

Artikel (offensichtlich gekürzt) aus dem Internet unter:

<http://fiz.1september.ru/articlef.php?ID=200501111>

Originaltitel: О.Г. Сорохтин. Адиабатическая теория парникового эффекта. Оpubл. в сб. Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. - М.: Наука, - 2006, - с. 101-129.

(O.G Sorochtin. Die adiabatische Theorie des Treibhauseffektes. Veröff. in d. Arti-

kelsammlg. Möglichkeiten der Verhinderung des Klimawandels und seiner negativen Auswirkungen. - Moskau: Verl. „Nauka“, - 2006, - S. 101-129.)

*Übersetzung aus dem Russischen sowie Grafikbearbeitung und Neuerstellung von Bernd Hartmann*

**O. G. Sorochtin**  
**Ordentliches Mitglied**  
**der Russischen Akademie der Naturwissenschaften (RAN)**  
**P. P. Schirschow-Institut für Ozeanologie**  
**der Russischen Akademie der Wissenschaften (RAdW)**

## **Die adiabatische Theorie des Treibhauseffektes**

### **1. Einleitung**

Die Idee von der Erhitzung der Erdatmosphäre durch Treibhausgase wurde erstmals gegen Ende des 19. Jh. vom bekannten schwedischen Wissenschaftler S. Arrhenius geäußert [1]. Seit dem wird sie praktisch ohne Überprüfung als Wahrheit gehandelt [2–5]. Dieser Standpunkt beherrscht bis heute die Handlungsweise und Arbeitsinhalte der „Internationalen Expertengruppe zum Klimawandel“ (IPCC), Greenpeace, von UNO-Programmen zum Umweltschutz (UNEP), der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ebenso auch die russischer ökologischer und wissenschaftlicher Organisationen. Dieser Standpunkt bildete die Grundlage für Entscheidungen der Kongresse von Rio de Janeiro (1992) und Kyoto (1997). Laut Prognosen der Anhänger dieser Ideen erfolgt eine Temperaturerhöhung bis zum Jahr 2100 um 2,5 °C bis 5 °C und ein Meeresspiegelanstieg um 0,6 m. Dies könne in Zukunft bestimmte Probleme für dicht besiedelte Gebiete in Küstenbereichen und beispielsweise auch in Gas- und Ölfördergebieten großer Teile der Niederungen des Nordens von Russland darstellen. Auf diese Weise werden noch weitere katastrophale Folgen der globalen Erwärmung für die Natur prognostiziert (weitere Ausdehnung von Wüsten, Auftauen des Dauerfrostbodens, Bodenerosion usw.).

Die Gefahr des Eintreffens dieser katastrophalen Erscheinungen, der in diesem Zusammenhang ausgeübte Druck verschiedenster ökologischer Organisationen sowie weitere Spekulationen zu diesem Thema veranlassen Regierungen entwickelter Länder, immense Mittel im Kampf mit den Folgen der Klimaerwärmung aufzuwenden, die angeblich mit dem anthropogenen Ausstoß von „Treibhausgasen“ in die Atmosphäre zusammenhängt. In wie weit sind diese Aufwendungen gerechtfertigt? Wird nicht dort ein Kampf gegen „Windmühlen“ geführt?

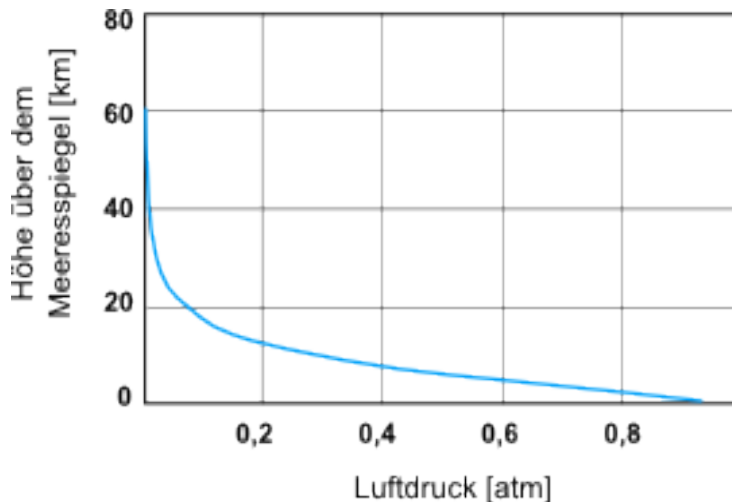
Bei näherer Bekanntschaft mit diesem Problem erweist sich, dass die Theorie des Treibhauseffektes als solche bis zu Beginn der 1990-er Jahren eine relativ geringe Rolle spielte, wobei alle Berechnungen des Einflusses der CO<sub>2</sub>-Konzentration und anderer Treibhausgase auf das Klima nach verschiedenen intuitiven Modellen unter Berücksichtigung vieler und nicht immer konstanter Parameter erfolgte [4]. Die dabei existierenden Unstimmigkeiten in der Bewertung der einen oder anderen Parameter in Abhängigkeit der jeweils angewendeten Modelle (davon gibt es nach unserer Zählung mindestens 30) ergaben faktisch immer unkorrekte Lösung der gestellten Aufgabe. Wir entschlossen uns, den synergetischen Weg als Herangehensweise zu wählen [6, 7] und eine Analyse, ausgehend von den allgemeinsten Positionen, zu führen, nach welchen man sich die Erdatmosphäre als offenes dissipatives System, das mit nicht linearen Gleichungen der mathematischen Physik beschrieben werden kann, vorstellen muss.

## 2. Hauptcharakteristika der Atmosphäre

Die Masse der rezenten Atmosphäre beträgt ca.  $5,15 \cdot 10^{21}$  g, der mittlere Luftdruck über dem Meeresspiegel  $p_0$  ist gleich einer physikalischen Atmosphäre (atm) bzw. 101,32 kPa, die Dichte  $\rho_0 \approx 1,27 \text{ kg/m}^3$ . Die Dichte verringert sich schnell exponentiell mit zunehmender Höhe (Abb. 1):

$$p = p_0 \pi\left(-\frac{g\mu}{RT} \cdot h\right) \quad (1)$$

wobei  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  – die Gravitationskonstante,  $\mu$  die mittlere molare Masse der atmosphärischen Gase (28,9 g/mol bei  $p=p_0$ ),  $R = 1,987 \text{ cal/(K}\cdot\text{mol)} = 8,314 \cdot 10^7 \text{ erg/(K}\cdot\text{mol)}$  – die universelle Gaskonstante;  $T$  – die absolute Temperatur;  $h$  – die Höhe über dem Meeresspiegel ist. Dementsprechend verkleinert sich mit zunehmender Höhe auch die Dichte der Luft.

