dissipation berücksichtigt wird Montgomery u. a. [1948], Marcuvitz [1986].

So ist offensichtlich, dass weder die Krypto-Klimaten in Glashäusern, noch die Atmosphäre der Erde mit Hohlleiter-Netzwerken vergleichbar sind, wie sie zum Beispiel im Betrieb von Teilchenbeschleunigern verwendet werden. Daher sind die Strahlungsbilanzdiagramme der Klimaforschung selbst dann irreführend, wenn sie nur gemittelte Größen beschreiben sollen.

3.7.3 Der Fall einer idealisierten Strahlungsbilanz

Wenn der Transport von Wärme für einen der Strahlung ausgesetzten Körper nur über die Wärmestrahlung erfolgte, würde man das Stefan-Boltzmann-Gesetz

$$S(T) = \sigma T^4 \quad (70)$$

verwenden, um die Bodentemperatur zu berechnen, die durch diese Bilanz bestimmt wird. Die Irradianz (Bestrahlungsstärke) S hat die Dimension einer Leistungsdichte und σ ist die Stefan-Boltzmann-Konstante, gegeben durch

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5,670\,400 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \quad (71)$$

Zum Beispiel ist die Energieflussdichte für einen schwarzen Körper bei einer Raumtemperatur von 300 K ungefähr

$$S(T = 300 \text{ K}) = 459 \text{ W/m}^2 \quad (72)$$

Ein Wort der Vorsicht ist hier angebracht: Wie schon in Kapitel 2.1.5 auf Seite 34 hervorgehoben, ist die Konstante σ , die in dem T^4 -Gesetz erscheint, *keine* universelle Konstante der Physik. Außerdem ist hervorzuheben: Ein grauer Strahler muss durch ein temperaturabhängiges $\sigma(T)$ beschrieben werden, welches das T^4 -Gesetz zerstört⁷¹⁾. Vom rigorosen Standpunkt aus ist die Gleichung (70) für reale Objekte ungültig. Daher sind alle groben Approximationen, die sich auf die Gültigkeit von T^4 -Beziehungen verlassen mit äußerster Skepsis zu betrachten. Auch wenn sie in der sogenannten Klimaforschung äußerst populär zu sein scheinen, so beweisen sie doch gar nichts!

Natürlich kann man in die rechte Seite der Bilanzgleichung

⁷⁰⁾Der zweite und der dritte Typ sind in wunderbare Weise miteinander verbunden. Die Korrespondenz liegt in der Relation des v. Klitzing-Widerstands $R_{vK} \approx 25,813 \text{ k}\Omega$ zur Impedanz des Vakuums $Z_0 \approx 376,73 \Omega$, welche über die Sommerfeldsche Feinstruktur-Konstante gegeben ist Tscheuschner u. a. [1998].

⁷¹⁾Wie in Kapitel 3.5.3 auf Seite 64 geschrieben wurde, wird in der Physik σ eine universelle Konstante behandelt. Um den realen Körper zu berücksichtigen wird Gleichung (70) mit einem temperaturabhängigem Emissionsfaktor $\varepsilon(T)$ ergänzt, der immer zwischen 0 (ideal weißer Körper) und 1 (ideal schwarzer Körper) liegt:

$$S(T) = \varepsilon(T) \cdot \sigma T^4$$

Das $\varepsilon(T)$ ist das über alle Wellenlängen gemittelte A_λ (Gleichung (48 auf Seite 64)) und zugleich das über alle Frequenzen gemittelte A_ν (Gleichung (47 auf Seite 64)). Wichtungsfaktor für die Mittelung sind die $B(T)$ (siehe [Barron, Abb. 4], ... und [Schuster und Kolobrodov, 2000, Abb. 3.10, S. 61]). Als Mittelwert unterliegt $\varepsilon(T)$ den gleichen Grenzen wie die A bzw. ε . (Absorptionsfaktor, Emissionsfaktor $0 \leq A \leq 1$).

$$\sigma \cdot T_{Erdboden}^4 = \sigma \cdot T_{Sonne}^4 \cdot \frac{R_{Sonne}^2}{R_{Erdbahn}^2} \quad (73)$$

einen allgemeinen phänomenologischen Normalisierungsfaktor ϵ einsetzen, des Raum für eine Feinabstimmung und die Einbeziehung geometrischer Faktoren lässt⁷²⁾. So darf man schreiben:

$$\sigma \cdot T_{Erdboden}^4 = \epsilon \cdot \sigma \cdot 5780^4 \cdot \frac{1}{46225} = \epsilon \cdot 1368 \text{ W/m}^2 = \epsilon \cdot S \quad (74)$$

was

$$T_{Erdboden} = \sqrt[4]{\epsilon} \cdot \frac{5780}{\sqrt{215}} \text{ K} = \sqrt[4]{\epsilon} \cdot 394,2 \text{ K} \quad (75)$$

ergibt. s ist die solare Konstante. Mit Hilfe von Gleichung (75) berechnet man die in Tabelle 10 dargestellten Werte.

ϵ	$T_{Erdboden}$ [K]	$T_{Erdboden}$ [°C]
1,00	394,2	121,2
0,70	360,6	87,6
0,62	349,8	76,8

Tabelle 10: Effektive Temperatur $T_{Erdboden}$ der Erdoberfläche in Abhängigkeit des phänomenologischen Parameters ϵ

Nur die Temperatur, die in der Sonne innerhalb des Autos gemessen wurde, hat eine gewisse Ähnlichkeit mit den drei Temperaturen, die hier berechnet worden sind. Offensichtlich bestimmt die Strahlungsbilanz nicht die Temperatur außerhalb des Wagens. Im krassen Kontrast dazu zeigt Tabelle 11 die »durchschnittlichen effektiven Temperaturen«, die entsprechend dem klimatologischen Konsens verwendet werden, um den atmosphärischen Treibhauseffekt zu »erklären«. Der Faktor von einem Viertel wird eingeführt, indem man die einkommende Sonnenstrahlung die einen Scheibe mit dem Querschnitt σ_{Erde} sieht, Aber die globale Oberfläche Ω_{Erde} »verteilt« gemäß

$$\frac{\sigma_{Erde}}{\Omega_{Erde}} = \frac{\pi \cdot R_{Erde}^2}{4\pi \cdot R_{Erde}^2} = \frac{1}{4} \quad (76)$$

ϵ	$T_{Erdboden}$ [K]	$T_{Erdboden}$ [°C]
$0,25 \cdot 1,00$	278,7	5,7
$0,25 \cdot 0,70$	255,0	-18,0
$0,25 \cdot 0,62$	247,4	-25,6

Tabelle 11: Effektive »Durchschnitts«-Temperaturen $T_{Erdboden}$ in Abhängigkeit von dem phänomenologischen Normalisierungsparameter ϵ einschließlich eines geometrischen Faktors 0.25.

⁷²⁾Der Faktor ϵ steht in Beziehung zur Albedo (Weißheit) A der Erde, welche ihr Reflektionsvermögen beschreibt: $A = 1 - \epsilon$. In älterer Literatur findet man häufig $A = 0.5$ für die Erde, in jüngerer Literatur $A = 0.3$. Der letztere Wert wird hier benutzt.

Der fiktive natürliche Treibhauseffekt ist die Differenz zwischen der »effektiven Durchschnittstemperatur« von -18°C ⁷³⁾ und der »beobachteten Durchschnittstemperatur« der Erde von $+15^\circ\text{C}$.

Zusammenfassend gesagt, erscheint der Faktor 0.7 in den Gleichungen, wenn man annimmt, dass ein grauer Absorber sich wie ein strahlender schwarzer Körper verhält - ganz im Widerspruch zu den Gesetzen der Physik⁷⁴⁾. Andere Präferenzen sind möglich, das Ergebnis ist somit völlig beliebig. Damit ist klar, dass ein solcher Durchschnittswert überhaupt keine physikalische Bedeutung hat. Dies wird im folgenden Kapitel 3.7.4 weiter beleuchtet.

3.7.4 Die Durchschnittstemperatur eines nichtrotierendem bestrahlten Globus

Für einen der Sonnenstrahlung ausgesetzten Globus⁷⁵⁾, bei dem sich der Ort des Zenits sich nicht ändert, (vergleiche Bild 24) muss die zugehörige Bilanzgleichung einen geometrischen Faktor enthalten. Somit lässt sie sich schreiben als

$$\sigma \cdot T^4 = \begin{cases} \epsilon \cdot S \cdot \cos \vartheta = \epsilon \cdot \sigma \cdot 5780^4 / 215^2 \cdot \cos \vartheta & \text{wenn } 0 \leq \vartheta \leq \pi/2 \\ 0 & \text{wenn } \pi/2 \leq \vartheta \leq \pi \end{cases} \quad (77)$$

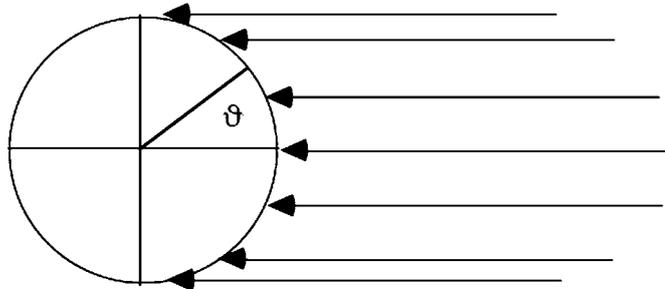


Abbildung 24: Ein der Sonnenstrahlung ausgesetzter Globus.

Es ist offensichtlich, dass man die effektiven Temperaturen erhält, wenn man die rechte Seite durch σ teilt. Diese ergibt die oben erwähnte »effektiven Durchschnittstemperaturen« über der globalen Oberfläche

$$T_{eff}^4 = \frac{1}{4\pi} \iint_{\text{Oberfläche}} T^4 d\Omega$$

⁷³⁾Oberer Grenzwert der Hölderschen Ungleichung - siehe Gleichung (85 auf Seite 85).

⁷⁴⁾Es liegt kein Verstoß gegen die Physik vor: Die wellenlängenabhängigen Emissionsfaktoren werden zu einem mittleren Emissionsfaktor mit der Wellenlängenverteilung der Strahlung gewichtet. Die Solarstrahlung und die Abstrahlung von der Erdoberfläche haben entsprechend den unterschiedlichen Temperaturen eine unterschiedliche Wellenlängenverteilung. Entsprechend Fußnote ⁷¹⁾, Seite 81. gelten damit für beide Strahlungen unterschiedliche $\epsilon(T)$. Bestimmt die Sonnentemperatur die Wichtung ist $\epsilon(5780 \text{ K}) \approx 0.7$, bestimmt die Erdbodentemperatur die Wichtung ist $\epsilon(300 \text{ K}) > 0.9$ - das ist fast ein Schwarzkörper. Die Bedeutung der Wichtung bei unterschiedlichen Temperaturen ist sehr gut bei TiNOX zu sehen ... [2000] zu sehen: $\epsilon(\text{Solar}) = 0.947$, $\epsilon(100^\circ\text{C}) = 0.030$.

⁷⁵⁾Der Erdball darf keine Atmosphäre haben, der Wärmeleitkoeffizient muß 0 sein - denn nur unter diesen nicht genannten Bedingungen gelten die nachfolgenden Herleitungen. Nur unter diesen Bedingungen gilt eine lokale Erhaltung der Leistung, die diesen Herleitungen zu Grunde liegt. Das bedeutet z.B. , dass auf der sonnenabgewandten Seite die Temperatur immer 0 ist. Derartige Verhältnisse treffen näherungsweise auf den Mond zu, aber nicht für die Erde.

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} T^4 \sin \vartheta \, d\vartheta \, d\varphi \\
&= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_1^{-1} T^4 d(-\cos \vartheta) \, d\varphi \\
&= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 T^4 d(\cos \vartheta) \, d\varphi
\end{aligned} \tag{78}$$

Mit der Definition

$$\begin{aligned}
\mu &:= \cos \vartheta \\
d\mu &:= -\sin \vartheta \, d\vartheta
\end{aligned} \tag{79}$$

erhält man

$$\begin{aligned}
T_{eff}^4 &= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 T^4 \, d\mu \, d\varphi \\
&= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \epsilon \cdot \frac{S}{\sigma} \cdot \mu \, d\mu \, d\varphi \\
&= \frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot \frac{S}{\sigma} \cdot \int_0^1 \mu \, d\mu \, d\varphi \\
&= \frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot \frac{S}{\sigma} \cdot \left(\frac{\mu^2}{2} \Big|_0^1 \right) \\
&= \frac{1}{4} \cdot \epsilon \cdot \frac{S}{\sigma} \\
&= \frac{1}{4} \cdot \epsilon \cdot (394,2 \text{ K})^4
\end{aligned} \tag{80}$$

Dies ist die korrekte Herleitung des Faktors 1/4 in Gleichung (76 auf Seite 82). Indem aus dem so gewonnenen Ausdruck die vierte Wurzel gezogen wird, erhält man

$$\begin{aligned}
T_{eff} &= \sqrt[4]{\frac{\epsilon}{4} \cdot \frac{S}{\sigma}} \\
&= \sqrt[4]{\frac{\epsilon}{4}} \cdot 394,2 \text{ K} \\
&= (1/\sqrt{2}) \cdot \sqrt[4]{\epsilon} \cdot 394,2 \text{ K} \\
&= 0.707 \cdot \sqrt[4]{\epsilon} \cdot 394,2 \text{ K}
\end{aligned} \tag{81}$$

So eine Berechnung, obwohl ein etablierter Standard in der globalen Klimatologie, ist grundlegend falsch. Wenn man nämlich die Durchschnittstemperatur ([einer ruhenden atmosphärenlosen Kugel](#)) berechnen möchte, hat man zuerst die vierte Wurzel zu ziehen und *erst dann* den Durchschnittswert zu bestimmen:

$$\begin{aligned}
T_{phys} &= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 T \, d\mu \, d\varphi \\
&= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \sqrt[4]{\epsilon \cdot \frac{S}{\sigma}} \cdot \mu \, d\mu \, d\varphi \\
&= \frac{1}{2} \cdot \sqrt[4]{\epsilon \cdot \frac{S}{\sigma}} \cdot \int_0^1 \sqrt[4]{\mu} \, d\mu \, d\varphi \\
&= \frac{1}{2} \cdot \sqrt[4]{\epsilon \cdot \frac{S}{\sigma}} \cdot \left(\frac{\mu^{5/4}}{5/4} \Big|_0^1 \right) \\
&= \frac{1}{2} \cdot \sqrt[4]{\epsilon \cdot \frac{S}{\sigma}} \cdot \frac{4}{5} \\
&= \frac{2}{5} \cdot \sqrt[4]{\epsilon \cdot \frac{S}{\sigma}}
\end{aligned} \tag{82}$$

was schließlich ergibt

$$\begin{aligned}
T_{phys} &= \frac{2}{5} \cdot \sqrt[4]{\epsilon} \cdot 394,2 \text{ K} \\
&= 0,4 \cdot \sqrt[4]{\epsilon} \cdot 394,2 \text{ K}
\end{aligned} \tag{83}$$

Die Durchschnittstemperaturen T_{phys} sind beträchtlich kleiner als die vierte Wurzeln des gemittelten vierten Potenzen (vergleiche Tabelle 12).

ϵ	T_{eff} [°C]	T_{phys} [°C]
1,00	5,7	-115
0,70	-18,0	-129
0,62	-25,6	-133

Tabelle 12: Zwei Arten von »Durchschnitts«-Temperaturen T_{eff} und T_{phys} in Abhängigkeit von dem Emissivitätsparameter ϵ miteinander verglichen.

Dies ist kein Zufall, sondern die Konsequenz einer allgemeinen Ungleichung

$$\langle T \rangle = \int_X T dW \leq \sqrt[4]{\int_X T^4 dW} = \sqrt[4]{\langle T^4 \rangle} \tag{84}$$

für eine nicht-negative messbare Funktion T und ein Wahrscheinlichkeitsmaß W . Es ist eine Konsequenz der Hölderschen Ungleichung Hölder [1889], Hardy u. a. [1934], Beckenbach und Bellman [1983], Kuptsov [2001]

$$\int_X f g d\mu \leq \left\{ \int_X f^p d\mu \right\}^{1/p} \cdot \left\{ \int_X g^q d\mu \right\}^{1/q} \tag{85}$$

für ein Wahrscheinlichkeitsmaß W und für zwei nicht-negative messbare Funktionen f , g und nicht-negative ganze Zahlen p , q , welche die Beziehung

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1 \quad (86)$$

erfüllen. In dem Fall, der hier zur Diskussion steht, hat man

$$p = 4, \quad q = 4/3, \quad g(x) \equiv 1 \quad (87)$$

und

$$f = T \quad (88)$$

Zusammenhang der Mittelwerte

Der arithmetische Mittelwert aller Temperaturen ist so definiert:

$$\bar{T} = \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} T \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} \quad (\text{k-88-5})$$

Die Temperatur an jedem Ort kann mit diesem Mittelwert (\bar{T}) und der Abweichung davon (ΔT) ausgedrückt werden (Beachten Sie bitte: Es sind unterschiedliche Werte, wenn der Potenzexponent unter oder hinter dem Mittelungsstrich steht.):

$$T = \bar{T} + \Delta T \quad (\text{k-88-6})$$

Damit wird der Mittelwert der vierten Potenz bestimmt:

$$\begin{aligned} \overline{T^4} &= \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} T^4 \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} = \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} (\bar{T} + \Delta T)^4 \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} \quad (\text{k-88-7}) \\ &= \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \left(\bar{T}^4 + 4\bar{T}^3 \Delta T + 6\bar{T}^2 \Delta T^2 + 4\bar{T} \Delta T^3 + \Delta T^4 \right) d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} \\ &= \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \bar{T}^4 \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} + 4 \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \bar{T}^3 \Delta T \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} + 6 \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \bar{T}^2 \Delta T^2 \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} + \\ &\quad + 4 \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \bar{T} \Delta T^3 \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} + \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \Delta T^4 \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} \\ &= \bar{T}^4 \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} + 4 \bar{T}^3 \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \Delta T \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} + 6 \bar{T}^2 \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \Delta T^2 \, d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} + \end{aligned}$$

$$+ 4 \bar{T} \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \Delta T^3 d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega} + \frac{\iint_{\text{Oberfläche}} \Delta T^4 d\Omega}{\iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega}$$

Die Integrale sind wieder Mittelwerte:

$$\bar{T}^4 = \bar{T}^4 + 4 \bar{T}^3 \overline{\Delta T} + 6 \bar{T}^2 \overline{\Delta T^2} + 4 \bar{T} \overline{\Delta T^3} + \overline{\Delta T^4} \quad (\text{k-88-8})$$

Nach der Definition des Mittelwertes gilt immer $\overline{\Delta T} = 0$ und meistens gilt auch $\overline{\Delta T^3} \approx 0$.
Damit wird:

$$\begin{aligned} \bar{T}^4 &= \bar{T}^4 + 6 \bar{T}^2 \overline{\Delta T^2} + 4 \bar{T} \overline{\Delta T^3} + \overline{\Delta T^4} \approx \bar{T}^4 + 6 \bar{T}^2 \overline{\Delta T^2} + \overline{\Delta T^4} \\ \frac{\bar{T}^4}{\bar{T}^4} &= 1 + 6 \frac{\overline{\Delta T^2}}{\bar{T}^2} + 4 \frac{\overline{\Delta T^3}}{\bar{T}^3} + \frac{\overline{\Delta T^4}}{\bar{T}^4} \approx 1 + 6 \frac{\overline{\Delta T^2}}{\bar{T}^2} + \frac{\overline{\Delta T^4}}{\bar{T}^4} \end{aligned} \quad (\text{k-88-9})$$

Bei den typischen Verhältnissen der Erdoberfläche (die Erde hat ja eine Atmosphäre, so daß Gleichung §2 auf Seite 85) nicht angewandt werden kann), gilt ($210 \text{ K} \leq T \leq 310 \text{ K}$ oder $-63^\circ\text{C} \leq T \leq 37^\circ\text{C}$):

$$\bar{T} > 260 \text{ K} \quad \text{und} \quad |\Delta T|_{\text{max}} < 50 \text{ K} \quad (\text{k-88-10})$$

Damit wird (selbst wenn immer nur Extremwerte wären) (Beachten Sie bitte: Es sind unterschiedliche Werte, wenn der Potenzexponent unter oder hinter dem Mittelungsstrich steht):

$$\frac{\bar{T}^4}{\bar{T}^4} < 1.15 \quad (\text{k-88-11})$$

Wegen der Wurzeln ist der Temperaturunterschied noch kleiner:

$$\sqrt[4]{\frac{\bar{T}^4}{\bar{T}^4}} < \sqrt[4]{1.15} < 1.04 \quad (\text{k-88-12})$$

Die Herleitungen der Gleichung §1 auf Seite 84) und Gleichung §3 auf Seite 85) gelten für einen Erdball ohne Atmosphäre. Bei einem Erdball mit Atmosphäre erzeugen Temperaturunterschiede Luftströmungen, die die Temperaturunterschiede verkleinern (die an warmen Stellen erwärmte Luft transportiert konvektiv Wärme an kühlere Stellen). Im Extremfall sind die Temperaturen T_{atmo} auf der ganzen Oberfläche gleich. Damit wird ist die Ausstrahlung an allen Stellen der Erde gleich, die Einstrahlung hängt natürlich vom Winkel zur Sonne ab. Da die Atmosphäre die Energie über die ganze Oberfläche verteilt, müssen die Gesamtenergien gleich gesetzt werden (Bilanz). Außerdem werden die verschiedenen gewichteten Mittelwerte des Emissionsfaktors benutzt (siehe Fußnote⁷¹ auf Seite 81) – Solarstrahlung: ε_S und Erdbabstrahlung: ε_E):

$$\begin{aligned} \varepsilon_E \iint_{\text{Oberfläche}} T_{atmo}^4 d\Omega &= \varepsilon_S \iint_{\text{Oberfläche}} S^*(Ort) d\Omega \\ T_{atmo}^4 \varepsilon_E \iint_{\text{Oberfläche}} d\Omega &= \varepsilon_S \iint_{\text{Oberfläche}} S^*(Ort) d\Omega \end{aligned} \quad (\text{k-88-13})$$

$$T_{atmo}^4 \varepsilon_E 4\pi = \varepsilon_S \iint_{\text{Oberfläche}} S^*(Ort) d\Omega = \varepsilon_S \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{S}{\sigma} \cdot \cos \vartheta d\vartheta d\varphi$$

$$2 \varepsilon_E T_{atmo}^4 = \varepsilon_S \frac{S}{\sigma} \cdot \int_0^{\pi/2} \cos \vartheta d\vartheta \quad (\text{k-88-14})$$

Das letzte Integral wird analog den Gleichung (79 auf Seite 84) und Gleichung (80 auf Seite 84) gelöst:

$$T_{atmo}^4 = \frac{1}{4} \cdot \frac{\varepsilon_S}{\varepsilon_E} \cdot \frac{S}{\sigma} \quad (\text{k-88-15})$$

Wegen dem großen ε_E gilt etwa:

$$\frac{\varepsilon_S}{\varepsilon_E} \approx \epsilon \quad (\text{k-88-16})$$

Damit wird mit den vorstehenden Gleichungen und Gleichung (80 auf Seite 84):

$$T_{atmo} \approx T_{eff} \quad (\text{k-88-17})$$

Die Lösung hätte man einfacher haben können: Der Erdquerschnitt »stanzt« aus der Solarstrahlung den Erdschatten heraus. Die Energie, die im Erdschatten fehlt, ist von der Erde teilweise reflektiert worden und hat damit nichts zum Wärmehaushalt der Erde beigetragen. Der Rest ist absorbiert worden und muß im Wärmehaushalt der Erde richtig berücksichtigt werden.

3.7.5 Die angebliche Nicht-Existenz des natürlichen Treibhauseffekts

Folgt man dem Konsensus der Klimaforscher, nimmt man die -18°C , die aus dem T^4 -Durchschnitt berechnet sind und vergleicht ihn mit einer fiktiven Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche von $+15^\circ\text{C}$. Die Differenz von 33°C wird dem *natürlichen Treibhauseffekt* zugeordnet. Wie man an Gleichung (83 auf Seite 85) sieht, führt eines korrekte Mittelwertbildung (einer nichtrotierenden Erde ohne Lufthülle) zu einer Temperatur von -129°C , d.h. der Treibhauseffekt wäre 144 K und wäre erheblich höher als die Untergrenze 33 K, denn die gemessene Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche ist ca. 15°C .

Offensichtlich muss hier etwas fundamental falsch sein. - nämlich eine ruhende Erde ohne Atmosphäre zu betrachten.

In der Globalklimatologie werden Temperaturen aus gegebenen Strahlungsintensitäten berechnet, und dieses Verfahren tauscht die Rollen von Ursache und Wirkung aus. Man beachte: Die aktuellen *lokalen* Temperaturen bestimmen die Strahlungsintensitäten und nicht umgekehrt. Das ist richtig, aber welche Temperatur sich einstellt, hängt davon ab, wann die Temperaturänderung gestoppt wird – siehe die Bemerkung nach der Gleichung (43 auf Seite 43). Wenn der Boden durch die Sonnenstrahlung erwärmt wird, werden viele lokale Prozesse angestoßen, die einerseits von den lokalen Bewegungen der Luft, vom Regen, der Verdampfung, der Feuchtigkeit abhängen⁷⁶⁾, die andererseits durch die lokalen Gegebenheiten wie Wasser, Eis, Stein, Sand, Wiesen und Wälder bestimmt sind. Ein Quadratmeter einer Wiese weis nichts von dem Rest der Erdoberfläche, die in ihrer Gesamtheit den globalen Temperaturmittelwert bestimmt. Folglich wird die Strahlung lokal bestimmt durch die

⁷⁶⁾Umgekehrt bestimmen auch die lokalen Bedingungen die Höhe der Strahlungsintensität.

lokale Temperatur. Weder gibt es eine globale Strahlungsbilanz, noch ein globales Strahlungsbudget.

Während es inkorrekt ist, die Temperatur aus einer gegebenen Strahlungsintensität zu bestimmen, ist es zulässig, eine effektive Strahlungstemperatur $T_{eff\ rad}$ aus T^4 -Mittelwerten zu berechnen, welche die mittlere Strahlung, die von der Erde emittiert wird, repräsentiert, um sie mit dem angenommenen Temperaturmittelwert der Erde T_{mean} zu vergleichen. Die Höldersche Ungleichung besagt, dass der erstere Wert immer größer ist als der letztere

$$T_{eff\ rad} > T_{mean} \quad (89)$$

vorausgesetzt, die Probenauswahl und die Mittelwertbildung (also der Wahrscheinlichkeitsraum) bleiben die gleichen. Zum Beispiel, wenn n um den Globus verteilte Wetterstationen n Temperaturwerte $T_1 \dots T_n$ messen, kann ein empirischer Temperaturmittelwert definiert werden gemäß

$$T_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (90)$$

Für die zugeordnete Strahlungsintensität eines schwarzen Körpers kann man näherungsweise setzen

$$S_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma T_i^4 =: \sigma T_{eff\ rad}^4 \quad (91)$$

und damit die *effektive* Strahlungstemperatur definieren gemäß

$$T_{eff\ rad} = \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma} S_{mean}} \quad (92)$$

Man erhält sofort

$$T_{eff\ rad} = \sqrt[4]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{eff\ rad}^4} \quad (93)$$

Die Höldersche Ungleichung besagt, dass stets gilt:

$$T_{eff\ rad} > T_{mean} \quad (94)$$

Aber das nachfolgende numerische Beispiel zeigt, dass bei einigermaßen realen Werten der Unterschied meistens vernachlässigbar ist. Siehe Ausführungen Gleichung (k-88-12 auf Seite 87)ff.

3.7.6 Ein numerisches Beispiel

Aus Gleichung (93) kann man numerische Beispiele konstruieren, in denen zum Beispiel einige wenige lokale Temperaturen einen Durchschnitt, der auf einer großen Sammlung von niedrigen Temperaturen berechnet wurde, völlig verändern. Eine realistischere Verteilung ist in Tabelle 13 auf der nächsten Seite aufgeführt. Hier ist die effektive Strahlungstemperatur $T_{eff\ rad}$ leicht höher als der Durchschnitt T_{mittel} der gemessenen Temperaturen. Nach der Hölderschen Ungleichung ist dies immer der Fall.

Wetter-Station	abgelesene Temperatur T_i [°C]	absolute Temperatur T_i [K]	4. Potenz T_i^4	4. Wurzel des Mittelwertes der 4. Potenz T_{effrad} [K]	4. Wurzel des Mittelwertes der 4. Potenz T_{effrad} [°C]
1	0.00	273.15	5566789756		
2	10.00	283.15	6427857849		
3	10.00	283.15	6427857849		
4	20.00	293.15	7385154648		
5	20.00	293.15	7385154648		
6	30.00	303.15	8445595755		
Mittel	15.00	288.15	6939901750	288,63	15.48

Tabelle 13: Ein Beispiel für eine gemessene Temperaturverteilung, aus der eine zugeordnete effektive Strahlungstemperatur ausgerechnet wird. Die letztere entspricht der vierten Wurzel aus dem Mittel der vierten Potenzen – und ist nur wenig größer als der Mittelwert (0,48 K). Dies ist elementar bei kleinen Abweichungen vom Mittelwert (hier ± 15 K bei einem Durchschnittswert von 288,15 K).

So bleibt nicht länger irgendein Raum für einen *natürlichen Treibhauseffekt*, sowohl mathematisch als auch physikalisch⁷⁷⁾. Wir fassen zusammen:

- Ausgehend von der *physikalisch falschen* Annahme der Gültigkeit einer Strahlungsbilanz lässt eine *mathematisch korrekte* Berechnung der Mittelwertstemperatur die Temperaturdifferenz, die den angeblichen natürlichen Treibhauseffekt definiert, geradezu explodieren. Das bedeutet nichts anderes, als das der natürlich Treibhauseffekt erheblich größer als 33 K ist.
- Ausgehend von den *mathematisch korrekten* Berechnungen der *physikalisch korrekten* Temperaturen (also den gemessenen Temperaturen) wird die zugeordnete effektive Strahlungstemperatur *stets höher* sein als der Durchschnitt der gemessenen Temperaturen.

3.7.7 Die Nicht-Existenz einer globalen Temperatur

In den vorangehenden Abschnitten wurden mathematische und physikalische Argumente präsentiert, die zeigten, dass der Begriff der globalen Temperatur bedeutungslos ist (Nach der Meinung von G&T - aber die Durchschnittstemperatur kann berechnet werden). Kürzlich zeigten Essex, McKittrick und Andresen Essex u. a. [2007]:

»dass es im Kontext der Frage der globalen Erwärmung keine physikalisch sinnvolle globale Temperatur für die Erde gibt. Während es stets möglich ist, eine Statistik für ein gegebenes Set von lokalen Temperaturdaten zu konstruieren, ist eine unendliche Menge solcher Statistiken mathematisch zulässig, solange die physikalischen Prinzipien keine explizite Basis bereitstellen, die es ermöglicht, aus ihnen die richtige auszuwählen. Verschiedene und gleichermaßen gültige statistische Regeln können gegenläufige Trends zeigen, wenn sie auf Resultate von Berechnungen angewendet werden, die aus physikalischen Modellen oder echten Daten aus der Atmosphäre stammen. Ein gegebenes Temperaturfeld kann im

⁷⁷⁾Die Schlussfolgerung ist unbegründet: Die realistischen Temperaturen sind die Temperaturen mit Treibhauseffekt – und es zeigt sich, dass die bei realistischen Temperaturen der Unterschied zwischen T_{effrad} und T_{mean} ganz gering ist (0,48 K). Dem Treibhauseffekt wird aber eine Temperaturdifferenz von 33 K unterstellt.

gleichen Atemzug sowohl als »erwärmend« als auch als »abkühlend« interpretiert werden. Dies zeigt, dass das Konzept der Erwärmung im Kontext der Frage der globalen Erwärmung schlecht aufgestellt ist.

Einmal abgesehen von allen möglichen Vieldeutigkeiten, kann sich ein globaler Temperaturmittelwert nur aus vielen lokalen Temperaturen abzeichnen. Ohne besondere wissenschaftliche Fachkenntnis kann jedermann unmittelbar sehen, wie ein sich ändernder Mittelwert der bodennahen Lufttemperaturen zu konstruieren ist: Es gibt mehr oder weniger Sonnenschein auf dem Boden durch die Verteilung der Wolken. Dies legt das Feld der lokalen bodennahen Lufttemperaturen fest, die ihrerseits die Verteilung der Wolken bestimmen und somit auch die Änderung des Temperaturmittelwertes, der offensichtlich ganz unabhängig von der Kohlendioxid-Konzentration ist. Mathematisch gesehen, wird die Entwicklung der Temperaturverteilung phänomenologisch durch eine Differentialgleichung beschrieben. Die Mittelwerte werden erst nachträglich aus der Lösung dieser Gleichung berechnet. Man kann jedoch keine Differentialgleichung direkt für die Mittelwerte niederschreiben⁷⁸⁾.

3.7.8 Der rotierende Globus

Seit der Zeit, als Fourier die Wärmeleitungsgleichung formulierte, gehörte die nicht-lineare Randbedingung, die den Strahlungstransfer eines Globus mit einer der Sonne zugewandten und einer dunklen Seite beschrieb, niemals zur Familie der **elementar** lösbaren Wärmeleitungsproblemen. Dies gilt sogar für den einfacheren Fall des nicht-rotierenden Globus.

Unbeachtet der Lösbarkeit, kann man natürlich sowohl die betreffende Gleichungen als auch deren Randbedingungen niederschreiben. Wenn der rotierende Globus (Abbildung. 25)

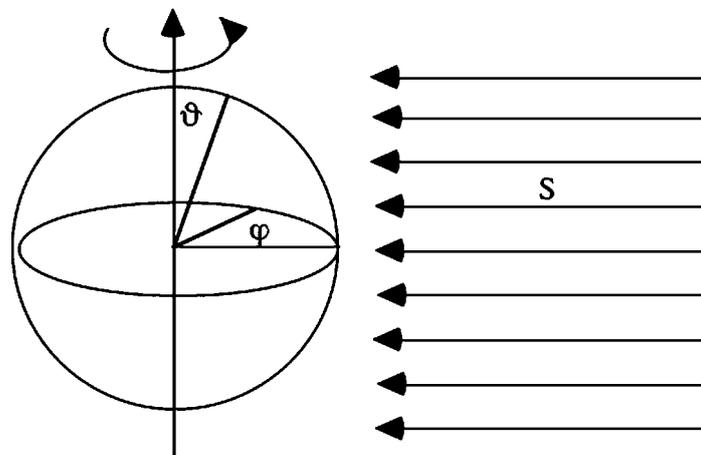


Abbildung 25: Der rotierende Globus.

der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, und ein Wärmeübergang zu seiner Umgebung nur durch Strahlungstransfer möglich sein sollte, so kann das Anfangswertproblem der Wärmeleitungsgleichung durch folgende Randbedingung gelöst werden:

⁷⁸⁾In dieser Allgemeinheit ist die Aussage unzutreffend. Beispielsweise wird die Teilchenbewegung in einem Gas durch die mechanischen Bewegungsgesetze beschrieben. Als Durchschnittswerte der Impulsänderungen an der Gefäßwand ergibt sich z.B. der Druck. Es ist sogar sinnvoller bestimmte Fragen mit Differentialgleichungen für den Durchschnitt zu lösen.

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \begin{cases} \sigma T^4 - S \cdot \sin \vartheta \cos(\varphi - \omega_d t) & \text{wenn } -\pi/2 \leq \varphi - \omega_d t \leq \pi/2 \\ \sigma T^4 & \text{wenn } \pi/2 \leq \varphi - \omega_d t \leq 3\pi/2 \end{cases} \quad (95)$$

wobei

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{n}} = \mathbf{n} \cdot \nabla \quad (96)$$

die übliche Normalableitung auf der Oberfläche der Sphäre bezeichnet und ω_d die Kreisfrequenz ist, die mit dem Tag-und-Nacht-Zyklus assoziiert ist.

Indem man den geeigneten Geometrie-Faktor

$$\zeta(\vartheta, \varphi, \omega_d, t) = \sin \vartheta \cos(\varphi - \omega_d t) \quad (97)$$

und die der Sonne zugewandte Fläche

$$A = \{(\varphi, \vartheta) | \zeta(\vartheta, \varphi, \omega_d, t) \geq 0\} \quad (98)$$

definiert, kann man den Ausdruck umschreiben gemäß

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}} = \begin{cases} \sigma T^4 - S \cdot \zeta(\vartheta, \varphi, \omega_d, t) & \text{wenn } (\varphi, \vartheta) \in A \\ \sigma T^4 & \text{wenn } (\varphi, \vartheta) \notin A \end{cases} \quad (99)$$

3.7.9 Der rotierende Globus mit geneigter Drehachse

Das oben erhaltene Resultat kann auf den rotierenden Globus mit geneigter Drehachse verallgemeinert werden: Für einen rotierenden Globus mit geneigter Drehachse (Fig. 26) hat man

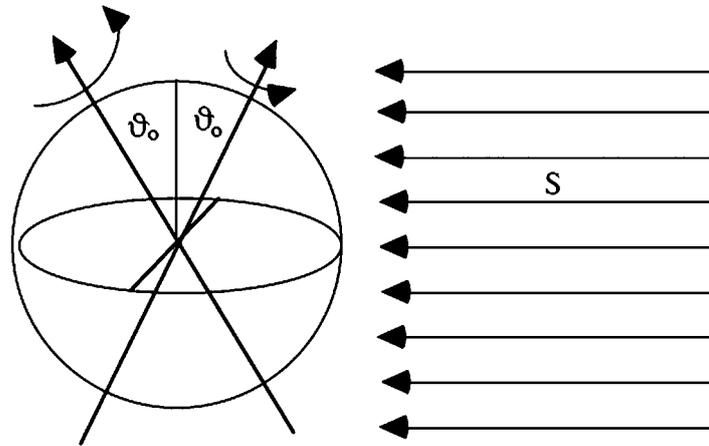


Abbildung 26: Ein rotierender Globus mit geneigter Drehachse.

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}} = \begin{cases} \sigma T^4 - S \cdot \xi(\vartheta_0, \vartheta, \varphi, \omega_y, \omega_d, t) & \text{wenn } (\varphi, \vartheta) \in A \\ \sigma T^4 & \text{wenn } (\varphi, \vartheta) \notin A \end{cases} \quad (100)$$

wobei $\partial T / \partial \mathbf{n}$ die übliche Normalableitung auf der Oberfläche der Sphäre bezeichnet und ω_y , ω_d die Winkelgeschwindigkeiten für den Jahreszyklus bzw. für den Tag-Nacht-Zyklus bezeichnen⁷⁹⁾.

⁷⁹⁾Hier ist die Sternzeit benutzt Dictionary of Geophysics, Astrophysics, and Astronomy [2001], Encyclopaedia of Astronomy and Astrophysics [2001].

Der Geometrie-Faktor lautet nun

$$\begin{aligned} \xi(\vartheta_0, \vartheta, \varphi, \omega_y, \omega_d, t) = & \left[\sin(\omega_y t) \cos(\omega_d t) + \cos(\omega_y t) \sin(\omega_d t) \cos \vartheta_0 \right] \sin \vartheta \cos \varphi \\ & + \left[-\sin(\omega_y t) \sin(\omega_d t) + \cos(\omega_y t) \cos(\omega_d t) \cos \vartheta_0 \right] \sin \vartheta \sin \varphi \\ & - \left[\cos(\omega_y t) \sin \vartheta_0 \right] \cos \vartheta \end{aligned} \quad (101)$$

und der Ausdruck der sonnenzugewandten Seite ist gegeben durch

$$A = \{(\varphi, \vartheta) | \xi(\vartheta_0, \vartheta, \varphi, \omega_y, \omega_d, t) \geq 0\} \quad (102)$$

Schon das erste unrealistische Problem wird viel zu aufwendig für jeden Computer sein. Das zweite Problem kann überhaupt nicht bezwungen werden. Die Gründe hierfür sind nicht nur die extrem unterschiedlichen Kreisfrequenzen ω_y und ω_d , sondern auch ein sehr unphysikalisches Feature, das die Numerik betrifft: Nach einem berühmten Gesetz, das Wiener formuliert hat, bewegen sich alle Teilchen dieses mathematischen Modells zu Beschreibung der Diffusion auf Pfaden unendlich hoher Geschwindigkeiten Bauer [1964], Bauer und Buckel [2002].

