

Gibt es einen Atmosphärischen Treibhauseffekt? - Teil 1

Michael Schnell, Hermann Harde

1. Vorbemerkungen

Die Emissionen fossiler Brennstoffe werden für einen Klimanotstand mit katastrophalen Folgen für unseren Planeten verantwortlich gemacht, wenn die weltweiten anthropogenen Emissionen nicht rasch gestoppt werden. Grundlage dieser Vorhersagen ist der atmosphärische Treibhauseffekt (TH-Effekt), der auf Jean-Baptiste Joseph Fourier im Jahr 1824 zurückgeht [1]. Er untersuchte den Energiehaushalt der Erde, um die Oberflächentemperatur zu erklären. Dabei ging er davon aus, dass sich die Atmosphäre ähnlich wie ein Glasfenster verhält, das für die Sonnenstrahlung transparent ist, aber die vom Boden emittierte Infrarotstrahlung (IR) blockiert. Der Wärmeaustausch durch Konvektion oder Wärmeleitung mit der Umgebung wurde in diesem Modell weitgehend vernachlässigt.

Weiter ist festzustellen, dass selbst viele Klimaexperten nicht wirklich zur Kenntnis nehmen, wie sich Treibhausgase (TH-Gase) tatsächlich auf unser Klima auswirken. Dies führt häufig zu dramatischen Fehlinterpretationen in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen, sogar in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (6. Sachstandsbericht AR6 des IPCC [2]). Andererseits führen diese Übertreibungen bei Menschen mit klarem Gespür und Verständnis für reale physikalische Sachverhalte zu starken Zweifeln an einem vom Menschen verursachten Klimawandel und der Existenz des Treibhauseffekts, der fast ausschließlich auf theoretischen Überlegungen beruht.

Der Hauptgrund für diese Zweifel ist ein fehlender, nachvollziehbarer Nachweis des TH-Effektes, obwohl es in den letzten 120 Jahren viele Versuche gab, diesen Effekt durch mehr oder weniger einfache Laborexperimente zu bestätigen oder zu widerlegen. Direkte Messungen an der Atmosphäre werden zu stark durch Konvektions-, Turbulenz- oder Streueffekte beeinflusst, um den relativ geringen Beitrag von Treibhausgasmolekülen zu einer lokalen Erwärmung der Luft oder der Erdoberfläche zu quantifizieren, dies bei lokalen Tag-Nacht-Schwankungen bis zu 60 °C und durch saisonale Zyklen sogar bis zu 100 °C.

1.1 Historische Anmerkungen

Eine der wesentlichen experimentellen Untersuchungen geht auf R. W. Wood (1909) [3] zurück, der zwei Kästen mit normaler Luft verwendete. Eine Box war mit einem Glasfenster abgedeckt, das für Sonnenlicht transparent war, aber IR-Strahlung blockierte, die andere war mit einem NaCl-Fenster abgedeckt, das ebenfalls für IR-Licht transparent war. Seine Messungen zeigten eine deutliche Erwärmung des Innenraums, jedoch keinen oder nur einen vernachlässigbaren Temperaturunterschied zwischen den Boxen.

Daraus schlossen Wood und andere Autoren bei der Wiederholung dieses Experiments (z. B. Allmendinger 2006 [4], Nahle 2011 [5]), dass Infrarotstrahlung, die durch das NaCl-Fenster entweichen kann, nicht oder nur vernachlässigbar zur Erwärmung beiträgt, während der beobachtete Temperaturanstieg in beiden Boxen – anders als Fouriers Interpretation – ausschließlich durch einen unterdrückten konvektiven Wärmeaustausch mit der Umgebung erklärt wird und nicht mit irgendeiner Form von eingeschlossener Strahlung zusammenhängt.

Aber Experimente, die nicht nur eine einzige Temperatur für jede Box messen, sondern die Temperatur am Boden und der Oberseite des Innenraums aufzeichnen, finden bei der Box mit NaCl-Fenster einen um 5°C größeren Temperaturabfall vom Boden bis zur Decke als bei der Glasbox. Die Temperatur am Boden ist dagegen bei beiden Boxen nahezu identisch (V. R. Pratt 2020 [6]). Diese Ergebnisse werden grundsätzlich mit einem etwas anderen Aufbau bestätigt, der eine interne elektrische Heizung anstelle externer Lichtquellen verwendet (E. Loock 2008 [7]). Eine solche Erwärmung vermeidet Unterschiede in der einfallenden Strahlung, die sonst Fenster aus unterschiedlichen Materialien mit unterschiedlichen Verlusten passieren muss. Für den Glaskasten konnte eine höhere Temperatur von 2,5 - 3°C gefunden werden, und beim Austausch des Glases

durch eine polierte Aluminiumfolie steigt die Temperatur sogar um weitere $\approx 3^\circ\text{C}$.

Während die Wood'schen Experimente die Frage beantworten können, ob und inwieweit eine verringerte IR-Transmission zur Erwärmung eines Behälters, oder entsprechend der Troposphäre, beitragen kann, geben sie keine Auskunft über die Wechselwirkung von Treibhausgasen mit IR-Strahlung. Es blieb also weiterhin die Frage, inwieweit solche Gase die IR-Strahlung zumindest teilweise zurückhalten können und inwieweit die einfache Absorption durch TH-Gase oder die umstrittene Rückstrahlung zu einer zusätzlichen Erwärmung des Bodens beitragen könnten. Für solche Untersuchungen ist es erforderlich, einen Behälter mit dem zu untersuchenden Gas zu füllen und dieses mit einer Referenzmessung mit Luft oder einem Edelgas zu vergleichen.