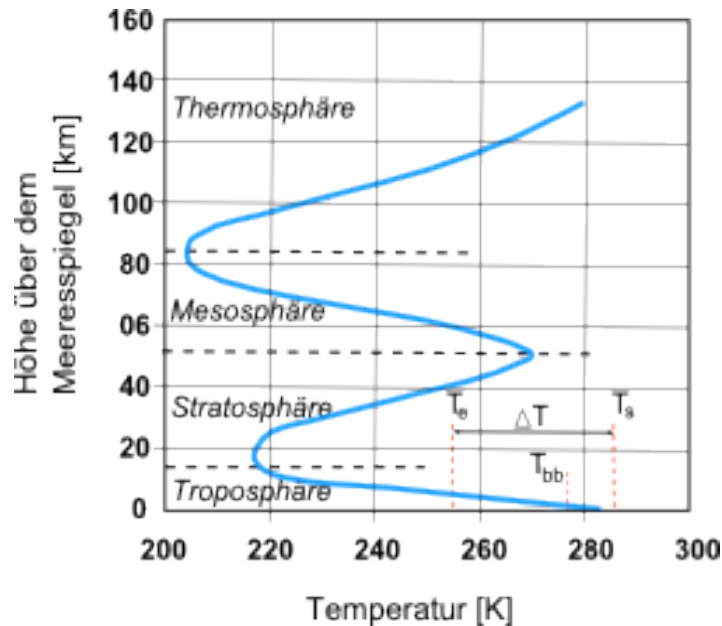


**Abb. 1: Die Abhängigkeit von Luftdruck und Höhe**

Trockene Luft beinhaltet 75,51 M-% Stickstoff, 23,15 M-% Sauerstoff, 1,28 M-% Argon, 0,046 M-% Kohlendioxid, 0,00125 M-% Neon und ca. 0,0007 M-% anderer Gase. Eine wichtige aktive Komponente der Luft ist Wasserdampf (und Wasser als Tropfen in Wolken): seine durchschnittliche Masse beträgt  $0,13 \cdot 10^{20}$  g, was auf der Erdoberfläche eine Schicht kondensierten Wassers mit einer Dicke von 25 mm und einem flächenspezifischen Gewicht von  $2,5 \text{ g/cm}^2$  ergeben würde. Berücksichtigt man, dass die durchschnittliche jährliche Verdunstungsrate und die entsprechende Niederschlagsrate ungefähr 780 mm beträgt, so lässt sich leicht errechnen, dass sich der Wasserdampf innerhalb der Atmosphäre 30 mal im Jahr bzw. ca. alle 12 Tage erneuert. In den hohen Schichten der Atmosphäre entsteht unter dem Einfluss des ultravioletten Teils der Sonnenstrahlung Ozon ( $\text{O}_3$ ). Ungeachtet seiner geringen Mengen (ca.  $3,1 \cdot 10^{15}$  g; dagegen beträgt die Gesamtmasse des Sauerstoffs  $1,192 \cdot 10^{21}$  g) rettet dieses Gas das Leben auf der Erdoberfläche vor den schädlichen Auswirkungen der harten Strahlung der Sonne.

Für die Erdatmosphäre können drei charakteristische Schichten ausgehalten werden (Abb. 2): Die untere Schicht mit der höchsten Dichte – die Troposphäre, die eine Höhe der Größenordnung bis zu 8 - 10 km in hohen Breiten und im Bereich des äquatorialen Gürtels bis 16-18 km (im Mittel 12 km) erreicht, enthält ca. 80 % der gesamten Masse der Atmosphäre und zeichnet sich durch ein fast lineares Temperaturprofil aus. Die mittlere Schicht der schon wesentlich verdünnten Atmosphäre wird durch die Stratosphäre und die Mesosphäre vertreten, wird durch ein Temperaturmaximum bestimmt, welches 270 K in einer Höhe von ca. 50 km erreicht. Noch höher befindet sich die Thermosphäre, in welcher sich die Temperatur ionisierter Gase mit zunehmender Höhe bis auf 1000 K und mehr erhöht. Ab einer Höhe von 1000 km geht die Thermosphäre allmählich in die Exosphäre und dann weiter in den offenen Kosmos über. Zwischen der Troposphäre und der Stratosphäre, Mesosphäre und Thermosphäre existieren Übergangsschichten – entsprechend

die Tropopause (ca. 190 – 220 K) und die Mesopause (ca. 180 – 190 K).



**Abb. 2: Temperaturprofil der Erdatmosphäre:  $T_e$  – Strahlungstemperatur (effektive T.);  $T_s$  – durchschnittliche Temperatur der Erdoberfläche, bezogen auf das Meeresniveau;  $\Delta T$  – Treibhauseffekt;  $T_{bb}$  – Temperatur des absolut schwarzen Körpers auf der Erdumlaufbahn**

Innerhalb der Troposphäre erhöht sich die Temperatur mit zunehmender Höhe fast linear. In der oberen Atmosphäre existiert ein deutliches Maximum in einer Höhe von ca. 50 km. Das Maximum hängt mit der Absorption von UV-Strahlung der Sonne durch Ozon zusammen. Eine weitere Temperaturerhöhung erfolgt ab 90 km. Die Temperaturerhöhung steht im ursächlichen Zusammenhang mit der Ionisierung der verdünnten Luft durch harte Solarstrahlung.

Auf diese Weise wird die Temperatur in der Stratosphäre und der Mesosphäre hauptsächlich durch Wärmeaustausch über Strahlungsprozesse bestimmt. Dagegen wirken in der Troposphäre andere Prozesse. Hier ist die Hauptform der konvektive Wärmeaustausch aus der dichteren Troposphäre in die Stratosphäre, woraus sie letztendlich über Strahlungsprozesse in den Kosmos gelangt.

### 3. Die adiabatische Theorie des Treibhauseffektes

Der Definition nach ist der Treibhauseffekt  $\Delta T$  die Differenz zwischen der Temperatur der Erdoberfläche  $T_s$  und der effektiven (Strahlungs-) Temperatur, unter welcher der Planet aus dem Kosmos zu sehen ist:

$$\Delta T = T_s - T_e \quad (2)$$

Die mittlere Temperatur  $T_s$  beträgt an der Erdoberfläche ca. 288 K (+15 °C). Die effektive Temperatur  $T_e$  wird folgendermaßen bestimmt:

$$T_e^4 = \frac{(1-A)}{4\sigma} \cdot S \quad (3)$$

wobei  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-5} \text{ erg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4)$  – die Stefan – Boltzmann - Konstante,  $S$  – die Solarkonstante für eine bestimmte Entfernung vom Planeten zur Sonne,  $A$  – die Albedo bzw. Reflexionsfähigkeit eines Planeten, die hauptsächlich von der Wolkenbedeckung reguliert wird, ist. Für die Erde betra-