Grobabschätzungen zeigen, dass selbst diese übervereinfachten Modelle durch keinen Computer bezwungen werden können. Wenn man eine Sphäre mit den Abmessungen der Erde nimmt, wird es unmöglich, dieses Problem numerisch zu lösen, selbst in einer fernen Zukunft. Nicht nur würde der Computer eine Ewigkeit rechnen, bevor eine »ausgeglichene« Temperatur erreicht wäre, sondern schon die anfänglichen Temperaturverteilungen könnten nicht bestimmt werden.

ω_y und ω_d können in der Regel als Oberwellen eines 4-Jahre-Zyklus (genauer als Schaltjahre dürfte unnötig sein) aufgefaßt werden. Die Anfangsbedingungen dürften auch unwesentlich sein, weil die bald abgeklungen sind. Interessant ist nur der eingeschwungene Zustand. Damit kann das Problem prinzipiell numerisch mit vernünftigen Zeitaufwand gelöst werden. Aber warum sollte so ein unrealistisches Problem gelöst werden? Die Wirkung der Atmosphäre verursacht viel größere Änderungen.

3.7.10 Die strahlende Masse

Die physikalische Situation, in der ein strahlendes Volumens eine Strahlungsdichte

$$S(T) = \sigma T^4 \quad (103)$$

durch eine Oberflächenschale abstrahlt, kann nicht leicht realisiert werden, wenn überhaupt. Es ist aber durchaus interessant, sich ein solches Spielmodell vorzustellen, um ein Gefühl für einen strahlungsbedingten Prozess des Anstrebens eines Gleichgewichts zu erhalten, von dem man annimmt, dass er sich in einem überschaubaren Zeitintervall abspielt. Ohne Betrachtung der Ausgleichsprozesse innerhalb des Körpers, also [Annahme einer unendlich hohen Wärmeleitfähigkeit im Inneren des Körpers](#), erhält man [ohne Berücksichtigung der Einstrahlung aus der Umgebung die sowohl wärmer als auch kälter sein kann](#)

$$V \varrho c_V \frac{dT}{dt} = - \Omega \sigma T^4 \quad (104)$$

mit V als Volumen, ϱ als Dichte, c_V als spezifische Wärme bei konstantem Volumen, Ω als Oberfläche des Körpers. Mit

$$\eta = \frac{\Omega}{V} \quad (105)$$

kann die obige Gleichung geschrieben werden als (und normiert werden mit $T = T_0 x$ - siehe auch Kapitel 3.7.12 auf Seite 97⁸⁰⁾)

$$\frac{dT}{dt} = - \frac{\eta\sigma}{\rho c_V} \cdot T^4 \quad \text{bzw.} \quad \frac{dx}{dt} = - \frac{\eta\sigma \cdot T_0^3}{\rho c_V} \cdot x^4 \quad (106)$$

Für⁸¹⁾ einen Würfel der Kantenlänge a hat man $\eta = 6/a$, für einen Globus des Radius r hat man hingegen $\eta = 3/r$. Für die entsprechenden Körper mit den Einheitsvolumina $\eta = 6$ bzw. $\eta = 4.8$.

Die Differentialgleichung ist leicht lösbar⁸²⁾. Die Lösung lautet

$$T(t) = T_0 \sqrt[3]{1 + \frac{3\eta\sigma T_0^3}{\rho c_V} t} \quad (107)$$

Mit einer Anfangstemperatur von 300 K mit den Werten von ρ und c_V für Luft, erhält man die Hälfte des Temperaturwertes innerhalb von drei Sekunden für den Standardwürfel (vergleiche Bild 27 auf der nächsten Seite). Für Eisen ist die Temperaturleitfähigkeit etwa 3000-mal höher als für Luft. Die Halbwertszeit für einen Temperaturabfall beträgt dann näherungsweise drei Stunden.

$$a_v = \rho c_V \quad (108)$$

Für Luft, selbst wenn nur eine der Flächen des Würfels strahlten, würde man einen Temperaturabfall um siebzig Grad in den ersten drei Sekunden erhalten und fast 290 Grad innerhalb von zehn Stunden - ein total unrealistischer Abkühlungsprozess.

Bereits diese einfache Einschätzung zeigt, dass man extrem vorsichtig sein muss, wenn man die Gesetze der Strahlung eines idealisierten schwarzen Körpers, bei dem die Energie aus den geheizten Wänden eines Hohlraums stammt, auf Gase anzuwenden versucht, deren elektromagnetische Strahlung von den Bewegungen der Gasmoleküle stammen soll (vergleiche Kapitel 3.5 auf Seite 62)⁸³⁾. Der Unsinn ist noch größer: Die "elektromagnetische

⁸⁰⁾ Wegen der unrealistischen Annahmen ist das ganze nachfolgende Beispiel reiner Unsinn. Ein Körper aus Luft strahlt nicht von einer dünnen Oberfläche, sondern aus einem Oberflächenvolumen etwa von der Dicke der Absorptionslänge. Bei einem kleinen Körper also aus dem ganzen Volumen. Zwar könnte man das Luftvolumen durch eine dünne schwarze Hülle begrenzen, die strahlt, aber dann ist auf jeden Fall der Wärmewiderstand der eingeschlossenen Luft zu berücksichtigen - und der ist sehr groß (siehe Tabelle 6 auf Seite 21). Also ganz gleich wie: das nachfolgende Beispiel ist Unsinn.

⁸¹⁾ Zum Vergleich mit der strahlenden Gaskugel (Gleichung 114-59 auf Seite 106)) wird der Quotient $\frac{\sigma}{\rho c_V}$ berechnet:

$$\frac{\sigma}{\rho c_V} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4 \text{m}^2}}{878 \frac{\text{Ws}}{\text{m}^3 \text{K}}} = 6,45 \times 10^{-11} \frac{\text{m}}{\text{K}^3 \text{s}}$$

⁸²⁾ Die leichte Lösbarkeit beruht auf der Annahme einer unendlich hohen Wärmeleitfähigkeit im Inneren des Körpers. Lässt man diese Annahme fallen, wird die Lösung komplizierter. Relativ einfach ist dann nur noch die Lösung für eine Kugel, da bei einer Kugel die Temperatur nur von der Entfernung zum Kugelmittelpunkt abhängt.

⁸³⁾ Wie schon geschrieben: das ganze Beispiel ist Unsinn. Aber wieder die Ablenkung. Wenn G&T bei diesem Unsinn ertappt werden, werden sie sich damit herausreden, sie haben ja geschrieben »dass man extrem vorsichtig sein muss«. Um die Abkühlung eines Gases zu bestimmen, sind zumindest die Wärmetransportgleichungen zu beachten (siehe Kapitel 3.7.15 auf Seite 105). Man kann nicht erst die Wärmeleitung vernachlässigen und anschließend die vernachlässigte Größe irgendwie einschmuggeln und dann mit der eingeschmuggelten Größe Schlüsse ziehen, die dann natürlich Unsinn ergeben.

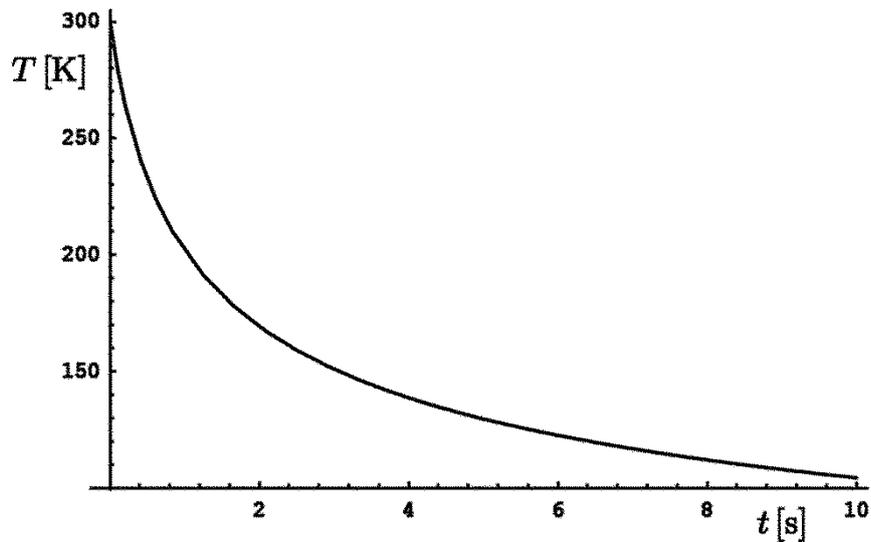


Abbildung 27: Die Abkühlungskurve für einen strahlenden Standardwürfel.

Strahlung“ wird von angeregten Molekülen emittiert, die Anregung der Moleküle erfolgt bei Kollisionen, nicht von der Bewegung selbst.

3.7.11 Das umfassende Werk von Schack

Professor Alfred Schack, der Autor des Standardwerkes über den industriellen Wärmeübergang Schack [1983], war der erste Wissenschaftler, der in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts herausfand, dass *Kohlendioxid* (CO_2) und *Wasserdampf* (H_2O) als Bestandteile der Feuergase für einen erhöhten Wärmeübergang in Brennkammern *bei den hohen Brenntemperaturen* verantwortlich sind. Der Grund ist ihre erhöhte Emission im Infraroten. Er schätzte die Emission ab, indem er die Kapazität der spektralen Absorption von Kohlendioxid und Wasserdampf maß. [Bemerkenswert ist hier, daß das Paper von G&T hier ohne weiteres die Herleitung des Quelltermes akzeptieren, was sie in Kapitel 3.5.5 auf Seite 66 bestreiten.](#)

Im Jahre 1972 publizierte Schack eine Arbeit in den Physikalischen Blättern mit dem Titel »Der Einfluß des Kohlendioxid-Gehaltes der Luft auf das Klima der Welt« Schack [1972].

In dieser Arbeit schätzte Schack zunächst die Masse der verbrauchten fossilen Treibstoffe mit

$$m_{\text{verbraucht}} = 5 \times 10^{12} \text{ kg} = 5 \text{ Gt C} \quad (109)$$

pro Jahr ab. Weil 1 kg etwa 10 m^3 Abgase mit 15 % CO_2 -Anteil produziert, wird ein Volumen von

$$V_{\text{CO}_2} = 7,5 \times 10^{12} \text{ m}^3 \quad (110)$$

in die Atmosphäre der Erde geblasen, deren totales Volumen unter Normalbedingungen (0°C and 760 mm Hg) etwa

$$V_{\text{atmosphäre}} = 4 \times 10^{18} \text{ m}^3 \quad (111)$$

beträgt. Es folgt unmittelbar, dass der Anstieg der CO_2 -Konzentration ungefähr $1,9 \times 10^{-6}$ pro Jahr beträgt. Etwa die Hälfte ist absorbiert durch die Ozeane, so dass der Anstieg von CO_2 sich reduziert auf

$$\frac{\Delta V_{CO_2}}{V_{CO_2}} = 0,95 \times 10^{-6} \quad (112)$$

pro Jahr.

Mit der »gegenwärtigen« (1972) atmosphärischen CO₂-Volumen-Konzentration von

$$0,03 \% = 300 \times 10^{-6} \quad (113)$$

und einem relativen jährlichen Anstieg von

$$0,32 \% = \frac{0,95 \times 10^{-6}}{300 \times 10^{-6}} \quad (114)$$

würde die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre innerhalb von 100 Jahren um ein Drittel steigen, vorausgesetzt, der Verbrauch fossiler Treibstoffe bliebe konstant.

Schack zeigt dann, dass das atmosphärische CO₂ höchstens 1/7⁸⁴⁾ der Wärmestrahlung des Bodens absorbiert, wenn nicht schon der Wasserdampf das infrarote Licht absorbiert hat, wie es in den meisten Situationen der Fall sein dürfte. Außerdem würde eine Verdopplung des CO₂-Anteils der Luft die charakteristische Absorptionslänge halbieren, das heißt, die Strahlung würde auf einer Länge von 5 km anstatt auf einer Länge von 10 km absorbiert werden. Das ist aber ganz wesentlich, weil die Atmosphärentemperatur mit der Höhe abnimmt und der Treibhauseffekt hauptsächlich ein Emissionseffekt ist. Die Intensität der Gegenstrahlung auf den Erdboden wird deshalb durch die mittlere Temperatur über einen Höhenbereich bestimmt, der gleich der Absorptionslänge ist. Bei einer Halbierung der Absorptionslänge steigt also wegen der Höhenabnahme die mittlere Temperatur und damit die Intensität der Gegenstrahlung (siehe Kapitel 4.4.4 auf Seite 136).

Schack diskutierte den Beitrag von CO₂ lediglich unter dem Aspekt, dass CO₂ als absorbierendes Medium wirkt. Nur halb zutreffend, denn Schack schreibt in seinem Paper Interessantes - wichtig ist auch, was er nicht schreibt:

Die Absorption der ein Gas durchsetzenden Wärmestrahlung ist im Beharrungszustand genau gleich der Wärmestrahlung dieses Gases. Denn wenn hierbei Abweichungen beständen, würden sich in einem dies Gas erfüllenden Hohlraum von selbst Temperaturdifferenzen bilden, was nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik nicht möglich ist.

Leider hat Schack bei den anderen Ausführungen vergessen, was er selber feststellt (die Bedeutung der Emission), denn in allen andern Teilen berücksichtigt er nur die Absorption und vergißt die Emission der Treibhausgase. Die Emissionen der Treibhausgase sind aber wesentlich für die Verhältnisse in der Atmosphäre. Damit haben also alle Rechnungen ohne Berücksichtigung der Emissionen keinen Wert.

Er kam aber nicht auf die absurde Idee, dass der wärmere strahlende Boden von der durch die Atmosphäre absorbierten und von ihr zurückgestrahlten Strahlung zusätzlich aufgeheizt würde. Für diese Unterstellung von G&T ist in Schacks Paper nicht der geringste Anhaltspunkt.

⁸⁴⁾ 1/7 = 14,3 % – man beachte die Übereinstimmung mit den 18,7 % von Arrhenius 1906 (im Kapitel 3.6.1 auf Seite 70, S. 74)

Außerdem ist die Unterstellung inkorrekt. Die Gegenstrahlung ist die ganz normale Abstrahlung eines warmen (im physikalischen Sinne ist über 0K immer warm) Körpers (hier die Atmosphäre - siehe vorigen Kapitel 3.7.10 auf Seite 93 bzw. Kapitel 3.7.12). Die Atmosphäre kühlt sich im Mittel aber nicht ab, da der Wärmeverlust bei der Abstrahlung durch Absorption und konvektiv herangebrachte Wärme ersetzt wird.

Außerdem hat die Aussage von G&T zwei mir unverständliche Brüche.

- Am Anfang dieses Abschnittes (S. 95) akzeptieren die Autoren die Bestimmung der Emission aus der Absorption.
- Im Kapitel 3.7.5 auf Seite 88 schrieben die Autoren richtig »*Ein Quadratmeter einer Wiese weiß nichts über den Rest der Oberfläche der Erde*« - aber jetzt soll das CO₂ »wissen«, dass es nicht in Richtung Erdboden strahlen darf, weil der Erdboden wärmer ist. Wenn das CO₂ aber doch auch in Richtung Erdboden strahlt, erhebt sich die Frage, wie denn die Strahlung in Richtung Erdboden verschwindet, wenn doch aus Höhen unterhalb der Absorptionslänge Strahlung kaum noch absorbiert wird.

In einem Kommentar zu einem Artikel des Wissenschaftsjournalisten Rudzinski [1976] erhob der Klimatologe Oeschger Einwände gegenüber der Analyse von Schack über den Einfluss der CO₂-Konzentration auf das Klima. Er behauptete, Schack hätte nicht genau genug gerechnet Oeschger [1976]. Insbesondere bezog er sich auf Strahlungstransportrechnungen. Solche Rechnungen jedoch wurden bisher nur für die Sternatmosphären ausgeführt, weil die Prozesse in den planetaren Atmosphären viel zu kompliziert sind für solch einfache Modelle. Falsch. Es gibt z.B. Strahlungstransportrechnungen von Schwarzschild [1906], Emden [1913] oder Manabe und Strickler [1964]. Das Ziel der astrophysikalischen Strahlungstransportrechnungen besteht darin, so viele Absorptionslinien wie möglich zu berechnen. Dabei sind der Randwert für die Dichteverteilung, die Temperaturabhängigkeit von der Höhe im Rahmen der Saha-Gleichung und vieler weiterer Hypothesen vorgegeben Unsöld [1955]. Die Randwerte für die Dichte der Strahlungsintensität jedoch können nicht aus diesen Berechnungen hergeleitet werden.

Man sollte hervorheben, dass Schack der erste Wissenschaftler war, der für Brennkammern die selektive Emission durch heiße Gase, die infrarotes Licht absorbieren, berücksichtigte. Wesentlich für den Treibhauseffekt ist dabei die implizite Feststellung, daß die Thermalisierung in den Verbrennungsräumen noch stärker als in der Atmosphäre ist⁸⁵. Trotzdem ist die Thermalisierung offensichtlich kein Hindernis für die temperaturgerechte Emission. Die Dichte der Zusammenstöße beeinflusst nur die Linienform der Absorptionslinien, so daß bei Gasgemischen eine gegenseitige Abhängigkeit besteht. Siehe auch [Kneer, 2006, S. 40(38) - 55(53)]. Daher darf man sich schon darüber wundern, dass ausgerechnet Globalklimatologen ihn dafür tadeln, dass er nicht kompliziert genug gerechnet hätte. Schack war es, der die recht einfachen physikalischen Konzepte durchschaute, die hinter den Gleichungen des Strahlungstransports stehen. Für G&T ist es heute noch unlösbar kompliziert.

3.7.12 Die Abkühlung einer Kugel

Für die Abstrahlung einer Kugel mit dem Radius R gilt Gleichung (103 auf Seite 93)

$$S(T, R) = \sigma T^4(R) \quad (\text{k-114-1})$$

In der Kugel gilt die Fouriersche Wärmeleitungsgleichung:

⁸⁵Die Gasdichte und Temperatur sind höher als in der Atmosphäre: deshalb ist die Zeit zwischen zwei Stößen der Gasteilchen noch erheblich kürzer als in der Atmosphäre.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \Delta T \quad \text{mit} \quad a = \frac{\lambda}{\rho c_V} \quad (\text{k-114-2})$$

die in Kugelkoordinaten mit folgenden Anfangs- und Randbedingungen zu lösen ist:

- Die Anfangstemperatur innerhalb der Kugel soll überall T_0 sein.
- Die Oberfläche der Kugel strahlt nach Planck

Nach [Grigull und Sandner, 1979, S. 63, Gl. (6.9)] bzw. [Bronstein und Semendajew, 2008, S. 721 Gl. (13.78)] gilt für den Laplace-Operator in Kugelkoordinaten (bei Unabhängigkeit von Azimut- φ und Zenitwinkel ϑ):

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \quad (\text{k-114-3})$$

Mit Gleichung (k-114-3) wird aus Gleichung (k-114-2):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (\text{k-114-4})$$

Wichtig sind auch noch die Wärmeströme j , für die gilt (das Vorzeichen folgt daraus, daß die Wärmestromrichtung entgegen dem Temperaturgradienten ist - siehe Gleichung (122 auf Seite 119)):

$$j(r, t) = -\lambda \frac{\partial T(r, t)}{\partial r} \quad (\text{k-114-5})$$

Zusammengefaßt ergeben Gleichung (k-114-1 auf der vorherigen Seite) und Gleichung (k-114-5) am Rand:

$$\sigma T^4(R, t) = -\lambda \frac{\partial T(r, t)}{\partial r} \Big|_{r=R} \quad (\text{k-114-6})$$

Von Interesse ist aber die zeitliche Entwicklung der Temperatur. Dazu wird zuerst die Gleichung (k-114-6) durch λ dividiert:

$$\frac{\partial T}{\partial r} = -\frac{\sigma}{\lambda} T^4 \quad (\text{k-114-7})$$

Um Gleichung (k-114-7) in Gleichung (k-114-4) einsetzen zu können, ist diese Gleichung zu differenzieren. Die Differenzierbarkeit ist gegeben, weil die Temperaturfunktion im ganzen Körper stetig ist - also auch nahe der Oberfläche bzw. an der Oberfläche einseitig stetig ist. Gleichzeitig ist das Vorzeichen zu wechseln, da ein zunehmender Wärmestrom eine Temperaturabnahme zur Folge hat.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = 4 \frac{\sigma}{\lambda} T^3 \frac{\partial T}{\partial r} \quad (\text{k-114-8})$$

In Gleichung (k-114-8) ist Gleichung (k-114-7) einsetzen. Damit wird:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = -4 \frac{\sigma^2}{\lambda^2} T^7 \quad (\text{k-114-9})$$

Nun sind Gleichung (k-114-7) und Gleichung (k-114-9) in Gleichung (k-114-4) einzusetzen:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \Big|_{r=R} = -a \left[4 \frac{\sigma^2}{\lambda^2} T^7 + \frac{2}{r} \frac{\sigma}{\lambda} T^4 \right]_{r=R} \quad (\text{k-114-10})$$

Damit lautet die Dgl. für die Oberflächentemperatur der Kugel

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{2a}{R} \frac{\sigma}{\lambda} T^4 \left[2R \frac{\sigma}{\lambda} T^3 + 1 \right] \quad (\text{k-114-11})$$

Wird noch a aus Gleichung (k-114-2 auf der vorherigen Seite) eingesetzt und λ kann teilweise gekürzt werden:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{2}{R} \frac{\sigma}{\rho_{cV}} T^4 \left[1 + 2R \frac{\sigma}{\lambda} T^3 \right] \quad (\text{k-114-12})$$

Mit der Normierung werden mit $T = T_0 x$ (siehe Gleichung (106 auf Seite 94)) wird:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{2}{R} \frac{\sigma T_0^3}{\rho_{cV}} x^4 \left[1 + 2R \frac{\sigma T_0^3}{\lambda} x^3 \right] \quad (\text{k-114-13})$$

Eigentlich müßte für $\lambda = \infty$ aus der Gleichung (k-114-13) die Gleichung (106 auf Seite 94) werden, aber der Faktor vor der eckigen Klammer ist nur $2/3$ des Faktors bei Gleichung (106 auf Seite 94). Offensichtlich berücksichtigt Gleichung (k-114-13) die unvermeidlichen Wärmetransporte im Körper besser, denn nach Gleichung (k-114-5 auf der vorherigen Seite) wird der Wärmetransport 0 bzw. bei realistischen Wärmetransporten müßte $\partial T / \partial r = \infty$ werden, was aber einer einheitlichen Temperatur innerhalb des Körpers widerspricht. Allerdings ist der Unterschied nicht groß (2 statt 3), so daß sich Gleichung (106 auf Seite 94) (im Rahmen der Vernachlässigung) und Gleichung (k-114-13) vertragen.

Aber Gleichung (k-114-13) hat in der eckigen Klammer noch einen Zusatzterm, der die Temperaturunterschiede in der Kugel bei endlicher Wärmeleitfähigkeit berücksichtigt. Dieser Term wird um so größer, je größer R und umso kleiner λ werden.

Zur weiteren Lösung von Gleichung (k-114-13) werden Konstanten zusammengefaßt:

$$\tau = \frac{R \rho_{cV}}{2 \sigma T_0^3} \quad \text{und} \quad p = 2R \frac{\sigma T_0^3}{\lambda} \quad (\text{k-114-14})$$

Mit Gleichung (k-114-14) wird aus Gleichung (k-114-13):

$$\frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{x^4}{\tau} [1 + px^3] \quad \Rightarrow \quad \frac{dx}{x^4 [1 + px^3]} = -\frac{dt}{\tau} \quad (\text{k-114-15})$$

Zur Integration wird der linke Bruch zerlegt:

$$\frac{dx}{x^4 [1 + px^3]} = \frac{(1 - px^3)dx}{x^4} + \frac{p^2 x^2 dx}{1 + px^3} = \frac{dx}{x^4} - \frac{p dx}{x} + \frac{p^2 x^2 dx}{1 + px^3} \quad (\text{k-114-16})$$

Die Integration ergibt (wie man leicht durch differenzieren bestätigen kann):

$$-\frac{1}{3x^3} - p \ln x + \frac{p}{3} \ln [1 + px^3] = -\frac{t}{\tau} + C \quad (\text{k-114-17})$$

Die Integrationskonstante C ist so zu bestimmen, daß für die Anfangsbedingung ($x_0 = 1$) die Zeit $t = 0$ wird, also

$$t = \tau \left[\frac{1}{3x^3} - \frac{1}{3} + p \ln x + \frac{p}{3} \ln \frac{1+p}{1+px^3} \right] = \frac{\tau}{3} \left[\frac{1}{x^3} - 1 + p \ln \frac{(1+p)x^3}{1+px^3} \right] \quad (\text{k-114-18})$$

Für den Sonderfall $p \rightarrow 0$ ($\lambda \rightarrow \infty$) läßt sich Gleichung (k-114-18) leicht nach x umstellen:

$$\frac{3t}{\tau} = \frac{1}{x^3} - 1 \Rightarrow 1 + \frac{3t}{\tau} = \frac{1}{x^3} \Rightarrow x = 1 \left/ \sqrt[3]{1 + \frac{3t}{\tau}} \right. \quad (\text{k-114-19})$$

Die Lösung ist natürlich die Lösung Gleichung (107 auf Seite 94), allerdings ist das τ in Gleichung (107 auf Seite 94) zu klein, was aus den unzulässigen Annahmen folgt.

Auch für den anderen Sonderfall $p \rightarrow \infty$ ($\lambda \rightarrow 0$) ist leicht zu lösen, da dann in Gleichung (k-114-15 auf der vorherigen Seite) die 1 vernachlässigt werden kann. Dafür lautet die Lösung:

$$\frac{6pt}{\tau} = \frac{1}{x^6} - 1 \Rightarrow 1 + \frac{6pt}{\tau} = \frac{1}{x^6} \Rightarrow x = 1 \left/ \sqrt[6]{1 + \frac{6pt}{\tau}} \right. \quad (\text{k-114-20})$$

Um so kleiner λ ist, um so schneller sinkt die Temperatur der Oberfläche - aber mit der schnelleren Abkühlung der Oberfläche ist eine langsamere Wärmeabgabe verbunden, d.h. der Wärmeinhalt der Kugel sinkt langsamer (die eckige Klammer in Gleichung (k-114-15 auf der vorherigen Seite) ist immer > 1 - aus der Vernachlässigung der 1 in Gleichung (k-114-15 auf der vorherigen Seite) folgt die nachfolgende Einschränkung $p \gg 1/2$):

$\lambda \rightarrow \infty$	$\lambda \rightarrow 0$
<i>zeitlicher Temperaturverlauf</i>	
$x = \frac{1}{\sqrt[3]{1 + \frac{3t}{\tau}}}$	$x = \frac{1}{\sqrt[6]{1 + \frac{6pt}{\tau}}}$
<i>Stefan-Boltzmann (4. Potenz der Temperatur)</i>	
$x^4 = \left(1 + \frac{3t}{\tau}\right)^{-4/3}$	$x^4 = \left(1 + \frac{6pt}{\tau}\right)^{-4/6}$
Wärmeverlust (Integral Stefan-Boltzmann) [Bronstein und Semendajew, 2008, S. 1074]	
$\int x^4 = \tau \left[1 - 1 \left/ \sqrt[3]{1 + \frac{3t}{\tau}} \right. \right]$	$\int x^4 = \frac{\tau}{2p} \left[\sqrt[3]{1 + \frac{6pt}{\tau}} - 1 \right]$
für $\frac{1}{6p} \ll \frac{t}{\tau} \ll \frac{4}{3}p^2$	

(k-114-21)

3.7.13 Abkühlung einer ebenen Oberfläche mit Gegenstrahlung

Es wird eine ∞ ausgedehnte plane Oberfläche betrachtet, unterhalb derer ein ∞ ausgedehnter homogener Körper mit der einheitlichen Anfangstemperatur T_0 und den typischen Werten der Erdoberfläche ist. Die absorbierte Gegenstrahlung soll zeitlich konstant sein und den Wert S_G haben, was mit $S_G = 0$ auch keine Gegenstrahlung bzw. keine absorbierte Gegenstrahlung bedeutet⁸⁶⁾.

Dazu Stefan 1879 [Stefan, 1879, S. 400]:

Wichtiger ist es, zu bemerken, dass W als Differenz als Differenz zweier von u_1 und u_2 abhängiger Größen erscheint, und dass man für W immer einen Ausdruck von der Form

$$W = f(u_1) - f(u_2)$$

erhält, welcher Art auch die Abhängigkeit des Wärmeleitungsvermögens von der Temperatur sein mag.

⁸⁶⁾Dieser Abschnitt hält sich eng an den vorhergehenden Kapitel 3.7.12 auf Seite 97

Entsprechend Stefan ist die Wärme, die der Körper verliert, dessen Abstrahlung von der Oberfläche (Gleichung (103 auf Seite 93)) minus der absorbierten Gegenstrahlung, also:

$$S(T) = \sigma T^4 - S_G \quad (\text{k-114-22})$$

Im Körper gilt die Fouriersche Wärmeleitungs-Gleichung (2 auf Seite 19) (auch von G&T nicht bestritten):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \Delta T \quad \text{mit} \quad a = \frac{\lambda}{\rho c_V} \quad (\text{k-114-23})$$

die in eindimensionalen kartesischen Koordinaten mit folgenden Anfangs- und Randbedingungen zu lösen ist:

- Die Anfangstemperatur innerhalb des Körpers soll überall T_0 sein.
- Die Oberfläche des Körpers verliert Wärme nach Planck minus Gegenstrahlung

Nach [Grigull und Sandner, 1979, S. 63, Gl. (6.9)] bzw. [Bronstein und Semendajew, 2008, S. 721 Gl. (13.76)] gilt für den eindimensionalen Laplace-Operator in kartesischen Koordinaten:

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (\text{k-114-24})$$

Wichtig sind auch noch die Wärmeströme j , für die gilt (das Vorzeichen folgt daraus, daß die Wärmestromrichtung entgegen dem Temperaturgradienten ist - siehe Gleichung (122 auf Seite 119)):

$$j(x, t) = -\lambda \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} \quad (\text{k-114-25})$$

Zusammengefaßt ergeben Gleichung (k-114-22) und Gleichung (k-114-25) an der Oberfläche:

$$j(0, t) = \sigma T^4(0, t) - S_G = -\lambda \left. \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} \right|_{x=0} \quad (\text{k-114-26})$$

Von Interesse ist aber die zeitliche Entwicklung der Temperatur. Dazu wird zuerst die Gleichung (k-114-26) durch λ dividiert:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{\sigma}{\lambda} T^4 + \frac{S_G}{\lambda} \quad (\text{k-114-27})$$

Um Gleichung (k-114-27) in Gleichung (k-114-24) einsetzen zu können, ist zu differenzieren. Die Differenzierbarkeit ist gegeben, weil die Temperaturfunktion im ganzen Körper stetig ist - also auch nahe der Oberfläche bzw. an der Oberfläche einseitig stetig ist. Gleichzeitig ist das Vorzeichen zu wechseln, da ein zunehmender Wärmestrom eine Temperaturabnahme zur Folge hat.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 4 \frac{\sigma}{\lambda} T^3 \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{k-114-28})$$

In Gleichung (k-114-28) ist Gleichung (k-114-27) einsetzen. Damit wird:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = -4 \frac{\sigma}{\lambda} T^3 \left[\frac{\sigma}{\lambda} T^4 - \frac{S_G}{\lambda} \right] \quad (\text{k-114-29})$$

Nun ist Gleichung (k-114-29) in Gleichung (k-114-24) einzusetzen:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{x=0} = -4a \frac{\sigma}{\lambda} T^3 \left[\frac{\sigma}{\lambda} T^4 - \frac{S_G}{\lambda} \right]_{x=0} \quad (\text{k-114-30})$$

Damit lautet die Dgl. für die Oberflächentemperatur des Körpers

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{4a\sigma^2}{\lambda^2} T^3 \left[T^4 - \frac{S_G}{\sigma} \right] \quad (\text{k-114-31})$$

Mit der Normierung werden mit $T = T_0 y$ (siehe Gleichung (106 auf Seite 94)) wird:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -\frac{4a\sigma^2}{\lambda^2} T_0^6 y^3 \left[y^4 - \frac{S_G}{T_0^4 \sigma} \right] \quad (\text{k-114-32})$$

Zur Vereinfachung werden Konstanten zusammengefaßt:

$$\frac{4a\sigma^2}{\lambda^2} T_0^6 = \frac{1}{\tau} \quad \text{und} \quad \frac{S_G}{T_0^4 \sigma} = v \quad (\text{k-114-33})$$

Da in Gleichung (k-114-32) die eckige Klammer für sinnvolle Werte immer ≥ 0 bleibt ist der Minimalwert für $y_{min} = \sqrt[4]{v}$.

Wird für a der Bruch aus Gleichung (1 auf Seite 19) eingesetzt, so wird für τ :

$$\frac{4\lambda\sigma^2}{\rho c_V \lambda^2} T_0^6 = \frac{4\sigma^2}{\rho c_V \lambda} T_0^6 = \frac{1}{\tau} \quad (\text{k-114-34})$$

Die Größe $\sqrt{\rho c_V \lambda}$ ist auch tabelliert (z.B. [Grigull und Sandner, 1979, S. 142ff]) und wird als Wärmeeindringkoeffizient b bezeichnet. Damit wird aus Gleichung (k-114-34)

$$\frac{4\sigma^2}{b^2} T_0^6 = \frac{1}{\tau} \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{b^2}{4\sigma^2 T_0^6} = \left(\frac{b}{2\sigma T_0^3} \right)^2 \quad (\text{k-114-35})$$

Mit diesen Zusammenfassungen (Gleichung (k-114-33)) wird aus Gleichung (k-114-32):

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -\frac{y^3}{\tau} [y^4 - v] \quad \text{mit} \quad y_0 = 1 \quad \text{und} \quad 0 \leq v < 1 \quad (\text{k-114-36})$$

Zur Lösung der Dgl.-Gleichung (k-114-36) wird diese umgestellt:

$$\tau \frac{\partial y}{y^3 [y^4 - v]} = \frac{\tau}{v} \left(-\frac{1}{y^3} + \frac{y}{y^4 - v} \right) = -\partial t \quad (\text{k-114-37})$$

Die Zerlegung zum mittleren Ausdruck ist Vorbereitung für die nachfolgend Integration. Durch Integration wird Gleichung (k-114-37) ([Bronstein und Semendajew, 2008, S. 485] und [Bronstein und Semendajew, 2008, S.1080, Gl. 102] - berichtigt):

$$\frac{\tau}{v} \left(\frac{1}{2y^2} + \frac{1}{4\sqrt{v}} \ln \left[\frac{y^2 - \sqrt{v}}{y^2 + \sqrt{v}} \right] \right) = -t + C \quad (\text{k-114-38})$$

Die Integrationskonstante C ist so zu bestimmen, das für $y = 1$ die Zeit $t = 0$ wird. Damit lautet die Lösung:

$$\begin{aligned} t &= \frac{\tau}{2v} \left(1 - \frac{1}{y^2} + \frac{1}{2\sqrt{v}} \left\{ \ln \left[\frac{1 - \sqrt{v}}{1 + \sqrt{v}} \right] - \ln \left[\frac{y^2 - \sqrt{v}}{y^2 + \sqrt{v}} \right] \right\} \right) \\ t &= \frac{\tau}{2v} \left(1 - \frac{1}{y^2} + \frac{1}{2\sqrt{v}} \ln \left[\frac{(1 - \sqrt{v})(y^2 + \sqrt{v})}{(1 + \sqrt{v})(y^2 - \sqrt{v})} \right] \right) \end{aligned} \quad (\text{k-114-39})$$

Für den Fall $v = 0$ ist es besser statt des Grenzüberganges in Gleichung (k-114-39 auf der vorherigen Seite) die Gleichung (k-114-36 auf der vorherigen Seite) direkt zu integrieren:

$$t = \frac{\tau}{6} \left(\frac{1}{y^6} - 1 \right) \quad (\text{k-114-40})$$

Die Gleichung (k-114-40) ist auszuwerten für mit τ für T_0 (Gleichung (k-114-33 auf der vorherigen Seite)) und $y_0 = 1$. Das Einsetzen des Frostes ergibt sich für $y_F = T_F/T_0$.

$$y_F = \frac{T_F}{T_0} \quad (\text{k-114-41})$$

Mit Gleichung (k-114-39 auf der vorherigen Seite) und Gleichung (k-114-40) ist Tabelle 15 auf der nächsten Seite berechnet.

Die Zeiten zeigen, daß ohne Gegenstrahlung praktisch am Ende jeder klaren Nacht Strahlungsfrost auftreten müßte. Die Erfahrung zeigt aber, daß Strahlungsfrost sehr selten auftritt - also muß Gegenstrahlung wirken.

3.7.14 Grasfrost

Auch wenn die Oberfläche noch nicht die Frosttemperatur erreicht hat, können die Grashalme darüber schon Reif ansetzen. Im Sichtbaren sehen die Grashalme zwar grün aus, aber im Infraroten ist ihr Emissionsgrad fast 1. Die Grashalme haben ein sehr niedriges Flächengewicht. Zur rechnerischen Untersuchung werden die Grashalme idealisiert als eine ideal schwarze Folie ohne Masse über der Erdoberfläche.

Die Folie habe eine Temperatur T_F . Die Folie wird von der Oberfläche (mit der Temperatur T) und von der Gegenstrahlung S_G angestrahlt. Die Folie strahlt nach oben und unten entsprechend Stefan-Boltzmann. Der Gesamtwärmestrom von der Oberfläche zur Folie muß gleich dem Wärmestrom von der Folie in die Atmosphäre sein, da die Folie entsprechend der Voraussetzung keine Wärmespeicherfähigkeit hat.

Durch die allgemein bekannte Behinderung einer Strahlung durch eine Folie (Stichwort: Sonnenschirm) kühlt die Erdoberfläche langsamer ab, aber die Folie ist kälter als die Erdoberfläche, denn die Wärme strömt von der Erdoberfläche zur Folie und von da zur Atmosphäre. Entsprechend dem II.HS. folgt daraus für die Temperaturen:

$$T_{\text{Erdoberfläche}} > T_{\text{Folie}} > T_{\text{Atmosphäre}} \quad (\text{k-114-42})$$

Diese Verhältnisse bestimmen den Wärmestrom j und werden durch die nachfolgende Gleichung beschrieben:

$$j = \sigma T^4 - \sigma T_F^4 = \sigma T_F^4 - S_G \quad (\text{k-114-43})$$

Die Gleichung (k-114-43) ist praktisch eine Zusammenfassung von Stefan [1879]:

(S. 413): Wählt man für das Gesetz der Strahlung die Formel der vierten Potenzen der Absoluten Temperaturen, so ist

$$H_1 = AT_1^4 \quad H_2 = AT_2^4$$

und S. 415 sinngemäß $j = H_1 - H_2$.

Die mittlere und rechte Gleichung in Gleichung (k-114-43 auf Seite 103) ergeben durch Umordnung:

$$\begin{aligned}\sigma T^4 + S_G &= 2\sigma T_F^4 \\ \sigma T_F^4 &= \frac{1}{2} (\sigma T^4 + S_G)\end{aligned}\quad (\text{k-114-44})$$

Gleichung (k-114-44) in Gleichung (k-114-43 auf Seite 103) eingesetzt ergibt:

$$j = \sigma T^4 - \frac{1}{2} (\sigma T^4 + S_G) = \frac{1}{2} (\sigma T^4 - S_G) \quad (\text{k-114-45})$$

Gleichung (k-114-45) unterscheidet sich von Gleichung (k-114-26 auf Seite 101) durch den Faktor $1/2$, der die langsamere Abkühlung bewirkt, d.h. als ob λ durch 2λ ersetzt würde. Damit wird $b' = \sqrt{2}b$ und damit für τ (siehe Gleichung (k-114-34 auf Seite 102))

$$\tau = \frac{b^2}{2\sigma^2 T_0^6} \quad (\text{k-114-46})$$

Die Oberflächentemperatur, bei der der Frost der Folie einsetzt, ergibt sich aus Gleichung (k-114-44) durch Umstellen:

$$T = \sqrt[4]{2T_F^4 - \frac{S_G}{\sigma}} \quad (\text{k-114-47})$$

Aus Gleichung (k-114-41 auf Seite 103) wird damit für das Einsetzen des Frostes an der Folie

$$y_F = \frac{\sqrt[4]{2T_F^4 - \frac{S_G}{\sigma}}}{T_0} \quad (\text{k-114-48})$$

Damit ergeben sich die Zeiten, die in Tabelle 16 auf der vorherigen Seite aufgeführt sind.