Mittlerweile wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt, teils mit äußerer Bestrahlung oder mit innerer Erwärmung (siehe z. B. Loock [7]), teils mit Messung der Gastemperatur oder der IR-Strahlung in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung (Seim & Olsen 2020 [8]). Aber entweder konnte keine Erwärmung festgestellt werden oder der beobachtete Temperaturanstieg konnte bei näherer Betrachtung nicht auf einen IR-Strahlungseffekt zurückgeführt werden.

Leider wurden im Internet einige fehlerhafte Demonstrationen mit angeblichen Temperaturunterschieden von mehr als 10°C präsentiert, die die starke Wirkung der Treibhausgase beweisen sollten (siehe z. B. Ditfurth 1978 [9]). Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die höhere Temperatur hauptsächlich durch einen Schichtungseffekt, verbunden mit einer erhöhten Isolation, verursacht wird, wenn schwereres CO_2 von unten in ein Gefäß eingefüllt wird (Schnell 2020 [10]). Bei diesen angeblichen Demonstrationen des Treibhauseffektes wird übersehen, dass reines CO_2 trotz Erwärmung eine höhere Dichte als die darüber befindliche Luft hat und dadurch keinen thermischen Auftrieb verursacht. Ohne anschließende Homogenisierung führt dies zu einem erhöhten Temperaturanstieg in der CO_2 -Schicht. Solche Experimente zeigen lediglich, dass CO_2 IR-Strahlung absorbieren kann, was eigentlich nicht überraschen sollte.

Und wirklich problematisch ist es, wenn einer der Preisträger des Friedensnobelpreises 2007 eine Web-basierte Kampagne mit mehreren Werbespots im Fernsehen initiiert, die darauf abzielt, das Bewusstsein für eine Klimakrise zu schärfen. Als „Beweis“ wird ein völlig unrealistisches und nicht reproduzierbares Video-Experiment des TH-Effektes präsentiert (Al Gore's Climate 101 Video Experiment 2001 [11]), das mittlerweile durch mehrere Überprüfungen als fehlerhaft entlarvt wurde (Watts 2011 [12], Solheim 2016 [13]).

Solche Experimente werden leider weiter genutzt, um weltweit Angst zu verbreiten und unsere Gesellschaft mit der Botschaft zu indoktrinieren, dass wir unsere Erde nur retten können, indem wir künftig alle Treibhausgasemissionen stoppen. Solche Experimente untergraben alle ernsthaften Versuche, den erwarteten Einfluss von Treibhausgasen auf unser Klima zu diskutieren und zu analysieren. Politische Vorstellungen, Spekulationen oder religiöser Glaube sind keine ernsthaften Berater, um eine erfolgreiche Zukunft zu sichern. Unser Wissen und unser technischer Fortschritt basieren auf seriösen wissenschaftlichen Grundlagen.

1.2 Ziel der Untersuchungen

Es ist höchste Zeit, die endlosen Spekulationen über die katastrophalen Auswirkungen oder die Nichtexistenz eines atmosphärischen TH-Effektes zu beenden und sich auf verlässliche Untersuchungen zu konzentrieren, die es ermöglichen, die Größe und den begrenzenden Einfluss von Treibhausgasen durch anthropogene Emissionen fossiler Brennstoffe auf die globale Erwärmung zu quantifizieren. In einer aktuellen Arbeit (Harde & Schnell 2022 [14]) wird der theoretische Hintergrund des TH-Effektes zusammengefasst, und es werden erstmals quantitative Messungen für die Treibhausgase CO_2 , CH_4 und N_2O unter ähnlichen Bedingungen wie in der unteren Troposphäre vorgestellt. Eine gekürzte, weniger technische Version steht als PDF zur Verfügung [15] und wird in komprimierter Form im zweiten Teil dieses Artikels wiedergegeben.

Um den Strahlungsaustausch zwischen Körpern unterschiedlicher Temperatur aufzuzeigen und die Besonderheiten des TH-Effektes hervorzuheben, wurden detaillierte Modell-Untersuchungen durchgeführt, bei denen die TH-Gase durch eine geschwärzte Metallplatte in einem Strahlungskanal ersetzt werden (Schnell & Harde 2023 [16]). Als Einführung in das grundlegende Prinzip des atmosphärischen TH-Effektes werden im ersten Teil dieses Artikels zunächst diese Untersuchungen vorgestellt, bevor im zweiten Teil auf die TH-Gase eingegangen wird.

2. Demo-Experiment mit Metallplatte

2.1 Der Strahlungskanal

Der Versuchsaufbau zur Demonstration des Strahlungsaustausches und des TH-Effekts besteht aus einem vertikalen Hohlzylinder aus Styropor. Er ist als modularer Aufbau konzipiert und kann daher leicht für verschiedene Experimente umgebaut werden (Abb. 1, Details siehe: Schnell & Harde 2023 [16]).