gen  $S = 1,367 \cdot 10^6 \text{ erg/(cm}^2 \cdot \text{s)}$ ,  $A \approx 0,3$ ,  $T_e = 255 \text{ K}$  ( $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ ); folglich entspricht der Treibhauseffekt auf der Erde derzeit einer Temperatur von  $+33 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Vom Standpunkt der hier dargestellten Definition aus gesehen ist der Treibhauseffekt eine vollkommen reale Kategorie, obwohl dieser Begriff unglücklich gewählt und physikalisch einfach unwahr ist. Man meint, dass die Atmosphäre, die so genannte „Treibhausgase“ enthält, in geringem Maß kurzwellige Strahlung absorbiert, die ihrerseits zum größten Teil die Erdoberfläche erreicht. Diese halten den von der Erdoberfläche reflektierten langwelligen Teil der Strahlung auf und verringern damit wesentlich den Wärmetransport in den Kosmos. Dies wird als der Hauptgrund für eine Erwärmung der Erdatmosphäre angesehen. Je höher die Konzentration dieser oben angeführten „Treibhausgase“ in der Luft ist, umso höher, so wird gefolgert, ist die Erwärmung der Atmosphäre. Seine Bezeichnung erhielt dieser Effekt entsprechend der Erscheinung in mit Glas abgedeckten Treibhäusern, wo das Glas leicht den sichtbaren Teil der Sonnenstrahlung hindurch lässt und Wärmestrahlung aufhält. Jedoch besteht der Treibhauseffekt in etwas anderem – nämlich in der Verhinderung der konvektiven Vermischung der Treibhausluft mit der Außenluft. So bald ein Fenster im Treibhaus geöffnet wird, ist eine Verbindung mit dem äußeren Raum hergestellt und sofort geht der „Treibhauseffekt“ verloren.

In so fern, dass die Erde über eine vergleichsweise dichte Atmosphäre verfügt, erfolgt in ihrer dichtesten untersten Schicht, der Troposphäre, der Wärmetransport hauptsächlich über konvektive Bewegungen der Luftmassen. Tatsächlich dehnen sich in der dichten Atmosphäre (Drücke über  $0,2 \text{ atm}$ ) aus und steigen auf, wogegen umgekehrt kalte sich zusammenziehen und absinken. Ein Wärmeaustausch über Strahlungsprozesse dominiert nur in den verdünnten (weniger dichten) Schichten der Stratosphäre, Mesosphäre und Thermosphäre.

Daraus folgt die Hauptschlussfolgerung: Das mittlere Temperaturprofil innerhalb der Troposphäre muss nahe am adiabatischen Zustand liegen, das heißt, dass er sich unter Berücksichtigung der Ausdehnung und nachfolgender Abkühlung der Luft bei ihrem Aufstieg sowie umgekehrt bei ihrer Kompression und der darauf folgenden Erwärmung beim Absinken einstellt. (Dabei muss das konkrete Temperaturprofil zu bestimmten Zeitpunkten keines Wegs adiabatisch sein. Es sind hierbei mittlere Wärmeverteilungen mit entsprechenden Temperaturprofilen für bestimmte Zeitabschnitte beispielsweise der Größenordnung eines Monats gemeint.)

Für einen adiabatisch verlaufenden Prozess kann die absolute Temperatur mit Hilfe folgender Gleichung [9] beschrieben werden (wenn man die Atmosphäre als ideales Gas auffasst):

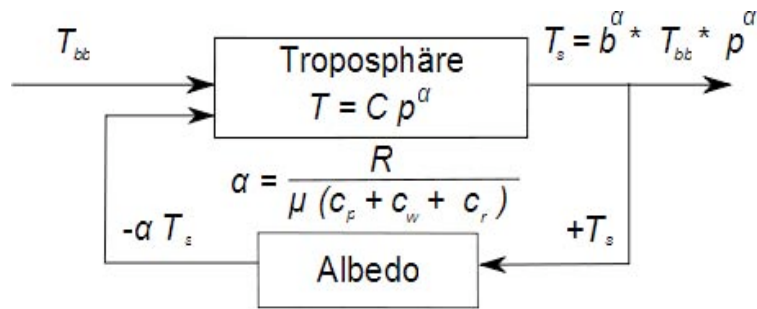
$$T = C \cdot p^\alpha \quad (4)$$

wobei  $C$  – eine Konstante,  $p$  – den Druck des Gasgemisches,  $\alpha = (\gamma - 1)/\gamma$  – die Adiabatenzahl ( $\gamma = c_p/c_v$ ) und  $c_p$  und  $c_v$  die jeweils spezifische Wärmekapazität für ein Gas bei konstantem Druck bzw. Volumen darstellen. Für alle dreiatomigen Gase (darunter auch  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ ) ist  $\gamma = 1,3$  und  $\alpha = 0,2308$  - für zweiatomige ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) beträgt  $\gamma = 1,4$  und  $\alpha = 0,2857$ .

Bei der Kondensation von Wasserdampf in der feuchten Troposphäre und der Absorption von infraroter Strahlung durch „Treibhausgase“ erfolgt die Freisetzung von Wärme und somit eine Temperaturerhöhung der Luft. Das führt zu einer Veränderung von  $\alpha$ . Beispielsweise beträgt die durchschnittliche Größe dieses Parameters für eine feuchte, IR-Strahlung absorbierende Troposphäre  $0,1905$  [10]. Für eine trockene Troposphäre beträgt  $\alpha$  dagegen  $0,2846$ .

Wichtig erscheint, dass die Kondensation von Feuchte in der Troposphäre Bewölkung hervorruft, welche den bestimmenden Hauptfaktor für die Albedo der Erde darstellt. Dies bewerkstelligt eine starke negative Rückkopplung zwischen der erdoberflächennahen Temperatur und der Strahlungstemperatur, was zu einer Stabilisierung des Wärmeregimes der Troposphäre führt (Abb. 3). Und tatsächlich, eine beliebige Erhöhung der bodennahen Temperaturen verstärkt die Verdunstung von Wasser und erhöht damit den Bewölkungsgrad, wodurch sich wiederum die Albedo der Erde und das Reflexionsvermögen der Erdatmosphäre vergrößert. Im Resultat vergrößert sich die Reflexion von solarer Wärmestrahlung zurück in den Kosmos durch die Bewölkung. Die Zufuhr von Wärmestrahlung zur Erde wird gedämpft. Die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche verringert sich bis auf das vorherige Niveau. Es muss beachtet werden, dass jegliche negative Rückkopplung in einem System zu einer linearen Abhängigkeit zwischen der

Reaktion am Eingang und der Auswirkung am Ausgang führt [11]. Dieser Sachverhalt ist unabhängig von der Natur jeglicher Systeme, sei es die Atmosphäre eines Planeten, sei es ein elektronischer Verstärker oder ein Wattscher Fliehkraftregler.