Gleichung (k-114-47) kann auch nach dem Wert der Gegenstrahlung S_G umgestellt werden (Pyrgometergleichung):

$$S_G = \sigma (2T_F^4 - T^4) \quad (\text{k-114-49})$$

3.7.15 Die Abkühlung einer kleinen strahlenden Gaskugel

Betrachtet wird eine Gaskugel bei einer so hohen Gasdichte, daß das LTE gilt. Dann kann für die Strahlungsintensität Gleichung (59 auf Seite 66) in Verbindung mit Gleichung (60 auf Seite 67) benutzt werden.

Die Strahlung innerhalb der Gaskugel nimmt vom Mittelpunkt ($I(0) = 0$) zum Rand R zu. So lange der Radius klein gegen die optische Dicke (siehe Gleichung (63 auf Seite 67)) ist, kann I_ν auf der rechten Seite von Gleichung (59 auf Seite 66) vernachlässigt werden. Damit wird aus Gleichung (59 auf Seite 66) und Gleichung (60 auf Seite 67)

$$\frac{1}{\kappa_\nu \varrho} \frac{dI_\nu}{dr} = -B_\nu \quad (\text{k-114-50})$$

Die Lösung von Gleichung (k-114-50) ist:

$$I_\nu = -B_\nu \kappa_\nu \varrho r \quad (\text{k-114-51})$$

Die Gesamtabstrahlung über die Kugeloberfläche ist:

$$\int_{\Omega} I_{\nu} d\Omega = -B_{\nu} \kappa_{\nu} \varrho R * 4\pi R^2 = -4\pi R^3 \varrho B_{\nu} \kappa_{\nu} \quad (\text{k-114-52})$$

Für die Gesamtleistung N ist über alle Frequenzen zu integrieren:

$$N = -4\pi R^3 \varrho \int_0^{\infty} B_{\nu} \kappa_{\nu} d\nu \quad (\text{k-114-53})$$

Für das Integral in Gleichung (k-114-53) wird angesetzt (muß nicht ganz stimmen, wird aber in der Regel näherungsweise so sein):

$$\int_0^{\infty} B_{\nu} \kappa_{\nu} d\nu = KT^4 \quad (\text{k-114-54})$$

Aus Gleichung (k-114-53) wird mit Gleichung (k-114-54)

$$N = -4\pi R^3 \varrho KT^4 \quad (\text{k-114-55})$$

Da das Volumen einer Kugel $= 4\pi R^3/3$ ist gilt für die Temperaturänderung:

$$N = \varrho c_V V \frac{dT}{dt} = \varrho c_V \frac{4\pi}{3} R^3 \frac{dT}{dt} = -4\pi R^3 \varrho KT^4 \quad (\text{k-114-56})$$

Durch Kürzen wird daraus:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{3K}{c_V} T^4 \quad (\text{k-114-57})$$

Bemerkenswert ist hier, daß die Abkühlungsgeschwindigkeit unabhängig vom Radius ist, solange der Radius klein gegen die optische Dicke ist. Wenn der Radius größer wird, dann sinkt die Abkühlungsgeschwindigkeit, da die Abstrahlung von der Oberfläche relativ kleiner wird, da ein Teil der Emissionen im Volumen absorbiert wird.

Eine Abschätzung von K bei $T_0 = 280 \text{ K}$, ein Wärmestrom $j = 300 \text{ W/m}^2$ und eine durchschnittliche Absorptionslänge von ca. 1 km :

$$K \approx \frac{300 \text{ W/m}^2}{1 \text{ km} (280 \text{ K})^4} = 4,88 \times 10^{-11} \frac{\text{W}}{\text{K}^4 \text{m}^3} \quad (\text{k-114-58})$$

Die Wärmekapazität der Luft ist $c_V = 878 \frac{\text{Ws}}{\text{m}^3 \text{K}}$. Damit wird

$$\frac{K}{c_V} = \frac{4,88 \times 10^{-11} \frac{\text{W}}{\text{K}^4 \text{m}^3}}{878 \frac{\text{Ws}}{\text{m}^3 \text{K}}} = 5,56 \times 10^{-14} \frac{1}{\text{K}^3 \text{s}} \quad (\text{k-114-59})$$

3.8 Wärmeleitung versus Strahlungstransfer

3.8.1 Die Wärmeleitungsgleichung

In vielen klimatologischen Texten wird impliziert, dass die Wärmestrahlung nicht berücksichtigt werden muss, wenn man die Wärmeleitung betrachtet, was nicht richtig ist Weise [1966]. Vielmehr muss die vollständige Wärmeflussdichte \mathbf{q} betrachtet werden. Diese ergibt sich aus

$$\mathbf{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T \quad (115)$$

in Termen der Wärmeleitfähigkeit λ und des Gradienten der Temperatur T . Es ist unzulässig den Strahlungstransfer von der Wärmeleitung zu trennen, wenn Bilanzen berechnet werden sollen. **Anmerkung:** Bei den Ausmaßen in der Atmosphäre entstehen schon bei geringsten Dichte- (Temperatur-)differenzen so hohe Luftgeschwindigkeiten, daß der konvektive Wärmetransport weit über der ruhenden Wärmeleitfähigkeit liegt. Daran ändert sich auch nichts, obwohl die Strömung fast immer turbulent wird (hohe Reynoldszahlen [Zmarsly u. a., 2007, S. 118f]): Der konvektive (insbesondere turbulente) Wärmetransport übersteigt die Wärmeleitung um Größenordnungen ($\lambda_{\text{turbulent}} \approx \dots 10^7 \cdot \lambda_{\text{ruhend}}$ [Zmarsly u. a., 2007, S. 49ff]), deshalb ist bei Längen über mm praktisch immer die Wärmeleitung zu vernachlässigen. In der DIN EN ISO 1946 [DINISO6946, 2003, Anhang B] ist das richtig behandelt, wo Strahlung, Wärmeleitung und Konvektion berücksichtigt werden, weil die Längen im Übergangsbereich liegen. Außerdem ist für T nicht die tatsächliche Temperatur, sondern die Temperaturabweichung von der Adiabate einzusetzen.

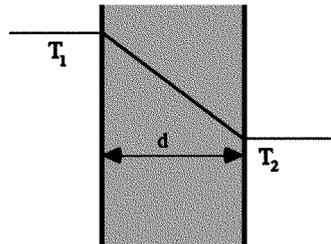


Abbildung 28: Ein einfaches Wärmetransportproblem.

Im Folgenden wird eine quasi-ein-dimensionale experimentelle Situation für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit betrachtet (Bild 28): Mit F als Querschnitt, d als Distanz zwischen zwei Wänden und Q als die Wärme pro Zeit, die von 1 nach 2 transportiert wird, so dass

$$q_x = \frac{Q}{F} \quad (116)$$

und somit

$$Q = F \cdot q_x = -\lambda \cdot F \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = -\lambda \cdot F \cdot \frac{T_2 - T_1}{d} = \lambda \cdot F \cdot \frac{T_1 - T_2}{d} \quad (117)$$

im Falle einer stationären (das heißt zeitunabhängigen) Temperatur-Verteilung. Q wird erzeugt und gemessen im Falle einer stationären Situation durch Joulesche Wärme (das ist die elektrische Wärme) bei höherer Temperatur. Der Wärmetransport durch Strahlung kann

nicht von dem Wärmetransport durch Bewegungsenergie getrennt werden. Natürlich versucht man, Wärmekonvektion durch den experimentellen Aufbau zu verhindern⁸⁷⁾. So sind alle Effekte der Wärmestrahlung (zum Beispiel der langwelligen atmosphärischen Strahlung auf die Erde) in einfacher Weise in den stationären Temperaturen enthalten und messbar als Joulesche Wärme. Im nicht-stationären Fall verschwindet die Divergenz des Wärmeflusses nicht länger, und wir haben für eine konstante Wärmeleitfähigkeit λ

$$\operatorname{div} \mathbf{q} = -\lambda \cdot \operatorname{div} \operatorname{grad} T = -\lambda \cdot \Delta T = -\varrho c_V \frac{\partial T}{\partial t} \quad (118)$$

wobei ΔT der Laplace-Operator angewandt auf die Temperatur T (siehe Gleichung 2 auf Seite 19)) und ϱc_V die spezifische Wärme des Einheitsvolumens ist. Schließlich erhalten wir

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\varrho c_V} \Delta T \quad (119)$$

Es ist wichtig zu erwähnen, dass die Wärmeleitfähigkeit durch ϱc_V geteilt wird. Das heißt, dass die isochore Temperaturleitfähigkeit (das heißt die Temperaturleitfähigkeit bei konstantem Volumen)⁸⁸⁾

$$a_v = \frac{\lambda}{\varrho c_V} \quad (120)$$

für zwei verschiedene Materialien von der gleichen Größenordnung sein kann, selbst wenn ihre Wärmeleitfähigkeiten λ völlig verschieden sind.

Aus Gleichung (119) und Gleichung (120) folgt die Gleichung 2 auf Seite 19)

Leider benötigt die Arbeit selbst an den einfachsten Beispielen der Wärmeleitung Techniken der mathematischen Physik, die sich weit jenseits des Erstsemester-Niveaus befinden. Weil eine präzise Behandlung der partiellen Differentialgleichungen selbst außerhalb des Bereichs dieser Arbeit liegt, sollten die folgenden Feststellungen genügen: Unter gewissen Umständen ist es möglich, die raumzeit-abhängigen Temperaturverteilungen bei gegebenen Anfangswerten und Randwerten zu berechnen. Wenn die Temperaturänderungen eine charakteristische Länge L_{char} haben, ist die charakteristische Zeit für den Wärmeausgleich gegeben durch

$$\frac{1}{t_{char}} = \frac{\lambda}{\varrho c_V} \cdot \frac{1}{L_{char}^2} \quad (121)$$

Mit dem Mondradius als charakteristische Länge und typischen Werten für die anderen Variablen würde die Relaxationszeit (also die Zeit des Temperatureausgleichs vom Mondkern zur Oberfläche) ein Vielfaches der angenommenen Lebensdauer des Universums betragen. Deshalb ist die durchschnittliche Bodentemperatur (gemessen über einige hundert Jahre) **überhaupt kein Hinweis darauf**, dass die eingestrahlte Sonnenenergie auch wieder abgestrahlt wurde. Und wenn es einen Unterschied gäbe, würde es unmöglich sein, sie zu messen, einfach wegen der großen Relaxationszeiten⁸⁹⁾.

Bei langen Relaxationszeiten wird der Wärmefluss aus dem Erdkern zur Oberfläche ein bedeutender Faktor für die langfristigen Reaktionen der gemittelten Bodentemperaturen. Nach bestimmten Hypothesen waren die Oberflächen der Planeten zunächst sehr heiß und

⁸⁷⁾ Damit hat diese Messung nur für den massiven Erdkörper Relevanz, denn in der Realität der Atmosphäre übersteigt der konvektive Wärmetransport den ruhenden Wärmetransport bei Weitem.

⁸⁸⁾ Wiederholung der Gleichung (1 auf Seite 19)

⁸⁹⁾ siehe Kommentar am Schluß dieses Abschnitts

kühlten sich dann ab. Diese Temperaturänderungen könnten experimentell niemals von denen getrennt werden, die durch die Einstrahlung der Sonne verursacht werden.

Was sollen solche Aussagen bei den extrem unterschiedlichen Größen der Wärmeströme? Schon Fourier 1824 Fourier [1824a] wußte das:

Die ursprüngliche Wärme, die im Inneren der Masse gespeichert ist, hat längst aufgehört irgendeinen spürbaren Effekt an der Oberfläche zu haben, der gegenwärtige Stand der irdischen Änderung hat uns die Gewissheit gegeben, dass die frühe Wärme der Oberfläche fast vollständig abgebaut ist.

Bei extrem großen Unterschieden der Wärmeströme kann der kleine Wärmestrom aus dem Erdinneren als vernachlässigbare Störung behandelt werden. Die lange Ausgleichszeit wird (richtig) aus der Gültigkeit der Wärmeleitungsgleichung gefolgert, aber wenn die Wärmeleitungsgleichung gültig ist, dann sind auch die anderen Aussagen, die sich aus der Wärmeleitungsgleichung ergeben, ebenfalls gültig. Die Aussage für die großen Ausgleichzeiten bei Temperaturänderungen an der Erdoberfläche trifft nur für den Erdkern (der sowieso heißer ist) zu, aber es geht nicht um die Erdkerntemperaturen, sondern um die Oberflächentemperaturen. Wegen der im Vergleich zum Erdradius dünnen Oberflächenschicht reicht es die Gleichung (119 auf der vorherigen Seite) (bzw. Gleichung 2 auf Seite 19)) eindimensional zu rechnen:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_v \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (\text{k-121-60})$$

Diese Gleichung ist aus der Gültigkeit der Gleichung (115 auf Seite 107) abgeleitet worden, die in eindimensionaler Schreibweise lautet:

$$q = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{k-121-61})$$

Bei einer Temperaturänderung der Erdoberfläche ändert sich dieser Wärmestrom, der als Restdifferenz zwischen ankommender (z.B. durch einfallende Strahlung) und abgehender Wärmeleistung (z.B. Emission, konvektiver Wärmeübergang usw.) in den Erdkörper eindringt. Siehe auch den Kapitel 3.8.2 auf Seite 111, wo genannt ist, daß die Übergangswerte gut gemessen worden sind. Da es sich in der Regel um kleine Änderungen handelt, reicht es, einen linearen Zusammenhang anzunehmen.⁹⁰⁾ Der lineare Zusammenhang wird mit einem konstanten Koeffizienten α ausgedrückt:

$$q = \alpha \cdot T \quad \text{bzw.} \quad T = \frac{q}{\alpha} \quad \text{bzw.} \quad \Delta q = \alpha \cdot \Delta T \quad (\text{k-121-63})$$

Das Gleichsetzen beider q ergibt:

⁹⁰⁾ Denn selbst bei einem so nichtlinearen Zusammenhang wie der Strahlung, wo etwa Gleichung (70 auf Seite 81) gilt, wird:

$$\begin{aligned} \Delta q &= \sigma(T + \Delta T)^4 - \sigma T^4 = \sigma[T^4 + 4T^3\Delta T + 6T^2(\Delta T)^2 + 4T(\Delta T)^3 + (\Delta T)^4 - T^4] & (\text{k-121-62}) \\ &= \sigma[4T^3\Delta T + 6T^2(\Delta T)^2 + 4T(\Delta T)^3 + (\Delta T)^4] \\ &= 4\sigma T^3\Delta T \left[1 + 1.5\frac{\Delta T}{T} + \frac{(\Delta T)^2}{T^2} + \frac{(\Delta T)^3}{T^3} \right] \end{aligned}$$

Bei kleinen Temperaturänderungen sind in der eckigen Klammer alle Terme klein gegen 1, so daß der lineare Teil reicht.

$$- \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \cdot T \quad (\text{k-121-64})$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = - \frac{\alpha}{\lambda} \cdot T$$

Durch Differentiation dieser Gleichung nach x wird bei konstantem λ (was angenommen wird zur Herleitung der Gleichung (119 auf Seite 108)):

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = - \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{k-121-65})$$

In diese Gleichung werden die zwei Gleichungen davor eingesetzt und es ergibt sich:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^2 \cdot T = \frac{\alpha}{\lambda^2} \cdot q \quad (\text{k-121-66})$$

Diese Gleichung wird in die rechte Seite der Wärmeleitungsgleichung eingesetzt und die Zusammenfassung a_v berücksichtigt:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_v \cdot \frac{\alpha}{\lambda^2} \cdot q = \frac{\alpha}{\lambda \rho c_v} \cdot q \quad (\text{k-121-67})$$

Die typischen Werte von $\lambda \rho c_v$ liegen um $10^6 \text{ W}^2\text{s}/(\text{K}^2\text{m}^4)$ (= b^2 in [Grigull und Sandner, 1979, S. 145]) und $\alpha > 4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ DINISO6946 [2003] (Wind würde das verschlimmern, aber wegen allgemein ansteigender Temperaturen kann der Wind unberücksichtigt bleiben). Wenn die Restdifferenz zwischen ankommender und abgehender Wärmeleistung nur $0,1 \text{ W}/\text{m}^2$ wäre, wird für den Betrag:

$$\frac{\partial T}{\partial t} > \frac{4}{10^6} \cdot 0,1 \text{ K/s} = 4 \times 10^{-7} \text{ K/s} = 0,03 \text{ K/Tag} = 12,6 \text{ K/Jahr} \quad (\text{k-121-68})$$

Diese schnellen Änderungen werden zwar pro Tag erreicht bzw. überschritten, d.h. die Pufferwirkung der Erdoberfläche ist wesentlich, aber über das Jahr muß die Bilanz erheblich besser sein als $0,1 \text{ W}/\text{m}^2$. Da die solare Einstrahlung durchschnittlich über $300 \text{ W}/\text{m}^2$ liegt, also dem 3000-fachen, kann man getrost von einer Bilanz ausgehen.

Aus den Gleichungen ergibt sich auch, dass die Änderung des Wärmestroms an jeder Stelle aus der zeitlichen Temperaturänderung folgt. An der Oberfläche ist das besonders augenfällig: die Änderungen der Temperatur sind sehr viel größer als die Temperaturänderungen in der Tiefe, was schon etwas im häuslichen Keller festgestellt werden kann und erst Recht in Höhlen, wobei es reicht, dass diese schon einige Meter unter der Erdoberfläche sind. Die Temperaturänderungen durch die Änderung des oberflächlichen Wärmestroms nehmen mit der Tiefe ab - es ist also an der Größe der Temperaturänderungen zu sehen wie langfristig die Änderungen des oberflächlichen Wärmestroms sind. Tägliche Änderungen reichen nur wenige dm in die Tiefe, jährliche Änderungen einige m. Damit ist auch eine Größe für die Bilanzzeit gegeben: für die tägliche Änderung der Wärmespeicherung dient die Wärmekapazität einer Schicht die bestenfalls nur einige dm dick ist (meistens sogar darunter) für die jährlichen Änderungen bestenfalls nur einige Meter. In größeren Tiefen ist die Temperaturänderung so langsam, das man selbst für charakteristische Längen von Dutzenden Metern L_{char} (Gleichung (121 auf Seite 108)) die Wärmeströme als stationär betrachten kann. Mit dem typischen Temperaturanstieg zum Erdinnern von $1 \text{ K}/30 \text{ m}$ (mit großer Schwankungsbreite) ergibt sich bei den typischen λ -Werten eine Wärmestrom von unter $0,1 \text{ W}/\text{m}^2$ im Vergleich zum durchschnittlichem solaren Wärmestrom von über $300 \text{ W}/\text{m}^2$, also dem 3000-fachen.

3.8.2 Wärmeleitung durch und in der Nähe von Grenzflächen

In der realen Welt werden die Dinge infolge der Existenz von Grenzflächen noch sehr viel komplexer. Insbesondere müssen wir berücksichtigen:

- Gas-Festkörper-Grenzflächen,
- Festkörper-Flüssigkeit-Grenzflächen,
- Flüssigkeit-Gas-Grenzflächen,
- Festkörper-All-Übergänge
- usw.

für die es keine allgemeine Theorie des Wärmetransports gibt. Die Mechanismen der Luftkühlung und Wasserkühlung und der Einfluss der Strahlung hingegen wurden in der Ingenieurthermodynamik eingehend untersucht Schack [1983], F. Kreith u. a. [1999], Baukal [1999]. Sie sind von praktischem Interesse, zum Beispiel in Sonnenkollektoren, Brandforschung, Chemie, Kerntechnik, der elektronischen Kühlung und bei der Konstruktion zuverlässiger Computer-Hardware Bouali [2006], Safran [1994]. Offensichtlich haben sie auch höchste Bedeutung in der Geophysik und der atmosphärischen Physik. Weil sie einen zusätzlichen Grad der Komplexität in das hier diskutierte Problem einführen, sollen sie hier nicht weiter diskutiert werden.

3.8.3 In der Küche: Physik-besessene Hausfrau versus IPCC

In Kapitel 3.3.5 auf Seite 55 wurde angedeutet, wie einfach es ist, die atmosphärische Treibhaushypothese zu falsifizieren, indem man nämlich einfach den Kochtopf auf dem Küchenherd betrachtet: Ohne eingefülltes Wasser wird der Boden des Topfes schnell rotglühend. Mit eingefülltem Wasser jedoch ist der Boden des Kochtopfes wesentlich kälter.

Ein solches Experiment kann zum Beispiel auf einem Glaskeramik-Herd durchgeführt werden. Die Rolle der Sonne wird von den Heizspulen oder den Infrarot-Halogenlampen als Heizelementen übernommen. Glaskeramik hat einen sehr niedrigen Wärmeleitungskoeffizienten, lässt aber Infrarotstrahlung sehr gut durch. Das Dihydrogenmonoxid (ein gelehriger Ausdruck für Wasser) im Topf, spielt nicht nur die Rolle eines »Treibhausgases«, sondern realisiert auch eine sehr dichte Phase (nämlich eine Flüssigkeit) dieser magischen Substanz. Trotzdem gibt es kein »Rückwärmungseffekt« zum Boden des Kochtopfes hin. Im Gegenteil, der Boden der Kochtopfes wird sogar kälter.

Das ist wieder aus mehreren Gründen Unsinn:

1.) Da über die Art des Topfes nichts gesagt wird, wäre das Experiment schon sinnlos, wenn Wasser und Infrarotstrahlung gar nicht zusammenkommen, falls z.B. ein Metalltopf gewählt wird. Um etwas realer zu werden, muß der Topf schon auch ein Glas-Keramik-Topf sein. Und die Wirkung der Gegenstrahlung ist dann auch gut zu sehen: Am Anfang, wenn das Wasser noch kalt ist, ist die Heizung dunkelrot glühend, weil vom kalten Wasser wenig Gegenstrahlung kommt, mit der Erwärmung des Wassers steigt die Gegenstrahlung, was sich so auswirkt, daß die Heizung heller leuchtet, also die Temperatur der Heizung steigt (obwohl weiterhin die Heizung eine höhere Temperatur als das Wasser hat). In der Regel ist die Temperatursteigerung der Heizung sogar geringer als die Steigerung der Gegenstrahlung weil die elektrische Heizleistung bei zunehmender Temperatur abnimmt (die Heizung ist oft ein Kaltleiter).

2.) Schon [Tyndall, 1865, p. 408] und spätere Physiker haben die Wirkung des Wasserdampfes gekannt (im Zitat Substanz genannt):

“... und ich zweifle nicht daran, dass, je mehr diese Frage geprüft wird, umso deutlicher wird es erscheinen, dass die strahlende und absorbierende Wirkung dieser Substanz einen wichtige Rolle in den Erscheinungen der Meteorologie spielt.“

3.) Die Temperaturen im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt beziehen sich fast immer auf stationäre Verhältnisse. Ein Kochtopf mit Wasser auf dem Herd ist alles andere stationär. Wenn der Topf lange genug auf dem Herd steht, dann ist das Wasser verdampft und der Topfboden wird heiß.

4.) Auch etwas weiteres beweist das Experiment: Man nehme ein Infrarotthermometer (siehe Bild 32 auf Seite 117) und halte es über eine Wasserfläche. Da sind dann absolut keine Trennflächen, die die Infrarotstrahlung beeinflussen – und trotzdem wird die Temperatur richtig angezeigt, ganz gleich ob die Wassertemperatur höher oder niedriger als die Temperatur des Infrarotthermometers ist.

Es gibt zahllose ähnliche Experimente, die unmittelbar zeigen, dass der atmosphärische Treibhauseffekt aus der Sicht eines ausgebildeten Physikers absolut lächerlich ist (**Lächerlich sind nur Physiker, die den Treibhauseffekt nicht verstehen.**). Er ist es auch aus der Sicht eines gut geschulten Verkäufers für eine Variante des getönten Glases, welches die Sonnenstrahlung hauptsächlich im Infraroten reduziert Anonymous [2000]:

»Tageslicht und Sicht sind zwei fundamentale Eigenschaften eines Fensters. Unglücklicherweise sind Fenster auch die Ursache für eine bedeutende Erwärmung durch Sonneneinstrahlung, die nicht erwünscht ist. Traditionelle Lösungen für die Reduktion der Erwärmung durch Sonneneinstrahlung wie getönte Verglasung oder Blenden bewirken, dass auch die Helligkeit reduziert wird. Neuartige Verglasungen mit spektral-selektiven Verkleidungen, die auf geringe Erwärmung durch den Infrarot-Anteil der Sonneneinstrahlung hin optimiert sind, garantieren einen minimalen Verlust des sichtbaren Lichts. Das heißt, dass die Sicht klarer ist und unbehindert bleibt.«

Nach Tabelle 8 auf Seite 35 entfällt etwa je die Hälfte der Solarstrahlung auf den sichtbaren und infraroten Teil. Damit reduziert sich die solare Wärme in beiden Fällen: sowohl bei Reduktion im sichtbaren als auch infraroten Wellenlängenbereich.

Ironischerweise funktioniert dies auch im Falle des Dihydrogenmonoxid so gut. Solche Experimente können leicht mit jedem Overhead-Projektor durchgeführt werden. Sie zeigen, dass die Absorption des Infrarot-Anteils der einkommenden Strahlung nicht vernachlässigbar ist und zu einem Temperaturabfall der beleuchteten Fläche führt, wenn sie durch eine Infrarot absorbierende Schicht verkleidet wird.

Das ist ein schlechter Vergleich. Die Wasserschicht (“Infrarot absorbierende Schicht“) emittiert entsprechend ihrer Temperatur Infrarot. Das ankommende Infrarot stammt von einer Quelle sehr hoher Temperatur (Glühfaden in der Projektorlampe). Deswegen überwiegt in der Wasserschicht die Absorption - aber in der Atmosphäre sind die Temperaturen relativ gleich, so daß auch Emission und Absorption relativ gleich sind.

3.9 Die Gesetze der Thermodynamik

3.9.0 Die Existenz der Gegenstrahlung

Zum Existenzbeweis der Gegenstrahlung reichen 4 Essentiells:

1. Die Größe eines Wärmestroms zwischen zwei Körpern hängt von der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Körpern ab. Beispiel: Innenseite und Außenseite einer Thermosflasche.

2. Zitat von Seite 30: »Mikroskopisch werden beide Wechselwirkungen durch Photonen vermittelt.«

3. Photonen transportieren entsprechend ihrer Frequenz (Wellenlänge) eine bestimmte Energiemenge, haben aber keine Temperatur (Temperatur ist eine Vielteilcheneigenschaft). Das ist von Anfang an in der Quantentheorie die Definition der Energiequanten.

4. Zitat von Seite 88: »Ein Quadratmeter einer Wiese weiß nichts über den Rest der ...«

Bleiben wir bei der Thermosflasche (Punkt 1). Wenn die Innenseite der Thermosflasche »weiß« (Punkt 4), dann strahlen sowohl die Innen- als auch die Außenwand unabhängig voneinander Photonen ab (Punkt 2), deren Menge natürlich von der Temperatur der betreffenden Oberfläche abhängen muß und auch tatsächlich abhängt. Entsprechend der Stärke des Photonenstroms (Punkt 3) ist demzufolge die Emissionsleistung jeder Oberfläche entsprechend dem Photonenstrom. Jede Oberfläche strahlt dementsprechend eine Leistung ab, die nur von ihrer eigenen Temperatur abhängt und unabhängig von Temperatur und Lage der umgebenden Körper ist (folgt aus Punkt 4) – absorbiert aber gleichzeitig Strahlung von den umgebenden Körpern, die bei ihrer Emission ebenfalls nichts von ihrer Umgebung »wissen«. Als Folge der gleichzeitigen Emission und Absorption ist ausschließlich die Differenz beider beobachtbar – das wußte Prevost Prévost [1809] schon vor über 200 Jahren und mathematisch wurde das schon lange vor der Quantentheorie (Planck [1900]) von Stefan [1879] ausgedrückt. Und das wiederholte [Clausius, 1887b, S. 315]. Der Photonenstrom vom kühleren zum wärmeren Körper wird Gegenstrahlung genannt und ist existent, wenn man vom Photonenbild ausgeht. Der Name Gegenstrahlung folgt daraus, daß dieser Strahlungsanteil entgegengesetzt zur Temperaturgefälle ist.

Beobachtbar ist aber nur die Differenz von Hinstrahlung und Gegenstrahlung – und diese Größe verletzt nicht den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (siehe Kapitel 3.9.1 auf der nächsten Seite), der auf den beobachtbaren Größen aufbaut und vor der Quantentheorie Planck [1900] und sogar vor 1887 aufgestellt wurde Clausius [1887b], Clausius [1887a]. Mit der Quantentheorie kann man sich heute eine Vorstellung von der Gegenstrahlung machen, vor der Quantentheorie (ab 1916 Einstein [1916 bzw. 1917]) war die Gegenstrahlung eine reine Rechengröße - siehe z.B. [Stefan, 1879, S.411]: »*Hat man jedoch eine Formel für den Zusammenhang zwischen Temperatur und Wärmestrahlung aufgestellt, so läßt sich mit Hilfe derselben auch ein Wert für die absolute Größe der ausgestrahlten Wärme ableiten, doch hat ein solcher nur eine hypothetische Bedeutung.*« oder eine Vorstellung - [Clausius, 1887b, S. 315] »*Was ferner die in gewöhnlicher Weise stattfindende Wärmestrahlung anbetrifft, so ist es freilich bekannt, dass nicht nur der warme Körper dem kalten, sondern auch umgekehrt der kalte Körper dem warmen Wärme zustrahlt, aber das Gesamtergebn dieses gleichzeitig stattfindenden doppelten Wärmeaustausches besteht, wie man als erfahrungsmässig feststehend ansehen kann, immer darin, dass der kältere Körper auf Kosten des wärmeren einen Zuwachs an Wärme erfährt.*«. Prinzipiell ist heute die Lage nicht anders. Die Größe der Gegenstrahlung kann nur indirekt bestimmt werden, indem die Größe des Wärmetransports gemessen wird (was die Differenz zwischen Strahlung in Richtung des Temperaturgefälles und Gegenstrahlung ist) und rechnerisch die Größe der Strahlung in Richtung des Temperaturgefälles bestimmt wird. Rechnerisch kann aus der gemessenen Größe und der rechnerisch angesetzten Größe der Ausstrahlung des Meßgerätes die Gegenstrahlung bestimmt werden. In Meßgeräten zur Messung der Gegenstrahlung werden diese Rechenoperationen intern durchgeführt.

Und auf eine fiktive Rechengröße wollen die Paper von G&T ein Gesetz anwenden, daß nur für beobachtbare Größen gilt (zweiter Hauptsatz der Thermodynamik)?

Die Gegenstrahlung existiert also, wenn man die Hinstrahlung als unabhängig von der Umgebung ansetzt. Also

- entweder nur mit beobachtbaren Größen arbeiten, dann ist die Abstrahlungsleistung von der Umgebung abhängig (mathematisch schwierig zu handhaben und wird dann mathematisch doch so wie nachfolgend ausgeführt) – **oder**
- mit nicht beobachtbaren Größen arbeiten und für alle Körper eine Abstrahlung annehmen, die nur von der Temperatur des abstrahlenden Körpers abhängig ist. Das schließt

die Gegenstrahlung ein und führt zu den richtigen beobachtbaren Größen.

Dementsprechend ist auch die Emission von der Erdoberfläche zu bestimmen. Also

- entweder nur die Emission von der Erdoberfläche unter Berücksichtigung der Temperatur der Treibhausgase bestimmen (mathematisch schwierig zu handhaben und wird dann mathematisch doch so wie nachfolgend ausgeführt) – **oder**
- die Abstrahlung von der Erdoberfläche ohne Berücksichtigung der Treibhausgase bestimmen und die Absorption der Gegenstrahlung aus den Treibhausgasen berücksichtigen.

Beide Verfahren führen zu den richtigen Größen – aber eine Kombination Emission von der Erdoberfläche ohne Berücksichtigung der Umgebung und Negierung der Gegenstrahlung ist falsch.

Dadurch führt immer eine Behinderung der Wärmeabführung zu einer Temperaturerhöhung des Körpers, der eine zugeführte Wärmeleistung abzuführen hat: Die Erhöhung der Temperatur eines Glühfadens (Beispiel Seite 24 »leuchtet heller«) oder eben zum Treibhauseffekt.

3.9.1 Einführung

Zur Zeit der Publikation von Fourier [1824a], Fourier [1824b] waren die beiden Hauptsätze der klassischen Thermodynamik noch nicht bekannt. Für beide Gesetze gibt es je zwei äquivalente Versionen, die von Rudolf Clausius (2 Januar 1822 - 24 August 1888), dem Begründer der axiomatischen Thermodynamik, erstmalig formuliert wurden Clausius [1887b], Clausius [1887a]:

- **Erster Hauptsatz der Thermodynamik:**

- *In allen Fällen, wo durch Wärme Arbeit entsteht, wird eine der erzeugten Arbeit proportionalen Wärmemenge verbraucht, und umgekehrt kann durch Verbrauch einer ebenso großen Arbeit dieselbe (proportionale) Wärmemenge erzeugt werden.*
- *Es lässt sich Arbeit in Wärme und umgekehrt Wärme in Arbeit verwandeln, wobei stets die Größe der einen der anderen proportional ist.*

Dies ist eine Definition des mechanischen Wärmeäquivalents.

- **Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik:**

- *Die Wärme kann nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen.*
- *Ein Wärmeübergang aus einem kälteren in einen wärmeren Körper kann nie ohne Kompensation stattfinden.*

Eine fiktive Wärmekraftmaschine, die dennoch in dieser Weise arbeitet, nennt man ein *Perpetuum mobile der zweiten Art*.

Clausius untersuchte sehr gründlich, dass das zweite Gesetz **genauso gut für Strahlung** gilt, selbst wenn man Spiegel und Linsen in Betracht zieht Clausius [1887b], Clausius [1887a].

Warum “vergessen“ G&T den wesentlichen Satz von Clausius Clausius [1887b] oben, weil er zeigt, dass im Falle von Gegenstrahlung kein Verstoß gegen den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik vorliegt, weil die stärkere Strahlung von der Oberfläche in die Atmosphäre die erforderliche Kompensation ist (siehe Bild -5 auf Seite 7):

Dieser gleichzeitig stattfindende entgegengesetzte Wärmeübergang oder die sonstige Veränderung, welche einen entgegengesetzten Wärmeübergang zur Folge hat, ist, dann als Kompensation jenes Wärmeüberganges von dem kälteren zum wärmeren Körper zu betrachten, und unter Anwendung dieses Begriffes kann man die Worte „von selbst“ durch die Worte „ohne Kompensation“ ersetzen, und den obigen Satz so aussprechen:

3.9.2 Diagramme

Es ist ganz nützlich, sich den zweiten Hauptsatz mit (selbsterklärenden) Diagrammen zu verdeutlichen.

- Eine *Dampfmaschine* funktioniert, indem Wärme in mechanische Energie umgewandelt wird, wobei Hitze vom Warmen ins Kalte übertragen wird (siehe Diagramm 29).

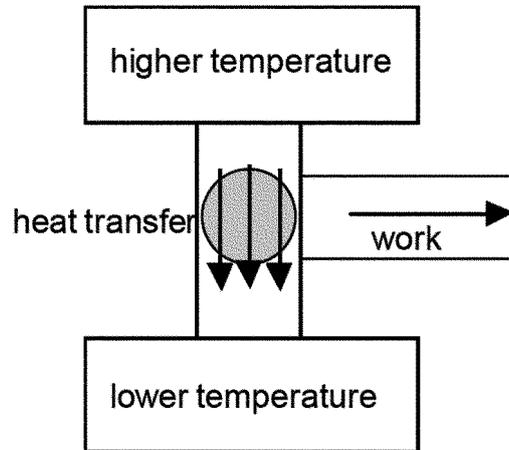


Abbildung 29: Eine Dampfmaschine funktioniert, indem sie Wärme in mechanische Energie umwandelt. Ein Teil der Wärme muß dabei in das untere Wärmebad fließen.

- Eine *Wärmepumpe* (zum Beispiel ein Kühlschrank) funktioniert, indem äußere Arbeit angewendet wird, wodurch Wärme vom Kalten zum Warmen übertragen wird (siehe Bild 30 auf der nächsten Seite).
- In einem *Perpetuum mobile der zweiten Art* wird Wärme vom Kalten zum Warmen übertragen, ohne dass externe Arbeit angewendet wird (siehe Bild 31 auf der nächsten Seite).

3.9.3 Ein Paradoxon

Die Verwendung eines *Perpetuum mobile der zweiten Art* findet sich in vielen Pseudo-Erklärungen des angeblichen atmosphärischen CO₂-Treibhauseffekts (siehe Bild 32 auf Seite 117). Sogar prominente Physiker stützen sich auf eine solche Argumentation. Ein Beispiel war die Hypothese von Stichel, die bereits in Kapitel 3.3.4 auf Seite 55 diskutiert wurde Stichel [1995].

Der renommierte deutsche Klimatologe Rahmstorf behauptet, dass der Treibhauseffekt nicht dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik widerspräche Rahmstorf [2007]:

»Manche ‘Skeptiker‘ behaupten, der Treibhauseffekt könne gar nicht funktionieren, da (nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik) keine Strahlungsenergie von kälteren Körpern (der Atmosphäre) zu wärmeren Körpern (der Oberfläche) übertragen werden könne. Doch der 2. Hauptsatz ist durch den Treibhauseffekt natürlich nicht verletzt, da bei dem Strahlungsaustausch in beide Richtungen netto die Energie von warm nach kalt fließt.«

Diese Aussage von Rahmstorfs ist fast wortgleich mit der Aussage von Clausius [Clausius, 1887b, S. 315] (siehe auch Bild -4 auf Seite 8):

Was ferner die in gewöhnlicher Weise stattfindende Wärmestrahlung anbetrifft, so ist es freilich bekannt, dass nicht nur der warme Körper dem kalten, sondern auch

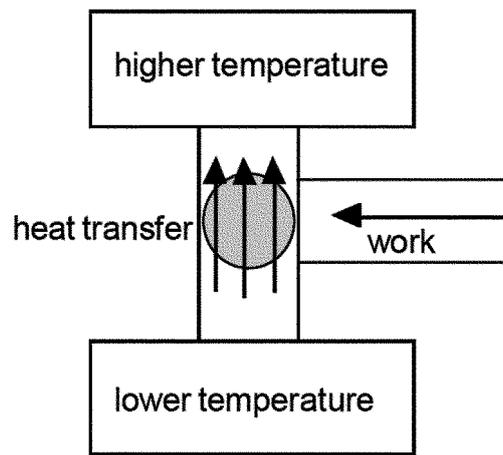


Abbildung 30: Eine Wärmepumpe (zum Beispiel ein Kühlschrank) funktioniert, weil äußere Arbeit angewendet wird. Die umgewandelte Arbeit fließt zusammen mit der zu pumpenden Wärme in das höhere Wärmebad.

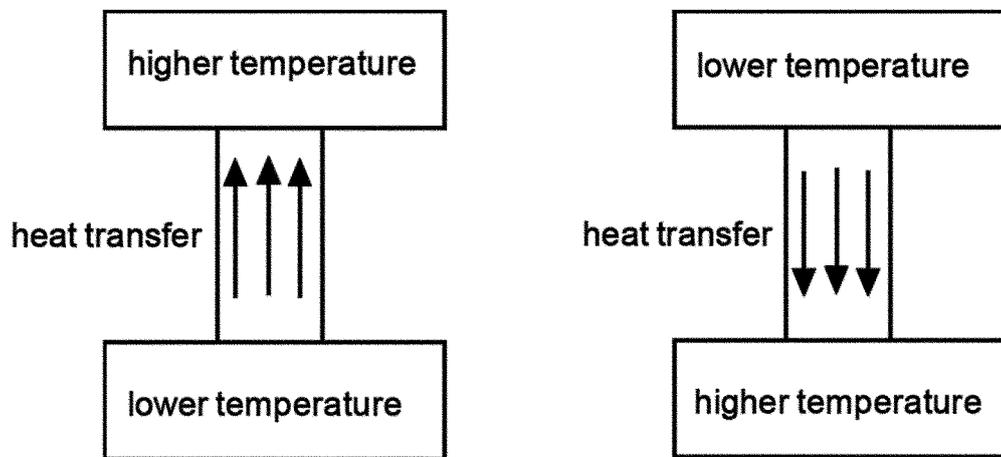


Abbildung 31: Eine Maschine, die Wärme von einem Reservoir niedriger Temperatur in ein Reservoir hoher Temperatur überträgt, ohne dass äußere Arbeit angewendet wird, kann nicht existieren. Ein *Perpetuum mobile der zweiten Art* ist unmöglich.

umgekehrt der kalte Körper dem warmen Wärme zustrahlt, aber das Gesamtergebnis dieses gleichzeitig stattfindenden doppelten Wärmeaustausches besteht, wie man als erfahrungsmässig feststehend ansehen kann, immer darin, dass der kältere Körper auf Kosten des wärmeren einen Zuwachs an Wärme erfährt.