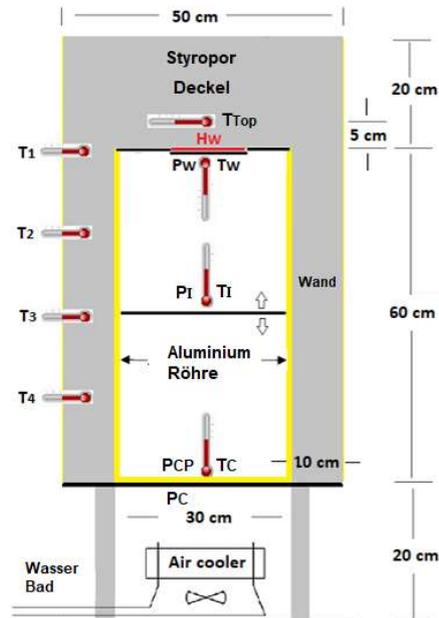


Abb. 1: Schematischer Versuchsaufbau. Die Indizes stehen für: W = warm, C = cold, CP = cold polished und I = Intermediate.

Im Styropor-Behälter befinden sich zwei parallele Metallplatten P_W und P_C im Abstand von 60 cm und zur Simulation des TH-Effektes eine Zwischenplatte P_I . Die obere Platte P_W ist geschwärzt und kann durch eine elektrische Heizung der Leistung H_W beheizt werden. Die untere Platte P_C ist ebenfalls geschwärzt und wird durch einen Luftkühler in ihrer Temperatur stabilisiert. Sie ist 1°C kälter als die Raumtemperatur T_{Raum} . Für ein Kontrollexperiment kann diese untere Platte durch eine polierte P_{CP} -Scheibe mit sehr geringem Absorptionsvermögen und damit geringem Emissionsvermögen ersetzt werden, um die Intensität der Gegenstrahlung durch Reflektion zu erhöhen.

Die Innenseite des Styroporbehälters (als Strahlungskanal bezeichnet) kann mit einem Aluminiumrohr oder einer dünnen Al-Folie ausgekleidet werden, wodurch IR-Strahlung durch Mehrfachreflexion und Streuung effizient von einer Platte zur anderen geleitet wird. Dies ermöglicht einen intensiven Strahlungsaustausch zwischen den Platten, und trotz teilweise leichter Absorptionsverluste an der Innenwand werden ohne Zwischenplatte im Kanal mehr als 70 % der zugeführten Heizleistung H_W durch IR-Strahlung abgeführt.

Ein kleinerer Teil der über die Platte P_W zugeführten Heizleistung H_W fließt durch einen mechanischen Wärmefluss über die Styroporisolierung nach außen ab (siehe hierzu Tabelle 2).

Temperatur-Sensoren rund um den Strahlungskanal detektieren diese Wärmeströme.

Durch die senkrechte Anordnung des Strahlungskanals stellt sich eine stabile Luft-Schichtung (oben warm, unten kalt) ein, die Konvektion als Wärmetransport ausschließt.

Die wichtigsten Informationen für die Untersuchungen liefern aber die Temperatur T_W und die Heizleistung H_W der warmen Platte P_W . Diese Platte fungiert gleichzeitig als Wärmequelle und Sensor.

2.2 Gegenstrahlung

Ziemlich kontrovers diskutiert wird die These, dass ein erhitzter Körper durch die Strahlung eines kälteren

Körpers oder Gases weiter erwärmt werden kann. Dies wird als Verletzung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik angesehen, obwohl Clausius als einer der Väter dieses Gesetzes einen gegenseitigen Wärmeaustausch durch Strahlung nie in Frage gestellt hat.

Während die IR-Emission der beheizten Platte P_W eindeutig durch ihre Temperatur T_W und den Emissionsgrad $\epsilon_W \approx 1$ der Platte definiert wird, ist die Strahlung aus der Umgebung, die sogenannte Rückstrahlung, naturgemäß deutlich komplexer. Diese Strahlung resultiert aus einer Überlagerung von Emissionen, Reflexionen und Strahlungsverlusten, die von der gekühlten Platte und der Kanalwand des Hohlzylinders verursacht werden. Die Auswirkung der Rückstrahlung kann durch Variation der Oberfläche und der Temperatur der Grundplatte demonstriert werden. Für diese Messungen wird die Zwischenplatte P_I entfernt und das Aluminiumrohr im Strahlungskanal verwendet

Die folgenden Untersuchungen verdeutlichen, wie die Temperatur der konstant beheizten Platte P_W durch die Rückstrahlung beeinflusst wird.

a) Grundplatte P_C auf beiden Seiten schwarz beschichtet:

Die ersten 100 Minuten zeigen ein thermisches Gleichgewicht, wobei Platte P_W eine Temperatur $T_W = 24,0\text{ °C}$ erreicht. Die schwarz beschichtete P_C -Grundplatte wird dann langsam von den vorherigen 17 °C auf 11 °C abgekühlt (Abb. 2a, blaue Linie), wodurch ihre IR-Emission S_C nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz abnimmt. Für die P_W -Platte vergrößert sich dadurch der Strahlungsaustausch als Differenz aus abgegebener (S_W) und empfangener Leistung (S_C):

$$\Delta S_{WC} = S_W - S_C, \quad S_{W,C} = \epsilon_{W,C} \cdot \sigma \cdot A_{W,C} \cdot T_{W,C}^4. \quad (1)$$

Dabei ist σ die Stefan-Boltzmann-Konstante mit $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ und $A_{W,C}$ die Fläche der warmen bzw. kalten Platte. Wegen der stärkeren Wärmeabfuhr muss die Temperatur T_W entsprechend sinken, wodurch abgeführte und zugeführte Leistung wieder gleich groß werden (Abb. 2a).