**Abb. 3: Strukturschema der Temperaturänderungen in der Troposphäre**

Wenn das Eingangssignal die so genannte Temperatur eines absolut schwarzen Körpers darstellt, die die Erwärmung eines Körpers charakterisiert, der von der Sonne im Abstand Sonne-Erde entfernt ist und welche ausschließlich von der Aufnahme der solaren Strahlungsenergie abhängt ( $T_{bb} = 278,8 \text{ K} = +5,6 \text{ °C}$  für die Erde), so hängt die Temperatur an der Erdoberfläche  $T_s$  linear von ihr ab. Folglich beträgt die durchschnittliche Temperatur auf jedem Niveau der Troposphäre

$$T = b^\alpha \cdot T_{bb} \cdot p^\alpha, \quad (5),$$

wobei  $b$  – der maßstäbliche Faktor (wenn die Berechnung in „atm“ ausgeführt wird, so ist für die Erde  $b = 1,186 \text{ atm}^{-1}$ ) ist. Beträgt die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche 288 K, so folgt direkt aus der Ausdruck (4), dass auf jedem Niveau der Troposphäre (bei  $p > 0,2 \text{ atm}$ )

$$T = 288 \text{ K} \cdot (p/p_0)^\alpha \quad (6)$$

gilt. Dabei ist  $p_0 = 1 \text{ atm}$  - der Luftdruck in Höhe des Meeresspiegels (hier sowie im weiteren Text bezeichnet der Index „0“ gegenwärtige Zustandsgrößen der Atmosphäre).

Den Ausdruck (5) kann man auch für andere Planeten nutzen, wenn die Abhängigkeit nach Stefan-Boltzmann berücksichtigt wird:

$$T_{bb} = \sqrt[4]{\frac{S}{4\alpha}} \quad (7)$$

Dann erhält man für einen beliebigen Planeten (bei  $p > 0,2 \text{ atm}$ ) mit einer dichten Atmosphäre

$$T = b^\alpha \cdot (T_{bb})_0 \cdot \sqrt[4]{\frac{S}{S_0}} \cdot p^\alpha \quad (8).$$

Die Abhängigkeit von  $\alpha$  von der Zusammensetzung und der Feuchte der Atmosphäre ist nach den folgenden Formeln leicht erkennbar:

$$\alpha = R / (\mu (c_p + c_w + c_r)) \quad (9)$$

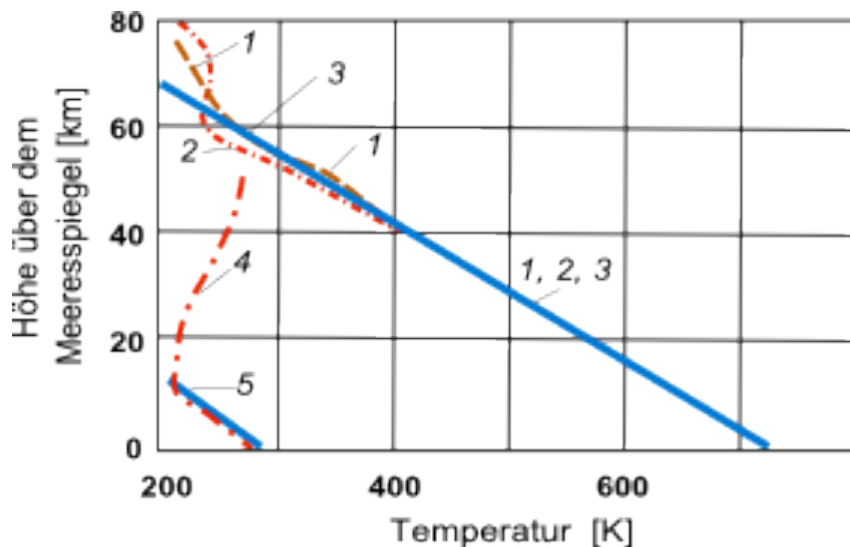
$$c_p = (p_{N_2} \cdot c_p(N_2) + p_{O_2} \cdot c_p(O_2) + p_{CO_2} \cdot c_p(CO_2) + p_{Ar} \cdot c_p(Ar)) / p \quad (10),$$

wobei  $\mu \approx 29 \text{ g/mol}$  – die molare Masse der Luft;  $p_{N_2} = 76,49 \text{ kPa}$ ,  $p_{O_2} = 23,45 \text{ kPa}$ ,  $p_{CO_2} =$

0,046 kPa,  $p_{Ar} = 1,297$  kPa – die partiellen Drücke der entsprechenden Gase [12];  $p = 101,3$  kPa – der summarische Atmosphärendruck;  $c_p(N_2) = 0,248$  cal/(g·K),  $c_p(O_2) = 0,218$  cal/(g·K),  $c_p(CO_2) = 0,197$  cal/(g·K),  $c_p(Ar) = 0,124$  cal/(g·K) [13];  $c_w$  und  $c_r$  – Korrekturkoeffizienten mit der Maßeinheit der spezifischen Wärmekapazität sind und die den summarischen Wärmeeffekt der Kondensationsprozesse der Feuchte in einer feuchten Atmosphäre ( $c_w$ ) sowie die Absorption der Wärmestrahlung der Erde und der Sonne berücksichtigen ( $c_r$ ). Wenn  $c_p = 0,2394$  cal/(g·K) für die trockene Erdatmosphäre ist, so ist bei  $\alpha = 0,1905$  für eine feuchte, IR-Strahlung absorbierende Atmosphäre  $c_w + c_r = 0,1203$  cal/(g·K). Für Planeten mit Atmosphären anderer Natur ist unter diesen Parametern eine Charakteristik beliebiger wärmephysikalischer oder chemischer Prozesse zu verstehen, die zu einer Abgabe oder Aufnahme von Wärme in der Troposphäre ( $c_w + c_r < 0$ ) führen.

Die Überprüfung der adiabatischen Theorie des Treibhauseffektes erfolgt mittels des Vergleichs der theoretischen und experimentell ermittelten Temperaturprofile innerhalb der Troposphären der Erde und der Venus. Zuerst finden wir die Größe der Parameter der entsprechenden Adiabaten. Dazu fügen wir in den Ausdruck (8) die Parameter der Erdatmosphäre ein:

$s_0 = 1,37 \cdot 10^6$  erg/(cm<sup>2</sup>·s);  $(T_{bb})_0 = 278,8$  K;  $(T_s)_0 = 288$  K;  $p_0 = 1$  atm. Dann bestimmen wir nach dem Ausdruck (5)  $b^\alpha = 1,033$  sowie entsprechend den Temperaturen und Drücken auf bestimmten Niveaus (z. B. auf einer Höhe von 5 km:  $T_{5km} = 255$  K,  $p_{5km} = 0,5333$  atm) und gemäß Ausdruck (6) wird  $\alpha = 0,1905$  und  $b = 1,186$  atm<sup>-1</sup> bestimmt. Die Berechnungen stimmen mit den real ermittelten Temperaturen in der Troposphäre einer Standarderdatmosfera mit einem Fehler von 0,1% überein (Abb. 4). Es sei daran erinnert, dass das Standardmodell der Erdatmosphäre seinem Wesen nach eine Mittelung über die gesamte Erde über die Abhängigkeit des Drucks und der Temperatur von der Höhe über dem Meeresspiegel darstellt. Dieses Modell der Troposphäre mit einem Gradienten von 6,5 K/km wird gewöhnlich für die Justierung von in Flugzeugen gebräuchlichen Altimetern und Barometern für Zwecke der Beobachtung an der Erdoberfläche verwendet.