Gesamtergebnis heißt Netto. Mit Statement von Clausius (auf den sich alle bezüglich des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik beziehen) ist das Statement von Rahmstorfs Bezug auf den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik vollkommen richtig - woraus auch die »Richtigkeit« (besser der Unsinn) der Aussagen von G&T folgt: Rahmstorfs Bezug auf den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ist schlicht falsch. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ist eine Aussage über Wärme, nicht über Energie! Ferner führt der Autor die obskure Begriffsbildung »Netto-Energie-Fluss« ein. Die relevante Größe ist allenfalls der »Netto-Wärme-Fluss«, den man als Summe eines aufwärts gerichteten Wärmeflusses und eines abwärts gerichteten Wärmeflusses (unter Berücksichtigung der Vorzeichen) innerhalb eines festen Systems, hier der Atmosphäre auffassen kann. Es ist unzulässig, den zweiten Hauptsatz für die aufwärts und abwärts transportierte Wärme separat anzuwenden und das

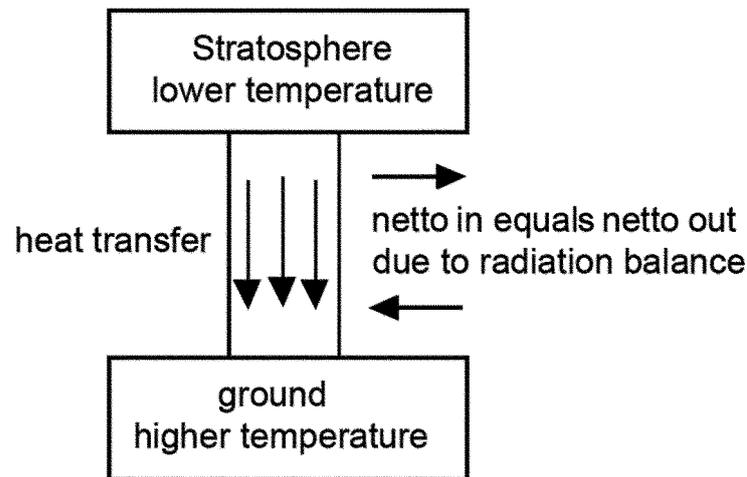


Abbildung 32: Eine Maschine, die Wärme von einem Reservoir niedriger Temperatur (zum Beispiel des Stratosphäre) in ein Reservoir hoher Temperatur (zum Beispiel der bodennahen Atmosphäre oder des Bodens) überträgt, ohne dass äußere Arbeit angewendet wird, kann nicht existieren, selbst wenn sie über die Strahlung an die Umgebung gekoppelt ist, mit der sie im Strahlungsgleichgewicht stehen soll. Ein modernes Klimamodell beschreibt ein solches *Perpetuum mobile der zweiten Art*. [Wirklich? Beispiel zum Strahlungsnachweis: Die »ground higher temperatur« sei ein Infrarotthermometer \(Strahlungs-pyrometer\) bei Zimmertemperatur \(ist auch handelsüblich\), »Stratosphere lower temperature« sei da Innere eines gerade geöffneten Kühlschranks. Das Strahlungs-pyrometer wird die richtige Temperatur anzeigen, obwohl die Temperatur des Kühlschranks inneren niedriger als die Temperatur des Strahlungs-pyrometers ist.](#)

thermodynamische System sozusagen im Fluge umzudefinieren.

Der zweite Hauptsatz wird mit Rahmstorf Ausführungen nicht neu definiert. Gerade das Paper von G&T definiert zwei getrennte Flüsse. Ein Körper, der absorbiert (die Absorption ist fast unabhängig von der Temperatur), emittiert auch (abhängig von der Temperatur). Damit ist zwangsläufig eine Absorption immer mit einer Emission verbunden und für den zweiten Hauptsatz spielt nur die Resultierende beider Wärmeströme eine Rolle. Wenn die Erdoberfläche wärmer als die absorbierenden Treibhausgase ist, ist zwangsläufig die Abwärtsstrahlung schwächer als die Aufwärtsstrahlung, so daß der resultierende Wärmestrom von warm nach kalt geht.

In Gleichung (70 auf Seite 81) ist die Emission eines Körpers (richtig!) genannt - und zwar implizit als unabhängig von der Umgebung. Die Umgebung kann auch wärmer sein. Wo soll denn z.B. die Strahlung einer kühleren Kugel bleiben, wenn sie in einer Hohlkugel höherer Temperatur ist? Wieso kühlt sich die äußere Kugel schneller ab, wenn die innere Kugel kälter ist? Woher weiß die äußere Kugel, daß sie aufhören muß, die innere Kugel zu heizen, wenn das Temperaturgleichgewicht erreicht ist? Die Erklärung wird ganz einfach, wenn man berücksichtigt, daß auch die innere Kugel emittiert: Wenn die innere Kugel sehr kalt ist, emittiert sie kaum, so daß die starke Abstrahlung der äußeren Hohlkugel kaum durch eine Gegenstrahlung kompensiert wird, mit zunehmender Temperatur emittiert die innere Kugel immer stärker bis bei Temperaturgleichgewicht die innere Kugel genau so viel Leistung emittiert, wie sie von der äußeren Hohlkugel absorbiert. Das wußte schon Prevost schon vor

über 200 Jahren Prévost [1809]. Wenn zwei entgegengesetzte Wärmestrahlungen betrachtet werden, ist die Differenz beider Wärmen eben die Nettowärmeübertragung.

Eine ähnliche Konfusion ist in der aktuellen deutschen Version von Wikipedia zu finden Anonymous [2007i]:

»Probleme haben manche mit der Energie, die die Treibhausgase in Richtung Erdoberfläche abstrahlen (150 W/m^2 - wie schon oben genannt), da diese Energie von einem kälteren Körper (etwa $+15^\circ\text{C}$) zu dem wärmeren Körper strahlt und dieses angeblich dem II. Hauptsatz der Thermodynamik widerspreche. Das ist aber eine falsche Interpretation, denn er lässt die Einstrahlung von der Sonne (von sogar 6000 K) unberücksichtigt, in der Bilanz ist wieder der II. Hauptsatz erfüllt.«

Auch hier verwechseln die Autoren (des Zitats) wieder Energie mit Wärme. Wärme ist eine Form der Energie. Dazu kommt noch, dass Wärme oft nicht eindeutig gebraucht wird: als Energie und als Leistung. Außerdem ist das zu betrachtende System das atmosphärische System der Erde einschließlich des Erdbodens. Da **angenommen wird, dass es sich im Strahlungsgleichgewicht**⁹¹⁾ mit seiner Umgebung befindet und Austausch von Masse nicht stattfindet, definiert es ein System im Sinne der Thermodynamik, in dem der zweite Hauptsatz streng eingehalten ist, selbst wenn es ein Subsystem des größeren Gesamtsystems betrachtet wird. Unzutreffend mit zwei Betrachtungen:

- Wenn nur das Subsystem betrachtet wird, ist die Solarstrahlung als externer Antrieb auf das Subsystem zu betrachten (»work« in Bild 30 auf Seite 116)
- Die Formulierung des zweiten Hauptsatzes mit der Temperatur ist eine eingeschränkte populäre Darstellung. Allgemeiner ist die Darstellung mit der Entropie – siehe Kapitel 4.2.10 auf Seite 125. In einem Subsystem kann die Entropie abnehmen. Die Entropieabnahme in einem Subsystem ändert nichts daran, daß im isolierten Gesamtsystem die Entropie immer zunehmen muß. »Die Entropie einzelner Untersysteme kann in beiden Arten von Prozessen durchaus abnehmen« [Kassner, 2000, S. 44(48)].

Die Unterschiede zwischen Wärme, Energie und Arbeit ist für das Verstehen der Thermodynamik entscheidend. Der zweite Hauptsatz ist eine Erklärung zu diesen Unterschieden.

Energie ist der Oberbegriff für alle Energieformen. Mögliche Energieformen sind Wärme und Arbeit. Die Art möglicher Umwandlungen beschreibt der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Arbeit kann zwar vollständig in Wärme umgewandelt werden, aber Wärme kann nicht vollständig in Arbeit umgewandelt. Bei allen Prozessen kann die Entropie nur zunehmen, deshalb heißt der II.HS auch Entropiesatz.

Eine ganz klares Beispiel für die Strahlungswirkung unabhängig von der Temperaturdifferenz ist die drahtlose Kommunikation. Da für alle selbstverständlich ist, daß die Verbindungen unabhängig von Temperaturunterschieden der beteiligten Geräte funktionieren, bestreiten einige, daß auch bei dieser Kommunikation der zweite Hauptsatz der Thermodynamik gültig und erfüllt ist – obwohl die Sätze der Thermodynamik universell gültig sind.

⁹¹⁾Wieder eine so irreführende Aussage von G&T: Für die Erdkugel als Ganzes muß ein Strahlungsgleichgewicht bestehen, denn wegen des Weltraumvakuums kann kein konvektiver Wärmestrom bestehen. An der Erdoberfläche besteht ein Energiegleichgewicht zu dem Strahlung und Konvektion beitragen. Wenn die Luft ihre Mobilität (Aussage von Fourier - siehe Kapitel 3.6.1 auf Seite 72) verlöre, würde auch an der Oberfläche ein Strahlungsgleichgewicht bestehen (denn der Wärmestrom durch ruhende Wärmeleitung ist vernachlässigbar) und die Oberflächentemperatur wäre viel höher (ca. 340 K statt 288 K).

3.9.4 Eine mögliche Auflösung des Paradoxon

Dass etwas mit Klimamodellen möglich zu sein scheint, was dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik widerspricht, könnte eine Folge einer Approximation sein. In der feldtheoretischen Beschreibung der irreversiblen Thermodynamik erscheint der zweite Hauptsatz als Feststellung, dass die Wärmeflussdichte und der Gradient der Temperatur in entgegengesetzte Richtungen zeigen:

$$\mathbf{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T \quad (122)$$

In dieser Formel ist die Wärmeleitung notwendigerweise ein positiv-definiten (das heißt: positiver und nicht verschwindender) Tensor⁹²). In Klimamodellen ist es üblich, die **ruhende** Wärmeleitfähigkeit der Atmosphäre zu vernachlässigen, was heißt, dass sie gleich Null gesetzt wird Hansen u. a. [1983] (das ist zulässig - siehe Seite 26):

$$\lambda = 0 \quad (123)$$

Dies könnte erklären, weshalb die numerischen Simulationen kleine Effekte im Widerspruch zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik produzieren. Die Wärmeleitung auf Null zu setzen, wäre keine wirkliche Verletzung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, da es einer Approximation eines idealen Systems entspräche: Trotz Temperaturdifferenzen gäbe es keinen Wärmefluss von einem wärmeren zu einem kälteren Bereich. Es wäre in Harmonie zum zweiten Hauptsatz, wenn es keine Temperaturerhöhung gäbe. In der Vergangenheit zeigten die »Vorhersagen« manchmal in diese Richtung, wie im Detail zu sehen ist in Kapitel 3.6.2 auf Seite 77.

4 Die physikalischen Grundlagen der Klimawissenschaften

4.1 Einführung

Eine fundamentale Theorie des Wetters und der lokalen Mittelwerte seiner Parameter, der Klimaten, muss sich auf einer vernünftigen physikalischen Theorie gründen. Unter der Voraussetzung, dass eine solche Theorie bereits formuliert ist, sind immer noch zwei Probleme zu lösen, nämlich

- die Einbettung einer rein physikalischen Theorie in einen viel umfangreicheren Rahmen, der die chemischen und biologischen Wechselwirkungen im geophysikalischen Bereich mit einschließt,
- die korrekte physikalische Berücksichtigung nicht-trivialer Strahlungseffekte, die weit über den Zugang, der auf dem schwarzen Körper basiert, hinausgeht, und der zwar sehr suggestiv sein mag, aber nicht auf Gase angewendet werden kann. [Diese Theorie der Wechselwirkung Strahlung ./ Gas existiert und wurde bereits 1916 von Einstein formuliert Einstein \[1916 bzw. 1917\]. Darin begründet Einstein, warum die Wechselwirkung Strahlung Gas nur als Wechselwirkung eines Gasteilchens mit einem Photon zu betrachten ist – eine Vielteilchenbetrachtung also unnötig, wenn nicht sogar](#)

⁹²) Für den größten Teil des angesprochenen Leserkreises dürfte der Begriff »Tensor« unverständlich sein. Bei eindimensionalen Problemen ist der »Tensor« einfach eine Konstante. Bei mehrdimensionalen Problemen können Eingangsrichtung und Ausgangsrichtung voneinander abweichen, wenn die »Konstante« in verschiedenen Richtungen verschieden ist (z.B. Holz in Faserrichtung und quer zur Faserrichtung). Dann muß die einfache Konstante durch den Tensor ersetzt werden.

falsch ist. Die darin von ihm verwendeten und später nach ihm benannten Einsteinkoeffizienten konnte er noch nicht berechnen, daß wurde erst mit späteren Arbeiten zur Quantentheorie erreicht.

Die Wechselwirkung Strahlung ./ Gas wird an anderer Stelle (Kapitel 3.5.5 auf Seite 66) von G&T als »*physikalisch wohlbegründet*« bezeichnet. Warum steht dann hier »*die korrekte physikalische Berücksichtigung nicht-trivialer Strahlungseffekte, . . . , kann aber nicht auf Gase angewendet werden.*«. Wieder so eine Formulierung, wo sich G&T herausreden wollen, daß die Leser ihre eindeutige Formulierung bloß nicht verstanden hätten.

Eine Übersicht über die Fragestellungen der Chemie und Biologie (wie zum Beispiel des Kohlenstoffzyklus) liegt außerhalb der Perspektive dieser Arbeit, darf aber nicht vernachlässigt werden. In seiner Kritik der Studien der globalen Erwärmung mit Hilfe von Computer-Modellen stellte der bedeutende theoretische Physiker Freeman J. Dyson [2005] fest:

»Die Modelle lösen die Gleichungen der Flüssigkeitsdynamik, und sie machen einen sehr guten Job in der Beschreibung der Bewegung der Flüssigkeiten der Atmosphäre und der Ozeane. Sie machen einen sehr schlechten Job in der Beschreibung der Wolken, des Staubes, der Chemie und der Biologie der Felder und der Farmen und Wälder. Sie haben noch nicht einmal damit begonnen, die reale Welt, in der wir leben, zu beschreiben. Die reale Welt ist schlammig und schmutzig und voll von Dingen, die wir nicht verstehen. Für einen Wissenschaftler ist es sehr viel einfacher, in einem vollklimatisierten Gebäude zu sitzen und Computer-Modelle laufen zu lassen, als sich in Winterklamotten zu packen und zu messen, was wirklich draußen passiert, in den Sümpfen und den Wolken. Das ist der Grund, weshalb die Klimamodell-Experten schließlich an ihre eigenen Modelle glauben.«

Es kann sogar gezeigt werden, dass selbst in den engen Grenzen der Theoretischen Physik mit oder ohne Strahlung die Dinge extrem komplex sind, so dass man schnell an einem Punkt ankommt, an dem verifizierbare Vorhersagen nicht mehr gemacht werden können. Solche Vorhersagen aber trotzdem zu machen, kann als eine *Flucht aus der Wissenschaft*, um nicht zu sagen, als *wissenschaftlicher Betrug* aufgefasst werden.

Wann die Vorhersagbarkeit aufhört, hängt von der Fragestellung ab. Beispiele:

- Auch ein relativ kleines Gasvolumen enthält sehr viele Moleküle. Selbst wenn alle Anfangsorte und alle Anfangsgeschwindigkeiten der Moleküle bekannt wären, wäre es schon nach kurzer Zeit unmöglich, die neuen Orte und Geschwindigkeiten zu bestimmen - und trotzdem werden mit Gasgesetzen sehr präzise Aussagen zu den Mittelwerten von Orten und Geschwindigkeiten gemacht.
- Entropien sind Wahrscheinlichkeitsaussagen. Daß man bei großem Umfang sehr erfolgreich Wahrscheinlichkeitsaussagen benutzen kann, beweisen z.B. Lotterien. Für den einzelnen Losschein folgt daraus Nichts. Um so größer die Menge ist, um so kleiner sind die relativen Abweichungen vom wahrscheinlichsten Wert. Auch der Entropiesatz ist so eine Wahrscheinlichkeitsaussage, bei dem Abweichungen vom wahrscheinlichsten Wert (ähnlich wie beim Lotto) immer vorhanden sind. Makroskopisch handelt es sich meistens um so große Teilchenkollektive, daß man die relativen Abweichungen vernachlässigen kann - so daß der Entropiesatz (II.HS) als uneingeschränkt gültig betrachtet werden kann. Geschichtliche Anekdote: Obwohl diese Zusammenhänge schon seit Boltzmann bekannt waren, glaubte Planck bis 1900, daß keine Abweichungen vom

Entropiesatz möglich wären. Erst mit dem Finden der theoretischen Erklärung seines Strahlungsgesetzes übernahm er Boltzmanns Ansichten.

- Seit dem Aufstellen der Quantentheorie weiß man, dass mikroskopisch nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich sind. Aber trotzdem sind in der Regel sehr präzise Aussagen möglich.
- Wettervoraussagen sind nur kurzfristig möglich (analog der Molekülbewegung in einem Gas). Trotzdem sind langfristige Mittelwertaussagen (Klima - analog Gasgesetze) möglich.

Im Folgenden werden die Erhaltungssätze der Magnetohydrodynamik besprochen. Es ist allgemein akzeptiert, dass ein Navier-Stokes-artiger Zugang oder eine vereinfachte Magnetohydrodynamik das Gerüst der klimatologischen Computer-Simulationen darstellt McGuffie und Henderson-Sellers [2006], Scaife u. a. [2007], Chorin und Marsden [1993]. In diesem Rahmen können weder die Strahlungsbudget-Gleichungen hergeleitet werden, noch strahlungsbedingte Wechselwirkungen in einer konsistenten Weise integriert werden. Daher wäre es konzeptuell notwendig, in das mikroskopische Regime überzugehen, welches beschrieben wird durch eine Nicht-Gleichgewichts-Multi-Spezies-Quantenelektrodynamik von Teilchen, einschließlich Bindungszuständen mit inneren Freiheitsgraden, wobei die reiche Struktur und Koexistenz von Phasen in der Betrachtung natürlicher Situationen berücksichtigt werden müsste. Von diesen nur formal skizzierbaren mikroskopischen *ab initio* Zugängen ist kein Weg der Vergrößerung bekannt, der zu einer Familie realistischer phänomenologischer Klima-Modelle führt Zichichi [2007].

4.2 Die Erhaltungssätze der Magnetohydrodynamik

Wieder so ein Verwischen zum Irritieren. Daß Luftbewegungen den Gesetzen der Hydrodynamik folgen ist unbestritten - aber warum »Magnetohydrodynamik«? Auch bei der Luftbewegung sind Mittelwertaussagen oft problemlos möglich - z.B. der Temperaturgradient in der Troposphäre - ca. 6,5 K/km.

4.2.1 Übersicht

Der Kern eines Klima-Modells muss ein Satz von Gleichungen sein, welches die Gleichungen der Bewegung von Fluiden beschreibt, nämlich die Navier-Stokes-Gleichungen Scaife u. a. [2007], Chorin und Marsden [1993]. Die Navier-Stokes-Gleichungen sind nichtlineare partielle Differentialgleichungen, die im Allgemeinen nicht analytisch gelöst werden können (und auch nicht immer gelöst werden müssen, wenn nur Mittelwerte interessieren). In ganz speziellen Fällen führen die numerischen Methoden zu nützlichen Resultaten, aber es gibt keine Systematik für den allgemeinen Fall. Hinzu kommt, dass der Navier-Stokes-Zugang auf Probleme mit vielen Komponenten ausgedehnt werden müsste, was die Analyse nicht vereinfacht.

Klima-Modellierer akzeptieren oft nicht, dass »Klimamodelle zu komplex und zu unsicher sind, um nützliche Projektionen⁹³⁾ des Klimawandels zu liefern« Mitchell [2007]. Vielmehr behaupten sie, dass »die gegenwärtigen Modelle sie befähigen würden, die Ursachen des Klimawandels in der Vergangenheit zuzuordnen und die wesentlichen Gesichtspunkte des zukünftigen Klimas mit einer hohen Zuverlässigkeit vorhersagen können« Mitchell [2007]. Dieser Anspruch (der nicht die beobachtbaren Größen spezifiziert, die Gegenstand der Vorhersage sind), steht offensichtlich im Widerspruch zu dem, was aus der theoretischen Meteorologie

⁹³⁾G&T verecheln hier wieder Modell und Projektion: Ein Modell liefert Aussagen bei bestimmten Eingaben - eine Projektion bedeutet politikabhängige Eingaben für die Modelle.

rologie bekannt ist, nämlich der Tatsache, dass die Vorhersagekraft der Wettervorhersage-Modelle ziemlich begrenzt ist und sein muss (das heißt bis auf einige Tage) Zdunkowski und Bott [2003].

Wieder so eine irritierende Vermischung von 2 verschiedenen Gebieten: Aus der Beschränktheit der Wettervorhersagemodelle folgt nicht automatisch die Unbrauchbarkeit der Klimamodelle. Dafür ein Beispiel aus der Physik: Druck, Temperatur eines Gases (äquivalent dem Klima) lassen sich sehr gut aus den Gasgleichungen berechnen. Diese Daten sind das Ergebnis der Teilchenbewegungen im Gas, die den Gesetzen der Mechanik und Quantentheorie gehorchen. Nach diesen Gesetzen ist es prinzipiell unmöglich die Entwicklung der Teilchenverteilung (äquivalent dem Wetter) längere Zeit vorherzusagen – aber Druck usw. lassen sich doch gut berechnen.

Die Nicht-Lösbarkeit von Navier-Stokes-artigen Gleichungen steht in Beziehung zu dem (aber ist nicht beschränkt auf den) chaotischen Charakter der Turbulenz. Aber das ist nicht der einzige Grund, weshalb die Klima-Modellierung nicht auf einer soliden Grundlage aufgebaut werden kann. Gleichmaßen bedeutend ist die Tatsache, dass ein vollständiger Satz von Gleichungen, welcher ein angemessenes Modell des atmosphärischen Systems (um nicht zu sagen, des atmosphärisch-ozeanischen Systems) darstellt, in seiner Gänze gar nicht bekannt ist.

Alle Modelle, die für eine »Simulation« benutzt werden, sind übervereinfacht. Was als »übervereinfacht« angesehen wird, hängt vom Standpunkt des Beurteilenden ab und von dem Zweck der Aussagen. Es liegt in der Natur der Sache, dass sie es sein müssen. Jedoch zeigt ein Satz übervereinfachter nichtlinearer partieller Differentialgleichungen im Allgemeinen ein völlig anderes Verhalten als ein realistischeres komplexeres System. Weil es keine Strategie für eine schrittweise Verfeinerung im Geiste der Renormierungs-(halb-)gruppe gibt, kann man keine sinnvollen Vorhersagen treffen. Die reale Welt ist zu komplex, um durch ein behandelbares System von Gleichungen, die auf dem Computer implementiert werden, geeignet dargestellt zu werden Zichichi [2007]. Die einzig sichere Aussage, die gemacht werden kann, ist, dass die Dynamik des Wetters wahrscheinlich durch eine verallgemeinerte Navier-Stokes-Dynamik beherrscht wird.

Offensichtlich müssen die elektromagnetischen Wechselwirkungen mit einbezogen werden, was direkt zur Disziplin der Magnetohydrodynamik (MHD) führen muss Davidson [2003], Gerlich [1970], Shu [1991], Shu [1992]. Diese Wechselwirkungen sind seit Einstein Einstein [1916 bzw. 1917] bekannt und bilden die Grundlage der Strahlungstransportgleichungen - und die sind auch nach den Aussagen von G&T »physikalisch wohlbegründet« - siehe Kapitel 3.5.5 auf Seite 66. Warum also die Strahlungstransportgleichung neu erfinden? Diese mag als ein Satz von Gleichungen aufgefasst werden, welche alle wesentliche Physik von Flüssigkeit, Gas und Plasma beschreibt.

Im Folgenden werden diese wesentlichen Gleichungen besprochen. Dahinter steckt zweierlei Absicht (»Absicht« ist gut begründet: nämlich den Leser zu verwirren):

- Erstens sollte eine Bestandsaufnahme darüber gemacht werden, welche Budget-Gleichungen im Falle atmosphärischer physikalischer Systeme wirklich existieren.
- Zweitens sollte die Frage diskutiert werden, wie der mutmaßliche Treibhaus-Mechanismus in den Gleichungen auftaucht und **wo genau** die Kohlendioxid-Konzentration erscheinen muss. Auch das ist bekannt - nämlich die Höhe der Tropopause aus den Strahlungstransportgleichungen (siehe Kapitel 3.5.5 auf Seite 66 in Verbindung mit dem Schwarzschild-Kriterium [Schwarzschild, 1906, Abschnitt 3.]

Unglücklicherweise scheint (für Kritiker mit nicht nachvollziehbaren Absichten) gerade der letztere Aspekt in den Mainstream-Zugängen zur Globalklimatologie verschleiert zu sein.

4.2.2 Erhaltung der elektrischen Ladung

Wie üblich, wird die Erhaltung der elektrischen Ladung durch die Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial \varrho_e}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = 0 \quad (124)$$

beschrieben, wobei ϱ_e die elektrische (Überschuss-) Ladungsdichte und \mathbf{j} den (externen) Strom bezeichnen.

4.2.3 Erhaltung der Masse

Die Erhaltung der Masse ist durch eine weitere Art der Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial \varrho}{\partial t} + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v}) = 0 \quad (125)$$

beschrieben, wobei ϱ die Massendichte und $\varrho \mathbf{v}$ die Massenstromdichte bezeichnen.

4.2.4 Die Maxwell-Gleichungen

Die elektromagnetischen Felder werden durch die Maxwellschen Feldgleichungen beschrieben

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \varrho_e \quad (126)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (127)$$

$$(128)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (129)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (130)$$

wobei wir die Standard-Notation verwenden. Sie müssen durch die Materialgleichungen

$$\mathbf{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \mathbf{E} \quad (131)$$

$$\mathbf{B} = \mu \mu_0 \mathbf{H} \quad (132)$$

ergänzt werden, wobei ε und μ als konstant in Raum und Zeit angenommen werden, eine Annahme, die schon von Maxwell gemacht worden war.

4.2.5 Das Ohmsche Gesetz für bewegte Medien

Der elektrische Transport wird durch das Ohmsche Gesetz für bewegte Medien

$$\mathbf{j} - \varrho_e \mathbf{v} = \boldsymbol{\sigma} (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (133)$$

wobei $\boldsymbol{\sigma}$ der elektrische Leitfähigkeitstensor ist. Ausgedrückt in Termen des elektrischen Widerstandstensors $\boldsymbol{\rho}$ liest sich dies als

$$\boldsymbol{\rho} (\mathbf{j} - \varrho_e \mathbf{v}) = \mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (134)$$

4.2.6 Die Gleichungen für die Impulsbilanz

Die Erhaltung des Impulses wird beschrieben durch eine Impulsbilanzgleichung, auch bekannt als Navier-Stokes-Gleichung

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varrho \mathbf{v}) + \nabla \cdot (\varrho \mathbf{v} \otimes \mathbf{v}) = -\nabla p - \varrho \nabla \Phi + \varrho_e \mathbf{E} + \mathbf{j} \times \mathbf{B} + \nabla \cdot \mathbf{R} + \mathbf{F}_{ext} \quad (135)$$

wobei \mathbf{v} das Vektorfeld der Geschwindigkeit, p das Druckfeld, Φ das Gravitationspotential, \mathbf{R} der Reibungstensor und \mathbf{F}_{ext} die externen Kraftdichten sind, welche die Coriolis- und Zentrifugal-Beschleunigungen beschreiben können.

4.2.7 Die Gleichungen für die Gesamtenergiebilanz

Die Erhaltung der Energie wird beschrieben durch

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\varrho}{2} |\mathbf{v}|^2 + \frac{1}{2} \mathbf{H} \cdot \mathbf{B} + \frac{1}{2} \mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \varrho \Phi + \varrho u \right) + \\ + \nabla \cdot \left(\frac{\varrho}{2} |\mathbf{v}|^2 \mathbf{v} + \mathbf{E} \times \mathbf{H} + \varrho \Phi \mathbf{v} + \varrho u \mathbf{v} + p \mathbf{v} - \mathbf{v} \cdot \mathbf{R} + \boldsymbol{\lambda} \cdot \nabla T \right) = \\ = \varrho \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \mathbf{F}_{ext} \cdot \mathbf{v} + \mathbf{Q} \end{aligned} \quad (136)$$

wobei u die Dichte der inneren Energie, T das Temperaturfeld und $\boldsymbol{\lambda}$ der thermische Leitfähigkeitstensor ist. Außerdem ist der Term \mathbf{Q} hinzugefügt worden, der die Verteilung einer Wärmedichtequelle bzw. Wärmedichtesenke beschreibt.

4.2.8 Der Poyntingsche Satz

Für Maxwell'sche Gleichungen mit raumzeit-unabhängigen ε und μ erhält man folgende Relation

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \mathbf{H} \cdot \mathbf{B} + \frac{1}{2} \mathbf{E} \cdot \mathbf{D} \right) + \nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) = -\mathbf{j} \cdot \mathbf{E} \quad (137)$$

Diese Relation ist eine Bilanzgleichung. Das Poyntingsche Vektorfeld $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$ kann als die Energiestromdichte für das elektromagnetische Feld interpretiert werden.

4.2.9 Die Konsequenzen der Erhaltungssätze

Indem man das Ohmsche Gesetz für bewegte Medien (Gleichung (134) auf der vorherigen Seite)) mit $(\mathbf{j} - \varrho_e \mathbf{v})$ multipliziert, erhält man

$$\begin{aligned} (\mathbf{j} - \varrho_e \mathbf{v}) \boldsymbol{\rho} (\mathbf{j} - \varrho_e \mathbf{v}) &= \mathbf{j} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{j} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) - \varrho_e \mathbf{v} \cdot \mathbf{E} \\ &= \mathbf{j} \cdot \mathbf{E} - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{j} \times \mathbf{B}) - \varrho_e \mathbf{v} \cdot \mathbf{E} \end{aligned} \quad (138)$$

was umgeschrieben werden kann als

$$\mathbf{j} \cdot \mathbf{E} = (\mathbf{j} - \varrho_e \mathbf{v}) \boldsymbol{\rho} (\mathbf{j} - \varrho_e \mathbf{v}) + \mathbf{v} \cdot (\mathbf{j} \times \mathbf{B}) + \varrho_e \mathbf{v} \cdot \mathbf{E} \quad (139)$$

Eingesetzt in Poyntings Theorem (Gleichung (137)) erhält man

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \mathbf{H} \cdot \mathbf{B} + \frac{1}{2} \mathbf{E} \cdot \mathbf{D} \right) + \nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) &= \\ &= -(\mathbf{j} - \varrho_e \mathbf{v}) \boldsymbol{\rho} (\mathbf{j} - \varrho_e \mathbf{v}) - \mathbf{v} \cdot (\varrho_e \mathbf{E} + \mathbf{j} \times \mathbf{B}) \end{aligned} \quad (140)$$

Auf der anderen Seite, wenn man das Skalarprodukt mit \mathbf{v} auf die Balancegleichung für den Impuls anwendet (135) erhält man

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\rho}{2} |\mathbf{v}|^2 \right) + \nabla \cdot \left(\frac{\rho}{2} |\mathbf{v}|^2 \mathbf{v} \right) = \\ = - \mathbf{v} \cdot \nabla p - \rho \mathbf{v} \cdot \nabla \Phi + \mathbf{v} \cdot (\rho_e \mathbf{E} + \mathbf{j} \times \mathbf{B}) + \mathbf{v} \cdot (\nabla \cdot \mathbf{R}) + \mathbf{v} \cdot \mathbf{F}_{ext} \end{aligned} \quad (141)$$

Ersetzt man $\mathbf{v} \cdot (\rho_e \mathbf{E} + \mathbf{j} \times \mathbf{B})$ durch Gleichung (140 auf der vorherigen Seite) erhält man nach einigen elementaren Manipulationen schließlich

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\rho}{2} |\mathbf{v}|^2 + \frac{1}{2} \mathbf{H} \cdot \mathbf{B} + \frac{1}{2} \mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \rho \Phi \right) + \\ + \nabla \cdot \left(\frac{\rho}{2} |\mathbf{v}|^2 \mathbf{v} + \mathbf{E} \times \mathbf{H} - \mathbf{v} \cdot \mathbf{R} + p \mathbf{v} + \rho \Phi \mathbf{v} \right) = \\ = p \nabla \cdot \mathbf{v} + \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \text{Spur}((\nabla \otimes \mathbf{v}) \cdot \mathbf{R}) - (\mathbf{j} - \rho_e \mathbf{v}) \rho (\mathbf{j} - \rho_e \mathbf{v}) + \mathbf{F}_{ext} \cdot \mathbf{v} \end{aligned} \quad (142)$$

So ist diese Relation eine Konsequenz der fundamentalen Gleichungen der Magnetohydrodynamik. Der Quellterm für die Wärmedichte \mathbf{Q} der Term für die Dichte der inneren Energie u und die Divergenz für den Wärmestrom \mathbf{q} fehlen hier der Einfachheit halber.

4.2.10 Die verallgemeinerte Wärmeleitungsgleichung

Mit

$$du = \frac{p}{\rho^2} d\rho + T ds \quad (143)$$

für reversible Prozesse⁹⁴⁾ (beim Treibhauseffekt handelt es sich aber nicht um einen reversiblen Prozeß) kann man die Dichte der inneren Energie u auf die Dichte der Entropie s reduzieren. Mit Hilfe der Gleichung (136 auf der vorherigen Seite) und Gleichung (142) leitet man eine Differentialgleichung für die Entropiedichte s ab:

$$\frac{\partial \rho s}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho s \mathbf{v}) = \frac{1}{T} \text{Spur}((\nabla \otimes \mathbf{v}) \cdot \mathbf{R}) + \frac{1}{T} (\mathbf{j} - \rho_e \mathbf{v}) \rho (\mathbf{j} - \rho_e \mathbf{v}) - \frac{1}{T} \nabla \cdot (\boldsymbol{\lambda} \cdot \nabla T) + \frac{\mathbf{Q}}{T} \quad (144)$$

Dies ist die verallgemeinerte Form der Wärmeleitungsgleichung.

Nur mit künstlichen Wärmedichten \mathbf{Q} in Gleichung (144) und Gleichung (136 auf der vorherigen Seite) kann man eine hypothetische Erwärmung durch Strahlung einbeziehen. **Es gibt keinen Term, der von der Konzentration von Kohlendioxid abhängt.** Erstens kann die CO_2 -Konzentration in den Tensoren enthalten sein und zweitens ist das belanglos, weil es sich beim Treibhauseffekt nicht um einen reversiblen Prozeß handelt, wie er in diesem Abschnitt vorausgesetzt wurde.

4.2.11 Diskussion

Die oben diskutierten Gleichungen umfassen nur ein System von Ein-Flüssigkeitsgleichungen. Man kann (und muss) natürlich Viel-Flüssigkeitsgleichungen niederschreiben. Hinzu kommen

⁹⁴⁾ Warum werden hier reversible Prozesse betrachtet, wo doch bekannt ist, daß beim Treibhauseffekt irreversible Verhältnisse vorliegen: Die abgegebene Strahlung der Erde hat eine viel größere Entropie als die ankommende Solarstrahlung.

außerdem die gemittelten Gleichungen, welche die Turbulenz beschreiben. Um ein realistisches Modell der echten Welt zu erhalten, *müssen* die oben diskutierten Gleichungen so verallgemeinert werden, dass sie

- die Abhängigkeit aller relevanten Koeffizienten von Raum und Zeit,
- die Gegenwart und Koexistenz verschiedener Arten von Flüssigkeiten und Gasen,
- die Inhomogenitäten der Medien, die Mischung und Trennung der Phasen mit einschließen.

Erstens, warum *müssen* nur die von *G&T* ausgewählten Gleichungen erfüllt sein? Bzw. warum werden nicht die vereinfachten, aber vollkommen ausreichenden Gleichungen wie allgemeine Gasgleichung, Adiabatengleichung, Strahlungstransportgleichung (Kapitel 3.5.5 auf Seite 66 und Schwarzschildkriterium genannt)?

Prinzipiell wären solche Verallgemeinerungen machbar, wenn man die Bereiche der Definition in Stücke zerlegt und die Gleichungen durch die Methode der Patches (Stücke) behandelt, welche geeignete Verträglichkeitsbedingungen untereinander berücksichtigen. So wird der endgültige Grad der Komplexität viel größer sein als der ursprünglich erwartet. Man gelangt schließlich zu einem System von Tausenden von phänomenologischen Gleichungen. Gerlich [1976], Gerlich und Kagermann [1977], Emmerich u. a. [1978]. Es kann nicht überbetont werden, dass selbst, wenn diese Gleichungen beträchtlich vereinfacht werden, man keine numerischen Lösungen bestimmen kann, selbst für kleine Regionen im Raum und kleine Intervalle in der Zeit. Diese Situation wird sich auch nicht in den nächsten 1000 Jahren ändern, ungeachtet dem Fortschritt, der in der Entwicklung der Computer-Hardware gemacht wird. So können Globalklimatologen Anträge (sog. Proposals) zur Akquise von Forschungsmitteln *ad infinitum* schreiben, um Supercomputer der jeweils nächsten Generation zu beantragen.

- Wenn schon die extrem vereinfachten Einflüssigkeitsgleichungen unlösbar sind, dürften die Vielflüssigkeitsgleichungen noch viel unlösbarer sein.
- Die Gleichungssysteme aber, die noch die Gleichungen für die Mittelwerte der Turbulenz enthalten, noch einmal viel unlösbarer, falls »unlösbar« eine Steigerung hätte.

Abgesehen von dem gewählten Niveau der Komplexität stellen diese Gleichungen das Rückgrat der Simulationen des Klimas dar, oder, in anderen Worten ausgedrückt, die Grundlage von Modellen über die Natur. *Aber selbst das ist nicht wahr.* In diesen Computersimulationen werden Wärmeleitung und Reibung komplett vernachlässigt (*falsch, die Stärke des Wärmestroms durch Wärmeleitung ist klein gegenüber den relevanten Wärmeströmen und die Reibung wird nicht vernachlässigt, sondern über die Mittelwerte der Turbulenz einbezogen*), weil sie mathematisch durch partielle Differentialgleichungen der zweiten Ordnung beschrieben werden, die nicht auf Gittern mit weiten Maschen repräsentiert werden können. Daher basieren die Computer-Simulationen der Globalklimatologie **nicht auf physikalischen Gesetzen**. So ein Unsinn. Weil G&T den Treibhauseffekt nicht verstehen (trotz ihres physikalischen Wissens) bzw. mit ihrem physikalischen Wissen andere täuschen wollen stellen sie unsinnige Behauptungen auf.

Das gleiche gilt für die Spekulationen über den Einfluss des Kohlendioxids:

- Obwohl das elektromagnetische Feld in den MHD-artigen global-klimatologischen Gleichungen steckt, gibt es keine Terme, die der Absorption der elektromagnetischen Strahlung entsprechen. *Da aber zweifellos elektromagnetische Strahlung absorbiert wird, fehlt also diesen Gleichungen Wesentliches – nämlich z.B. die Einbeziehung der Einsteingleichungen.* (Siehe auch Kapitel 4.1 auf Seite 120)
- Es ist sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, den Punkt in den MHD-artigen Gleichungen zu finden, wo die Konzentration des Kohlendioxids ins Spiel eintritt. *Da den Gleichungen Wesentliches fehlt (siehe erster Punkt) ist das nicht verwunderlich.*
- Es ist unmöglich, die Strahlungstransport-Gleichung (§9 auf Seite 66) in die MHD-

artigen klimatologischen Gleichungen zu integrieren. Da den Gleichungen Wesentliches fehlt (siehe erster Punkt) ist das nicht verwunderlich.