Der Strahlungsaustausch, die Strahlungsbilanz zweier unabhängiger Strahler nach Gl. (1), wurde erstmals von Josef Stefan (1879) [17] formuliert und kann mit diesem Experiment auf einfache Weise gezeigt werden.

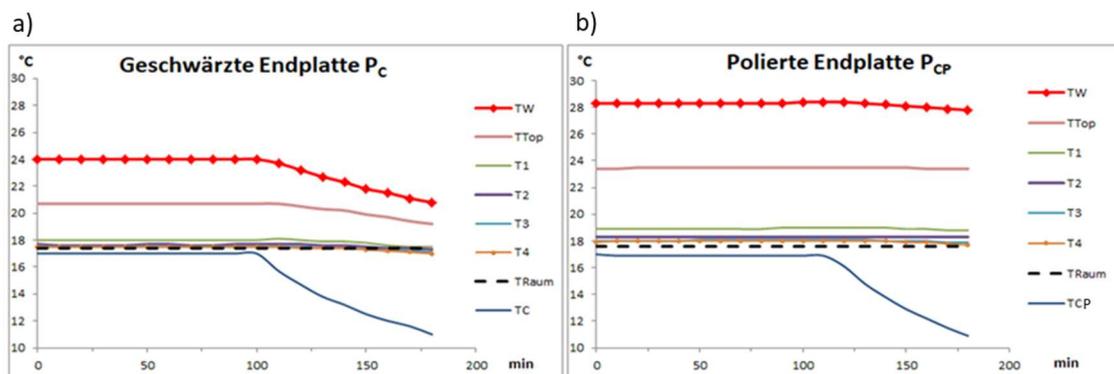


Abb. 2: Auswirkung der Gegenstrahlung auf die Temperatur T_W der beheizten Platte P_W , a) durch eine geschwärzte Grundplatte P_C , b) durch eine polierte Platte P_{CP} .

b) Grundplatte P_{CP} außen geschwärzt und innen auf Hochglanz poliert:

Im thermisches Gleichgewicht wird unter ansonsten gleichen Bedingungen eine $4,9\text{ °C}$ höhere Temperatur $T_W = 28,9\text{ °C}$ erreicht. Ursache ist der deutlich verringerte Absorptionsgrad α_{CP} der polierten Platte, der eine Zunahme des Reflexionsgrades entsprechend $r_{CP} = 1 - \alpha_{CP}$ bedingt. Anstelle der IR-Emission der Platte P_{CP} wird die Rückstrahlung S_C jetzt weitgehend durch die reflektierte, intensivere Strahlung der warmen Platte erzeugt, was nach Gleichung (1) eine geringere Wärmeabfuhr und damit eine höhere T_W -Temperatur bedeutet (Abb. 2b).

Im Gegensatz zur geschwärzten Platte zeigt sich beim Abkühlen der P_{CP} -Platte kaum eine Rückwirkung auf die Temperatur T_W der oberen Platte. Dies lässt sich durch den geringeren Emissionsgrad $\epsilon_{CP} \approx \alpha_{CP}$ der polierten Platte und die Temperaturunabhängigkeit der Reflexion an der Platte P_{CP} erklären.

Für den Fall von reflektierenden Oberflächen und einer geringen Strahlungsbilanz hat Stefan den Strahlungs-

austauschgrad $E < \varepsilon_w, \varepsilon_c \ll 1$ eingeführt, der mit dem Experiment b) demonstriert werden kann.

Um es noch einmal zu betonen: Die Grundplatten sind 60 cm von der geheizten Platte P_w entfernt und eine Variation ihrer Oberflächengestaltung reicht aus, um starke Temperaturunterschiede der Platte P_w zu bewirken, die nur durch Veränderungen der IR-Rückstrahlung erklärbar sind. Eine Veränderung der Wärmeleitung als mögliche Ursache für diese Effekte kann bei diesen Experimenten ausgeschlossen werden, da der grundlegende Versuchsaufbau bei diesen Experimenten nicht verändert wurde und die Temperaturen des Strahlungskanals T_1 bis T_4 annähernd konstant blieben.

2.3 Quantifizierung der Wärmeströme

Die der P_w -Platte zugeführte Heizleistung H_w wird sowohl durch IR-Strahlung als auch durch einen mechanischen Wärmestrom J_Q abgeführt. Da im thermischen Gleichgewicht nur so viel Wärme abfließen kann, wie durch die Heizung zugeführt wird, addieren sich Strahlungstransport ΔS_{wc} und Wärmeleitung J_Q zur Heizleistung H_w

$$H_w = \Delta S_{wc} + J_Q. \quad (2)$$

Das Verhältnis der beiden Wärmeströme lässt sich bestimmen, wenn eine der beiden Größen ermittelt werden kann, da die andere Größe dann die Differenz zu H_w ist.