**Abb. 4: Profile experimentell ermittelter Temperaturen in der Troposphäre der Venus (1, 2) sowie der Troposphäre und Stratosphäre der Erde (4) in Gegenüberstellung mit theoretisch ermittelten (3, 5)**

Eine viel härtere Überprüfung der Universalität der Gültigkeit der dargestellten Gesetzmäßigkeiten stellt die Berechnung der Temperaturprofile in der dichten Venustroposphäre gemäß vorgegebener Drücke und realer Zusammensetzung der Atmosphäre dar:  $p_s = 90,9$  atm;  $T_s = 735,3$  K

und  $S = 2,62 \cdot 10^6 \text{ erg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$  [15, 16]. In analoger Herangehensweise für  $T_{30\text{km}} = 496,9 \text{ K}$ ,  $p_{30\text{km}} = 9,458 \text{ atm}$  einsetzend, erhält man  $\alpha = 0,173$ ,  $b = 1,167 \text{ atm}^{-1}$ . Die beste Übereinstimmung mit dem theoretischen Graphen und den empirischen Werten ergibt sich, wenn man für die Venus genau wie für die Erde für  $b = 1,167 \text{ atm}^{-1}$  ansetzt. Die theoretischen Berechnungen und die experimentellen Ergebnisse stimmen im Fall der Venus mit einer Genauigkeit von 0,5 – 1% bis in eine Höhe von 40 km überein. Ab einer Höhe von 60 km (Venus) bei  $p < 0,2 \text{ atm}$  beginnt die Tropopause, wo die Theorie aufhört zu funktionieren. Es ist anzunehmen, dass die Größe der Konstante  $b = 1,186 \text{ atm}^{-1}$  für Planeten mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung ihrer Troposphären universell ist.

Auf diese Weise wird die mittlere Temperatur auf einem beliebigen Höhenniveau einer planetaren Troposphäre (Druck größer als 0,2 atm) eindeutig über die Intensität der Sonneneinstrahlung, den atmosphärischen Druck auf dem entsprechenden Höhenniveau sowie die effektive spezifische Wärmekapazität des Gasmediums bestimmt, welche die zusätzliche Erwärmung bzw. Abkühlung aufgrund der Wirkung von Wärmeaustauschprozessen berücksichtigt.

#### 4. Die Bestimmung der Feuchte und der Absorption

Hat man sich von der Gültigkeit der Theorie des adiabatischen Treibhauseffektes überzeugt, so kann man auch eine Reihe prognostischer Berechnungen durchführen. Das dargelegte Modell erlaubt es, den Anteil aller Komponenten des Wärmeaustauschs innerhalb des allgemeinen Prozesses der Wärmeregulierung in der Troposphäre zu bewerten. So gelingt es mit Hilfe der typischen Temperaturen der Troposphäre ( $T_e = 255 \text{ K}$ ,  $T_s = 288 \text{ K}$ ), die Korrekturglieder zur Wärmekapazität der trocknen und IR-Strahlung nicht absorbierenden Troposphäre unter Berücksichtigung der strahlungsabhängigen Größe  $c_r$  und der von der Kondensation von Feuchte abhängenden Parameters  $c_w$  des Wärmetransportes zu bestimmen [10].  $Q_a$  sei der effektive Wärmegehalt der Atmosphäre und  $m_a$  ihre effektive Masse. Dann wird die Strahlungskomponente der Wärmekapazität über die Strahlungstemperatur durch folgende einfache Beziehung dargestellt:

$$c_r = \frac{Q_a}{m_a \cdot T_a} \quad (11)$$

Analog kann man folgern, dass die zusätzliche Erwärmung der Atmosphäre durch Strahlung des Planeten bis zu ihrer mittleren Oberflächentemperatur durch die summarische Wärmekapazität charakterisiert wird -

$$c_p + c_w = \frac{Q_a}{m_a \cdot (T_s - T_e)}, \quad (11')$$

so dass man

$$c_r = (c_p + c_w) \frac{T_s - T_e}{T_e} \quad (12)$$

oder unter Berücksichtigung von (9)

$$c_r = \frac{R}{\mu \cdot \alpha} \cdot \frac{T_s - T_e}{T_e} \quad (13)$$

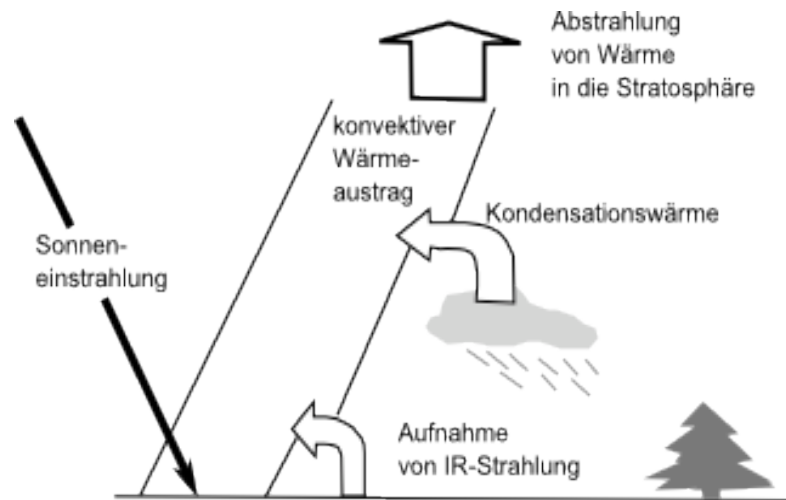
$$c_w = \frac{R}{\mu \cdot \alpha} \cdot \frac{T_e}{T_s} - c_p \quad (14)$$

erhält.

Setzen wir nun die oben aufgeführten Parameter der Atmosphäre in die Beziehungen (13) und (14) ein, dann ergibt sich für  $c_r = 0,0412 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})$ , für  $c_w = 0,0791 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})$  und für  $c_r + c_w = 0,1203 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})$ . D. h., dass sich die gleichen Werte ergeben wie auch bei der Analyse der durchschnittlichen Wärmeverteilung in der Troposphäre. Das unterstreicht nochmals die Richtigkeit



der dargelegten Theorie. In Abb. 5 sind die Anteile des Wärmeaustuges von der Erde in den Kosmos schematisch dargestellt: 67% der Wärmemenge gelangen direkt von der Erdoberfläche in den Bereich des konvektiven Masseaustauschs der Troposphäre; 11% des Anteils sind durch Absorption der IR-Strahlung der Erde und der Sonne und 22% durch Kondensation der Feuchte innerhalb der Troposphäre bedingt.