- Offenbar gibt es keine Referenz in der Literatur, in der die Kohlendioxid-Konzentration in MHD-artigen klimatologischen Gleichungen implementiert wird. Warum auch? Siehe erster Punkt.

Da Wesentliches vernachlässigt wurde, ist die folgende Schlußfolgerung nicht überraschend.

So bleibt nur noch die Möglichkeit, eine hypothetische Erwärmung durch Strahlung als künstliche Wärmequelle Q per Hand in Gleichung (144 auf Seite 125) hineinzustecken. Aber dieses wäre dazu äquivalent, die »politisch korrekte These« der menschengemachten Erhöhung der Temperatur schon von Beginn an zu postulieren und sich dabei eine zusätzliche triviale Berechnungen zu sparen.

Im Falle der partiellen Differentialgleichungen sind es die Randbedingungen, die - mehr als die Gleichungen selbst - die Lösungen bestimmen. In der Natur gibt so viele unterschiedliche Transportvorgänge: Strahlungstransport, Wärmetransport, Impulstransport, Massentransport, Energietransport etc., und die verschiedensten Arten von Grenzschichten, statische und bewegte, zwischen Festkörpern, Flüssigkeiten, Gasen und so weiter, für die man die Randbedingungen nicht einmal niederschreiben kann Bouali [2006], Safran [1994].

Mit den »genäherten« diskretisierten Gleichungen werden künstliche unphysikalische Randbedingungen⁹⁵⁾ eingeführt, um zu verhindern, dass das System nicht in unphysikalische Zustände läuft (mit anderen Worten: alle Zustände sind physikalisch). Solch eine »Berechnung«, die ein beliebiges Resultat liefert (falsche Behauptung), ist keine Berechnung im Sinne der Physik, und somit im Sinne der Wissenschaft. Und es gibt keinen Grund, anzunehmen, dass die Globalklimatologen diese fundamentalen wissenschaftlichen Fakten nicht kennen! Trotzdem erheben sie in ihren Zusammenfassungen für Politiker den Anspruch, sie könnten den Einfluss des Kohlendioxid auf die Klimaten berechnen.

Die aufgestellten Gleichungen sind teilweise unnötig komplex, andererseits fehlen wesentliche Zusammenhänge. Z.B. sind die Einsteingleichungen nicht einbezogen, die wesentlich für die Wechselwirkung Gas ./ Strahlung sind und deswegen entsteht z.B. die Künstlichkeit der Einführung von Q . Insofern bringen diese Gleichungen kaum einen Beitrag für die Klimauntersuchung. (Siehe auch Kapitel 4.1 auf Seite 120.)

4.3 Wissenschaft und die Modellierung des Globalklimas

4.3.1 Wissenschaft und das Demarkationsproblem

Unter Wissenschaft versteht man jedes System zur Gewinnung objektiven Wissens auf der Grundlage der wissenschaftlichen Methode und einer organisierten Gesamtheit von Kenntnissen ... [2007b], Anonymous [2007g].

Im Wesentlichen gibt es drei Kategorien von Wissenschaften, nämlich

- formale Wissenschaften (Mathematik),
- Naturwissenschaften (Physik, Chemie, Biologie)
- Gesellschaftswissenschaften

In den Naturwissenschaften hat man zu unterscheiden zwischen

- *einer Theorie*: ein logisch selbst-konsistenter (in sich schlüssiger) Rahmen, der auf fundamentalen Prinzipien basiert, um das Verhalten bestimmter Naturerscheinungen zu beschreiben;

⁹⁵⁾ die Randbedingen sind sehr wohl physikalisch bekannt (die Temperatur der Erdoberfläche und die Strahlung aus dem Weltraum fast 0 - Temperatur der Hintergrundstrahlung um 3 K - und für prinzipielle Betrachtungen ist gar keine Diskretisierung notwendig - siehe Schwarzschild [1906])

- *einem Modell*: ein schwächeres Konzept als eine Theorie, das nur bestimmte Aspekte von Naturerscheinungen abdeckt und typischerweise auf einer vereinfachten Arbeitshypothese basiert;
- *einem Naturgesetz*: eine wissenschaftliche Verallgemeinerung basierend auf einer großen Zahl empirischer Beobachtungen, die hinreichend verifiziert sind.
- *einer Hypothese*: eine Behauptung, die weder bewiesen noch durch ein Experiment ausgeschlossen ist oder falsifiziert ist durch Widerspruch zu etablierten Naturgesetzen.

Ein *Konsens*, exakt formuliert ein *Konsens über eine Hypothese*, ist eine Begriffsbildung, die außerhalb der Naturwissenschaften liegt, weil ein Konsens für die objektive Richtigkeit eines physikalischen Gesetzes völlig irrelevant ist:

Wissenschaftlicher Konsens ist wissenschaftlicher Nonsens.

Das *Demarkationsproblem* (Abgrenzungsproblem) besteht darin, eine Grenzlinie um die Wissenschaft zu ziehen, das heißt,

- Wissenschaft von Religion abzugrenzen;
- Wissenschaft von Pseudo-Wissenschaft (das sind betrügerische Systeme, die sich als Wissenschaft ausgeben) abzugrenzen;
- Wissenschaft von Nicht-Wissenschaft im Allgemeinen abzugrenzen;

siehe z.B. ... [2007b], Anonymous [2007c]. In der Wissenschaftstheorie werden verschiedene Zugänge zur Definition der Wissenschaft diskutiert ... [2007b], Anonymous [2007g]:

- *Empirismus*⁹⁶⁾ (*Wiener Kreis*): nur Aussagen über empirische Beobachtungen haben eine Bedeutung, das heißt, wenn eine Theorie verifizierbar ist, dann ist sie wissenschaftlich;
- *Falsifikationismus* (*Popper*): Wenn eine Theorie falsifizierbar ist, dann ist sie wissenschaftlich.
- *Paradigmenwechsel* (*Kuhn*): Im normalen wissenschaftlichen Prozess entstehen Anomalien, die schließlich zu einer Krise führen, aus der ein neues Paradigma erwächst. Die Akzeptanz des neuen Paradigma durch die Wissenschaft (auch verstanden als die Gemeinschaft der Wissenschaftler) kennzeichnet eine neue Demarkationslinie zwischen Wissenschaft und Pseudo-Wissenschaft.
- *Demokratischer bzw. anarchistischer Zugang zu Wissenschaft* (*Feyerabend*): Wissenschaft ist keine autonome Form der Argumentation, sondern untrennbar mit der viel größeren Körperschaft des menschlichen Denkens und Fragens verbunden: »Alles ist erlaubt«.

Oberflächlich betrachtet, könnte der letzte Punkt als ein Argument aufgefasst werden, welches die Computer-Modellierer geradezu sympatisch erscheinen lassen muss. Jedoch ist es sehr fraglich, ob es tatsächlich in den Rahmen der Physik passt. Svozil bemerkte, dass Feyerabends Verständnis von Physik recht oberflächlich war Svozil [2004]. Svozil betont:

»Sowohl wegen der Komplexität des Formalismus als auch wegen der sich durch die Befunde ergebenden neuen Herausforderungen, welche die Philosophie links liegen lassen, haben die Physiker in einem sehr allgemeinen Rahmen ihrem Thema eine eigene Bedeutung zugewiesen.«

Physik stellt ein Fundament für die Ingenieurwissenschaften, für Produktion und Wirtschaft dar. So ist der Bürger mit der folgenden Alternative (im eigentlichen Sinne des Wortes als Wahl zwischen zwei Optionen) konfrontiert:

- (a) entweder zu akzeptieren, dass politische und ökonomische Entscheidungen aus einem anarchischen Standpunkt abgeleitet werden, der behauptet, dass es eine Verbindung zu

⁹⁶⁾auch logischer Positivismus oder Verifikationismus genannt

Experiment, Beobachtung und damit der realen Welt gibt, wenn eine solche Verbindung objektiv nicht besteht;

- (b) oder die Ableitung von politischen und wirtschaftlichen Entscheidungen von überprüfbareren Forschungsergebnisse im Rahmen der Physik abhängig zu machen, wo eine Verbindung von Experiment und Beobachtung, und somit der realen Welt besteht.

Offensichtlich definiert die Option (b) einen pragmatischen Zugang zur Wissenschaft. Es ist ein Minimum gemeinsamer Merkmale, auf die sich Ingenieure, Manager und Politiker stützen können. Im Rahmen der exakten Wissenschaften sollte eine Theorie

- (a) logisch konsistent sein;
- (b) mit Beobachtungen verträglich sein;
- (c) auf der Grundlage empirischer Evidenz (der Erfahrung) stehen;
- (d) sparsam in der Anzahl der Annahmen sein;
- (e) die Phänomene (Erscheinungen) erklären;
- (f) in der Lage sein, Vorhersagen zu machen;
- (g) falsifizierbar und überprüfbar sein,
- (h) mindestens für Fachkollegen reproduzierbar sein,
- (i) korrigierbar sein;
- (j) verfeinerbar sein;
- (k) vorläufig sein;
- (l) verständlich für andere Wissenschaftler sein.

Alle diese Punkte sind in den Erklärungen zum Klima vollständig erfüllt - und das seit über 100 Jahren. Angefangen von Fourier [1824b], über Tyndall [1861], Schwarzschild [1906], Gold [1909] und etwas später Milne [1928]. Da waren noch gar keine Computer-Modelle verwendet.

Können diese Kriterien von Computer-Modellen im Rahmen der globalen Klimatologie jemals erfüllt werden? Jein: Das Vierfarbenproblem wurde mit einem Computerprogramm gelöst, die Vielzahl der Spektrallinien dürfte immer einen Computer benötigen, die grundsätzlichen Probleme sollten aber nachvollziehbar sein. Außerdem sollte der Zugang vom Klima herkommen und nicht vom Wetter, obwohl auch über eine Wetterrechnung brauchbare Ergebnisse zu erhalten sind. Als Vergleich nimmt der Autor immer die Gasgesetze: Man kann die Druckentwicklung über die Molekülbahnen der Gasteilchen mit ihren Zusammenstößen (Impulsänderung) berechnen. Obwohl die Bahnkurven schon nach kurzer Zeit nicht mehr mit den realen Teilchenbahnen übereinstimmen dürften (analog Wetterentwicklung), sind doch die Mittelwerte Druck usw. (analog Klima) hinreichend in der Übereinstimmung. Trotzdem wird kaum jemand so die Druckentwicklung ausrechnen, sondern direkt auf die Gasgesetze zugreifen.

4.3.2 Bewertung der Klimatologie und der Klimamodellierung

Im Kontrast zur Meteorologie untersucht die Klimatologie das gemittelte Verhalten des lokalen Wetters. Es gibt verschiedene Teilgebiete, wie zum Beispiel die Paläoklimatologie, die historische Klimatologie oder jene Klimatologie, die sich statistischer Verfahren bedient. Sie alle passen mehr oder minder in den Bereich der Wissenschaft. Das Problem ist, wie die Klimamodellierung einzuordnen ist, insbesondere wenn sie sich auf der einen Seite auf die chaotische Dynamik bezieht, auf der anderen Seite auf die Treibhaus-Hypothese. Zu dem Zusammenhang Chaos und Mittelwert hat sich schon Schwarzschild [1906] geäußert.

Die Gleichungen, die in Kapitel 4.2 auf Seite 121 diskutiert wurden, mögen eine Idee davon geben, wie die endgültigen Gleichungen für das atmosphärische und/oder das ozeanische System auszusehen haben. Es wurde schon hervorgehoben, dass die Gleichungssysteme in einer realistischeren, wenn auch immer noch phänomenologischen Beschreibung riesig sein

werden. Aber selbst wenn man die Struktur der Gleichungen vereinfacht, kann man ihre Lösungen nicht numerisch bestimmen, und dies wird sich nicht ändern, wenn man sich auf kleine Raum-Zeit-Bereiche beschränkt.

Es gibt ernste Fragen der Lösbarkeit in der Theorie der nicht-linearen partiellen Differentialgleichungen. Der Mangel an numerischen Rezepten, die zu hinreichend genauen Resultaten führen, wird in näherer und ferner Zukunft aus fundamentalen mathematischen Gründen bestehen bleiben. Die Navier-Stokes-Gleichungen sind so etwas wie der heilige Gral der Theoretischen Physik. Brute-Force-(rohe Gewalt-)Diskretisierung mit Hilfe von Gittern mit weiten Maschen führt zu Modellen, die nichts mit dem Original-Puzzle zu tun haben. Sie haben damit keinen Vorhersagewert. **Es kommt immer auf die Zusammenhänge an. Z.B. kann der Strömungswiderstand einer turbulenten Strömung in einem Rohr angegeben werden, ohne Aussagen über die Bewegung einzelner Strömungsteilchen machen zu können (Stichwort Reynoldszahl Wallén [1981]).** Auch für die Übertragung von Strömungsmessungen an Modellen auf das Original hat sich die Reynoldszahl bewährt. Der Wert der Reynoldszahl wird auch durch eine charakteristische Länge bestimmt. Beim Klima dürfte das die Höhe (der Druck) der Tropopause sein. Da beim Anstieg der CO₂-Konzentration die Tropopausenhöhe steigt, bedeutet das ein Ansteigen der Reynoldszahl - d.h. die Turbulenz nimmt zu. Ein Ansteigen der Turbulenz kann eine Zunahme der Extremwetter bewirken.

Das die Tropopausenhöhe ansteigt (wird tatsächlich gemessen) hat auch eine dickeren Kanal vom Äquatorbereich zum Polbereich zur Folge. Mit dem dickeren Kanal nimmt auch der Wärmetransport vom Äquatorbereich zum Polbereich zu.

In Problemen, die partielle Differentialgleichungen beinhalten, bestimmen die Randbedingungen die Lösungen mehr als die Gleichungen selbst. Die Einführung einer Diskretisierung entspricht einer Einführung von künstlichen Randbedingungen, eine Prozedur, die am besten durch von Storch's Feststellung charakterisiert wird: »Die Diskretisierung ist das Modell« von Storch [2005]. In diesem Kontext wäre die korrekte Aussage eines mathematischen oder theoretischen Physikers: »Eine Diskretisierung ist ein Modell mit unphysikalischen Randbedingungen.« Diskretisierungen von Kontinuumsproblemen sind erlaubt, wenn es zugleich eine Strategie gibt, schrittweise Verfeinerungen zu berechnen. Ohne eine solche Renormierungsgruppenanalyse führt eine endliche Approximation nicht zu einer physikalischen Schlussfolgerung. In Ref. von Storch [2005] jedoch machte von Storch deutlich, dass dies in keiner Weise seine Strategie ist: Er nimmt die Gleichungen mit endlichen Differenzen so, wie sie sind. Die würde ein grotesker Standpunkt sein, wenn man die Wärmeleitungsgleichung betrachtete, die übrigens größte Bedeutung für das vorliegende Problem hat. **Die Wärmeleitungsgleichung spielt beim Treibhauseffekt fast keine Rolle außer ein paar mm über der Oberfläche.** Sie ist eine partielle Differentialgleichung zweiter Ordnung und kann nicht durch ein Modell endlicher Differenzen ersetzt werden, bei dem die Gitterkonstanten von der Größenordnung einiger Kilometer sind.

Allgemein gesprochen: Es ist *unmöglich*, Differentialgleichungen für die gemittelten Funktionen und somit eine nicht-lineare Dynamik von Mittelwerten zu formulieren Gerlich [1976], Gerlich und Kagermann [1977], Emmerich u. a. [1978], Gerlich und Wulbrand [1978]. **Beispiel für oft gebrauchte Mittelwertfunktionen: die Gasgesetze (einschließlich der Navier-Stokes-Gleichungen), die betreffs der Molekülbahnen der Gasteilchen Mittelwertgleichungen sind.**

So gibt es keine physikalische Begründung der Computer-Modelle für das »globale Klima«, für die immer noch das Chaos-Paradigma gilt: Selbst im Falle der wohlbekanntesten deterministischen Dynamik gilt: Nichts ist vorhersagbar Lorenz [1963]. Dass die Diskretisierung weder eine physikalische, noch eine mathematische Basis hat, ist eine Lektion, die man schon in der Diskussion der logistischen Differentialgleichung lernt. Deren Kontinuumslösungen un-

terscheiden sich fundamental von den Lösungen des diskreten Modells Draper und Smith [1998], Sprott [2003].

Die moderne globale Klimatologie hat Fakt und Phantasie durcheinander gebracht und tut dies weiterhin, indem sie das Konzept des Szenario eingeführt hat, welches das Konzept des (prognosefähigen) Modells ersetzt, siehe zum Beispiel Ref. Nakićenović u. a. [2000]. Eine klare Definition, was Szenarien sein sollen, findet sich in der folgenden Textpassage:

»Zukünftige Treibhausgasemissionen sind das Produkt von sehr komplexen dynamischen Systemen, die durch treibende Kräfte wie die demographische Entwicklung, die sozio-ökonomische Entwicklung und den technologischen Wandel bestimmt werden. Die zukünftige Entwicklung ist völlig unsicher. Szenarios sind alternative Bilder, wie die Zukunft sich entwickeln könnte, und sind ein geeignetes Werkzeug, wie die treibenden Kräfte die zukünftigen Emissionswerte beeinflussen und wie man die damit verknüpften Unsicherheiten bestimmen kann. Sie unterstützen die Analyse des Klimawandels, einschließlich der Klimamodellierung und der Bewertung der Auswirkungen, der Anpassung und des Klimaschutzes. Die Möglichkeit, das ein einzelner Emissionspfad, wie er in den Szenarien beschrieben ist, tatsächlich eintritt, ist in höchstem Maße unsicher.

Szenario bedeutet keine Unsicherheit in der Auswirkung (die wird mit dem Modell erfaßt), sondern die Unsicherheit, welche Mengen an CO₂ in die Modelle einzugeben sind, weil diese Mengen politikabhängig sind. Das ist das gleiche Problem wie bei einer Bevölkerungsprognose, da arbeitet man auch mit Szenarien Statistisches Bundesamt [2007] wegen der Politik. Das Szenario ersetzt nicht das Modell, sondern liefert Eingabewerte für das Modell.

Offensichtlich ist dies die Beschreibung einer pseudo-wissenschaftlichen (das heißt nicht-wissenschaftlichen) Methode durch die Experten des IPCC. Die nächste Meta-Ebene jenseits der Methode der Physik wäre eine Umfrage unter Wissenschaftlern, die allerdings schon von Hans von Storch durchgeführt wurde Bray und von Storch [2007]. Am Ende steht dann eine demokratische Abstimmung über die Gültigkeit eines physikalischen Gesetzes. Exakte Wissenschaften werden ersetzt durch eine soziologische Methode unter Anwendung statistischer Feldanalysen oder gar durch »demokratische« Regeln der Ordnung. Im vorhergehenden Text werden zwei Aspekte nicht sauber getrennt: die Unsicherheit der Eingabewerte in die Modelle als Folge politischer Entscheidungen und die Qualität der Modelle, die wissenschaftlichen Kriterien zu genügen haben. Dieses passt zur Definition von Wissenschaft, die auf der »wissenschaftlichen« Website *RealClimate.org* gepflegt wird, in der Hetze, persönliche Angriffe und die Beleidigungen von Autoren Teil des »wissenschaftlichen« Arbeitsflusses geworden sind.

4.3.3 Schlussfolgerung

Einer statistischen Analyse von Vorgängen in der Natur, egal, wie anspruchsvoll sie ist, müssen physikalische Modelle zugrunde liegen. Wenn aber die letzteren *schlicht falsch* sind, dann führt die Analyse zu *gar nichts*. Man kann nicht etwas entdecken oder zuordnen, was aus prinzipiellen Gründen nicht existiert - wie der atmosphärische CO₂-Treibhauseffekt! Der Treibhauseffekt existiert – nur für das Paper von G&T existiert er nicht, weil sie auf Grundlagenwissen wie die Einsteingleichungen verzichten Einstein [1916 bzw. 1917]. (Siehe auch Kapitel 4.1 auf Seite 120)

Es gibt so viele ungelöste und unlösbare Probleme der Nicht-Linearität, und die Computer-Klimatologen glauben offensichtlich, sie alle mit lächerlich groben Näherungen erschlagen zu

können. Dies führt zwangsläufig zu unphysikalischen Resultaten, die nachträglich durch mystische Methoden korrigiert werden müssen - Flusskontrolle in der Vergangenheit, obskure »Ensemble«-Mittelwerte über die Resultate⁹⁷⁾ verschiedener Klimainstitute in der Gegenwart, oder gar, indem man Resultate, die wider Erwarten eine globale Kühlung zeigen, einfach per Hand ausschließt Stainforth u. a. [2005]. Dieses setzt die vom Treibhaus inspirierten global-klimatologische Tradition der *physikalisch bedeutungslosen* Mittelwerte und der *physikalisch bedeutungslosen* Anwendungen der mathematischen Statistik nahtlos fort.

Zusammenfassend muss gesagt werden: Die Herleitung von Aussagen über eine angeblich durch CO₂ verursachte menschengemachte globale Erwärmung liegt (nach Darstellung durch G&T) **außerhalb jeder Wissenschaft.**

4.4 Pyrgeometer und Gegenstrahlung, Treibhauseffekt

4.4.1 Das Pyrgeometer und die Gegenstrahlung

Bei den Betrachtungen zum Treibhauseffekt spielt die Existenz oder Nichtexistenz einer Gegenstrahlung, d.h. die Strahlung, die von der Atmosphäre in Richtung Erde ausgestrahlt wird, eine große Rolle. Ehe zur theoretischen Erklärung übergegangen wird, die praktische Beobachtung von G&T (siehe Fußnote ³¹), Seite 44): »... für ein Abkühlen der Erdoberfläche durch die Emission der Infrarotstrahlung.«. Die Beobachtung ist noch mehr zu ergänzen: Während sich der Erdboden wegen der Speicherwirkung der Erde nur minimal abkühlt, kühlen sich z.B. darüber befindliche Grashalme bedeutend schneller und stärker ab, weil diesen Speichermasse fehlt – was man bei entsprechendem Wetter an der Reifbildung sieht. Siehe Gleichung (43 auf Seite 43) bei kleinem d . Für die Endtemperatur der Grashalme ist die Bemerkung, die der Gleichung (43 auf Seite 43) folgt, wichtig: »Der Temperaturanstieg wird durch Wärmeübertragung vom Körpers zu seiner Umgebung gestoppt.« Das bedeutet, daß sich bei einem dünnen Körper nach kurzer Zeit eine solche Temperatur einstellt, bei der der Körper genau so viel Wärme abgibt, wie er erhält. Wenn eine konvektive Wärmeabgabe unterbunden wird, muß das Wärmeleichgewicht ein Strahlungsgleichgewicht sein – anders geht es nicht. Das ist genau das Prinzip des Pyrgeometers, allerdings nimmt man als dünne Fläche keinen Grashalm, sondern eine Folie. Um konvektive Wärmeabgabe zu unterbinden kann die dünne Fläche in Vakuum eingeschlossen werden. Die Temperatur der dünnen Fläche (bzw. deren Temperaturdifferenz zur Umgebung) sagt dadurch etwas zum Strahlungsgleichgewicht aus.

Die dünne Fläche und den Boden darunter kann man im Infrarotbereich (und dort ist bei den in Frage kommenden Temperaturen fast alle Strahlung konzentriert) fast ideal schwarz ausführen. Da die Berücksichtigung des genauen Emissionsfaktors die Rechnung nur umfangreicher macht, ohne neue Kenntnisse zu bringen kann man ohne Einschränkung der Allgemeinheit vom Schwarzkörper ausgehen, d.h. von der Gültigkeit des Stefan-Boltzmann-Gesetzes (Gleichung (70 auf Seite 81)). Weil die Temperatur der dünnen Fläche zwischen der Temperatur des Erdbodens und der des Weltraums liegt, ist selbst bei falscher Interpretation des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik dieser zweite Hauptsatz erfüllt. Damit kann man für die dünne Fläche die Temperatur T_F berechnen, bei der die Temperaturentwicklung stoppt, wenn man berücksichtigt, daß von unten der Erdboden entsprechend seiner Temperatur T_E strahlt und von oben nichts oder evtl. eine Gegenstrahlung S_G kommt.

⁹⁷⁾ Hier stimmt der Autor teilweise mit dem Paper von G&T überein - aber G&T »schütten das Kind mit dem Bade aus«, denn z.B. führen verschiedene Diskretisierungen zu unterschiedlichen Ergebnissen, wie G&T selbst geschrieben. Aber beim Verständnis des Treibhauseffektes (der schon seit über 100 Jahren von führenden Physikern verstanden ist) können die Meßergebnisse leicht extrapoliert werden - siehe Diagramm 0 auf Seite 16

Die dünne Fläche strahlt entsprechend ihrer Temperatur nach oben und unten (daher kommt der Faktor 2). Ein Vernachlässigen der Strahlung nach unten (die ja angeblich den zweiten Hauptsatz verletzt) würde – wenn man das Pyrgeometer mit einer Hülle bedeckt, die fast die Bodentemperatur erreicht – zu einer rechnerischen Temperatur der Folie führen, die höher wäre als die höchste Temperatur (hier die Bodentemperatur) und das ist nicht real und würde den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik verletzen. Auch dürfte es nachts keine Reifbildungen an Grashalmen geben, wenn der Boden wärmer als die Grashalme ist: Der Boden strahlt entsprechend seiner Temperatur, die Abstrahlung der Grashalme in Richtung Weltraum muß dann genau so groß sein (sonst würde ja mehr auf den Grashalm eingestrahlt, als er abgibt, d.h. seine Temperatur müßte steigen). Aber er kann nur soviel abstrahlen, wie der Boden, wenn er die Bodentemperatur hat. Mit der Berücksichtigung der Strahlung nach unten wird die beobachtete Reifbildung erklärbar: Die Strahlung vom Boden wird absorbiert und nach oben und unten aufgeteilt. Da die Strahlung vom Boden nur von einer Seite absorbiert wird, aber von zwei Seiten abgestrahlt wird, muß die Temperatur des Grashalm unter der Bodentemperatur liegen und das führt ggf. zur nächtlichen Reifbildung, die fast jeder schon an manchen frühen Morgen beobachtet hat.

Die Größe der Fläche selbst fällt wie in Gleichung (43 auf Seite 43) heraus. Damit gilt bei der Gleichgewichtstemperatur (die sich bei einer dünnen Fläche schnell einstellt, weil dann die Temperaturänderung gestoppt wird):

$$\sigma T_E^4 + S_G = 2\sigma T_F^4 \quad \rightarrow \quad T_F^4 = T_E^4 \left(\frac{1}{2} + \frac{S_G}{2\sigma T_E^4} \right) \quad \rightarrow \quad T_F = T_E \sqrt[4]{\frac{1}{2} + \frac{S_G}{2\sigma T_E^4}} \quad (\text{k-144-69})$$

oder

$$S_G = 2\sigma T_F^4 - \sigma T_E^4 = \sigma T_E^4 \left(\frac{2T_F^4}{T_E^4} - 1 \right) \quad (\text{k-144-70})$$

Nun stellt es kein Problem dar, die Temperaturen sehr genau zu messen, womit man die Größe der Gegenstrahlung erhält. Ohne Gegenstrahlung müßte man bei $T_E = 293 \text{ K} \approx 20^\circ\text{C}$ eine Temperaturdifferenz von 46,6 K beobachten – die beobachtet man aber nicht, also muß eine Gegenstrahlung existieren, deren Höhe man aus der Gleichung berechnen kann. Anmerkung: Technische Geräte sind immer etwas von der reinen Theorie entfernt und haben deshalb Eichfaktoren. So wird durch passende Wahl des infrarotdurchlässigen Fensters nach oben der Wellenlängenbereich so eingeschränkt, daß die Solarstrahlung in diesem Wellenlängenbereich kaum noch Anteile hat, so daß man auch am Tage messen kann. Die Flächen sind nicht ideal schwarz usw. Wer selbst einmal die Funktion eines Pyrgeometers überprüfen will, kann verschieden warme Körper über ein Pyrgeometer halten: dann mißt das Pyrgeometer deren Abstrahlung. Da viele Flächen im infraroten fast schwarz und die Temperatur bekannt ist, kann die Pyrgeometeranzeige mit dem theoretischen Wert verglichen werden, d.h. ob das Pyrgeometer richtig anzeigt – bzw. kein Schummeln vorliegt, was viele Skeptiker gern Klimatologen unterstellen, denn das Pyrgeometer »weiß« nicht, ob ein Skeptiker oder jemand anders damit hantiert. An der Universität sollte es auch für einen Skeptiker nicht schwer sein ein Pyrgeometer zu bekommen und eine Fläche mit flüssigen Stickstoff zu kühlen, um die Strahlungsanzeige eines Pyrgeometers zu überprüfen.

Wenn die Gegenstrahlungsanzeige mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz übereinstimmt – und das wäre unabhängig davon, wie das Pyrgeometer tatsächlich arbeitet, dann sollte es auch die atmosphärische Gegenstrahlung richtig anzeigen, denn analog »*Ein Quadratmeter einer Wiese weiß nichts über den Rest der Oberfläche der Erde*« (Kapitel 3.7.5 auf Seite 88) »weiß« das Pyrgeometer nicht, ob die Gegenstrahlung von einer mehr oder weniger gekühlten Fläche oder von der Atmosphäre kommt.

Ein Skeptikerproblem sehe ich aber noch: Wenn die Existenz einer Gegenstrahlung komplett bestritten wird, dann stimmt auch nicht der Kapitel 2.1 auf Seite 29 und insbesondere Bild 3 auf Seite 34. Sogar das Poynting-Theorem wäre falsch, denn wenn die Randbedingungen dazu genommen werden (die fehlen in Kapitel 4.2.8 auf Seite 124 und in Kapitel 4.2.11 auf Seite 125 steht: *Im Falle partieller Differentialgleichungen bestimmen mehr die Randbedingungen als die Gleichungen selbst die Lösungen.*) kommt nicht Wesentlich anderes heraus: Es wird Leistung von dem wärmeren zum kühleren Reservoir befördert - wieviel hängt auch vom kühleren Körper ab. Besonders deutlich wird das, wenn man zeitveränderliche Temperaturen des kühleren Teils benutzt: die Energiedichte des Feldes (*Das Poynting Vektorfeld $E \times H$ kann als eine Energiestrom-Dichte des elektromagnetischen Feldes interpretiert werden.* Kapitel 4.2.8 auf Seite 124) ist dann auch zeitabhängig und die Änderung läuft vom kühleren Rand zum wärmeren Rand - also genau mit der Eigenschaft der Gegenstrahlung. Nun soll aber das Poynting-Theorem stimmen – also gibt es auch die Gegenstrahlung und die ist meßbar. Auch die Relativitätstheorie unterstreicht das: Eine Information über die Temperaturänderung des kühleren Oberfläche kann frühestens mit Vakuumlichtgeschwindigkeit die wärmere Oberfläche erreichen.

Diese Gegenstrahlung kann man auch mit einer Infrarotkamera »sehen«, die nachts himmelwärts gerichtet wird. Allerdings muß man beachten, daß die Auswertesoftware der Kameras oft so ausgelegt ist, daß die Eigenstrahlung der Atmosphäre zwischen Meßobjekt und Kamera aus dem Bild entfernt wird – zu diesem Zweck muß man die Entfernung und weitere Parameter der Kamerasoftware mitteilen. Gibt man also eine große Entfernung ein und richtet die Kamera nach oben, eliminiert die Kamerasoftware also gerade das, was man eigentlich messen will [Barron, Abb. 5] und [Schuster und Kolobrodov, 2000, Tab. 3.8, S. 64].

4.4.2 Der zweite Hauptsatz und die Entropie

Da experimentell gesichert ist, dass die Gegenstrahlung existiert, ist der Zusammenhang mit dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik zu untersuchen.

In der populären Form sagt er etwas über den Energiefluß zwischen zwei Temperaturniveaus aus. In der physikalisch exakten Formulierung sagt er aus, daß die Entropie in einem abgeschlossenen System nie abnehmen kann. Über die Temperaturen sagt das nichts aus - man kann also z.B. das Reservoir mit der höheren Temperatur stellenweise (nicht insgesamt!!) auf eine noch höhere Temperatur bringen. Beispiel: In dem Reservoir mit der niedrigen Temperatur sind Photovoltaikmodule eingebaut.

Bei entsprechenden Temperaturverhältnissen produzieren diese elektrische Energie, die einen Laser mit Energie versorgen. Der Laserstrahl wird auf das Reservoir mit der höheren Temperatur gerichtet und heizt es stellenweise auf eine höhere Temperatur. Die Leistung, die vom höheren Reservoir zum Betrieb der Photovoltaikmodule benötigt wird, ist natürlich höher als die vom niedrigeren zum höheren Niveau transportierte Laserleistung – der zweite Hauptsatz ist also erfüllt.

Mit der Entropie sagt der zweite Hauptsatz nur etwas zu Wahrscheinlichkeiten aus: um so kleiner ein System ist, um so größer können Abweichungen sein. Z.B. repräsentiert die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen in einem Gasvolumen die Temperatur dieses Gases. Wegen der chaotischen Bewegung der Teilchen kann in einer Volumenhälfte die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen etwas höher sein als in der anderen Hälfte, d.h. die Temperatur der einen Hälfte ist etwas höher als die der anderen Hälfte – um so größer die Teilchenzahlen sind, um so geringer ist der mögliche Unterschied. Wegen der großen Teilchenzahlen spielt deshalb in den meisten betrachteten Volumen dieser Aspekt keine Rolle.

Aus allem ergibt sich: Der zweite Hauptsatz ist nicht selbständig, seine Gültigkeit ergibt sich aus allen anderen Gesetzen der Physik und ist nicht über diese gestellt. Wenn also

kein Fehler in anderen Herleitungen gefunden werden kann, muß der Fehler in der falschen Anwendung des zweiten Hauptsatzes liegen.

4.4.3 Einstein und die Strahlungstransportgleichung

Zur Berechnung der Abstrahlung und der Wechselwirkung zwischen Gas und Strahlung ist von den Einsteingleichungen Einstein [1916 bzw. 1917] auszugehen, die auch die wesentliche physikalische Grundlage der Laser sind, die bei beliebigen Temperaturen funktionieren - auch wenn damals Einstein seine Koeffizienten noch nicht so berechnen konnte, wie es heute nach weiterer Vervollkommnung der Quantentheorie möglich ist. Wegen der Wellenlängenabhängigkeit der Koeffizienten sind die Einsteingleichungen für jede Wellenlänge anders:

$$\frac{dN_1}{dt} = N_2 \cdot A_{21} - N_1 \cdot B_{12} \cdot u + N_2 \cdot B_{21} \cdot u \quad (\text{k-144-71})$$

Die verwendeten Formelzeichen haben dabei folgende Bedeutung:

- N_0 : Dichte aller absorbierenden Moleküle = $N_1 + N_2$
- N_1 : Dichte der Moleküle im Grundzustand
- N_2 : Dichte der Moleküle im angeregten Zustand
- A_{21} : Einsteinkoeffizient spontane Emission
- B_{12} : Einsteinkoeffizient induzierte Absorption
- B_{21} : Einsteinkoeffizient induzierte Emission
- u : Energiedichte der Strahlung (im Raum und Frequenz- oder Wellenlängenbereich)

Die linke Seite der Gleichung beschreibt die zeitliche Änderung der Dichte des Grundzustandes infolge der Vorgänge auf der rechten Seite: Der

1. Term steht für die spontane Emission (Ausstrahlung): $N_2 \rightarrow N_1$
2. Term steht für die induzierte Absorption: $N_1 \rightarrow N_2$ z.B. durch Wärmestrahlung.
3. Term steht für die induzierte Emission: $N_2 \rightarrow N_1$ z.B. durch Wärmestrahlung.

Die Einsteingleichungen sind bei beliebigen Temperaturen gültig, daß zeigen sowohl die Laser, die bei beliebigen Temperaturen funktionieren, als auch die Temperaturunabhängigkeit der Einsteinkoeffizienten – was auch dadurch begründet ist, daß die Temperatur »nur« eine Vielteilcheneigenschaft ist. Ein Einzelteilchen hat keine Temperatur bzw. der Temperaturbegriff verliert beim Einzelteilchen seinen Sinn.

In seiner Arbeit von 1916 Einstein [1916 bzw. 1917] schrieb Einstein außerdem:

Der Mittelwert $\overline{v^2}$, welchen die Strahlung von der Temperatur T bei unseren Molekülen durch ihre Wechselwirkung mit ihnen erzeugt, muß ebenso groß sein, wie derjenige Mittelwert $\overline{v^2}$, welcher dem Gasmolekül nach den Gasgesetzen bei der Temperatur T nach der kinetischen Gastheorie zukommt. Denn die Anwesenheit unserer Moleküle würde sonst das thermische Gleichgewicht zwischen Temperaturstrahlung und einem beliebigen Gase derselben Temperatur stören.

Das bedeutet, die Strahlenergiedichte darf sich nicht ändern, wenn eine Strahlrichtung in einem thermodynamischen Gleichgewicht verfolgt wird: wenn eine Änderung eintreten würde, wäre das eine Temperaturänderung – und das verbietet der zweite Hauptsatz bei Vorliegen eines thermodynamischen Gleichgewichts.

Da aber die einzelnen Teilchen nicht »wissen« können, was um sie herum passiert, absorbieren die unangeregten Teilchen unabhängig davon, ob die Strahlung, mit der sie wechselwirken, den Wert der Temperaturstrahlung hat oder einen anderen – der Absorptionskoeffizient

κ ist also unabhängig von der Strahlstärke. Da aber andererseits die Strahlstärke S_T , wenn ihre Stärke der jeweiligen Temperatur entspricht, erhalten bleiben muß (siehe Einstein und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik), muß das Gas entsprechend eine Stärke j_T emittieren:

$$\frac{dS_T}{dz} = -\kappa \cdot S_T + j_T = 0 \quad (\text{k-144-72})$$

Da die Stärke einer Temperaturstrahlung vom Planckschen Gesetz zu $B_\nu(T)$ vorgegeben ist, muß gelten:

$$0 = -\kappa \cdot B_\nu(T) + j_T \quad \Rightarrow \quad j_T = \kappa \cdot B_\nu(T) \quad (\text{k-144-73})$$

Damit ist die Strahlungstransportgleichung für beliebige Stärken S :

$$\frac{dS}{dz} = -\kappa \cdot S + \kappa \cdot B_\nu(T) \quad (\text{k-144-74})$$

Bei den in der Atmosphäre vorkommenden Strahlstärken ist sowohl κ noch nicht gesättigt als auch B nahezu wirklich nur von der Temperatur abhängig (LTE - wegen der Thermalisierung). Das »nahezu« bedeutet, daß eine kleine Abweichung dazu vorhanden ist, aber die Abweichung klein ist. Das hat zwei Gründe:

1. Bei den betrachteten Temperaturen und Wellenlängen ist auch im thermischen Gleichgewicht die Dichte der durch induzierte Absorption angeregten Zustände klein gegenüber den durch Stöße produzierten angeregten Zuständen.
2. Bei der Häufigkeit der Stöße ist die Abklingzeit einer zu hohen Dichte angeregter Zustände als Folge der induzierten Absorption sehr klein (Thermalisierung).