Der mechanische Wärmestrom J_Q ergibt sich nach Fourier in guter Näherung aus der Wärmeleitfähigkeit λ_s der Styroporisolierung, ihrer Dicke d und Oberfläche A_s sowie der Temperaturdifferenz ΔT zur Umgebung:

$$J_Q = \lambda_s \cdot \frac{A_s}{d} \Delta T. \quad (3)$$

Dieser Ansatz ist jedoch nicht hilfreich, da unterschiedliche Temperaturen, Dicken und Oberflächen der Styroporisolierung der Versuchsanordnung berücksichtigt werden müssten.

Der Wärmestrom J_Q kann jedoch direkt gemessen werden, indem der Strahlungskanal vollständig mit zwölf 5 cm dicken Styroporscheiben gefüllt wird. Es entsteht ein Styroporblock (ohne Strahlungskanal) mit den gleichen Außenabmessungen und den zwei Platten. In diesem Fall kann die zugeführte Wärme H_w nur durch den mechanischen Wärmestrom J_Q abgeführt werden, wodurch Gl. (2) übergeht in:

$$H_w = J_Q. \quad (4)$$

Die Berechnungsgrundlage für die Bewertung der Wärmeströme ist der Temperaturanstieg ΔT_w , die Temperaturdifferenz vor und nach dem Einschalten der Heizung H_w . Mit der Kenntnis von H_w und ΔT_w kann der Wärmewiderstand ϑ (auch als thermischer Widerstand bezeichnet) der Versuchsanordnung, als Verhältnis von ΔT_w zu H_w , bestimmt werden als (Einheit $^{\circ}\text{C}/\text{W}$):

$$\vartheta = \frac{\Delta T_w}{H_w}. \quad (5)$$

Da sich die Beschichtung des Strahlungskanals auf den mechanischen Wärmestrom J_Q auswirkt, ergeben sich auch verschiedene Wärmewiderstände, die zur besseren Unterscheidung zur Strahlung hier als Leitungswiderstände ϑ_l bezeichnet werden. Dabei zeigt sich, dass eine Beschichtung mit einer Aluminium-Folie eine optimale Lösung darstellt, die die Reflektion im Strahlungskanal verbessert, aber den Leitungswiderstand im Vergleich zum reinen Styropor (ohne Beschichtung) nur unwesentlich verringert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ermittlung der Leitungswiderstände ϑ_l in einem Styroporblock

Beschichtung des Strahlungskanals	H_w W	T_w $^{\circ}\text{C}$	ΔT_w $^{\circ}\text{C}$	ϑ_l $^{\circ}\text{C}/\text{W}$
ohne	1,16	41,6	24,2	21,0
Aluminium-Folie	1,15	40,5	22,9	20,0
Aluminium -Rohr	1,16	38,0	20,5	17,7

Durch schrittweises Entfernen der inneren Styroporscheiben zeigt sich, dass der mechanische Wärmestrom hauptsächlich über den oberen Styropordeckel und die obere Wandisolierung nach außen abfließen, während die Füllung des Strahlungskanals mit Styropor eine vernachlässigbare Veränderung bewirkt. Dadurch lässt sich der Leitungswiderstand des Styroporblocks auch auf den Strahlungskanal übertragen (siehe: Schnell & Harde 2023 [16]). Außerdem hat ruhende Luft eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Styropor, und schon aus diesem Grund kann die Wärmeleitfähigkeit des Strahlungskanals nicht größer sein als die des Styroporblocks.

So ergibt sich für den Strahlungskanal mit Aluminium-Folie mit $\vartheta_J = 20,0 \text{ °C/W}$, $H_W = 1,2 \text{ W}$ und $\Delta T_W = 6,5 \text{ °C}$ entsprechend Gl. (4) und (5) ein mechanischer Wärmeverluststrom von

$$J_Q = \frac{\Delta T_W}{\vartheta_J} = 0,33 \text{ W}. \quad (6)$$

Damit wird die durch IR-Strahlung abgeführte Leistung entsprechend Gl. (2) $\Delta S_{WC} = 0,87 \text{ W}$ und stellt mit 73% den klar dominanten Anteil an der Wärmeabfuhr dar. Das Aluminium-Rohr hat aufgrund seiner glatten, polierten Oberfläche den höchsten Reflexionsgrad, verliert aber zu viel Wärme durch Wärmeleitung und steht daher nur an zweiter Stelle (Tabelle 2).

Tabelle 2: Anteil der Wärme H_W , die durch IR-Strahlung abgeführt wird.

Beschichtung des Strahlungskanals	H_W W	ΔT_W °C	ϑ_J °C/W	J_Q W	ΔS_{WC} W	ΔS_{WC} %
ohne	1,20	8,2	21,0	0,39	0,81	67,4
Alu-Rohr	1,20	6,5	17,7	0,37	0,83	69,3
Alu-Folie	1,20	6,5	20,0	0,33	0,87	72,9

2.4 Einfluss paralleler Wärmeströme auf den Treibhauseffekt

Wird die Wärme durch zwei parallele Wärmeströme abgeführt, addieren sich die Wärmewiderstände wie die parallelgeschalteten Widerstände in einer elektrischen Schaltung (Abb. 3):

$$\frac{1}{\vartheta_G} = \frac{1}{\vartheta_1} + \frac{1}{\vartheta_2}. \quad (7)$$

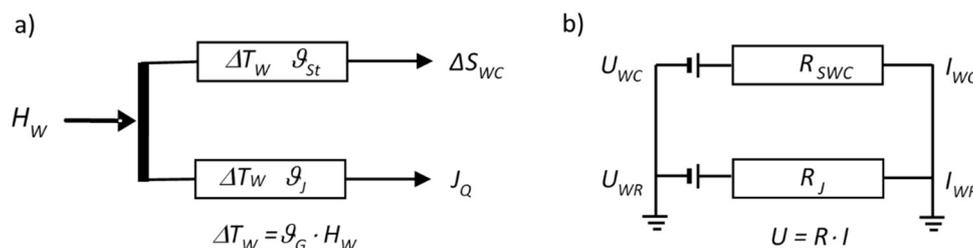


Abb. 3: a) Wärmeflüsse durch Strahlung und Wärmeleitung, b) elektrisches Ersatzschaltbild.