**Abb. 5: Allgemeine Bilanz der Wärmeverluste in der Troposphäre der Erde**

Die Dominanz der konvektiven Komponente des Wärmeaustuges ist auf ganz natürliche Weise erklärbar. Tatsächlich, die Energie, die infolge der Absorption der IR-Strahlung durch die „Treibhausgase“ aufgenommen wurde, regt Schwingungen in den Gasmolekülen an, wodurch eine Erwärmung des angestrahlten Gasvolumens erfolgt. Der weitere Wärmeaustausch kann dann über Diffusion und Konvektion geschehen. Jedoch ist der Koeffizient der Wärmeleitfähigkeit für Luft außerordentlich klein und beträgt ca.  $5,3 \cdot 10^{-5} \text{ cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{K})$ , was die Geschwindigkeit in cm/s ausdrückt, wogegen sie bei konvektiven Prozessen die Größenordnung von m/s erreichen kann. Eine analoge Situation ist bei der Lufterwärmung infolge der Kondensation der in ihr befindlichen Feuchtigkeit zu beobachten.

Für die Venus ( $\alpha = 0,173$ ,  $\mu = 43,2 \text{ g/mol}$ ,  $c_p = 0,199 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})$ ,  $T_s = 735,3 \text{ K}$ ,  $T_e = 228 \text{ K}$ ) betragen die entsprechenden Wärmekapazitäten  $c_r = 0,1834 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})$ ,  $c_w = -0,1166 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})$  und  $c_p = 0,0668 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})$ . Der erhöhte Wert von  $c_{r1}$ , welcher den strahlungsabhängigen Teil des Wärmetransportes verkörpert, kann offensichtlich durch den außerordentlich heißen Zustand der Venustroposphäre erklärt werden. Der negative Wert von  $c_w$  bedeutet, dass in den unteren und mittleren Schichten der Venustroposphäre geothermische Dissoziationsreaktionen verschiedener chemischer Verbindungen (z. B. Schwefelsäure, Sulfate und Wasser) dominieren. In den oberen Troposphärenschichten in Höhen von 40 bis 50 km und höher ( $>60 \text{ km}$ ,  $c_w > 0$ ) herrschen exotherme Reaktionen mit der Bildung chemischer Verbindungen und der Kondensation von Feuchte vor.

## 5. Mögliche Richtungen der Erweiterung der Theorie

Das beschriebene Modell des Treibhauseffektes ist seinem Wesen nach „eindimensional“: Ein Planet wird als dimensionsloser Punkt angesehen. Die einzige Dimension stellt die Höhe dar. Ein solches synergetisches Modell ist das genaueste hinsichtlich der Bestimmung globaler Charakteristika der Troposphäre eines Planeten beispielsweise des Treibhauseffektes, mittlerer Wärmeverteilung, Mittelwerte der strahlungs- und kondensationsgesteuerten Komponenten des Wärmeaustugs usw. Nutzt man das Lambertsche Gesetz (Bestrahlung einer Kugel) und führt dabei eine bestimmte Breite (Breitengrad) einer Lokalität ein, kann das Modell in ein zweidimensionales überführt werden. Führt man noch die Länge (Längengrad) sowie saisonbedingte Schwankungen der Intensität der Bestrahlung ein, transformiert man das Modell in ein drei- und vierdimensionales.



Dabei senkt sich die Genauigkeit der Bestimmung der Abhängigkeit des Treibhauseffektes von der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre.

Für diesen Fall muss bei der physikalischen Bestimmung der Temperatur des absolut schwarzen Körpers der Terminus „grauer Körper“ eingeführt werden:

$$T_{gb}^d = \frac{S}{4\sigma} \cdot \cos \varphi. \quad (15)$$

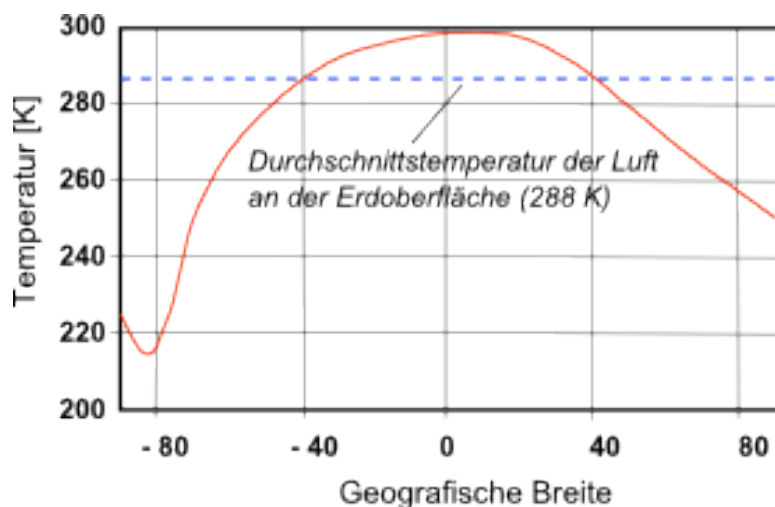
Wenn nun noch die Existenz des konvektiven Wärmeaustauschprozesses berücksichtigt wird, kann die Temperatur des die Erde imitierenden „grauen Körpers“ auf folgende Weise ermittelt werden:

$$T_{gb}^d = \sqrt[4]{\left(\frac{S}{4\sigma} \cdot \cos \varphi + \frac{Q}{\sigma}\right)} \quad (16),$$

wobei  $Q = dQ/dt$  - die Geschwindigkeit des Wärmeaustauschs durch die Luftmassen z. B. Zykclone ist (Wahrlich, in diesem Fall muss auch der Transport der Luftmassen berücksichtigt werden, der einer adiabatischen Wärmeverteilung in der Troposphäre entgegenwirkt – der Energieumsatz bei der Wirkung dieses Prozesses ist relativ gering.). Nachts ist  $S = 0$  und bezüglich des Wärmetransports durch Luftmassen ist es folgerichtig, nachts die Geschwindigkeit der Wärmeabstrahlung der tagsüber aufgewärmten Erdoberfläche zu berücksichtigen. Die Temperatur an der Erdoberfläche ist näherungsweise nach

$$T_s = b^\alpha \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{S}{4\sigma} \cdot \cos \varphi + \frac{Q}{\sigma}\right)} \cdot p_s^\alpha \quad (17)$$

bestimmbar, was es erlaubt eine breitenbezogene Zonalität der erdoberflächennahen Temperaturen zu ermitteln. Wenn, umgekehrt, empirisch gewonnene (gemessene) Jahresmittelwerte für die Temperatur vorliegen, so erweist sich die Bestimmung der mittleren spezifischen Geschwindigkeit des Wärmetransports durch Luftmassen für einen bestimmten Breitengrad als möglich. Anhand von Abb. 6 ist eine gute Übereinstimmung der theoretischen [17] und empirischen [5,22] Abhängigkeiten zwischen der durchschnittlichen Lufttemperatur an der Erdoberfläche und der geografischen Breite ersichtlich.