4.4.4 Die Stärke der Gegenstrahlung

Wenn S oberhalb des thermischen Wertes liegt, muß sich das Gas durch Überwiegen der Absorption erwärmen, wenn S unterhalb des thermischen Wertes liegt, muß sich das Gas durch Überwiegen der Emission abkühlen. Dabei geht es um die Gesamtwirkung über alle Wellenlängen (bzw. Frequenzen) und Richtungen. Wenn also die Abkühlung überwiegt, muß das abgekühlte Gas nach unten sinken. Am Boden erwärmt sich das Gas und steigt wieder auf. Durch diese Luftbewegung wird der adiabatische Temperaturverlauf in der Atmosphäre aufrecht erhalten. Deswegen ist die Strahlung nicht aus einer Strahlungsbilanz zu berechnen, sondern die Temperatur wird adiabatisch vorgegeben und die Strahlungstransportgleichung wird:

$$\frac{dS(z)}{dz} = -\kappa \cdot S(z) + \kappa \cdot B_\nu(T(z)) \quad (\text{k-144-75})$$

Wenn wachsendes z die Richtung nach oben bedeutet, lautet die Gleichung für die bodenwärts gehende Strahlung S_B :

$$\frac{dS_B}{dz} = \kappa \cdot S_B - \kappa \cdot B_\nu(T(z)) \quad (\text{k-144-76})$$

Für die Temperaturabhängigkeit von B gilt aus dem Planckschen Gesetz:

$$B_\nu(T) = B_\nu(T_0) \frac{\frac{T_\lambda}{e^{\frac{T_0}{T}} - 1}}{\frac{T_\lambda}{e^{\frac{T}{T}} - 1}} \quad (\text{k-144-77})$$

Dabei ist $B_\nu(T_0)$ die Schwarzkörperstrahlung bei der Temperatur T_0 , also beispielsweise an der Erdoberfläche und T_λ die Boltzmann-Temperatur:

$$T_\lambda = \frac{h\nu}{k_B} = \frac{hc}{k_B\lambda} \quad (\text{k-144-78})$$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte wird:

$$T_\lambda = \frac{hc}{k_B\lambda} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{Ws}^2 \cdot 2,998 \times 10^8 \text{m/s}}{1,381 \times 10^{-23} \text{Ws/K} \cdot \lambda} = \frac{0,01438 \text{K} \cdot \text{m}}{\lambda} = 14380 \text{K} \frac{\mu\text{m}}{\lambda} \quad (\text{k-144-79})$$

Das ergibt die Werte:

$$\begin{array}{cc} \lambda & T_\lambda \\ 4,3 \mu\text{m} & 3344 \text{K} \\ 15,0 \mu\text{m} & 959 \text{K} \end{array}$$

Bei einer (feucht)adiabatischen Atmosphäre fällt die Temperatur linear mit der Höhe ($\alpha \approx 6,5 \text{K/km}$):

$$T(z) = T_0 - \alpha z \quad (\text{k-144-80})$$

Damit entsteht folgende Differentialgleichung für S_B :

$$\frac{dS_B}{dz} = \kappa \cdot S_B - \kappa \cdot B_\nu(T_0) \frac{\frac{T_\lambda}{e^{T_0} - 1}}{\frac{T_\lambda}{e^{T_0 - \alpha z} - 1}} \approx \kappa \cdot S_B - \kappa \cdot B_\nu(T_0) e^{-\frac{T_\lambda \alpha z}{T_0^2}} \quad (\text{k-144-81})$$

Die Lösung der Differentialgleichung für die Näherung lautet:

$$S_B = \frac{B_\nu(T_0) e^{-\frac{T_\lambda \alpha z}{T_0^2}}}{1 + \frac{T_\lambda \alpha}{T_0^2 \kappa}} \quad (\text{k-144-82})$$

Für $z = 0$, also in der Höhe der Temperatur T_0 (z.B. am Boden), wird ganz einfach (und analog für die himmelwärtsgerichtete Strahlung S_H , Emissionsfaktor des Erdbodens ε):

$$S_B = \frac{B_\nu(T_0)}{1 + \frac{T_\lambda \alpha}{T_0^2 \kappa}} \quad \text{bzw.} \quad S_H = B_\nu(T_0) \left(\frac{1 - e^{-\kappa z}}{1 - \frac{T_\lambda \alpha}{T_0^2 \kappa}} + \varepsilon e^{-\kappa z} \right) \quad (\text{k-144-83})$$

Damit ist ohne alle Simulationen gezeigt, daß bei Vergrößerung der Absorption (Erhöhung der CO_2 -Konzentration – κ wird größer) die Gegenstrahlung im Mittel zunimmt – ganz gleich welche Kapriolen das Wetter macht, die Gegenstrahlung ist bei erhöhter CO_2 -Konzentration auch erhöht und die erhöhte Gegenstrahlung führt dazu, daß die Bodentemperatur auch erhöht ist gegenüber den Werten ohne erhöhte CO_2 -Konzentration – auch wieder ganz gleich welche Kapriolen das Wetter mit T_0 macht. (Anmerkung: die exakte Ableitung ist etwas komplizierter, da auch die Schrägstrahlen entsprechend zu berücksichtigen sind.)

4.4.5 Die Tropopause

Aus der Strahlung ergibt sich auch ganz einfach die Tropopause. Da die Erde im Infraroten nur näherungsweise ein Schwarzkörper ist, ist die Abstrahlung nach oben geringer, also ist also $S_H(z = 0)$ – obige Gleichung – nur

$$S_H(z = 0) = \varepsilon \cdot B_\nu(T_0) \quad (\text{k-144-84})$$

Damit Absorption und Emission im thermischen Gleichgewicht stehen, müßte sein:

$$S_B + S_H \stackrel{!}{=} 2 \cdot B_\nu(T_0) \quad (\text{k-144-85})$$

In Erdbodennähe ist das nicht erfüllt, weil sowohl S_B als auch S_H kleiner als $B_\nu(T_0)$ sind, d.h. die Emission ist größer als die Absorption und daraus folgt weiter: die Luft wird abgekühlt und sinkt nach unten. Das ist nicht weiter tragisch, die abgesunkene Luft wird am Erdboden erwärmt und steigt auf, dadurch entsteht die adiabatische Temperaturschichtung. Anders sieht es in großen Höhen aus. S_H wird immer größer und $S_B + S_H$ wäre bei allen Wellenlängen immer größer als $2 \cdot B_\nu(T_0)$ (ausgenommen α wäre 0), d.h. die Absorption ist größer als die Emission, die Luft wird erwärmt und steigt nach oben. Da aber oben ein dem Erwärmungsmechanismus am Boden äquivalenter Kühlmechanismus nicht existiert, kann auch kein adiabatischer Temperaturverlauf mehr existieren und es kommt zur näherungsweise isothermen Atmosphäre, d.h. $\alpha = 0$ – und das wird auch beobachtet, ehe die UV-Absorption wirksam wird. Die Grenze zwischen adiabatischem und nahezu isothermen Temperaturverlauf ist die Tropopause - siehe auch das Kriterium in [Schwarzschild, 1906, Abschnitt 3.] (später Schwarzschild-Kriterium genannt).

Ohne die starke Emission unterhalb der Tropopause ist die Existenz der Tropopause nicht zu erklären (noch weniger zu bestimmen) und deshalb auch ein starkes Indiz für den Treibhauseffekt.

4.5 eMails von G&T

Die Kommentierung des Papers von G&T veranlaßte G&T diese eMails zu schreiben, mit denen sie versuchten die Kommentierung zu entkräften. Da die eMails an eine große Runde geschickt wurden mit der ausdrücklichen Bemerkung, daß die Mail auch an Adressen geschickt wurde, die G&T mitgeteilt hatten, von ihnen keine eMails mehr erhalten zu wollen, sind die eMails öffentlich und der fachliche Teil in den eMails kann zitiert werden.

Prof. Gerlich Gerlich [2008]:

In der Strahlungstransportgleichung ist die Änderung der Intensität längs einer (geraden) Linie gegeben durch einen sogenannten Absorptionsterm von dem der Reemissionsterm abgezogen wird. Über die doppelten Vorsilben in dem zweiten Wort habe ich immer meine Witze gemacht. Dies ist etwas ausführlicher in meinem Leipzig-Manuskript und auch dem Falsification-Preprint ausgeführt. Wenn die Transmission kleiner als 1 ist, heißt dies noch lange nicht, daß die Energie des Strahlungsfeldes in Wärme umgewandelt wird. Absorbierte Photonen können auch wieder in alle Richtungen (nicht nur hin und zurück) emittiert werden. Angeregte Atome und Moleküle gehen normalerweise in ihren Grundzustand durch Aussendung eines Photons, das gerade "eingefangen" wurde, über. Im klassischen Bild können die Dipolschwingungen Strahlung aussenden. Normalerweise nennt man das elastische Streuung. Es gibt noch unelastische Streuung und auch Beugung, was man im Photonenbild nicht beschreiben kann. Die Reemission geht

natürlich in alle möglichen Richtungen und kommt deshalb als meßbare Strahlung nicht mehr auf dem Boden an. Dies sieht man an dem immer kleiner werden Raumwinkel eines Flächenelements. Das ist die berühmte, leider nicht meßbare Gegenstrahlung. Nicht meßbar ist in der Physik aber dasselbe wie nicht existent.

Mit dem in der Praxis mehr als (quantitativ) bewährten Bild, daß Licht elektromagnetische Wellen sind, die im Unterschied zu den Photonen gebeugt werden können, erhält man, daß ein Material mit elektrischer Leitfähigkeit absorbieren kann (Beersche Formeln), während ein Dielektrikum nicht absorbiert. Das Kohlendioxidgas ist ein Dielektrikum, wandelt also nicht die "eingefangenen" Lichtwellen in Wärme um. [?: siehe Kapitel 3.7.11 auf Seite 95 – (JE).] Im Lichtquantenbild bekommt man drei Terme für diese Vorgänge: die induzierte Absorption und die induzierte und spontane Emission. Dies ist die berühmte Lichtquantentheorie von P. A. M. Dirac. Ich gebe diese Formeln mit Kopien aus dem berühmten Buch "Mathematische Grundlagen der Quantentheorie" von J. v. Neumann als Anlage an. In diesem Text kommt Einstein mit der von Herrn Ebel genannten Arbeit vor.

Die heutzutage von den Treibhaushysterikern zitierte Schwarzschildt-Gleichung⁹⁸⁾ ist eine sehr spezielle Näherung der Strahlungstransportgleichungen, wie ich es im meinem Leipzig-Vortrag und dem Falsification-Preprint ausführe. Es sind also schrecklich viele Gleichungen, die bei besonders allgemeinen Ansätzen aus einer trivialen Differentialgleichung (einfaches Integral) sogar zu Integro-Differentialgleichungen werden können.

Ich würde für diese Modellvorstellungen als Ergänzung zu Chandrasekhar das sehr viel breiter geschriebene Standard-Lehrbuch von A. Unsöld: Physik der Sternatmosphären, Springer Verlag, Berlin etc (1955), S. 106 – 111, 269 – 280, und 371 – 391 empfehlen.

Festzuhalten ist, daß es sich bei der Beschreibung des Strahlungstransports um Hypothesen handelt: in der Astrophysik und Geophysik sind die Modelle ein Hypothesenkonsens und nicht physikalische Gesetzmäßigkeiten. Man kann nur hoffen, daß physikalische Gesetzmäßigkeiten vernünftig zusammengebastelt werden, was bei der Treibhaushysterie nicht der Fall ist. In der Physik beschränkt man sich auf immer kleiner werdende Raum-Zeitbereiche, wenn man neue Gesetzmäßigkeiten finden will.

Dr. Tscheuschner [2008]:

Ebel schreibt am 21.03.2008

<ZITAT ANFANG> Auch beruft sich Dr. Borchert auf Prof. Gerlich, der inzwischen eingeräumt hat, daß Einsteins Arbeit von 1916 richtig ist und damit seine eigene Aussage, daß die angeregten Atome nicht in alle Richtungen gleichmäßig strahlen, definitiv falsch ist. <ZITAT ENDE>

Gerlich schrieb hingegen am 18.02.2008

<ZITAT ANFANG> Wenn die Transmission kleiner als 1 ist, heißt dies noch lange nicht, daß die Energie des Strahlungsfeldes in Wärme umgewandelt wird. Absorbierte Photonen können auch wieder in alle Richtungen (nicht nur hin und zurück) emittiert werden. <ZITAT ENDE>

⁹⁸⁾ siehe Anmerkung zu Wood Seite 49.

Ferner wurde in unserer Arbeit nicht diskutiert, ob Einsteins Arbeit von 1916 richtig oder falsch ist, weil dies mit der Themenstellung der Arbeit nichts zu tun hat.

Im uebrigen hat jede Strahlung Ihre Keulen (Dipol, Quadrupol usw.) Das heisst, "in alle Richtungen" muss auch noch genauer spezifiziert werden.

...

Ergaenzend moechte ich mitteilen, das alle Diskussionen, die auf IR-Strahlungstransport verengt sind, schon im Ansatz verfehlt sind, weil andere physikalische Mechanismen dominanter sind. Der CO₂-Treibhauseffekt ist Non-sense, egal in welcher Variante.

Wenn ein Computer-Global-Klimatologe eine andere Meinung haben sollte, besteht fuer ihn immer noch die Moeglichkeit, eine saubere wissenschaftliche Arbeit zu verfassen. Selbstverstaendlich wuerde ich die auch durcharbeiten.

Ich kann nichts dafuer, dass so viele Personen auf diesen Bloedsinn, der den sogenannten Klimaschutz begruendet, hereingefallen sind.

4.5.1 Kommentierung der eMails von G&T

G&T stellen die Frage »Im uebrigen hat jede Strahlung Ihre Keulen (Dipol, Quadrupol usw.) Das heisst, "in alle Richtungen" muss auch noch genauer spezifiziert werden«. Einstein hat diese Fragen schon beantwortet Einstein [1916 bzw. 1917]:

Es wird dann bei jedem Elementarprozeß der Ausstrahlung ($Z_m \rightarrow Z_n$) ein Impuls von der Größe $\frac{\varepsilon_m - \varepsilon_n}{c}$ auf das Molekül übertragen. Ist letzteres isotrop, so müssen wir alle Ausstrahlungsrichtungen als gleich wahrscheinlich annehmen. Ist das Molekül nicht isotrop, so gelangen wir zu derselben Aussage, wenn die Orientierung im Laufe der Zeit nach den Gesetzen des Zufalls wechselt. Eine derartige Voraussetzung muß übrigens auch für die statistischen Gesetze (B) und (B') der Einstrahlung gemacht werden, da sonst die Konstanten B_n^m und B_m^n von der Richtung abhängen müßten, was wir durch diese Annahme der Isotropie oder Pseudoisotropie (durch zeitliche Mittelwert-Bildung) des Moleküls vermeiden können.

Ich verstehe deshalb nicht, warum die Frage gestellt wird. Oder nochmal zusammengefaßt: da wegen Gleichverteilung der Molekülrichtungen auch alle Richtungen der Keulen gleichverteilt sind, macht sich makroskopisch die nichtisotrope Form der Moleküle überhaupt nicht bemerkbar.

Damit ist auch die Aussage »Ferner wurde in unserer Arbeit nicht diskutiert, ob Einsteins Arbeit von 1916 richtig oder falsch ist, weil dies mit der Themenstellung der Arbeit nichts zu tun hat.« eine Ablenkung, denn wenn schon lange gesicherte grundlegende Erkenntnisse, die das Thema eines Papers betreffen, nicht beachtet werden, dürfte schon das eine Mangelhaftigkeit dieses Papers begründen. Aber die Mangelhaftigkeit geht noch weiter » In der Strahlungstransportgleichung ... der Reemissionsterm abgezogen wird. Über die doppelten Vorsilben in dem zweiten Wort habe ich immer meine Witze gemacht.« Es handelt sich nicht um einen »Reemissionsterm«, sondern um einen Emissionsterm, der ebenfalls schon mit den Einsteingleichungen beschrieben wird und der fast jedem Chemiker bekannt ist:

Eine hohe eingestrahelte Intensität wird beim Durchlaufen eines absorbierenden Mediums absorbiert und durch die Absorption exponentiell geschwächt. Dieses Tatsache ist als

Lambert-Beersches Gesetz bekannt (dabei sind hier zur Vereinfachung die stoff- und konzentrationsabhängigen Größen zu eine Konstante *Lambert* zusammengefaßt, $I(0)$ die Anfangsintensität und $I(s)$ die Intensität nach der durchstrahlten Länge s):

$$I(s) = I(0) \cdot \exp(-Lambert \cdot s) \quad (\text{k-144-86})$$

Dieses Gesetz ist die Lösung der Differentialgleichung:

$$\frac{d I}{d s} = -Lambert \cdot I = -Lambert \cdot (I) \quad (\text{k-144-87})$$

In dieser Form gilt das Gesetz nur für höhere Intensitäten. In der Regel ist das durchstrahlte Medium (zumindest näherungsweise) isotherm mit einer Temperatur T . Wenn das Gesetz uneingeschränkt gültig wäre, dann müßte nach genügend langer Strecke die Intensität nahezu auf 0 abgefallen sein. Jeder, der sich mit Absorption beschäftigt weiß aber (oder sollte es wissen), daß die Intensität nicht 0 wird, sondern die thermische Intensität der entsprechenden Temperatur T erreicht. Etwas anderes würde auch dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik widersprechen. Zitat Schack Schack [1972] »Die Absorption der ein Gas durchsetzenden Wärmestrahlung ist im Beharrungszustand genau gleich der Wärmestrahlung dieses Gases. Denn wenn hierbei Abweichungen beständen, würden sich in einem dies Gas erfüllenden Hohlraum von selbst Temperaturdifferenzen bilden, was nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik nicht möglich ist.«.

Ist dieser Grenzwert für starke Absorption erreicht, ändert sich die Intensität nicht mehr. Das bedeutet, es muß gelten:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \frac{d I}{d s} \rightarrow 0 \quad (\text{k-144-88})$$

Dieses Verhalten wird am Einfachsten durch einen additiven Term L erreicht:

$$\frac{d I}{d s} = -Lambert \cdot (I - L) = Lambert \cdot (L - I) \quad (\text{k-144-89})$$

Damit die obige Gleichung mit der Planckschen Strahlungsformel kompatibel ist, sollten I und L z.B. in $W/(m^2 \mu m)$ angegeben werden.

Im isothermen Hohlraum sind dann L und I gleich und gleich der Intensität der Hohlraumstrahlung, die durch die Plancksche Formel beschrieben wird. Daraus folgt, daß L von der Hohlraumtemperatur T abhängt. Deswegen lautet die vollständige Gleichung:

$$\frac{d I}{d s} = Lambert \cdot (L(T) - I) \quad (\text{k-144-90})$$

Für die Bestimmung der Größe von $L(T)$ waren keinerlei Voraussetzungen einer vorherigen Absorption zu machen, deswegen ist $L(T)$ eben kein »Reemissionsterm«, sondern der Emissionsterm – und die gesamte Gleichung ist die Strahlungstransportgleichung. Untersucht man den Emissionsterm noch genauer, so wird gefunden, daß L nicht ausschließlich von der Temperatur abhängt, sondern auch etwas von den Strahlungsintensitäten I – allerdings ist der Einfluß so gering, daß er vernachlässigt werden kann. Man spricht deshalb vom lokalen thermischen Gleichgewicht (LTE).

Als Letztes wird noch die Emissionsrichtung und Wellenlängenverschiebung ohne Molekülstöße betrachtet.

4.5.2 Emissionsrichtung und Wellenlängenverschiebung

Die Gasteilchen stoßen in einem Gas im Mittel in bestimmten Zeitabständen immer wieder zusammen. Diese Zeitabstände sind in der unteren Atmosphäre so kurz, daß sich in der Regel bei einem der Stöße das angeregte Molekül abregt. Energie und Impuls, die mit der Absorption aufgenommen wurden, verteilen sich statistisch im Gasvolumen durch viele Stöße (»Thermalisierung«). Ein angeregtes Gasteilchen kann durch Emission eines Photons Energie und Impuls verlieren. Dieser Verlust verteilt sich ebenfalls im Gasvolumen durch Stöße. Damit stehen absorbierte Photonen und emittierte Photonen in keiner unmittelbaren Beziehung. Trotzdem kommt es hin und wieder vor, daß ein Molekül, welches ein Photon absorbiert hat, dieses wieder emittiert, bevor es zu Zusammenstößen kommt. Im Nachfolgenden wird dieser seltene Fall betrachtet.

Bei diesem Vorgang muß die Energie- und Impuls-Bilanz erfüllt sein. Zur Berechnung wird ein Koordinatensystem verwendet, in dessen Nullpunkt das unangeregte Molekül ruht (d.h. bei einem bewegten Molekül bewegt sich das Koordinatensystem mit). Außerdem reicht eine zweidimensionale Betrachtung, da aus Impulsgründen ankommendes Photon, wegfliegendes Photon und wegfliegendes Molekül in einer Ebene liegen müssen. Senkrecht zu dieser Ebene sind alle Impulse Null.

In dem ruhenden Koordinatensystem hat nur das ankommendes Photon eine Energie (= $h \cdot \nu$) und einen Impuls (= $\frac{h \cdot \nu}{c}$).

Ein angeregtes Molekül mit der Masse M kann auch ein Photon emittieren, bevor es mit anderen Molekülen zusammenstößt. Energie und Impuls müssen dabei als Summe für wegfliegendes Photon und wegfliegendes Molekül (mit der Wegfluggeschwindigkeit v) erhalten bleiben. In der Regel wird das wegfliegende Photon eine andere Frequenz haben ($\nu' = \nu - \Delta$) und die »Flugrichtungen« von Photon und Molekül weichen von der Richtung des ankommenden Photons um die Winkel φ und ϑ ab. Damit ergeben sich für Impuls und Energie folgende drei Gleichungen:

$$\begin{aligned} h \cdot \nu &= h \cdot \nu' + \frac{M}{2} v^2 && \text{Energie} \\ \frac{h \cdot \nu}{c} &= \frac{h \cdot \nu'}{c} \cos \varphi + M \cdot v \cos \vartheta && \text{Impuls in Anflugrichtung} \\ 0 &= \frac{h \cdot \nu'}{c} \sin \varphi + M \cdot v \sin \vartheta && \text{Impuls senkrecht zur Anflugrichtung} \end{aligned} \quad (\text{k-144-91})$$

Wenn M groß genug ist (das ist im Infrarotbereich immer der Fall: $M c^2 \gg h \nu$) kann das Gleichungssystem für beliebige Winkel φ gelöst werden. Eine Einschränkung für zulässige Winkel besteht nicht. (Anmerkung: Im Ruhesystem des angeregten Moleküls sind alle Raumrichtungen gleich verteilt.) Es sind also beliebige Emissionsrichtungen möglich (auch rückwärts: $\varphi > \pi/2$). Jeder Winkel $\varphi \neq 0$ ist mit einer Frequenzerniedrigung im Ruhesystem des getroffenen Moleküls verbunden, im Ruhesystem der Atmosphäre kann wegen des Dopplereffekts trotzdem eine Frequenzerhöhung des emittierten Photons sein, wenn z.B. das getroffene Molekül dem Photon genügend schnell entgegen »flog«.

Die Lösung des Gleichungssystems lautet:

$$\frac{\Delta}{\nu} = \frac{M c^2}{h \nu} - 1 + \cos \varphi - \sqrt{\left(\frac{M c^2}{h \nu} - 1 + \cos \varphi\right)^2 - 2(1 - \cos \varphi)} \quad (\text{k-144-92})$$

$$\sin \vartheta = \sqrt{\frac{h \nu \cdot \nu}{2 M c^2 \cdot \Delta}} \left(1 - \frac{\Delta}{\nu}\right) \sin \varphi$$

5 Resümee des Physikers, der nur seine Unkenntnis zeigt

5.1 Die wesentlichen Punkte

Eine gründliche Diskussion des planetaren Wärmeübertragungsproblems im Rahmen der Theoretischen Physik und Ingenieursthermodynamik führt zu den folgenden Resultaten:

1. Es gibt keine gemeinsamen physikalischen Gesetze zwischen dem Erwärmungsphänomen in Glashäusern und dem fiktiven atmosphärischen Treibhauseffekt (egal in welcher Version), welche die relevanten physikalischen Phänomene erklären. Die Begriffe »Treibhauseffekt« und »Treibhausgase« sind *bewusste Fehlbenennungen*. Doch, wegen der Strahlungsdurchlässigkeit der Umhüllung (Glasfläche bzw. Atmosphäre) wirkt die eintreffende Strahlung wie eine Heizung, ohne diese Heizung kühlt sich sowohl das Glashausinnere als auch die Atmosphäre auf Umgebungstemperatur ab. Dabei unterscheiden sich nur die Umgebungstemperaturen: bei Glashaus die Atmosphärentemperatur, beim Treibhauseffekt die Weltraumtemperatur (nicht ganz, weil die Erdoberfläche noch vom Erdinnern geheizt wird).
2. Es gibt keine Berechnungen welche die durchschnittliche Oberflächentemperatur eines Planeten bestimmen könnten. Doch, wenn – wie zutreffend – vorausgesetzt wird, daß infolge des konvektiven Wärmetransports die Abweichungen von der durchschnittlichen Oberflächentemperatur klein sind gegenüber dieser Oberflächentemperatur (siehe nach Gleichung §8 auf Seite 86).
 - mit oder ohne Atmosphäre,
 - mit oder ohne Rotation,
 - mit oder ohne Infrarotlicht absorbierenden Gase.

Die häufig erwähnte Differenz von 33°C für den fiktiven Treibhauseffekt ist eine bedeutungslose Zahl. Nein, sondern die Untergrenze des Treibhauseffektes bei unveränderten Albedo und einer schwarzen Oberfläche, die im Infrarot weitgehend erfüllt ist - Höldersche Ungleichung siehe Gleichung §5 auf Seite 85).

3. Jegliche Strahlungsbilanz für den durchschnittlichen Strahlungsfluss ist völlig irrelevant für die Bestimmung der bodennahen Lufttemperatur und ebenso für ihren Durchschnittswert. Bei der Erde spielt auch die Konvektion eine wesentliche Rolle, die aber Folge einer ausreichenden Strahlungsbilanz ist. Strahlungsbilanz und Konvektion sind mit ausreichender Näherung berechenbar, wobei je nach Aussageziel unterschiedlich komplex gerechnet wird.
4. Durchschnittliche Temperaturwerte können nicht identifiziert werden mit der vierten Wurzel der Durchschnittswerte der vierten Potenz der absoluten Temperaturen. Das trifft nur weitgehend für große Abweichungen vom Mittelwert zu, bei den Verhältnissen auf der Erde sind die Abweichungen gering genug (siehe nach Gleichung §8 auf Seite 86)).
5. Strahlung und Wärmeflüsse bestimmen nicht die Temperaturverteilungen und ihre Durchschnittswerte. Doch. Die Temperaturverteilung stellt sich so ein, daß die Bilanzen erfüllt werden.
6. Re-Emission ist nicht Reflektion. Re-Emission kann in keiner Weise die bodennahe Luft gegen den wirklichen Wärmefluss erwärmen ohne mechanische Arbeit. Re-emission ist tatsächlich nicht Reflexion und spielt erst mal keine Rolle, weil die Emission aus allen Umhüllungen – auch den Treibhausgasen – der normale Zustand in einem warmen Raum ist. Die Erwärmung kommt durch die zusätzliche Solarheizung zu Stande.

7. Die Temperaturanstiege in den Klimamodellrechnungen werden durch ein *Perpetuum mobile der zweiten Art* erklärt. Dies ist möglich, weil man in den atmosphärischen Modellen die Wärmeleitung gleich Null setzt. Dies ist eine unphysikalische Annahme. Es wäre kein *Perpetuum mobile der zweiten Art* mehr, wenn man die »durchschnittliche« Strahlungsbilanz, die ohnehin keine physikalische Rechtfertigung hat, aufgeben würde. **Nein. Die Emission aus allen Umhüllungen – auch den Treibhausgasen – ist der normale Zustand in einem warmen Raum. Die Erwärmung kommt durch die zusätzliche Solarheizung zu Stande.**
Die Behauptung einer angeblichen Erklärung mit einem *Perpetuum mobile der zweiten Art* ist ein Fake. Die Wärmeleitung spielt fast nur in wenigen mm über der Oberfläche eine Rolle, ansonsten ist sie vernachlässigbar. Konvektion und Strahlungstransport sind entscheidend.
8. Nach Schack (1972) ist Wasserdampf für den wesentlichen Anteil der Absorption des Infrarot-Strahlung der Atmosphäre der Erde verantwortlich Schack [1972]. Der Bereich der Wellenlängen der Strahlung, welche von Kohlendioxid absorbiert wird, ist nur ein kleiner Teil des vollständigen Infrarot-Spektrums und ändert sich nicht wesentlich, wenn dessen Partialdruck erhöht wird. Die Absorption (und Emission) in der Troposphäre ist so gut wie unwesentlich für die Größe des Treibhauseffekts (wenn sie genügend groß ist), da der Temperaturgradient in der Troposphäre durch die adiabatische Strömungen bestimmt wird und kaum durch die Strahlungseigenschaften. Hauptsächlich wird die Größe des Treibhauseffektes durch die Höhe der Tropopause bestimmt (unteres Ende der Stratosphäre). In der Stratosphäre wird der Temperaturverlauf weitgehend durch das Strahlungsgleichgewicht bestimmt - und in der Stratosphäre ist kaum Wasserdampf. Nach unten nimmt der Temperaturgradient zu und würde den adiabatischen Wert überschreiten, wenn keine Konvektion einsetzen würde (Schwarzschild-Kriterium Schwarzschild [1906]).
9. Infrarot-Absorption heißt nicht »Rückwärmung«. Eher führt sie zu einem Abfall der Temperatur der bestrahlten Oberfläche. Die Absorption tatsächlich nicht, aber die Emission – die führt zum Erhalt der Atmosphärentemperatur. Je nach Absorptionslänge ist die mittlere Temperatur niedriger bzw. höher, weil wegen der Transparenz die Umhüllung des Raumes nicht scharf abgegrenzt ist.
10. In den Strahlungstransport-Modellen unter der Annahme eines lokalen thermodynamischen Gleichgewichts (*Local Thermodynamic Equilibrium, LTE*) geht man davon aus, dass die absorbierte Strahlung in die Wärmebewegung aller Gasmoleküle umgewandelt wird. Bei den niedrigen Temperaturen der Atmosphäre der Erde gibt es keine selektive Re-Emission von Infrarot-Strahlung. Das ist halb richtig, aber die Verkürzung der Absorptionslänge führt zu einer höheren Gegenstrahlung an der Erdoberfläche (siehe Kapitel 4.4.4 auf Seite 136). Die Gegenstrahlung ist aber keine Re-Emission, sondern die Strahlung des gasförmigen Atmosphärenkörpers. "aller Gasmoleküle" ist falsch. In dichten Atmosphärenschichten ist die Zeit zwischen den Kollisionen zweier Moleküle klein gegenüber der Lebensdauer eines angeregten Zustandes (z.B. durch Absorption eines Photons), so daß die Emission meistens von Molekülen erfolgt, die durch Kollisionen angeregt wurden.
11. In den Klimamodellen werden die planetaren und astrophysikalischen Mechanismen nicht angemessen berücksichtigt. **Nach Meinung von G&T.** Die zeitliche Abhängigkeit der Gravitationsbeschleunigung durch den Mond und der Sonne (also der Einfluss der Gezeiten, sprich: hohe und niedrige Tide) und die lokale geographische Situation können nicht angemessen berücksichtigt werden.
12. Nachweis- und Zuordnungsstudien (*detection and attribution studies*), Vorhersagen von Computer-Modellen in chaotischen Systemen und das Konzept der Analyse von Szenarien liegen außerhalb der exakten Wissenschaften, insbesondere der Theoretischen Physik.

Aber die Erhöhung der Gegenstrahlung infolge der Verkürzung der Absorptionslänge liegt im Rahmen der Physik. Auch die Normalverteilung (mathematisches Gesetz - begündet von Gauß) ist die Folge chaotischer Systeme.

13. Die Wahl einer geeigneten Diskretisierungsmethode und die Definition von geeigneten dynamischen Zwangsbedingungen (Fluss-Steuerung), die integraler Bestandteil der Computer-Modellierung geworden sind, sind nichts anderes als eine weitere Form des *Fittens* von Datenkurven (das ist eine Anpassung von Kurven an gegebene Daten durch Ausgleichsrechnung). Der mathematische Physiker von Neumann sagte einst einem seiner jungen Mitarbeiter:

»Wenn Sie mir vier freie Parameter geben, kann ich ein mathematisches Modell konstruieren, das exakt das beschreibt, was ein Elefant tun kann. Wenn Sie mir erlauben, einen fünften Parameter hinzuzufügen, so wird das Modell vorhersagen, dass der Elefant fliegen kann.«

(cf. Ref. Zichichi [2007].)

14. Operatoren mit höheren partiellen Ableitungen (zum Beispiel der Laplace-Operator) können niemals auf Gittern mit weiten Maschen dargestellt werden. Schon daher ist die Beschreibung der Wärmeleitung in globalen Computer-Modellen unmöglich. Die Wärmeleitungsgleichung wird nicht angemessen dargestellt auf Gittern mit weiten Maschen. Sie kann es grundsätzlich nicht werden. Der Wärmetransport durch Wärmeleitung ist bei den hohen Windgeschwindigkeiten in der Atmosphäre gegenüber dem konvektiven Wärmetransport durch die Winde vernachlässigbar. Die Nichtberücksichtigung einer vernachlässigbaren Größe verursacht eine zu vernachlässigende Abweichung.
15. Computer-Modelle von höher-dimensionalen chaotischen Systemen, die am besten durch nicht-lineare partielle Differentialgleichungen (Navier-Stokes-Gleichungen) beschrieben werden, unterscheiden sich fundamental von Berechnungen, in denen die Störungstheorie anwendbar ist und schrittweise Verbesserungen der Vorhersagen - im Zuge der Erhöhung der Rechenleistung - möglich sind.
16. Die Klimaforschung bezieht sich auf eine falsche Interpretation der Unvorhersagbarkeit des Chaos als Schmetterlingsphänomen (»schon der Flügelschlag eines Schmetterlings beeinflusst die spätere Entwicklung schwerwiegend«) als eine weitere Bedrohung der Gesundheit unseres Planeten.
17. Es existiert eine Gegenstrahlung, die bei Verkürzung der Absorptionslänge ansteigt. Dadurch ist – unabhängig von den Wetterkapriolen – die Gegenstrahlung wegen der Verkürzung der Absorptionslänge immer höher als ohne Verkürzung der Absorptionslänge (siehe Kapitel 4.4.4 auf Seite 136)

Mit anderen Worten: Schon der natürliche Treibhauseffekt ist ein Mythos jenseits jeder physikalischen Realität⁹⁹⁾. Der CO₂-Treibhauseffekt jedoch ist ein »Wunder« Thieme [2011]. (Nein, denn er ist mit den Einsteingleichungen Einstein [1916 bzw. 1917] physikalisch exakt zu erklären. Siehe Kapitel 4.1 auf Seite 120)

Die Horror-Visionen der ansteigenden Meeresspiegel, abschmelzenden Polkappen und Entstehenden Wüsten in Nordamerika und Europa sind *fiktive Konsequenzen* von *fiktiven physikalische Mechanismen*, weil sie nicht einmal in Klimamodellrechnungen gesehen werden können. Die Entstehung von Hurrikans und Tornados kann nicht von Klimamodellen vorhergesagt werden, weil diese Abweichungen von vornherein ausgeschlossen sind.

Die Hauptstrategie der modernen CO₂-Treibhausgas-Verteidigern liegt offensichtlich dar-

⁹⁹⁾ Wenn er physikalische Realität ist, muß er auch physikalisch erklärbar sein und kann kein Mythos sein. Eine absorbierende Atmosphäre ohne natürlichen Treibhauseffekt steht im Gegensatz zur Realität (siehe Kommentar S. 87 im Kapitel 3.7.4 auf Seite 83).

in, sich selbst hinter mehr und mehr Pseudo-Erklärungen zu verstecken, die nicht Teil der akademischen Ausbildung, erst recht nicht Teil der Physik-Ausbildung sind. Ein gutes Beispiel sind die Strahlungstransport-Gleichungen, die nicht vielen bekannt sind. Ein anderes Beispiel sind die sogenannten Rückkopplungsmechanismen, die eingeführt worden sind, um Effekte zu verstärken, die nicht nur marginal sind, sondern überhaupt nicht existieren.

Einige von den Rückkopplungen würde ich nicht als Rückkopplung bezeichnen. Das betrifft besonders den Strahlungsantrieb. Mit Annahmen, die in der Natur nicht vorliegen, wird in der Stratosphäre ein Strahlungsantrieb ausgerechnet - und eine Erhöhung der Oberflächentemperatur berechnet, wenn dieser Strahlungsantrieb auf die Oberfläche fallen würde (1). Dann wird realistisch die Veränderung der Oberflächentemperatur bei Änderung der Treibhausgaskonzentration berechnet (2). Dabei ist (2) höher als (1) und das Verhältnis (2) zu (1) wird als Rückkopplung bezeichnet. Dabei sinkt in Wirklichkeit die Strahlung aus der Stratosphäre, weil die Stratosphäre kühler wird. Trotzdem steigt die Oberflächentemperatur weil die Troposphäre dicker wird.

Es offensichtlich, dass die Verteidiger der CO₂-Treibhaus-Hypothese es ablehnen, reproduzierbare Berechnungen vorzulegen. (Eine unzutreffende Behauptung.) Statt dessen stützen sie sich auf nicht-reproduzierbare Berechnungen. Ein theoretischer Physiker muss hier das Fehlen an Transparenz rügen. Er muss auch den Stil der wissenschaftlichen Diskussion kritisieren, in der Vertreter der Treibhaus-These behaupten, die Diskussion sei abgeschlossen. Andere wiederum diskreditieren gerechtfertigte Argumente als eine Diskussion über »Fragen von Gestern und Vorgestern«¹⁰⁰).

In den exakten Wissenschaften, insbesondere in der Theoretischen Physik, ist die Diskussion niemals abgeschlossen und ist im Prinzip fortzusetzen *ad infinitum*, selbst wenn Beweise der betreffenden Theoreme verfügbar sind. Eine grundlegende Regel sollte mindestens erfüllt sein, auch in wissenschaftlichen Disziplinen, die methodisch so weit voneinander entfernt sind, wie Physik und Meteorologie: Die Resultate und Schlussfolgerungen sollten mindestens unter Experten verständlich und reproduzierbar sein. Und es sollte streng unterschieden werden zwischen einer Theorie und einem Modell auf der einen Seite, und zwischen einem prognosefähigen Modell und einem Szenario auf der anderen Seite. Dieser Unterschied lässt sich aus der Wissenschaftstheorie ableiten.

Letztlich heißt das, dass wenn Schlussfolgerungen auf Computer-Simulationen mehr als einfältige Spekulationen sein sollen, die betreffenden physikalischen Grundgleichungen stets kritisch geprüft werden müssen, und zwar

- hinsichtlich ihrer numerischen Stabilität,
- hinsichtlich der Abschätzung der Effekte möglicher Veränderungen vager Eingabeparameter,
- hinsichtlich ihrer Vereinfachungen.

Nicht die Kritiker haben die Effekte einer Approximation abzuschätzen, sondern die Wissenschaftler, welche die Computer-Simulationen durchführen. Das tun sie doch, indem sie Spannweiten der Voraussagen angeben. Ohne Rückkopplungseffekte sind die Reaktionen des Klimasystems auf Konzentrationsänderungen ganz exakt anzugeben, welche Konzentrationsänderungen auftreten ist politikabhängig und mögliche Politik wird durch Szenarien erfaßt. Unsicherheit entsteht durch die Rückkopplungseffekte, die noch nicht in allen Einzelheiten erfaßt sind.

Dazu kommt Chaossystem ist nicht gleich Chaossystem. Es gibt Chaossysteme mit einem oder mehreren Fixpunkten und Chaossysteme ohne Fixpunkte. Die Atmosphäre scheint zu den Chaossystemen mit einem Fixpunkt zu gehören, analog dem Chaos der Teilchenbewegung in einem Gasvolumen.

¹⁰⁰)eine Phrase, die von Storch verwendete Ref. Stilbs [2006]

»Globale Erwärmung ist gut ... Der Netto-Effekt einer globalen Erwärmung ist positiv.« (Singer)¹⁰¹). Wie auch immer, es ist extrem interessant, die Dynamik und die Ursachen der Langzeit-Fluktuationen der Klimaten zu verstehen. Jedoch war es nicht Zweck dieser Arbeit, alle Aspekte der Klima-Variabilität zu behandeln.

5.2 Zusammenfassung

Der Punkt, der hier diskutiert werden sollte, war die Beantwortung der Frage, ob der behauptete atmosphärische Effekt eine physikalische Basis hat. **Doch, die physikalische Basis geht aus den Kommentaren hervor.** Die ist nicht der Fall. Zusammenfassend gesagt, gibt es keinen Treibhauseffekt, insbesondere keinen atmosphärischen CO₂-Treibhauseffekt, weder in der Theoretischen Physik, noch in der Ingenieurthermodynamik. Es ist daher nicht legitim, daraus Vorhersagen herzuleiten und sie als Beratungslösung für Ökonomie und regierungsübergreifende Politik zu verkaufen.