Der Gesamt-Wärmewiderstand ϑ_G ist damit immer kleiner als jeder Teilwiderstand, was durch einen Vergleich der Wärmebilanzen eines Styroporblocks und eines Strahlungskanals (in beiden Fällen ohne Beschichtung) gezeigt werden kann (Abb. 4).

Im Falle des Styroporblocks (Fall a) ist die Wärmeleitung J_Q der einzige Wärmefluss. Die Temperatur der warmen Platte P_W erhöht sich um $\Delta T_W = 24,2 \text{ °C}$, was einem Leitungswiderstand $\vartheta_J = 21 \text{ °C/W}$ entspricht und gleichzeitig den Gesamt-Wärmewiderstand ϑ_G darstellt.

Im Falle des Strahlungskanals (Fall b ohne Styroporscheiben) wird die Wärme der Platte P_W parallel durch Wärmeleitung und Strahlungsaustausch abgeführt, wodurch sich die Temperatur nur um $\Delta T_W = 8,8 \text{ °C}$ erhöht, was den Gesamt-Wärmewiderstand auf $\vartheta_G = 7,3 \text{ °C/W}$ verringert. Da, wie oben dargelegt, die inneren Styroporscheiben praktisch keinen Einfluss auf den Leitungswiderstand haben, errechnet sich mit $\vartheta_J = 21 \text{ °C/W}$

und $\varrho_G = 7,3 \text{ °C/W}$ ein Strahlungswiderstand $\varrho_{St} = 11,1 \text{ °C/W}$ nach Gl. (7).

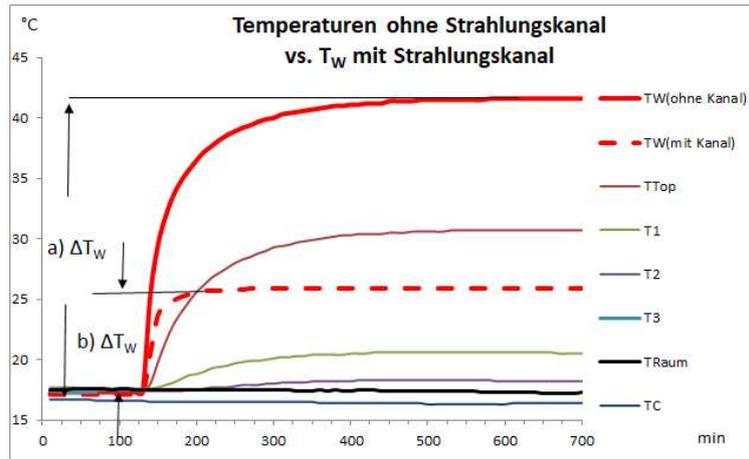


Abb. 4: a) Temperatur T_W ohne Strahlungskanal, b) zum Vergleich Temperatur T_W mit Strahlungskanal.

Dieser Vergleich zeigt das große Potenzial der IR-Strahlung zur Energieübertragung, wodurch wesentlich mehr Wärme abgeführt wird als durch reine Wärmeleitung.

Die Erdoberfläche, die zu mehr als 70 % aus Wasser besteht, wird i. W. durch drei parallele Wärmeströme, Konvektion, Evapotranspiration und Strahlungsaustausch, gekühlt. Durch den Anstieg der CO_2 -Konzentration steigt der Strahlungswiderstand ϱ_{St} , wodurch sich die Erdoberfläche leicht erwärmt. Eine Erderwärmung verursacht aber auch eine Zunahme der Wasserverdampfung mit dem Wärmewiderstand ϱ_{Eva} , wodurch die Erdoberfläche eine zusätzliche Kühlung erfährt und nach Gl. (7) der Wärmewiderstand ϱ_G wieder sinkt.

Ein solcher Mechanismus ist eine negative Temperatur-Rückkopplung (siehe Harde 2017 [18]), die leider vom IPCC und den dort referierten Klimamodellen nicht berücksichtigt wird und dadurch zu deutlich höheren Prognosen für eine durch CO_2 verursachte Erwärmung führt.

Die durch Verdunstung abgeführte Wärme und die daraus resultierende Wolkenbildung erklären, warum Ozeane auch in den Tropen nur eine maximale Oberflächen-Temperatur von rund 32°C erreichen. Im Gegensatz dazu werden in den Wüsten der Subtropen, die sich nicht durch Wasserverdampfung kühlen können, Rekordtemperaturen erreicht, wie z.B. im Death Valley mit $56,7^\circ\text{C}$ [19] oder sogar Boden-Temperaturen von $78,2^\circ\text{C}$ in der Dascht-e Lut-Wüste [20].