**Abb. 6: Abhängigkeit der mittleren Jahrestemperatur an der Erdoberfläche von der geografischen Breite nach empirischen Angaben [22]**

Die Intensität der Sonneneinstrahlung in Umrechnung auf die gesamte Erdoberfläche gleicht ungefähr  $1,11 \cdot 10^{24}$  erg/s - unter Berücksichtigung der Albedo ( $\approx 0,3$ ) beträgt sie  $7,76 \cdot 10^{23}$  erg/s. Die mittlere Kapazität (Leistung) der synoptischen Troposphärenprozesse beläuft sich auf der Erde bei  $3,79 \cdot 10^{23}$  erg/s, was fast 50% der Leistung der auf die Erde eingehenden Sonnenstrahlung darstellt. An diesem Hintergrund erscheint die von der gesamten Menschheit produzierte Energie mit  $13 \cdot 10^{12}$  W =  $1,3 \cdot 10^{20}$  erg/s vernachlässigbar klein. Eben auch deshalb kann der anthropogene energetische Einfluss auf das globale Klima kühn vernachlässigt werden. In diesem Zusammenhang ist es interessant zu bemerken, das nach unserer Schätzung der Wärmeverrat der Atmosphäre ca.  $1,3 \cdot 10^{31}$  erg, der Ozeane ca.  $1,6 \cdot 10^{34}$  erg und der „festen“ Erde als solcher ca.  $1,6 \cdot 10^{38}$  erg beträgt. Dagegen beläuft sich die Wärmeproduktion der gesamten Menschheit bei ca.  $4,1 \cdot 10^{27}$  erg/a. Bei einer Schneebedeckung mit einer Albedo  $A_s > A$  ergibt sich folgende Temperatur an der Erdoberfläche:

$$T_s = b^\alpha \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{1-A_s}{4\sigma} \cdot S \cdot \cos \varphi + \frac{Q}{\sigma}\right) \cdot p_s^\alpha} \quad (18)$$

Für die Verallgemeinerung des Modells als dreidimensionale Variante ist es erforderlich, den auf die geografische Länge bezogenen Winkel einzuführen. Ebenso ist die Lage der Fläche der Ozeane und Kontinente festzulegen. Letztendlich fordert ein vierdimensionales Model die Berücksichtigung der Neigung der Rotationsachse der Erde zur Fläche der Ekliptik, die Berücksichtigung saisonbedingter und tageszeitabhängiger Beleuchtungsintensität der Erdoberfläche usw.

Wie aus (18) folgt, erklärt die adiabatische Theorie des Treibhauseffektes solche Erscheinungen wie die Auskühlung der Erdoberfläche in klaren Nächten in Hochdruckgebieten, wenn  $S = 0$  und die einfallende Wärmemenge gering ist. In der Tat vermindert sich in Hochdruckgebieten im Allgemeinen der konvektive Masseaustausch der Luft. Deshalb vermindert sich auch die konvektive Wärmezufuhr, obwohl der Prozess der nächtlichen Wärmeabstrahlung von der tagsüber erwärmten Erdoberfläche weiterhin erfolgt. Im Resultat der Verkleinerung des Faktors  $dQ/dt$  nach Ausdruck (18) kühlt sich nachts ( $S \approx 0$ ) die Erdoberfläche wesentlich ab. Unter winterlichen Bedingungen in hohen Breiten, wenn die Erdoberfläche von einer Schneeschicht mit einer hohen Albedo bedeckt und die Erwärmung durch Sonneneinstrahlung unbedeutend ist, führt diese Erscheinung zu einer extremen Unterkühlung der Luft in Begleitung von „klirrenden Frösten“.

Unter den Bedingungen relativ beständiger Hochdruckgebiete ( $dQ/dt \approx 0$ ) erfolgt in solchen schneebedeckten Gebieten eine allgemeine extreme Abkühlung der Troposphäre, wobei sich die Tropopause fast bis zur Erdoberfläche absenkt. Typische Beispiele dafür sind Bedingungen, die sich in zentralen arktischen Gebieten (wofür der Autor vielfach selbst Zeuge war) sowie auch in Jakutien und dem Werchojansker Gebiet entwickeln. Sobald ein Hochdruckregime (Antizyklon) durch ein Tiefdruckregime (Zyklon) abgelöst wird, stellt sich sofort die konvektive Luftvermischung ein. Es kommt zur Erwärmung – aufs Neue hat sich im Mittel die hier gezeigte adiabatische Wärmeverteilung reproduziert.

Auf diese Weise erlaubt das betrachtete Modell auch lokale klimatische Charakteristika zu erstellen, wozu es notwendig ist, die Albedo der Erdoberfläche, den Wärmeeintrag durch Zyklone und die Feuchtigkeit der Troposphäre einzugeben. Faktisch senkt sich die Temperatur an der Erdoberfläche in Gebieten mit hoher Reflexionsfähigkeit der bestehenden Schneedecke und fehlender Wärmezufuhr durch Zyklone fast bis auf die in der Tropopause vorherrschende Temperatur ab, welche ihrerseits schon durch die Strahlungsbilanz der Atmosphäre im Bereich der gegebenen Breite reguliert wird. Zur Sommerzeit erfolgt umgekehrt in antizyklonischen Gebieten mit trockener Luft eine extreme Aufwärmung der oberflächennahen Schichten der Troposphäre um ca. 4 bis 5 °C und mehr (mit allen Symptomen einer Dürre), was beispielsweise häufig in den

„Transwolgasteppen“ vorkommt.

## 6. Prognose

Gemäß (7) kann man ein Temperaturprofil (bzw. die Wärmeverteilung) und den dazugehörigen Temperaturgradienten für eine absolut trockene und vollkommen transparente Troposphäre ermitteln. In diesem Fall ist die Summe  $c_w + c_p = 0$  und gemäß (9) und (10) und erhält für  $c_{p\text{dry}} = 0,2394 \text{ cal(g}\cdot\text{K)} \approx 1,0023 \cdot 10^7 \text{ erg/(g}\cdot\text{K)}$ ,  $\alpha = 0,286$ . Demnach ergibt sich für den Temperaturgradienten folgende Beziehung:

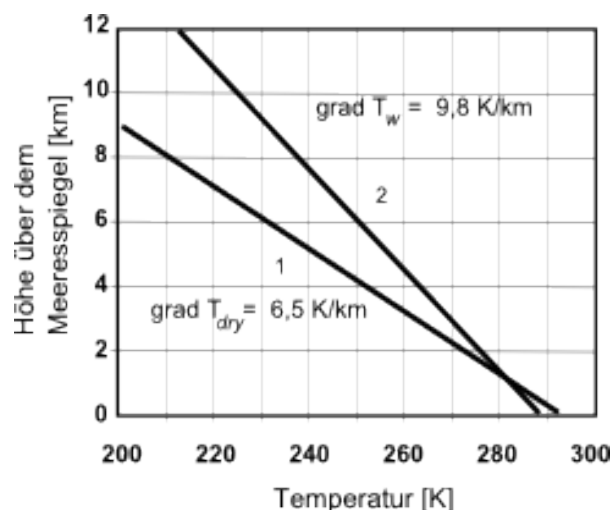
$$\text{grad } T_{\text{dry}} = \frac{g}{c_p} \approx 9,8 \text{ K/km} \quad (19)$$