6 Zu dieser deutschen Übersetzung

In dieser Übersetzung - auf ausdrücklichen Wunsch vieler deutschsprachiger Interessenten an der Thematik verfasst -, wurde selbstverständlich darauf geachtet, den Sinn des Originals zu erhalten, auch wenn es manchmal für die bessere Lesbarkeit notwendig war, von der wörtlichen Transkription leicht abzuweichen. Entdeckte Tippfehler der Originalversion (Errata) wurden korrigiert.

7 Dankeswort

Diese Arbeit ist

- (a) dem verstorbenen Professor Subrahmanyan Chandrasekhar gewidmet, den R.D.T. 1991 in Chicago traf,
- (b) dem verstorbenen Professor Carl Friedrich von Weizsäcker, einem geschätzten und verehrten Diskussionspartner beider Autoren
- (c) dem verstorbenen investigativen Wissenschaftsjournalist Holger Heuseler, dem G.G. wertvolle Informationen über dieses Thema verdankt.

Beide Autoren möchten sich gerne einer Reihe von Personen für Diskussionen, E-Mail-Austausch und Unterstützung auf verschiedenen Entwicklungsstufen dieser Arbeit erkenntlich zeigen, speziell

StD Dipl.-Biol. Ernst-Georg Beck, H. J. Labohm, Professor B. Peiser, Dipl.-Ing. H. Thieme, Dipl.-Met. Dr. phil. Wolfgang Thüne und Professor A. Zichichi (CERN)

für die Zusendung des Manuskripts seines Vortrags, der er auf der Vatikan-Konferenz gehalten hat. Mrs. S. Feldhusen sei für ihre erste Übersetzung von Ref. Gerlich [1995] besonders gedankt.

Gerhard Gerlich möchte gerne seine Dankbarkeit all denjenigen gegenüber ausdrücken, die zu seinen Studien direkt oder indirekt beigetragen haben: Studenten, Institutsangehörige, Assistenten in Lehre und Forschung, die seine Texte kritisch gelesen und einige erfolgreiche Literaturrecherchen durchgeführt haben. Insbesondere schuldet er folgenden Diplom-Physikern großen Dank:

¹⁰¹)cf. Singer's Resümee auf der Konferenz in Stockholm 2006 Stilbs [2006].

Dr. V. Blahnik, Dr. T. Dietert, Dr. M. Guthmann, Dr. F. Hoffmann, Dr. G. Linke, Dr. K. Pahlke, Dr. U. Schomäcker, H. Bade, M. Behrens, C. Bollmann, R. Flögel, StR D. Harms, J. Hauschildt, C. Mangelsdorf, D. Osten, M. Schmelzer, A. Söhn und G. Törö, dem Dipl.-Bauing. FH und Architekten P. Bossert und Dipl.-Ing. K. Fischer.

Insbesondere ist Gerhard Gerlich dem Herrn Dr. G.-R. Weber dankbar, weil er ihn frühzeitig auf den hervorragenden DOE-Bericht von 1985 hingewiesen hat ... [1985], an dem praktisch kein deutscher Autor beteiligt war. Schließlich möchte er seine Freude über die vielen interessierten Laien zum Ausdruck bringen, die seine Vorträge, Briefe und Kommentare zur Kenntnis genommen haben.

Ralf D. Tscheuschner dankt all seinen Studierenden an Universitäten und Fachhochschulen, und insbesondere seinen Schülerinnen und Schülern in der Erwachsenenbildung, die einen Stapel Fragen formuliert und gesammelt haben, insbesondere Elvir Donlic. Er dankt Professor A. Bunde für E-Mail-Korrespondenz. Schließlich dankt er Dr. M. Dinter, C. Kloeß, M. Köck, R. Schulz für interessante Diskussionen, und Professor H. Graß für eine aufschlussreiche Diskussion nach seinem Vortrag am 2. Februar 2007 im Planetarium Hamburg.

Für das Korrekturlesen durch M. Mross und Dr. M. Dinter und für die Übersetzung der Arbeit von Fourier aus dem Jahre 1824, zu Beginn durch die von Melanie Willer geleitete Schülerinnen-und-Schüler-Gruppe und schließlich von Dr. M. Dinter sei ebenfalls gedankt.

Die Autoren möchten ihre Hoffnung zum Ausdruck bringen, dass in den Schulen auf dieser Welt die Grundlagen der Physik richtig unterrichtet werden und nicht, indem preisgekrönte »Al Gore« -Filme in Hollywood-Machart für den Unterricht verwendet werden, die jeden aufrechten Physiker schockieren, weil sie in einfältiger bzw. manipulativer Weise Absorption/Emission mit Reflektion, die Tropopause mit der Ionosphäre und Mikrowellen mit Kurzwellen durcheinander bringen.

7.1 Kommentar zu Personen

Die genannten Architekten Paul Bossert und Konrad Fischer bilden eigentlich ein Trio, zu dem noch Prof. Claus Meier gehört, die gesichertes physikalisches Wissen abstreiten. Paul Bossert hat eine Untersuchung der Physik der Außenwände bei der schweizerischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) veranlaßt, an der er selbst beteiligt war Frank u. a. [1994]. Da die Untersuchung die Physik bestätigt hat, bezeichnet er heute die Untersuchung als verfälscht. Mit Konrad Fischer und Prof. Meier fand eine mehrjährige Diskussion in der Zeitschrift »Bauen im Bestand« statt, bei nach Widerlegung aller »fachlichen« Argumente Prof. Meier versuchte, durch ein Papst-Zitat seine »Wissenschaft« zu retten Ebel [2006]. Dazu, daß auch Fachzeitschriften meine Einschätzung teilen ein Zitat Siegele [2002]:

Technik - Schaumstoffschläger

Auf der Homepage des umtriebigen Architekten und streitbaren Dämmstoffgegners Konrad Fischer (<http://home.t-online.de/home/konrad-fischer.de> oder <http://konrad-fischer.bei.t-online.de>) belegen zahlreiche Beiträge, "dass Dämmkonstruktionen - außer auf dem Papier - keine nennenswerte Energie einsparen". Zusammen mit seinen treuen Kampfgenossen Paul Bossert und Claus Meier wettet er - weniger wissenschaftlich als polemisch - unermüdlich gegen Wärmedämmverbundsysteme, die EnEV,

“Klimaschwindel, Naturstromschwindel und sonstigen Abzockschmonz“. Fischers provokante Kommentare und Beiträge zu den “Falschinformationen“ der Dämmstofflobbyisten regen zwar manchmal zum Schmunzeln an, sie erschöpfen sich aber überwiegend in pathetischer Empörung und dumpfer Anklage. Sein fragwürdiges “Lichtenfelser Experiment“ sieht er als endgültigen Beleg dafür an, dass die “künstlichen Leichtbaustoffe dem Energieabfluss verblüffend wenig entgegenzusetzen haben“. Hoch lebe die Deutsche Burgenvereinigung.

8 In stillem Gedenken

Noch vor Fertigstellung dieser Übersetzung verstarb der erste Autor dieser Arbeit nach schwerer Krankheit. Ralf D. Tscheuschner trauert nun um seinen wissenschaftlichen Diskussionspartner und Lehrer, geschätzten Freund und Co-Autor, dem Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Gerhard Gerlich (*6.4.1942 †8.11.2014))

Er wird die vielen Diskussionen bei seinen Besuchen in Braunschweig in Erinnerung behalten, bei denen auch der Humor nicht zu kurz kam. Eine Bemerkung von Professor Gerlich bleibt unvergesslich (als Anspielung auf ein Steckenpferd eines prominenten norddeutschen Klimaforschers), nämlich dass - verglichen mit den globalen Klimamodellen - Donald Duck geradezu realitätsnah ist.



Abbildung 33: Die Physiker Professor Dr. Gerhard Gerlich (links im Bild) und Dr. Ralf D. Tscheuschner am 16. Juli 2007 im Hause der Familie Gerlich in Braunschweig (Photo: Frau Monika Gerlich)

9 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

-5	[Clausius, 1887b, S. 82]	7
-4	[Clausius, 1887b, S. 315]	8
-3	Normatmosphäre und Vergleiche	13
-2	Strahlungsintensität aufwärts (a) und abwärts (b)	15
-1	Temperaturprofil im Strahlungsgleichgewicht	15
0	Auswertung der 42-jährigen Meßwerte in Hohenpeissen [2014]	16
1	Die Geometrie der klassischen Strahlung:	30
2	Zwei parallele Flächen mit Abstand a	32
3	Die Geometrie der klassischen Strahlung:	34
4	Strahlungsvergleich	36
5	Das Spektrum des Sonnenlichts	36
6	ungefilterte spektrale Verteilung der Sonnenstrahlung	37
7	Die exakte Position der Nullstellen	37
8	Die ungefilterte spektrale Verteilung	38
9	Die Strahlungsintensität des Bodens	39
10	Drei Versionen der Familien von Strahlungskurven	40
11	Die ungefilterte spektrale Verteilung - mit überhöht 10	41
12	Die ungefilterte spektrale Verteilung - semilogarithmisch	41
13	Die ungefilterte spektrale Verteilung - mit überhöht 68	42
14	Ein Parallelepipet der Dicke d	44
15	Ein Auszug aus Seite 28 des DOE-Reports (1985).	61
16	Ein sehr populärer physikalischer Fehler	62
17	Ein <u>Hohlraum</u> (ideal schwarzer Körper)	65
101	Temperaturabhängigkeit der Linienstärken	70
102	Normierte Temperaturabhängigkeit der Summenstärken	70
18	Die erste Seite der Arbeit von Fourier	73
19	Die erste Seite der Arbeit von Arrhenius	74
20	Auszug (a) aus der Arbeit von Arrhenius	75
21	Auszug (b) aus der Arbeit von Arrhenius	76
22	Auszug (c) aus der Arbeit von Arrhenius	76
23	Ein schematisches Diagramm der Energiebilanz	80
24	Ein der Sonnenstrahlung ausgesetzter Globus.	83
25	Der rotierende Globus.	91
26	Globus mit geneigter Drehachse	92
27	Abkühlungskurve strahlender Standardwürfel	95
28	Ein einfaches Wärmetransportproblem.	107
29	Dampfmaschine	115
30	Wärmepumpe	116
31	keine Wärmepumpe	116
32	nicht existierende Wärmepumpe	117
33	Gedenken	149

Tabellenverzeichnis

1	Atmosphärische Konzentration von <u>Kohlendioxid</u>	19
2	Drei Versionen einer idealisierten Erdatmosphäre	20

3	Massendichten von Gasen bei normalen atmosphärischen Druck	21
4	Volumenprozent versus Massenprozent:	21
5	Wärmeleitfähigkeiten für die gasförmigen Bestandteile	21
6	Isobare Wärmekapazität c_p usw.	21
7	Berechnung der isochoren Temperaturleitfähigkeit	22
8	Die prozentualen Anteile im Sonnenlicht	35
9	Gemessene Temperaturen innerhalb und außerhalb des Wagens	43
10	Effektive Temperatur T_{Erdboden}	82
11	Effektive »Durchschnitts«-Temperaturen T_{Erdboden}	82
12	Zwei Arten von »Durchschnitts«-Temperaturen	85
13	Beispiel für eine gemessene Temperaturverteilung	90
14	Typische Wärmeeindringkoeffizienten	104
15	Zeit bis zum Einsetzen des Strahlungsfrostes	104
16	Zeit bis zum Einsetzen des Folienfrostes	104

Referenzen

Die Zahlen am Ende einer Referenz sind die Seitennummern, wo die Referenz verwendet wird.

[DINISO6946 2003] : DIN EN ISO 6946: 2003-10; Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient [DIN EN ISO 6946: 2003-10; thermal resistance and heat transfer coefficient]. Beuth-Verlag Berlin. Oktober 2003 107, 110

[AAAS 2006] AAAS: AAAS Board Statement on Climate Change [AAAS Board Erklärung zum Klimawandel]. 2006. – URL <http://www.aaas.org/climate> 22

[Ahrens 2001] AHRENS, C.D.: Essentials of Meteorology [Grundlagen der Meteorologie]. In: Invitation to the Atmosphere. 3rd Edition. Belmont, CA : Thomson Books / Cole, 2001 58

[Albert 1985] ALBERT, H.: Treatise on Critical Reason [Abhandlung über kritische Gründe]. Princeton : Princeton University Press, 1985 28

[Albrecht 1935] ALBRECHT, F.: Untersuchungen über die spektrale Verteilung der Himmelsstrahlung und die Strahlungsbilanz der Atmosphäre [Studies on the spectral distribution of sky radiation and radiation balance of the atmosphere]. In: Meteorologische Zeitschrift 52 (1935), S. 454–452 25

[Albrecht 1951] ALBRECHT, F.: Intensität und Spektralverteilung der Globalstrahlung bei klarem Himmel [Intensity and spectral distribution of solar radiation in clear sky]. In: Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklima B3 (1951), S. 220–243 25

[Albrecht 1988] ALBRECHT, F.: Strahlungsumsatz in Wolken [Turnover radiation in clouds]. In: Meteorologische Zeitschrift 50 (1988), S. 478–486 25

[Alley u. a. 2007] ALLEY, R. u. a.: Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers Intergovernmental Panel of Climate Change 2007 [Klimawandel 2007: The Physical Science Basis - Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger Intergovernmental Panel of Climate Change 2007]. 2007. – URL <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf> 19, 50

- [Angster 2015] ANGSTER, Judit: Photoakustik. 2015. – <http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/akustik/Photoakustik.html> 46
- [Ångström 1900] ÅNGSTRÖM, Knut: Ueber die Bedeutung des Wasserdampfes und der Kohlensäure bei der Absorption der Erdatmosphäre. In: Annalen der Physik 308 (1900), Nr. 12, S. 720–732. – URL <http://dx.doi.org/10.1002/andp.19003081208>. – <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15313j/f814.image.r=%201900%20%20T308.langDE>. – ISSN 1521-3889 25
- [Ångström 1901] ÅNGSTRÖM, Knut: Ueber die Abhängigkeit der Absorption der Gase, besonders der Kohlensäure, von der Dichte. In: Annalen der Physik 311 (1901), Nr. 9, S. 163–173. – URL <http://dx.doi.org/10.1002/andp.19013110913>. – <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15316k/f797.image.langDE>. – ISSN 1521-3889 25
- [Ångström 1905] ÅNGSTRÖM, Knut: Über die Anwendung der elektrischen Kompensationsmethode zur Bestimmung der nächtlichen Ausstrahlung. In: Nova acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis Bd. L. Mitgeteilt der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Upsala. Upsala : Upsala, Druck der akademischen Buchdruckerei, April 1905, S. 257 – 269. – <http://ia800504.us.archive.org/28/items/novaactaregiaeso41kung/novaactaregiaeso41kung.pdf> 25
- [Anonym 2005] ANONYM: Atmosphärenchemie. Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. 2005. – <http://www.pci.tu-bs.de/aggericke/PC5-Atmos/Stratosphaere.pdf> 12
- [Anonymous 1974] ANONYMOUS: Meyer's Enzyklopädisches Lexikon Bd. 10 [Meyer's Encyclopaedic Dictionary Vol 10]. Mannheim : Bibliographisches Institut, 1974 54
- [Anonymous 1990] ANONYMOUS: The greenhouse conspiracy [Die Treibhaus-Verschwörung]. 1990 51
- [Anonymous 1995] ANONYMOUS: Stellungnahme der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft zu den Grundlagen des Treibhauseffektes [Opinion of the German Meteorological Society on the basics of the greenhouse effect]. 1995. – URL <http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/aktivitaeten/pdf/treibhauseffekt.pdf> 56
- [Anonymous 2000] ANONYMOUS: Efficient Windows Collaborative - Your Gateway to Information on How to choose Energy-Efficient Windows [Effiziente Zusammenarbeit unter Windows - Ihr Zugang zu Informationen darüber, wie Sie sich für energieeffiziente Fenster entscheiden können.]. 2000. – URL <http://www.efficientwindows.org> 38, 112
- [Anonymous 2007a] ANONYMOUS: In: Journal of Irreproducible Results (2007). – URL <http://www.jir.com/> 61
- [Anonymous 2007b] ANONYMOUS: Climate Change Experiment Results [Ergebnisse der Klimaversuche]. 2007. – URL <http://www.bbc.co.uk/sn/climateexperiment/> 78
- [Anonymous 2007c] ANONYMOUS: Demarcation Problem [Abgrenzungsproblem]. 2007. – URL http://en.wikipedia.org/wiki/Demarcation_problem 128
- [Anonymous 2007d] ANONYMOUS: The Engineering Toolbox [Der Werkzeugkasten des Ingenieurs]. 2007. – URL http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html 19

- [Anonymous 2007e] ANONYMOUS: The great global warming swindle [Der große Schwindel der globalen Erwärmung]. Thursday 8 March, 9pm 2007 52
- [Anonymous 2007f] ANONYMOUS: Mojib Latif. 2007. – URL <http://www.mopo.de/info/suche/web/index.html?keyword=Mojib%20Latif> 52
- [Anonymous 2007g] ANONYMOUS: Science [Wissenschaft]. 2007. – URL <http://en.wikipedia.org/wiki/Science> 127, 128
- [Anonymous 2007h] ANONYMOUS: SysML - Open Source Specification Project [SysML - Open-Source-Spezifikationsprojekt]. 2007. – URL <http://www.sysml.org/> 80
- [Anonymous 2007i] ANONYMOUS: Der Treibhauseffekt [The greenhouse effect]. 2007. – URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt> 118
- [Arrhenius 1896] ARRHENIUS, S.: On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground [Über den Einfluss von Kohlensäure in der Luft auf die Bodentemperatur]. In: Philosophical Magazine 41 (1896), S. 237–276 18, 25, 70, 71
- [Arrhenius 1901] ARRHENIUS, S.: Über die Wärmeabsorption durch Kohlensäure und ihren Einfluss auf die Temperatur der Erdoberfläche [About the heat absorption by carbon dioxide and its influence on the temperature of the earth's surface]. In: Förhandlingar Svenska Vetenskapsakademiens 58 (1901), S. 25 – 58 25, 70
- [Arrhenius 1903] ARRHENIUS, S.: Lehrbuch der kosmischen Physik. Hirzel, 1903 (Bd. 1). – URL https://books.google.de/books?id=K_JenAEACAAJ 25
- [Arrhenius 1906] ARRHENIUS, S.: Die vermutliche Ursache der Klimaschwankungen [The presumed cause of climate variability]. In: Meddelanden fran K.Vetenskapsakademiens Nobelinstitut 1 (1906), Nr. 2 25, 70, 74, 77
- [Avery und Singer 2006] AVERY, D. T. ; SINGER, S. F.: Unstoppable Global Warming - Every 1500 Years [Unaufhaltsame globale Erwärmung - Alle 1500 Jahre]. Lanham MD : Rowman & Littlefield Publishers, Inc., 2006 19
- [Bakan und Raschke 2002] BAKAN, S. ; RASCHKE, E.: Der natürliche Treibhauseffekt [The natural greenhouse effect]. In: Promet (Deutscher Wetterdienst) 28 (2002), Nr. 3/4, S. 85–94. – URL http://dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/promet/pdf_gross/promet_28_34.pdf 15, 41
- [Balachandran und Ercolessi 1992] BALACHANDRAN, A. P. ; ERCOLESSI, E.: Statistics on Networks [Statistiken über Netzwerke]. In: Int. J. Mod. Phys. A 7 (1992), S. 4633 – 4654 81
- [Barker und Adel 1933] BARKER, E.F. ; ADEL, A.: Resolution of the Two Difference Bands of CO₂ Near 10 μm [Auflösung der beiden Differenzbänder von CO₂ Near 10 μm]. In: Phys. Rev. 44 (1933), S. 185 – 187 25
- [Barron] BARRON, W. R.: Grundlagen der Infrarot-Temperaturmessung [Fundamentals of infrared temperature measurement]. – URL <http://www.omega.de/pdf/ir-book/ti1002.pdf> 81, 134
- [de Bary u. a. 1954] BARY, E. de ; BULLRICH, K. ; MÖLLER, F.: Beiträge zur Erklärung von Himmelsfarbe und Helligkeit [Contributions to the explanation of sky color and brightness]. In: Zeitschrift für Meteorologie 8 (1954), S. 303 – 309 26

- [Bauer 1964] BAUER, H.: Wahrscheinlichkeitstheorie und Grundzüge der Maßtheorie [Measure and Integration Theory]. Berlin : Walter De Gruyter, 1964 93
- [Bauer und Buckel 2002] BAUER, H. ; BUCKEL, R. B.: Measure and Integration Theory [Mess- und Integrationstheorie]. Berlin : Walter De Gruyter, 2002 (Studies in Mathematics 26) 93
- [Baukal 1999] BAUKAL, C. E. Jr.: Heat Transfer in Industrial Combustion [Wärmeübertragung in der industriellen Verbrennung]. Boca Raton : CRC Press LLC, 1999 28, 44, 111
- [Baur und Philips 1934] BAUR, F. ; PHILIPS, H.: Der Wärmehaushalt der Lufthülle der Nordhalbkugel im Januar und Juli und zur Zeit der Äquinoktien und Solstitien. 1. Mitteilung: Die Einstrahlung bei normaler Solarkonstante [The heat budget of the atmosphere of the Northern Hemisphere in January and July and at the time of the equinoxes and solstices. 1. Communication: The radiation at normal solar constant]. In: (Gerlands) Beiträge zur Geophysik 42 (1934), S. 159–207 25
- [Baur und Philips 1935] BAUR, F. ; PHILIPS, H.: Der Wärmehaushalt der Lufthülle der Nordhalbkugel im Januar und Juli und zur Zeit der Äquinoktien und Solstitien. 2. Mitteilung: Ausstrahlung, Gegenstrahlung und meridionaler Wärmetransport bei normaler Solarkonstante [The heat budget of the atmosphere of the Northern Hemisphere in January and July and at the time of the equinoxes and solstices. 2. Communication: Broadcast, meridional radiation and heat transfer during normal solar constant]. 1935 26
- [Beck 2007a] BECK, E.-G.: 180 Years of atmospheric CO₂ Gas Analysis by Chemical Methods [180 Jahre der atmosphärischen CO₂ Gasanalyse mit chemischen Methoden]. In: Energy & Environment 18 (2007), S. 259 – 282 19
- [Beck 2007b] BECK, E.-G.: 180 Years of atmospheric CO₂ Gas Analysis by Chemical Methods, Erratum [180 Jahre der atmosphärischen CO₂ Gasanalyse mit chemischen Methoden, Erratum]. 2007. – URL <http://www.biokurs.de/treibhaus/180CO2/erratum.doc> 19
- [Beckenbach und Bellman 1983] BECKENBACH, E. F. ; BELLMAN, R.: Inequalities [Ungleichungen]. Berlin : Springer, 1983 85
- [Beier 2015] BEIER, Bernhard: Zitatesammlung. Climate Service Center. 2015. – URL http://atlantisforschung.de/index.php?title=Zitatensammlung_zum_Thema_%27Wissenschaft%27 77
- [Berry 1974] BERRY, E. X.: Comment on ‘greenhouse’ effect [Kommentar zum ‘Treibhaus-effekt’]. In: J. Appl. Meteor. 13 (1974), S. 603 – 604 45, 53
- [Blasing und Smith 2007] BLASING, T. J. ; SMITH, K.: Recent Greenhouse Gas Concentrations [Aktuelle Treibhausgaskonzentrationen]. 2007. – URL http://cdiac.esd.ornl.gov/pns/current_ghg.html 19
- [Boltzmann 1884] BOLTZMANN, L.: Ableitung des Stefan’schen Gesetzes, betreffend die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur aus der electromagnetischen Lichttheorie [Stefan’schen derivation of the law, concerning the dependence of the thermal radiation of temperature from the electromagnetic theory of light]. In: Annalen der Physik und Chemie 22 (1884), S. 291 – 294 23

- [Borchardt 2012] BORCHARDT, Matthias: Die Plancksche Strahlungskurve. Internet. 2012. – http://www.mabo-physik.de/plancksche_strahlungskurve.html 14
- [Born und Wolf 1997] BORN, M. ; WOLF, E.: Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light [Prinzipien der Optik: Elektromagnetische Theorie der Ausbreitung, Störung und Beugung von Licht]. Bd. 6th Edition. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1997 63
- [Bouali 2006] BOUALI, H.: Combined radiative and convective heat transfer in a divided channel [Kombinierte strahlende und konvektive Wärmeübertragung in einem geteilten Kanal]. In: Int. J. Numerical Methods Heat & Fluid Flow 16 (2006), S. 84–106 111, 127
- [Bray und von Storch 2007] BRAY, D. ; STORCH, H. von: Climate Scientists: Perceptions of Climate Change Science [Klimawissenschaftler: Wahrnehmungen der Wissenschaft vom Klimawandel]. 2007. – URL <http://coast.gkss.de/staff/storch/pdf/070511.bray.GKSS.pdf> 131
- [Bronstein und Semendajew 2008] BRONSTEIN, I. N. ; SEMENDAJEW, K. A.: Taschenbuch der Mathematik. 7. Auflage. Frankfurt am Main : Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH, 2008. – ISBN 978-3-8171-2017-8 98, 100, 101, 102
- [Budden 1966] BUDDEN, K. G.: Radio Waves in the Ionosphere [Radiowellen in der Ionosphäre]. Cambridge University Press, 1966 62
- [Businger 1963] BUSINGER, J. A.: The glasshouse (greenhouse) climate [Das Klima des Gewächshauses (Treibhaus)]. In: WIJK, W. R. V. (Hrsg.): Physics of Plant Environment. Amsterdam : North Holland Publishing Co., 1963 52
- [Callen 1985] CALLEN, H. B.: Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics. Second edition [Thermodynamik und eine Einführung in die Thermostatik. Zweite Ausgabe]. New York : John Wiley & Sons, 1985 20
- [Callendar 1938] CALLENDAR, G. S.: The Articial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Climate [Die künstliche Produktion von Kohlendioxid und dessen Einfluss auf das Klima]. In: Quarterly J. Royal Meteorological Society 64 (1938), S. 223–240 25, 77
- [Callendar 1939] CALLENDAR, G. S.: The Composition of the Atmosphere through the Ages [Die Zusammensetzung der Atmosphäre durch die Zeitalter hindurch]. In: Meteorological Magazine 74 (1939), S. 33–39 25, 77
- [Callendar 1940] CALLENDAR, G. S.: Variations in the Amount of Carbon Dioxide in Different Air Currents [Schwankungen der Kohlendioxidmenge in verschiedenen Luftströmen]. In: Quarterly J. Royal Meteorological Society 66 (1940), S. 395–400 25, 77
- [Callendar 1941] CALLENDAR, G. S.: Infra-Red Absorption by Carbon Dioxide, with Special Reference to Atmospheric Radiation [Infrarot-Absorption durch Kohlendioxid, insbesondere die atmosphärische Strahlung]. In: Quarterly J. Royal Meteorological Society 67 (1941), S. 263–275 25, 77
- [Callendar 1949] CALLENDAR, G. S.: Can Carbon Dioxide Influence Climate? [Kann Kohlendioxid das Klima beeinflussen?]. In: Weather 4 (1949), S. 310 – 314 25, 77

- [Callendar 1958] CALLENDAR, G. S.: On the Amount of Carbon Dioxide in the Atmosphere [Zur Menge an Kohlendioxid in der Atmosphäre]. In: Tellus 10 (1958), S. 243 – 248 25, 77
- [Callendar 1961] CALLENDAR, G. S.: Temperature Fluctuations and Trends over the Earth [Temperaturschwankungen und Trends auf der Erde]. In: Quarterly J. Royal Meteorological Society 87 (1961), S. 1 – 12 25, 77
- [Cess 1990] CESS, R. D.: Intercomparison and Interpretation of Climate Feedback Processes in 19 Atmospheric General Circulation Models [Vergleich und Interpretation von Klima-Feedback-Prozessen in 19 atmosphärischen allgemeinen Zirkulationsmodellen]. In: J. Geophysical Research 95 (1990), S. 16601 – 16615 26
- [Chandrasekhar 1960] CHANDRASEKHAR, S.: Radiative Transfer [Strahlungstransfer]. New York : Dover Publications, Inc., 1960 28, 30, 31, 67
- [Chang 1968] CHANG, J.-H.: Climate and Agriculture [Klima und Landwirtschaft]. Chicago : Aldine Puhl, 1968 53
- [Chorin und Marsden 1993] CHORIN, A. J. ; MARSDEN, J. E.: A Mathematical Introduction to Fluid Mechanics [Eine mathematische Einführung in die Strömungsmechanik]. Bd. Third Edition. New York : Springer, 1993 121
- [Clausius 1887a] CLAUDIUS, R.: Mechanical Theory of Heat [Die Mechanische Wärmetheorie]. 1887. – URL <http://www.humanthermodynamics.com/Clausius.html> 6, 113, 114
- [Clausius 1887b] CLAUDIUS, R.: Die Mechanische Wärmetheorie [The Mechanical Theory of Heat]. Bd. 3. Auflage. Vieweg, 1887 6, 7, 8, 113, 114, 115, 150
- [Cole 1970] COLE, F.-W.: Introduction to Meteorology [Einführung in die Meteorologie]. New York : Wiley, 1970 53
- [Connolley 2007] CONNOLLEY, W. M.: Science (related to climate change) [Wissenschaft (im Zusammenhang mit dem Klimawandel)]. 2007. – URL http://www.wmconnolley.org.uk/sci/wood_rw.1909.html 46
- [Cracken 1985] CRACKEN, M. C. M.: Carbon Dioxide and Climate Change: Background and Overview [Kohlendioxid und Klimawandel: Hintergrund und Überblick]. In: ENERGY, DOE/ER 0. United States Department of (Hrsg.): Projecting the Climatic Effects of Increasing Carbon Dioxide [Projektion der klimatischen Auswirkungen der Erhöhung des Kohlendioxidausstoßes], Dez. 1985, S. 25 – 55 61, 80
- [Cubasch u. a. 1995] CUBASCH, U. ; SAUTER, B.D. ; HEGEL, G.C.: Klimamodelle - Wo stehen wir? [Climate Models - Where do we stand?]. In: Phys. Blätter 4 (1995), S. 269 – 276 78
- [Curtis und Goody 1956] CURTIS, A.R. ; GOODY, R.M.: Thermal Radiation in the upper atmosphere [Wärmestrahlung in der oberen Atmosphäre]. In: Proc. Roy. Soc. London A236 (1956), S. 193 – 206 26
- [Davidson 2003] DAVIDSON, P. A.: An Introduction to Magnetohydrodynamics [Eine Einführung in die Magnetohydrodynamik]. Cambridge University Press, 2003 122

- [Dictionary of Geophysics, Astrophysics, and Astronomy 2001] DICTIONARY OF GEOPHYSICS, ASTROPHYSICS, AND ASTRONOMY, Boca Raton 2.: D. Basu, Dictionary of Geophysics, Astrophysics, and Astronomy [D. Basu, Wörterbuch der Geophysik, Astrophysik und Astronomie]. Boca Raton : CRC Press, 2001 58, 92
- [Draper und Smith 1998] DRAPER, N. R. ; SMITH, H.: Applied Regression Analysis [Angewandte Regressionsanalyse]. New Jersey : Wiley, Hoboken, 1998 131
- [DWD 2014] DWD: Wetterlexikon. DWD. 2014. – <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=T&DAT=Troposphaere>, <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=S&DAT=Stratosphaere> 12
- [Dyson 2005] DYSON, F.: University of Michigan 2005: Winter Commencement Address [University of Michigan 2005: Winterantrittsadresse]. 2005. – URL <http://www.umich.edu/news/index.html?DysonWinCom05> 120
- [Ebel 2006] EBEL, J.: Strahlungsheizung [Radiant heating]. In: B+B (Bauen im Bestand) (2006), Nr. 5 148
- [Einstein 1916 bzw. 1917] EINSTEIN, Albert: Zur Quantentheorie der Strahlung [For the quantum theory of radiation]. In: Physikalische Zeitschrift bzw. Physikalische Gesellschaft Zürich - Mitteilungen 18 (1916 bzw. 1917), S. 47 – 62 bzw. 121 – 128 11, 24, 46, 50, 54, 57, 64, 65, 66, 113, 119, 122, 131, 135, 140, 145
- [Elsaesser 1990] ELLSAESSER, Hugh W.: A different view of the climatic effect of CO₂ - Updated [Eine unterschiedliche Sicht auf die Klimawirkung von CO₂ Update]. In: Atmósfera 3 (1990), Nr. 1, S. 3 – 29. – <http://132.247.146.34/index.php/atm/article/view/8290>. – ISSN 0187-6236 51
- [Elsaesser 1984] ELSAESSER, H. W.: The Climate Effect of CO₂: A Different View [Der Klimaeffekt von CO₂: Eine andere Sicht]. In: Atmos. Env. 18 (1984), S. 431 – 434 51
- [Emden 1913] EMDEN, R.: Über Strahlungsgleichgewicht und atmosphärische Strahlung: ein Beitrag zur Theorie der oberen Inversion. Verlag der Königl. Bayerischen Akad. der Wiss., 1913 (Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften). – URL <https://books.google.de/books?id=Ty0ZnQEACAAJ> 49, 97
- [Emmerich u. a. 1978] EMMERICH, A. ; GERLICH, G. ; KAGERMANN, H.: Particle motion in stochastic force fields [Partikelbewegung in stochastischen Kraftfeldern]. In: Physica 92A (1978), S. 262 – 378 126, 130
- [Encyclopaedia Britannica Online 2007] ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA ONLINE, Anonymous: The Greenhouse Effect [Der Treibhauseffekt]. 2007. – URL <http://www.britannica.com/eb/article-9037976/greenhouse-effect> 59
- [Encyclopaedia of Astronomy and Astrophysics 2001] ENCYCLOPAEDIA OF ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS, P. (Ed.): Encyclopaedia of Astronomy and Astrophysics [Enzyklopädie der Astronomie und Astrophysik]. New York : Nature Publishing Group, 2001 59, 92
- [Essex u. a. 2007] ESSEX, C. ; MCKITRICK, R. ; ANDRESEN, B.: Does a Global Temperature Exist? [Gibt es eine globale Temperatur?]. In: J. Non- Equil. Thermod. 32 (2007), S. 1 – 27 90

- [Evans und Kenney 1964] EVANS, E. V. ; KENNEY, C. N.: A Flow Method for Determining the Thermal Conductivity of Gas Mixtures [Ein Strömungsverfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Gasgemischen]. In: Nature 203 (1964), S. 184 – 185 20
- [F. Kreith u. a. 1999] F. KREITH, R. F. B. u. a.: Heat and Mass Transfer [Wärme- und Stoffübertragung]. In: KREITH, Frank (Hrsg.): Mechanical Engineering Handbook. Boca Raton : CRC Press LLC, 1999 28, 44, 111
- [Fischer 2008] FISCHER, Robert: Optical System Design, Second Edition. Mcgraw-hill, 2008 (McGraw Hill professional). – URL https://books.google.de/books?id=JgDyhjPt-_4C. – ISBN 9780071472487 34
- [Fleagle und Businger 1963] FLEAGLE, R. G. ; BUSINGER, J. A.: An Introduction to Atmospheric Physics [Eine Einführung in die Physik der Atmosphäre]. New York : Academic Press, 1963 52
- [Fourier 1824a] FOURIER, J.: Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires [Memoiren über die Temperaturen der Erdkugel und der Planetenräume]. In: Mémoires de l'Academie Royale des Sciences 7 (1824), S. 569 – 604 25, 27, 71, 109, 114, 166
- [Fourier 1824b] FOURIER, J.: Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires [General remarks on the temperatures on the Earth and the planetary spaces - Allgemeine Anmerkungen zu den Temperaturen auf der Erde und den Planetenräumen]. In: Annales de Chemie et de Physique 27 (1824), S. 136–167 13, 18, 25, 71, 72, 114, 129
- [Frank u. a. 1994] FRANK, T. ; BOSSERT, Paul u. a. ; 788, Untersuchungsbericht Nr. 1. (Hrsg.): Energiebilanz von Außenwänden unter realen Randbedingungen [Energy performance of external walls under real boundary conditions]. Dübendorf, Schweiz : Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), 1994 148
- [Fullekrug 2006] FULLEKRUG, M.: Atmospheric electromagnetics and climate change [Atmosphärische Elektromagnetik und Klimawandel]. In: (ED.), C. B. (Hrsg.): From Regional Climate Modelling to the Exploration of Venus Bd. ERCA 7. Grenoble, France, 2. November 2006, S. 157 – 166 157 63
- [Gamache 2013] GAMACHE, R.R.: Total Internal Partition Sums (TIPS). Harvard University. 2013. – <https://www.cfa.harvard.edu/HITRAN/HITRAN2012/Global-Data/Fortran%20programs%20for%20Partition%20Sums/> 69
- [Gerlich 1970] GERLICH, G.: Tensorpotentiale in der Magnetohydrodynamik und das Dynamoproblem, Thesen [Tensorpotentiale in magnetohydrodynamics and the dynamo problem, theses]. TU Braunschweig, 1970 122
- [Gerlich 1976] GERLICH, G.: Eine Verallgemeinerung des Stratonovich-Verfahrens für Anwendungen in der statistischen Mechanik [A generalization of the Stratonovich procedure for applications in statistical mechanics]. In: Physica 82A (1976), S. 477 – 499 126, 130
- [Gerlich 1995] GERLICH, G.: Physical foundations of the greenhouse effect and fictitious greenhouse effects [Physikalische Grundlagen des Treibhauseffekts und fiktive Treibhauseffekte]. In: Gespräch auf dem Herbstkongress der Europäischen Akademie für Umweltfragen: Die Treibhaus-Kontroverse, 1995 [Discussion on the Fall Congress of the

- European Academy for the Environment: The global warming controversy, 1995]. Leipzig, 9. - 10. 11. 1995 42, 147
- [Gerlich 2004] GERLICH, G.: Physikalische und mathematische Gesetze in der globalen Klimatologie [Physical and mathematical laws in the global climatology]. In: GESPRÄCH (Hrsg.): Klimawandel - menschlich bedingt oder aufgebauscht? [Climate change - human-caused or baggy?]. Göttingen : Friedrich Naumann Stiftung und Rudolf von Bennigsen Stiftung, 15. 5. 2004 42
- [Gerlich 2005a] GERLICH, G.: Klima, Energie und Katastrophen [Climate, energy and disaster]. Erkrath : MIT Mittelstandsund Wirtschaftsvereinigung der CDU, Stadtverband Erkrath, 19. 10. 2005 42
- [Gerlich 2005b] GERLICH, G.: On the physics and mathematics of global climate models [Zur Physik und Mathematik globaler Klimamodelle]. In: Gespräch, Kyoto - Klimaprognosen - Aussagekraft der Modelle und Handlungsstrategien [Conversation, Kyoto - Climate Forecasts - expressiveness of the models and strategies for action]. Theodor-Heuss-Akademie, Gummersbach, 20. 2. 2005 42
- [Gerlich 2007] GERLICH, G.: Über die Physik und Mathematik globaler Klimamodelle [About the physics and mathematics of global climate models]. In: GESPRÄCH (Hrsg.): Kolloquium der Deutschen Chemischen Gesellschaft. Münster, 21. 05. 2007 42
- [Gerlich und Kagermann 1977] GERLICH, G. ; KAGERMANN, H.: Herleitung kinetischer Gleichungen mit dem verallgemeinerten Stratonovich-Verfahren [Derivation of kinetic equations with the generalized Stratonovich method]. In: Physica 88A (1977), S. 283 – 304 126, 130
- [Gerlich und Wulbrand 1978] GERLICH, G. ; WULBRAND, W.: Kinetische Gleichungen für Systeme mit unendlich vielen Freiheitsgraden [Kinetic equations for systems with infinitely many degrees of freedom]. In: Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft Bd. XXIX, 1978, S. 97 – 105 130
- [Gerlich 2008] GERLICH, Gerhard: Betreff: Re: Leserbrief [Subject: Re: Letter to the editor]. E-mail to author E-mail and large round. 2008. – 18. Feb 2008 22:58 138
- [Gerlich und Tscheuschner 2009] GERLICH, Gerhard ; TSCHUSCHNER, Ralf D.: Falsification Of The Atmospheric CO₂ Greenhouse Effects Within The Frame Of Physics. Internet. 2009. – URL http://www.arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0707/0707.1161v4.pdf 5, 10
- [Gerlich und Tscheuschner 2010] GERLICH, Gerhard ; TSCHUSCHNER, Ralf D.: REPLY TO “COMMENT ON ‘FALSIFICATION OF THE ATMOSPHERIC CO₂ GREENHOUSE EFFECTS WITHIN THE FRAME OF PHYSICS’ BY JOSHUA B. HALPERN, CHRISTOPHER M. COLOSE, CHRIS HO-STUART, JOEL D. SHORE, ARTHUR P. SMITH, JÖRG ZIMMERMANN [“ Antwort zu “Falsification des atmosphärischen CO₂-Treibhauseffekts im Rahmen der Physik“]. In: International Journal of Modern Physics B (IJMPB) 24 (2010), Nr. 10, S. 1333–1359. – <http://www.worldscinet.com/ijmpb/24/2410/S0217979210055573.html>, autorisierte Übersetzung: http://tsch.de/falsi-in-deutsch/webfolder/data/_200_ANTWORTEN_AUF_WIDERLEGUNGSVERSUCHE_AUF_DEUTSCH_/Gerlich-und-Tscheuschner-20150501-Antwort-auf-Halpern-et-al-v100-de7-A4-.pdf 5, 6