2.5 Simulation des Treibhauseffekts

Wird eine geschwärzte, dünne Al-Platte als Zwischenscheibe P_i in den Strahlungskanal eingebracht, unterbricht diese den Strahlungsaustausch durch einen Absorptions-Emissions-Zyklus, wobei die der Platte zugeführte Energie beidseitig durch Infrarotstrahlung wieder abgegeben wird. Dieser Vorgang entspricht im Prinzip der Wirkung von Treibhausgasen in der Atmosphäre, mit dem Unterschied, dass in der schwarzen Scheibe alle verfügbaren Wellenlängen eines Planck-Strahlers von der Absorptions-Emissions-Unterbrechung betroffen sind. In diesem Modellversuch ist die gekühlte Platte P_c die Energiesenke, der Ort, an dem die durch IR-Strahlung übertragene Nettoenergie abgeführt wird.

Der Modellversuch kann auch als Simulation des Einflusses von Wolken auf den Strahlungsaustausch angesehen werden. In diesem Sinne simuliert die Scheibe P_i eine vollständige Wolkenbedeckung und P_w die Erdoberfläche. Ein weiterer Sensor auf der Scheibe P_i liefert Informationen über die an diesem Ort auftretende Temperatur T_i , die der Temperatur der Gase bzw. Wolken entsprechen würde.

Definitionsgemäß ist das Maß für den Treibhauseffekt die Temperaturerhöhung ΔT_G der warmen Platte im Vergleich zu einer Messung ohne die Platte P_i bei sonst gleicher Heizleistung H_w . In drei Versuchen, die sich lediglich im Abstand zwischen der Scheibe P_i und der warmen Platte unterscheiden, führt die Existenz dieser Platte im Strahlungskanal zu gut beobachtbaren Temperaturunterschieden von bis zu $2,0^\circ\text{C}$ (Abb. 5, Tab. 3).

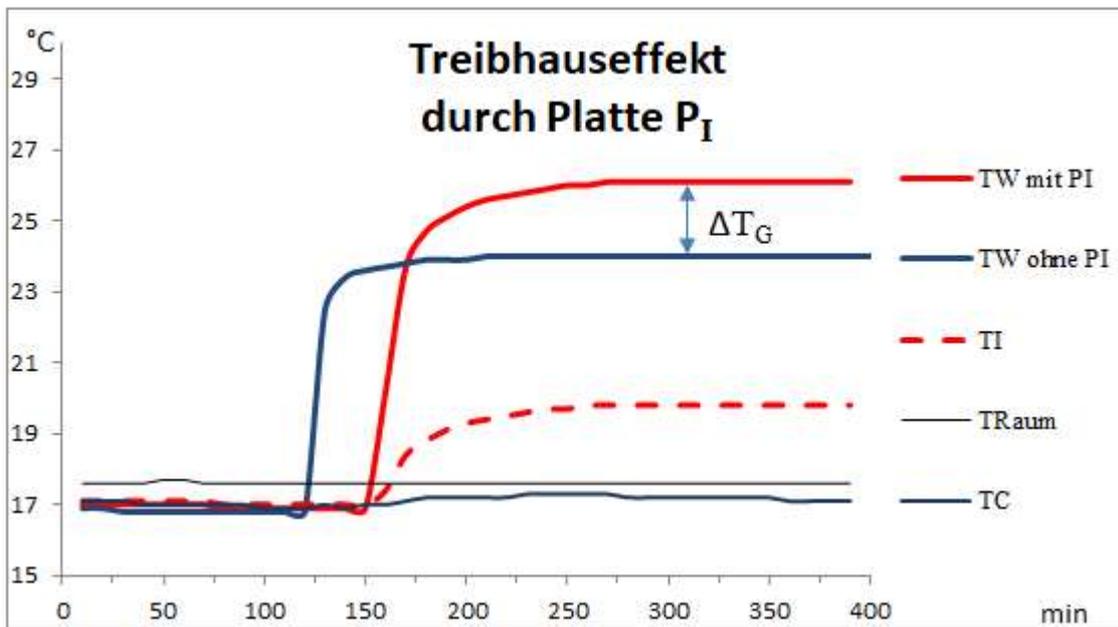


Abb. 5: Temperaturverlauf von T_W (Rot) und T_I (Gestrichelt) mit Zwischenscheibe P_I (5 cm Abstand zu Platte P_W). Zum Vergleich die Temperatur T_W ohne Scheibe P_I (Blau).

Für die Platte P_W ist jetzt die Quelle der Rückstrahlung nicht mehr die Platte P_C , sondern die wärmere Platte P_I mit der Temperatur T_I (Rot gestrichelt). Dies führt zu einem Anstieg der Temperatur T_W (Rot). Zum Vergleich ist die Temperatur T_W ohne die Scheibe P_I dargestellt (Blau).

Tabelle 3: Treibhauseffekt einer Aluminiumscheibe

Aluminiumscheibe P_I Abstand zu P_W (cm)	H_W W	T_C °C	T_W °C	T_I °C	ΔT_W °C	ΔT_G °C	\mathcal{G}_G °C/W
5	1,20	17,1	26,1	19,8	9,2	2,00	7,7
30	1,20	16,9	25,7	19,0	8,8	1,60	7,3
55	1,20	16,9	25,3	18,5	8,4	1,20	7,0
ohne Scheibe	1,20	16,8	24,0	-	7,2	0,00	6,0

Damit wird erneut bestätigt: Die Temperatur eines beheizten Körpers hängt eindeutig von der Intensität der Gegenstrahlung seiner Umgebung ab, auch wenn diese kälter ist.