- [Gold 1909] GOLD, E.: The Isothermal Layer of the Atmosphere and Atmospheric Radiation [Die isotherme Schicht der Atmosphäre und die atmosphärische Strahlung]. In: Proc. Roy. Soc. London A82 (1909), S. 43–70 26, 49, 61, 73, 129
- [Gore 2006] GORE, Al: An Inconvenient Truth: The Planetary Emergency of Global Warming and What We Can Do About It [Eine unbequeme Wahrheit: Die planetarische Notlage der globalen Erwärmung und was wir dagegen tun können.]. New York : Melcher Media/Rodale Publishing, 2006 62
- [Graßl 1996] GRASSL, H.: 'Treibhausgase' haben deutlichen Einfluss ['Greenhouse gases' have significant influence]. In: Handelsblatt 3.1. (1996) 57
- [Graßl 2007] GRASSL, H.: Zwischen Eiszeit und globaler Erderwärmung [Between Ice Age and global warming]. In: Gespräch. Planetarium Hamburg, 02. Feb. 2007 50
- [Grigull und Sandner 1979] GRIGULL, Ulrich ; SANDNER, Heinrich: Wärmeleitung [thermal conduction]. Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag, 1979 98, 101, 102, 104, 110
- [Guggenheim 2006] GUGGENHEIM, D.: An Inconvenient Truth [Eine unbequeme Wahrheit]. 2006. – URL <http://www.climatecrisis.net> 62
- [Halpern u. a. 2010] HALPERN, J. u. a.: COMMENT ON “FALSIFICATION OF THE ATMOSPHERIC CO₂ GREENHOUSE EFFECTS WITHIN THE FRAME OF PHYSICS“[Kommentar zur “FALSIFICATION DES ATMOSPHERISCHEN CO₂-TTREIBHAUS-EFFEKTS IM RAHMEN DER PHYSIK“]. In: Journal of Modern Physics B 24 (2010), S. 1309–1332 5
- [Hansen u. a. 1983] HANSEN, J. u. a.: Efficient Three-Dimensional Global Models for Climate Studies: Models I and II [Effiziente dreidimensionale globale Modelle für die Klimaforschung: Modelle I und II]. In: Monthly Weather Review 111 (1983), S. 609 – 662 119
- [Harde 2011] HARDE, Hermann: Was trägt CO₂ wirklich zur globalen Erwärmung bei?: Spektroskopischen Untersuchungen und Modellrechnungen zum Einfluss von H₂O, CO₂, CH₄ und O₃ auf unser Klima. Books on Demand, 2011. – https://books.google.de/books?id=C3Amm48_MoC. – ISBN 9783842371576 24, 67, 68
- [Harde 2013] HARDE, Hermann: Radiation and Heat Transfer in the Atmosphere: A Comprehensive Approach on a Molecular Basis [Strahlung und Wärmeübertragung in der Atmosphäre: Ein umfassender Ansatz auf molekularer Basis]. In: International Journal of Atmospheric Sciences (2013), S. 1 – 26. – <http://www.hindawi.com/journals/ijas/2013/503727/cta/>, Article ID 503727 24, 67, 68
- [Hardy u. a. 1934] HARDY, G. H. ; LITTLEWOOD, J. E. ; POLYA, G.: Inequalities [Ungleichungen]. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1934 85
- [Hardy 2003] HARDY, J. P.: Climate Change. Causes, Effects, and Solutions [Klimawandel. Ursachen, Auswirkungen und Lösungen]. West Sussex, England : John Wiley & Sons Ltd., 2003 19, 20
- [Heiss 1999] HEISS, K. P.: Globale Erwärmung - Globaler Winter: was sagen die Daten? [Global Warming - Global Winter: what the data say?]. 1999. – Klaus-p-heiss@msn.com 19

- [Heuseler 1996] HEUSELER, W.: Private Communication. 1996 78
- [Hofmann 1955] HOFMANN, G.: Zur Darstellung der spektralen Verteilung der Strahlungsenergie [To display the spectral distribution of radiation energy]. In: Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklima B6 (1955), S. 274 – 279 26
- [Hohenpeissen 2014] HOHENPEISSEN: Daten Tropopause. 2014. – Private Kommunikation mit DWD Hohenpeißenberg 16, 150
- [Houghton u. a. 1990a] HOUGHTON, J.T. u. a.: Climate Change 1990: The IPCC Scientific Assessment - Report Prepared for IPCC by Working Group I [Klimawandel 1990: Die IPCC Scientific Assessment - Report Erstellt für IPCC von der Arbeitsgruppe I]. Cambridge : University Press, 1990 22, 50
- [Houghton u. a. 1990b] HOUGHTON, J.T. u. a.: Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IS92 Emission Scenarios [Klimawandel 1994: Radiative Forcierung des Klimawandels und Bewertung der IS92-Emissionsszenarien]. Report of Working Groups I and III of the IPCC. Cambridge : University Press, 1990 22, 26
- [Houghton u. a. 1990c] HOUGHTON, J.T. u. a.: Scientific Assessment of Climate Change - The Policymakers' Summary of the Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel of Climate Change [Wissenschaftliche Bewertung des Klimawandels - Zusammenfassung des Berichts der Arbeitsgruppe I des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen durch die politischen Entscheidungsträger]. WHO, IPCC, UNEP, 1990 22, 26, 27
- [Houghton u. a. 1992] HOUGHTON, J.T. u. a.: Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment - Report Prepared for IPCC by Working Group I [Klimawandel 1992: Der Nachtragsbericht zum IPCC Scientific Assessment - Bericht für den IPCC erstellt von der Arbeitsgruppe I]. Cambridge : University Press, 1992 22, 27, 50, 78
- [Houghton u. a. 1994] HOUGHTON, J.T. u. a.: Radiative Forcing of Climate Change: Summary for Policymakers [Strahlungsantrieb des Klimawandels: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger]. WHO, IPCC, UNEP : Report of the Scientific Assessment Working Group of IPCC, 1994 22, 23, 26
- [Houghton u. a. 1996] HOUGHTON, J.T. u. a.: Climate Change 1995: The Science of Climate Change - Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report [Klimawandel 1995: The Science of Climate Change - Beitrag der Arbeitsgruppe I zum zweiten Bewertungsbericht]. Cambridge : University Press, 1996 22, 26, 78
- [Houghton u. a. 2001] HOUGHTON, J.T. u. a.: Climate Change 2001: The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report [Klimawandel 2001: Die wissenschaftliche Grundlage - Beitrag der Arbeitsgruppe I zum dritten Bewertungsbericht]. Cambridge : University Press, 2001 22, 26
- [Huang 1987] HUANG, K.: Statistical Mechanics. New York : John Wiley & Sons, 1987 20
- [Hug 2006] HUG, H.: Die Angsttrompeter [The Anxiety trumpeters]. München : Signum Verlag, 2006 51

- [Hölder 1889] HÖLDER, O.: Über einen Mittelwertsatz [Over a mean rate]. In: Nachr. Ges. Wiss. Göttingen (1889), S. 38 – 47 85
- [Itzykson und Zuber 1980] ITZYKSON, C. ; ZUBER, J.-B.: Quantum Field Theory [Quantenfeldtheorie]. New York : McGraw-Hill Education, 1980 80
- [Jackson 1962] JACKSON, J. D.: Classical Electrodynamics [Klassische Elektrodynamik]. New York : John Wiley & Sons, 1962 34, 38
- [Jaworowski 2007] JAWOROWSKI, Z.: CO₂: The Greatest Scientific Scandal of Our Time [CO₂: Der größte wissenschaftliche Skandal unserer Zeit]. In: EIR Science March 16 (2007), S. 38 – 53 19, 52
- [Jones und Henderson-Sellers 1990] JONES, M. D. H. ; HENDERSON-SELLERS, A.: History of the greenhouse effect [Geschichte des Treibhauseffekts]. In: Progress in physical geography 14 (1) (1990), S. 1 – 18 46
- [Kassner 2000] KASSNER, K.: Theoretische Physik IV, Vorlesungsskript zur Statistik [Theoretical Physics IV, lecture script on statistics]. 2000. – URL http://wase.urz.uni-magdeburg.de/kassner/itp2/thermoscript_orig.pdf 118
- [Keeling 1960] KEELING, C. D.: The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere [Die Konzentration und der isotopische Überfluss an Kohlendioxid in der Atmosphäre]. In: Tellus 12 (1960), S. 200 – 2003 25, 77
- [Keeling 1973] KEELING, C. D.: The Carbon Dioxide Cycle: Reservoir Models to Depict the Exchange of Atmospheric Carbon Dioxide with the Ocean and Land Plants [Der Kohlendioxid-Kreislauf: Speichermodelle zur Darstellung des Austausches von atmosphärischem Kohlendioxid mit den Meeres- und Landanlagen]. In: Chemistry of the Lower Atmosphere (1973), S. 251 – 329 25, 77
- [Keeling 1978] KEELING, C. D.: The Influence of Mauna Loa Observatory on the Development of Atmospheric CO₂ Research [Der Einfluss des Mauna Loa Observatoriums auf die Entwicklung der atmosphärischen CO₂ Forschung]. In: MILLER, John (Hrsg.): In Mauna Loa Observatory. A 20th Anniversary Report. NOAA Environmental Research Laboratories, Boulder, CO : National Oceanic and Atmospheric Administration Special Report, September 1978, S. 36 – 54 25, 77
- [Keeling 1998] KEELING, C. D.: Rewards and Penalties of Monitoring the Earth [Belohnungen und Strafen für die Überwachung der Erde]. In: Annual Review of Energy and the Environment 23 (1998), S. 25 – 8225 25, 77
- [Keeling u. a. 1976] KEELING, C. D. u. a.: Atmospheric Carbon Dioxide Variations at Mauna Loa Observatory [Atmosphärische Kohlendioxidvariationen am Mauna Loa Observatorium]. In: Tellus 28 (1976), S. 538 – 551 25, 77
- [Keeling u. a. 1989] KEELING, C. D. u. a.: A Three-Dimensional Model of Atmospheric CO₂ Transport Based on Observed Winds [Ein dreidimensionales Modell des atmosphärischen CO₂-Transports basierend auf beobachteten Winden]. In: PETERSON, David H. (Hrsg.): Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas [Aspekte der Klimavariabilität im Pazifik und in West- und Südamerika]. American Geophysical Union, Washington DC : AGU Monograph 55, 1989, S. 165 – 363 25, 77

- [Keeling u. a. 1996] KEELING, C. D. u. a.: Increased Activity of Northern Vegetation Inferred from Atmospheric CO₂ Measurements [Erhöhte Aktivität der nördlichen Vegetation abgeleitet von atmosphärischen CO₂ Messungen]. In: Nature 382 (1996), S. 146 – 149 25, 77
- [Khilyuk und Chilingar 2006] KHILYUK, L. F. ; CHILINGAR, G. V.: On global forces of nature driving the Earths climate. Are humans involved? [Über globale Naturgewalten, die das Klima der Erde beeinflussen. Sind Menschen beteiligt?]. In: Environ. Geol. 50 50 (2006), S. 899 – 910 19
- [Kittel 2000] KITTEL, C.: Thermal Physics [Thermische Physik]. Bd. 21st Printing. New York, 1980 : W.H. Freeman and Company, 2000 27, 50
- [Kneer 2006] KNEER, R.: FEUERUNGSTECHNIK [combustion technology]. Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen. 2006. – URL http://www.wsa.rwth-aachen.de/uploads/tx_lnetfiles/skript_ft_komplett_20-11-06.pdf 67, 68, 97
- [Kuptsov 2001] KUPTSOV, L.P.: Hölder inequality [Höldersche Ungleichung]. In: Encyclopaedia of Mathematics (SpringerLink), URL <http://eom.springer.de/H/h047514.htm>, 2001 85
- [...] ...: Emissionsfaktoren. – URL <http://www.omega.de/pdf/ir-book/ti1008.pdf> 81
- [...1978] ... ; J. GRIBBIN (Hrsg.): Climatic Change [Klimawandel]. Cambridge : University Press, 1978 26
- [...1985] ... ; MACCRACKEN, M. C. (Hrsg.) ; LUTHER, F. M. (Hrsg.): Projecting the Climatic Effects of Increasing Carbon Dioxide [Projektion der klimatischen Auswirkungen der Erhöhung des Kohlendioxidausstoßes]. United States Department of Energy, DOE/ER 0237, Dec. 1985 26, 45, 61, 67, 148
- [...1990] ...: Radar in Meteorology [Radar in der Meteorologie]. In: D. ATLAS (Hrsg.): AMS Battan Memorial Volume, American Meteorological Society, 1990 63
- [...2000] ...: Absorption TiNOX. 2000. – URL <http://www.solar4ever.de/Tinox.htm> 83
- [...2007a] ...: Pontifical Council for Justice and Peace, Climate Change and Development. International Conference [Päpstlicher Rat für Gerechtigkeit und Frieden, Klimawandel und Entwicklung. Internationale Konferenz]. The Vatican. 26. - 27. April 2007. – URL http://www.justpax.it/eng/home_eng.html 19
- [...2007b] ... ; CRAIG, E. (Hrsg.): Routledge Encyclopedia of Philosophy [Routledge Enzyklopädie der Philosophie]. New York : Routledge/Taylor & Francis, 2007. – URL <http://www.rep.routledge.com> 127, 128
- [Lee 1966] LEE, B.: Effects of tent-type enclosures on the microclimate and vaporization of plant cover [Auswirkungen von Zeltgehäusen auf das Mikroklima und die Verdampfung von Pflanzendecken]. In: Oecologica Plantarum 1 (1966), S. 301 – 326 52
- [Lee 1973] LEE, R.: The 'greenhouse' effect [Der Treibhauseffekt]. In: J. Appl. Meteor. 12 (1973), S. 556 – 557 45, 52, 61

- [Lewis 2006] LEWIS, M.: A Skeptic's Guide to An Inconvenient Truth [Der Wegweiser eines Skeptikers zu einer unbequemen Wahrheit]. Washington : Competitive Enterprise Institute, 2006. – URL http://www.cei.org/pages/ait_response.cfm 62
- [Lide 2002] LIDE, D. R.: CRC Handbook of Chemistry and Physics [CRC Handbuch für Chemie und Physik]. Bd. 83th Edition. Boca Raton : CRC Press LLC, 2002 19, 20, 21
- [Lorenz 1963] LORENZ, E. N.: Deterministic Nonperiodic Flow [Deterministischer nicht-periodischer Fluss]. In: J. Atmospheric Sciences 20 (1963), S. 130 – 141 130
- [Luther und Ellingson 1985] LUTHER, F. M. ; ELLINGSON, R. G.: Carbon Dioxide and the Radiation Budget [Kohlendioxid und das Strahlungsbudget]. In: Projecting the Climatic Effects of Increasing Carbon Dioxide [Projektion der klimatischen Auswirkungen der Erhöhung des Kohlendioxidausstoßes], United States Department of Energy, DOE/ER 0237, Dec. 1985, S. 25 – 55 41
- [Manabe 1969a] MANABE, S.: Climate and the Ocean Circulation: I. The Atmospheric Circulation and the Hydrology of the Earth's Surface [Klima und Ozeanzirkulation: I. Die atmosphärische Zirkulation und die Hydrologie der Erdoberfläche]. In: Monthly Weather Review 97 (1969), S. 739 – 774 26
- [Manabe 1969b] MANABE, S.: Climate and the Ocean Circulation: II. The Atmospheric Circulation and the Effect of Heat Transfer by Ocean Currents [Klima und Ozeanzirkulation: II. Die atmosphärische Zirkulation und die Wirkung der Wärmeübertragung durch Meeresströmungen]. In: Monthly Weather Review 97 (1969), S. 775 – 805 26
- [Manabe und Strickler 1964] MANABE, S. ; STRICKLER, R.F.: Thermal Equilibrium of the Atmosphere with Convective Adjustment [Thermisches Gleichgewicht der Atmosphäre mit konvektiver Einstellung]. In: J. Atmosph. Sciences 21 (1964), S. 361 – 385 26, 97
- [Manabe und Wetherald 1967] MANABE, S. ; WETHERALD, R.T.: Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity [Thermisches Gleichgewicht der Atmosphäre bei gegebener Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit]. In: J. Atmosph. Sciences 24 (1967), S. 241 – 259 26
- [Manabe und Wetherald 1980] MANABE, S. ; WETHERALD, R.T.: On the Distribution of Climate Change Resulting from an Increase in CO₂ Content of the Atmosphere [Zur Verteilung des Klimawandels infolge einer Erhöhung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre]. In: J. Atmosph. Sciences 37 (1980), S. 99 – 118 26
- [Mann und Jones 2003] MANN, M. E. ; JONES, P. D.: Global surface temperatures over the past two millenia [Globale Oberflächentemperaturen in den letzten zwei Jahrtausenden]. In: Geophysical Research Letters 30 (2003), S. 5–1 – 5–4 19
- [Marcuvitz 1986] MARCUVITZ, N.: Waveguide Handbook [Hohlleiter-Handbuch]. London : Peter Peregrinus Ltd., 1986 81
- [Martin und Barker 1932] MARTIN, P.E. ; BARKER, E.F.: The Infrared Absorption Spectrum of Carbon Dioxide [Das Infrarot-Absorptionsspektrum von Kohlendioxid]. In: Phys. Rev. 37 (1932), S. 291 – 303 26
- [McGuffie und Henderson-Sellers 2006] MCGUFFIE, K. ; HENDERSON-SELLERS, A.: A Climate Modelling Primer [Eine Grundierung zur Klimamodellierung]. West Sussex, England : John Wiley & Sons, 2006 78, 79, 121

- [Mecke 1921] MECKE, R.: Über Zerstreung und Beugung des Lichtes durch Nebel und Wolken [About scattering and diffraction of light through fog and clouds]. In: Ann. d. Physik 65 (1921), S. 257 – 273 26
- [Miller 1966] MILLER, A.: Meteorology [Meteorologie]. Ohio, Columbus : Merrill Books, 1966 53
- [Milne 1928] MILNE, Edward A.: The effect of collisions on monochromatic radiative equilibrium [Die Wirkung von Kollisionen auf das monochromatische Strahlungsgleichgewicht]. In: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 88 (1928), Apr, S. 493 – 502. – <http://mnras.oxfordjournals.org/content/88/6/493.full.pdf+html?sid=4c2a6a6d-7169-4f7d-b80a-a7d8c7174720> 67, 129
- [Mitchell 2007] MITCHELL, J.: Climate Change Myths [Mythen zum Klimawandel]. 2007. – URL <http://www.metoffice.gov.uk/corporate/pressoffice/myths/index.html> 121
- [Montgomery u.a. 1948] MONTGOMERY, C. G. ; DICKE, R. H. ; PURCELL, E. M.: Principles of Microwave Engineering [Grundlagen der Mikrowellentechnik]. New York : McGraw-Hill, 1948 81
- [Munn 1966] MUNN, R. E.: Descriptive Micrometeorology [Beschreibende Mikrometeorologie]. New York : Academic Press, 1966 52
- [Möller 1943] MÖLLER, F.: Zur Erklärung der Stratosphärentemperatur [To explain the stratospheric temperature]. In: Die Naturwissenschaften 31 (1943) 26
- [Möller 1948] MÖLLER, F.: Labilisierung von Schichtwolken durch Strahlung [Labilisierung layer of clouds by radiation]. In: Meteorologische Zeitschrift 60 (1948), S. 212 – 213 26
- [Möller 1954] MÖLLER, F.: Ein Kurzverfahren zur Bestimmung der langwelligen Ausstrahlung dicker Atmosphärenschichten [A short procedure for determining the longwave broadcasting thicker layers of atmosphere]. In: Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklima A7 (1954), S. 158 – 169 26
- [Möller 1959] MÖLLER, F.: Strahlung der unteren Atmosphäre [Radiation of the lower atmosphere]. In: Handbuch der Physik 48 (1959), S. 155 – 253 26
- [Möller 1973a] MÖLLER, F.: Einführung in die Meteorologie: Physik der Atmosphäre I [Introduction to Meteorology: Atmospheric Physics I]. Mannheim : Bibliographisches Institut, 1973 26, 53
- [Möller 1973b] MÖLLER, F.: Einführung in die Meteorologie: Physik der Atmosphäre II [Introduction to Meteorology: Atmospheric Physics II]. Mannheim : Bibliographisches Institut, 1973 26, 53
- [Möller und Mannabe 1961] MÖLLER, F. ; MANNABE, S.: Über das Strahlungsgleichgewicht der Atmosphäre [About the radiation balance of the atmosphere]. In: Z. f. Meteorologie 15 (1961), S. 3 – 8 26
- [Möller und Mügge 1933] MÖLLER, F. ; MÜGGE, R.: Gesamte und zonale nächtliche Gegenstrahlung als Mittel zur Gewinnung aerologischer Aufschlüsse [Total and zonal nocturnal radiation as a means of extracting aerological breakdowns]. In: Beiträge zur Physik der (freien) Atmosphäre 20 (1933), S. 220 – 233 26

- [Mügge und Möller 1932] MÜGGE, R. ; MÖLLER, F.: Zur Berechnung von Strahlungsströmen und Temperaturänderungen in Atmosphären von beliebigem Aufbau [For the calculation of radiation currents and temperature changes in the atmospheres of arbitrary structure]. In: Zeitschrift für Geophysik 8 (1932), S. 53 – 64 26
- [Nakićenović u. a. 2000] NAKIĆENOVIĆ, N. u. a.: Emission Scenarios - A Special Report of Working Group III of the IPCC [Emissionsszenarien - Ein Sonderbericht der Arbeitsgruppe III des IPCC]. Cambridge : University Press, 2000 22, 26, 131
- [Oeschger 1976] OESCHGER, H.: Treibhauseffekt durch Kohlensäure - Ja oder Nein? [Greenhouse effect by carbon dioxide - Yes or No?]. In: Neue Züricher Zeitung 28 (1976), Nr. 9.11. 97
- [Paul 2001] PAUL, C R.: Fundamentals of Electric Circuit Analysis [Grundlagen der Analyse elektrischer Schaltungen]. Mississauga, Ontario : John Wiley & Sons Canada Ltd., 2001 80, 81
- [Pettersen 1958] PETTERSEN, S.: Introduction to Meteorology [Einführung in die Meteorologie]. New York : McGraw-Hill, 1958 53
- [Pierrehumbert 2004] PIERREHUMBERT, Raymond T.: Translation of Fourier [1824a] [Übersetzung von Fourier [1824a]]. In: Nature 432 (2004), S. online supplementary. – URL <http://geosci.uchicago.edu/~rtp1/papers/Fourier1827Trans.pdf> 72
- [Planck 1900] PLANCK, M.: Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum [About the Law of the Power Spectrum in the Normal]. In: Verhandlungen Deutsche Physikalische Gesellschaft 2 (1900), S. 202 – 204 and 237 – 239 23, 25, 50, 64, 113
- [Planck 1901] PLANCK, M.: Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum [About the Law of the Power Spectrum in the Normal]. In: Annalen der Physik 4 (1901), S. 553 – 563 23, 25, 50
- [Prévoist 1809] PRÉVOST, Pierre: Du Calorique rayonnant [Of radiant caloric - Von strahlender Wärme]. Paris : J.J. Paschoud, 1809 113, 118
- [Rahmstorf 2007] RAHMSTORF, S.: Antworten auf Leserbrief. 2007. – URL http://www.pik-potsdam.de/~stefan/leser_antworten.html 60, 115
- [Roedel 2000] ROEDEL, Walter: Physik in unserer Umwelt: die Atmosphäre [Physics in our environment: the atmosphere]. Berlin - Heidelberg - New York : Springer-Verlag, 2000. – ISBN 3-540-67180-3 15
- [Rothman u. a. 1998] ROTHMAN, L. S. u. a.: The HITRAN molecular spectroscopic database and HAWKS. In: Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 60 (1998), S. 665 – 710. – URL <http://cfa-www.harvard.edu/hitran/Download/HITRAN96.pdf> 67, 68, 69
- [Rudzinski 1976] RUDZINSKI, K.: Kein Treibhauseffekt durch Kohlensäure [No greenhouse effect caused by carbonated]. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung (1976), Nr. 15.09. 97
- [Rybicki und Lightman 1979] RYBICKI, G.B. ; LIGHTMAN, A. P.: Radiative Processes in Astrophysics [Strahlende Prozesse in der Astrophysik]. New York : John Wiley & Sons, 1979 23

- [Rössler 2009] RÖSSLER, W.: Eine kleine Nachtphysik: große Ideen und ihre Entdecker. Rowohlt-Taschenbuch-Verlag, 2009 (Rororo / Rororo). – URL <https://books.google.de/books?id=sy5YPgAACAAJ>. – ISBN 9783499624872 28
- [Safran 1994] SAFRAN, S. A.: Statistical Thermodynamics of Surfaces, Interfaces, and Membranes [Statistische Thermodynamik von Oberflächen, Grenzflächen und Membranen]. Reading, Massachusetts : Addison-Wesley, 1994 111, 127
- [Scaife u. a. 2007] SCAIFE, A. ; FOLLAND, C. ; MITCHELL, J.: A model approach to climate change [Ein Modellansatz zum Klimawandel]. In: Physics World 2 (2007). – URL <http://physicsweb.org/articles/world/20/2/3/1> 121
- [Schack 1972] SCHACK, A.: Der Einfluß des Kohlendioxid-Gehaltes der Luft auf das Klima der Welt [The influence of the carbon dioxide content of air on the climate of the world]. In: Physikalische Blätter 28 (1972), S. 26 – 28 28, 64, 95, 141, 144
- [Schack 1983] SCHACK, A.: Der industrielle Wärmeübergang [Industrial Heat Transfer]. Bd. 1. Auflage 1929, 8. Auflage. Düsseldorf : Verlag Stahleisen m.b.H., 1983 28, 44, 95, 111
- [Schaefer und Philipps 1926] SCHAEFER, C. ; PHILIPPS, B.: Das Absorptionsspektrum der Kohlensäure und die Gestalt der CO₂-Molekel [The absorption spectrum of carbon dioxide and the shape of the CO₂-Molekel]. In: Z. für Physik 36 (1926), S. 641 – 656 26
- [Schloerer 2007] SCHLOERER, J.: Climate change: some basics [Klimawandel: einige Grundlagen]. 2007. – URL <http://www.faqs.org/faqs/sci/climate-change/basics/46>
- [Schneider 1975] SCHNEIDER, S.H.: On the Carbon Dioxide Climate Confusion [Über die Kohlendioxid-Klimaverwirrung]. In: J. Atmospheric Sciences 32 (1975), S. 2060 – 2066 78
- [Schumann 1952] SCHUMANN, W. O.: Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist [About the radiation-free self-oscillations of a conducting sphere, by an air layer and a envelope of the Ionosphere surrounded covered]. In: Zeitschrift und Naturforschung 7a (1952), S. 149 – 154 62
- [Schuster und Kolobrodov 2000] SCHUSTER, Norbert ; KOLOBRODOV, Valentin G.: Infrarotthermographie [infrared thermography]. Weilheim [u.a.] : Wiley - VCH, 2000 51, 81, 134
- [Schwarzschild 1906] SCHWARZSCHILD, Karl: Ueber das Gleichgewicht der Sonnenatmosphäre. In: Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse 195 (1906), S. 41 – 53. – kommentiert <http://www.ing-buero-ebel.de/Treib/Schwarzschild.pdf>, http://gdz-lucene.tc.sub.uni-goettingen.de/gcs/gcs?&action=pdf&metsFile=PPN252457811_1906&divID=LOG_0009&pagesize=original&pdfTitlePage=http://gdz.sub.uni-goettingen.de/dms/load/pdf/title/?metsFile=PPN252457811_1906%7C&targetFileName=PPN252457811_1906_LOG_0009.pdf& und Weiteres siehe Schwarzschild [1914] 12, 15, 49, 61, 67, 68, 73, 97, 122, 127, 129, 138, 144
- [Schwarzschild 1914] SCHWARZSCHILD, Karl: Über Diffusion und Absorption in der Sonnenatmosphäre. In: Sitzungsberichte der Königlichen Preussischen Akademie der Wissenschaften. 47 (1914), S. 1183–2000 167

- [Schönwiese und Diekmann 1987] SCHÖNWIESE, C.-D. ; DIEKMANN, B.: Der Treibhauseffekt [The greenhouse effect]. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 1987 45, 54
- [Sellers 1965] SELLERS, W. D.: Physical Climatology [Physikalische Klimatologie]. Chicago : The University of Chicago Press, 1965 53
- [Shu 1991] SHU, F. H.: The Physics of Astrophysics. Volume I: Radiation [Die Physik der Astrophysik. Band I: Strahlung]. Mill Valley, California : University Science Books, 1991 122
- [Shu 1992] SHU, F. H.: The Physics of Astrophysics. Volume II: Gas Dynamics [Die Physik der Astrophysik. Band II: Gasdynamik]. Mill Valley, California : University Science Books, 1992 122
- [Siegele 2002] SIEGELE, Klaus: Technik - Schaumstoffschläger. In: db deutsche bauzeitung 136 (2002), Nr. 12, S. Vorblatt zu Seite 81 148
- [Soon und Baliunas 2003] SOON, W. ; BALIUNAS, S.: Lessons & Limits of Climate History: Was the 20th Century Climate Unusual? [Lektionen & Grenzen der Klimageschichte: War das Klima des 20. Jahrhunderts ungewöhnlich?]. Washington D.C. : The George C. Marshall Institute, 2003 19
- [Sprott 2003] SPROTT, J. C.: Chaos and Time-Series Analysis [Chaos- und Zeitreihenanalyse]. Oxford University Press, 2003 131
- [Stainforth u. a. 2005] STAINFORTH, D.A. u. a.: Uncertainty in predictions of the climate responses to rising levels of greenhouse gases [Unsicherheit bei den Vorhersagen über die Klimareaktionen auf steigende Treibhausgaswerte]. In: Nature 433 (2005), S. 403 – 406 78, 132
- [Statistisches Bundesamt 2007] STATISTISCHES BUNDESAMT: Bevölkerung Deutschlands bis 2050. 11. koordinierte Bevölkerungs-Vorausberechnung [Germany's population by 2050. 11. coordinated population forecast]. Wiesbaden. 2007. – URL <https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1019439> 131
- [Stefan 1879] STEFAN, J.: Über die Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur [About the relationship between the thermal radiation and the temperature]. In: Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 79 (1879), S. 391 – 428. – Facsimile on <http://www.ing-buero-ebel.de/strahlung/Original/Stefan1879.pdf> 23, 34, 100, 103, 113
- [Stichel 1995] STICHEL, P.C.: Leserbrief an das Westfalenblatt (unveröffentlicht) [Letter to the Westfalenblatt (a newspaper) (unpublished)]. 1995 55, 115
- [Stilbs 2006] STILBS, P. Organizing chairman [.: Global Warming - Scientific Controversies in Climate Variability [Globale Erwärmung - Wissenschaftliche Kontroversen über die Klimavariabilität]. In: International seminar meeting at The Royal Institute of Technology (KTH). Stockholm, Schweden, 11. - 12. September 2006. – URL <http://gamma.physchem.kth.se/~climate/> 19, 25, 52, 77, 146, 147

- [von Storch 2005] STORCH, H. von: Die Diskretisierung ist das Modell [The discretization is the model]. In: H. HAGEDORN, H. Röck (. (Hrsg.): Klimawandel im 20. und 21. Jahrhundert: Welche Rolle spielen Kohlendioxid Wasser und Treibhausgase wirklich? [Global Warming in the 20th and 21 Century: What is the role of greenhouse gases carbon dioxide and water really?]. Bd. 28. München : Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 2005 130
- [Svensmark und Friis-Christensen 1997] SVENSMARK, H. ; FRIIS-CHRISTENSEN, E.: Variation of Cosmic Ray Flux and Global Cloud Coverage: A Missing Link in Solar-Climate Relationships [Variation des kosmischen Strahlungsflusses und der globalen Wolkenabdeckung: Ein fehlender Zusammenhang in den Solar-Klima-Beziehungen]. In: Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 59 (1997), S. 1225 – 1232 19
- [Svozil 2004] SVOZIL, Karl: Feyerabend and physics [Feyerabend und Physik]. In: International Symposium Paul Feyerabend 1924-1994. A philosopher from Vienna, University of Vienna, June 18-19 2004. – URL <http://arxiv.org/abs/physics/0406079> 128
- [Thieme 2011] THIEME, H.: On the Phenomenon of Atmospheric Backradiation [Über das Phänomen der atmosphärischen Rückstrahlung]. 2011. – URL <http://realplanet.eu/backrad.htm> 145
- [Thüne 1998] THÜNE, W.: Der Treibhaus-Schwindel [The greenhouse-dizziness]. Saarbrücken : Edition Steinherz, Discovery Press, 1998 51
- [Thüne 2002] THÜNE, W.: Freispruch für CO₂ [Acquittal for CO₂]. Saarbrücken : Edition Steinherz, Discovery Press, 2002 51
- [Tscheuschner u. a. 1998] TSCHESCHNER, R. D. ; HOCH, S. ; LESCHINSKY, E. ; MEIER, C. ; THEIS, S. ; WIECK, A. D.: Robustness of the quantum Hall effect, sample size versus sample topology, and quality control management of III-V molecular beam epitaxy [Robustheit des Quanten-Hall-Effekts, Probengröße im Vergleich zur Proben-topologie und Qualitätskontrolle der III-V Molekularstrahlepitaxie.]. In: Int. J. Mod. Phys. B12 (1998), S. 1147 – 1170 81
- [Tscheuschner 2008] TSCHESCHNER, Ralf D.: Betreff: Ebelsche Perpetuierung [Subject: Ebelsche perpetuation]. E-mail to author E-mail and large round. 2008. – 21. Mär 2008 22:47 139
- [Tyndall 1861] TYNDALL, J.: On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours ... [Über die Absorption und Strahlung von Wärme durch Gase und Dämpfe ...]. In: Philosophical Magazine 22 (1861), S. 169 – 194 18, 25, 73, 129
- [Tyndall 1863a] TYNDALL, J.: On Radiation through the Earth's Atmosphere [Über die Strahlung durch die Erdatmosphäre]. In: Philosophical Magazine 25 (1863), S. 200 – 206 25, 73
- [Tyndall 1863b] TYNDALL, J.: On the Relation of Radiant Heat to Aqueous Vapor [Über das Verhältnis von Strahlungswärme zu Wasserdampf]. In: Philosophical Magazine 26 (1863), S. 30 – 54 25, 73
- [Tyndall 1873a] TYNDALL, J.: Contributions to Molecular Physics in the Domain of Radiant Heat [Beiträge zur Molekularphysik im Bereich der Strahlungswärme]. New York : Appleton, 1873 25, 73

- [Tyndall 1873b] TYNDALL, J.: Further Researches on the Absorption and Radiation of Heat by Gaseous Matter (1862) [Weitere Untersuchungen zur Absorption und Strahlung von Wärme durch gasförmige Materie (1862)]. In: Contributions to Molecular Physics in the Domain of Radiant Heat [Beiträge zur Molekularphysik im Bereich der Strahlungswärme]. Appleton, New York, 1873, S. 69 – 121 25, 73
- [Tyndall 1865] TYNDALL, John: Heat considered as a mode of motion [Wärme als Bewegungsmodus betrachtet]. Kap. Extracts from a discourse 'on radiation through the earth's atmosphere', S. 401 – 408, Longman, 1865 71, 111
- [Unsöld 1955] UNSÖLD, A.: Physik der Sternenatmosphären [Physics of stellar atmospheres]. Berlin - Göttingen - Heidelberg : Springer-Verlag, 1955 97
- [Virgo 1933] VIRGO, S. E.: Loschmidt's Number [Loschmidts Zahl]. In: Science Progress 27 (1933), S. 634 – 649 24
- [Wallén 1981] WALLÉN, G.: Experimentelle Untersuchung des Einflusses von Reynoldszahl und von Schaft- und Gradienteneffekten bei Strömungsmessungen mit kegelförmigen Fünfloch-Sonden. Meddelande / Svenska tekniska vetenskapsakademien i Finland, 1981 (Dissertation from Helsinki University of Technology: Teknillinen Korkeakoulu). – URL <https://books.google.de/books?id=PGj0ygAACAAJ>. – ISBN 9789519090139 26, 130
- [Weart 2004] WEART, S. R.: The Discovery of Global Warming [Die Entdeckung der globalen Erwärmung]. Cambridge, Massachusetts : Harvard University Press, 2004. – URL <http://www.aip.org/history/climate/> 19
- [Wegman u. a. 1996] WEGMAN, E. J. u. a.: Ad Hoc Committee Report on the 'Hockey Stick' Global Climate Reonstruction [Bericht des Ad-hoc-Ausschusses über die globale Klimarekonstruktion 'Hockeystick']. (1996). – URL http://republicans.energycommerce.house.gov/108/home/07142006_Wegman_Report.pdf 19
- [Weise 1966] WEISE, K.: Differentialgleichungen [differential equations]. Göttingen : Vandenhoeck & Ruprecht, 1966 107
- [Weizel 1963] WEIZEL, W.: Lehrbuch der Theoretischen Physik [Textbook of Theoretical Physics]. Berlin : Springer, 1963 39
- [Wiedemann 2007] WIEDEMANN, Uwe: experimentum crucis (on-line-Lexikon der Philosophie) [(on-line Encyclopaedia of Philosophy)]. 2007. – URL <http://www.phillex.de/expcruc.htm> 46
- [Wien 1894] WIEN, Willy: Temperatur und Entropie der Strahlung. In: Annalen der Physik 288 (1894), Nr. 5, S. 132 – 165. – URL http://www.physik.uni-augsburg.de/annalen/history/historic-papers/1894_288_132-165.pdf 65
- [Wimmer 1926] WIMMER, M.: Über die Beeinflussung der ultraroten Kohlensäureabsorptionsbande bei 4,27 μm durch fremde Gase und ihre Anwendung zur Gasanalyse [About the influence of the ultra-red carbon dioxide absorption band at 4.27 μm by foreign gases and their application to gas analysis]. In: Annalen der Physik 81 (1926), S. 1091 – 1112 26
- [Wood 1909] WOOD, R. W.: Note on the Theory of the Greenhouse [Hinweis zur Theorie des Treibhauses]. In: Philosophical magazine 17 (1909), S. 319 – 320 2, 46, 52

- [Zdunkowski und Bott 2003] ZDUNKOWSKI, Z. ; BOTT, A.: Dynamics of the Atmosphere: A course in theoretical Meteorology [Dynamik der Atmosphäre: Ein Kurs in theoretischer Meteorologie]. Cambridge University Press, 2003 122
- [Zichichi 2007] ZICHICHI, A.: Meteorology and Climate: Problems and Expectations, Pontifical Council for Justice and Peace [Meteorologie und Klima: Probleme und Erwartungen, Pointifikanischer Rat für Gerechtigkeit und Frieden]. In: Climate Change and Development. International Conference, The Vatican, 26. - 27. April 2007. – URL http://www.justpax.it/eng/home_eng.html 121, 122, 145
- [Zmarsly u. a. 2007] ZMARSLY, Ewald ; KUTTLER, Wilhelm ; PETHE, Hermann: Meteorologisch-klimatisches Grundwissen [Meteorological climatic basic knowledge]. Ulmer, 2007 (Uni-Taschenbücher M). – URL http://www.utb.de/katalog_suchen_detailseite.jsp?buchid=949. – ISBN 978-3-8252-2281-9 107