Übertragen auf die Atmosphäre lässt sich hieraus ableiten, dass der Treibhauseffekt durch TH-Gase vor allem bei klarem Himmel in Erscheinung tritt. Niedrige Wolken mit ihren vergleichsweise hohen Temperaturen erzeugen dagegen eine so starke Gegenstrahlung, dass die Beiträge durch die Treibhausgase überdeckt und deutlich abgeschwächt erscheinen.

Referenzen

1. J. B. Fourier, 1824: *Remarques Générales Sur Les Températures Du Globe Terrestre Et Des Espaces Planétaires*. In: *Annales de Chimie et de Physique*, Vol. 27, 1824, S. 136–167, https://books.google.co.uk/books?id=1Jg5AAAAcAAJ&pg=PA136&hl=pt-BR&source=gbs_selected_pages#v=onepage&q&f=false
2. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani et al. (eds.)]. Cambridge University Press, pp. 3–32, [doi:10.1017/9781009157896.001](https://doi.org/10.1017/9781009157896.001).

3. R. W. Wood, 1909: *Note on the Theory of the Greenhouse*, London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine, Vol. 17, pp. 319-320. <https://zenodo.org/record/1430650#.Yoo9kPTP1EY>
4. T. Allmendinger, 2006: *The thermal behaviour of gases under the influence of infrared-radiation*, Int. J. Phys. Sci. 11: 183-205. <https://academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/E00ABBF60017>
5. N. S. Nahle, 2011: *Repeatability of Professor Robert W. Wood's 1909 experiment on the Theory of the Greenhouse*, Biology Cabinet Online-Academic Resources and Principia Scientific International, Monterey, N. L. https://principia-scientific.org/publications/Experiment_on_Greenhouse_Effect.pdf
6. V. R. Pratt, 2020: *Wood's 1909 greenhouse experiment, performed more carefully*, <http://clim.stanford.edu/WoodExpt/>
7. E. Loock, 2008: *Der Treibhauseffekt - Messungen an einem Wood'schen Treibhaus*, <https://docplayer.org/30841290-Der-treibhauseffekt-messungen-an-einem-wood-schen-treibhaus-von-ehrenfried-loock-version.html>
8. T. O. Seim, B. T. Olsen, 2020: *The Influence of IR Absorption and Backscatter Radiation from CO₂ on Air Temperature during Heating in a Simulated Earth/Atmosphere Experiment*, Atmospheric and Climate Sciences, 10, pp. 168-185, <https://doi.org/10.4236/acs.2020.102009>.
9. H. v. Ditfurth, 1978: *Studio-Demonstration in Deutschem TV, ZDF TV-Series "Querschnitte"*.
10. M. Schnell, 2020: *Die falschen Klimaexperimente*, <https://www.eike-klima-energie.eu/2020/11/06/die-falschen-klima-experimente/>
11. A. Gore, D. Guggenheim, 2006: *An Inconvenient Truth*, Movie, <https://www.imdb.com/title/tt0497116/>
12. A. Watts, 2011: *Replicating Al Gore's Climate 101 video experiment shows that his "high school physics" could never work as advertised*, <https://wattsupwiththat.com/2011/10/18/replicating-al-gores-climate-101-video-experiment-shows-that-his-high-school-physics-could-never-work-as-advertised/?cn-reloaded=1>
13. J.-E. Solheim, 2016: *Start des zweitägigen „Al Gore-Experiments“*, 10. Internationale Klima- und Energie-Konferenz (10. IKEK), EIKE, Berlin, <https://www.eike-klima-energie.eu/2017/02/04/10-ikek-prof-em-jan-erik-solheim-start-des-zweitaegigen-al-gore-experiments/>.
14. H. Harde, M. Schnell, 2022: *Verification of the Greenhouse Effect in the Laboratory*, Science of Climate Change, Vol. 2.1, pp. 1-33, <https://doi.org/10.53234/scc202203/10>.
15. H. Harde, M. Schnell, 2022: *Nachweis des Treibhauseffekts im Labor*, http://hharde.de/index_htm_files/Harde-Schnell-THE-m.pdf
16. M. Schnell, H. Harde, 2023: *Model-Experiment of the Greenhouse Effect*, Science of Climate Change, Vol. 3.5, pp. 445 - 462, <https://doi.org/10.53234/scc202310/27>
17. J. Stefan, 1879: *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, 79, S. 391 – 428
18. H. Harde, 2017: *Radiation Transfer Calculations and Assessment of Global Warming by CO₂*, International Journal of Atmospheric Sciences, Volume 2017, Article ID 9251034, pp. 1-30, <https://doi.org/10.1155/2017/9251034>.
19. Wikipedia, *Temperaturextrema*, <https://de.wikipedia.org/wiki/Temperaturextrema>
20. Wikipedia, *Dascht-e Lut*, [Dascht-e Lut – Wikipedia](https://de.wikipedia.org/wiki/Dascht-e_Lut)