Für eine feuchte, IR-Strahlung absorbierende Troposphäre, in der  $c_w + c_p \approx 0,1203 \text{ cal(g}\cdot\text{K)} = 0,504 \cdot 10^7 \text{ erg/(g}\cdot\text{K)}$  ist, wird der Temperaturgradient nach den Ausdrücken (13) und (14) bestimmt:

$$\text{grad } T_w = \frac{g}{c_p + c_w + c_r} \approx 6,5 \text{ K/km} \quad (20)$$

Es ist festzustellen, dass die Berechnung nach der Formel (20) indirekt auch die Richtigkeit der Bestimmung von  $c_w$  und  $c_p$  nach den Gleichungen (11-14) bestätigt.

Aus Abb. 7 wird ersichtlich, dass bei gleichen Drücken die Temperatur der trockenen und transparenten immer etwas größer als in der feuchten und wärmeabsorbierenden Troposphäre ist. In unserem Beispiel beträgt die gemittelte Abweichung  $4,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mit dieser Erscheinung lassen sich offensichtlich die erhöhten Temperaturen sowie Dürren in den Wüsten der ariden Zonen der Erde erklären so auch für Regionen, wohin mit Antizyklonen trockene Luftmassen aus solchen ariden Zonen beispielsweise in die erwähnten „Transwolgagebiete“ gelangen.

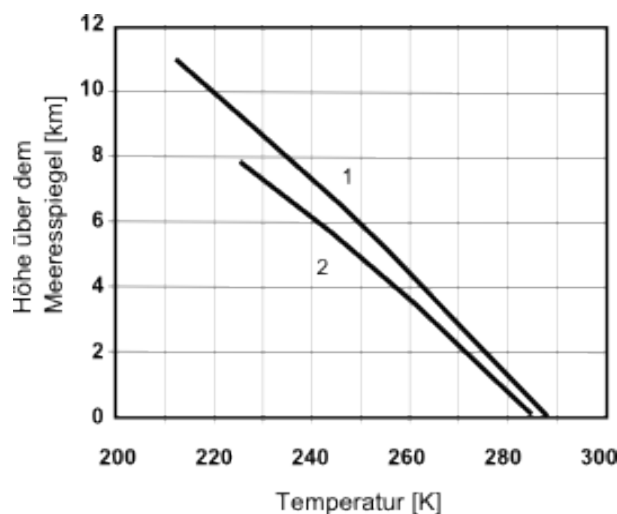


**Abb. 7: Temperaturen in der trockenen, durchsichtigen (1) und der feuchten IR-Strahlung aufnehmenden (2) Troposphäre**

Betrachten wir nun den Einfluss der so genannten „Treibhausgase“ auf die Temperatur innerhalb der Troposphäre. Stellt man sich gedanklich die Erdatmosphäre an Stelle einer Stickstoff-Sauerstoff- als Kohlendioxid-Atmosphäre und mit dem gleichen Druck von 1 atm vor, so würde sich die mittlere Temperatur um ca.  $2,4 \text{ }^\circ\text{C}$  (nicht erhöhen, wie man üblicherweise denkt) absenken. Dabei würden die Temperaturen auch innerhalb der gesamten Troposphäre sinken

(Abb. 8). Beide gemäß (1) und (5) ermittelte Graphen sind gültig bei  $\mu_1 = 29 \text{ g/mol}$ ;  $\mu_2 = 44 \text{ g/mol}$ ;  $\alpha_1 = 0,1905$ ,  $\alpha_2 = 0,1423$ . Auf einer sich in Analogie dazu vorzustellenden Venus mit einer Stickstoff-Sauerstoff-Atmosphäre an Stelle einer Kohlendioxid-Atmosphäre (bei einem Druck von 90,9 atm) würde sich die Temperatur an ihrer Oberfläche von 735 auf 930 K erhöhen. Daraus wird ersichtlich, dass eine Anreicherung der Atmosphäre mit Kohlendioxid unter Gleichheit sonstiger Bedingungen immer nicht zu einer Verstärkung sondern zu einer Verringerung des Treibhauseffektes und der durchschnittlichen Temperaturen auf dem gesamten Planeten führen würde.

Diese Erscheinung kann einfach erklärt werden: Die molare Masse des  $\text{CO}_2$  ist 1,5-fach größer und die spezifische Wärmekapazität 1,2-fach kleiner als die der Luft der Erdatmosphäre. Wie aus Gleichung (9) folgt, ist im Resultat der Parameter der Adiabate „ $\alpha$ “ für Kohlendioxid bei Gleichheit aller anderen Bedingungen um das 1,34-fache kleiner als bei einer feuchten Stickstoff-Sauerstoff-Luft. Eine zusätzliche IR-Absorption durch Kohlendioxid führt zum Anwachsen des Korrekturkoeffizienten  $c_r$  und folgerichtig zu einer zusätzlichen Verringerung des Adiabatenparameters „ $\alpha$  ( $\text{CO}_2$ )“, was seinerseits wiederum eine zusätzliche Absenkung der Temperatur hervorruft.



**Abb. 8: Aus den Gleichungen (1) und (5) konstruierte Graphen für reale atmosphärische Luft (1) und eine imaginäre ausschließlich aus  $\text{CO}_2$  bestehende Atmosphäre (2)**

Analoge Schlüsse können auch für Methan gezogen werden. Hier fiel eine Temperaturabsenkung etwas geringer aus. Der physikalische Hintergrund dieser Erscheinung besteht darin, dass die Absorption von IR-Strahlung durch Treibhausgase zu einer Erwärmung der Luftmassen führt und dabei den konvektiven Wärmeaustausch verstärkt.

Nochmals unterstreichen wir, dass eine mit  $\text{CO}_2$  oder  $\text{CH}_4$  angereicherte Atmosphäre lediglich zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit des konvektiven Masseaustauschs innerhalb der Troposphäre und zu einer Abkühlung führen kann, jedoch nicht zur Erhöhung der mittleren Temperatur. Außerdem ist bei gleichen Massen die summarische spezifische Wärmekapazität einer  $\text{CO}_2$ -Atmosphäre immer geringer als die einer Stickstoff-Sauerstoff-Atmosphäre. Dabei erweist sich eine Kohlendioxidatmosphäre aufgrund ihrer höheren Dichte im Vergleich zur Erdatmosphäre als dünner und würde die Wärme an der Erdoberfläche schlechter halten.

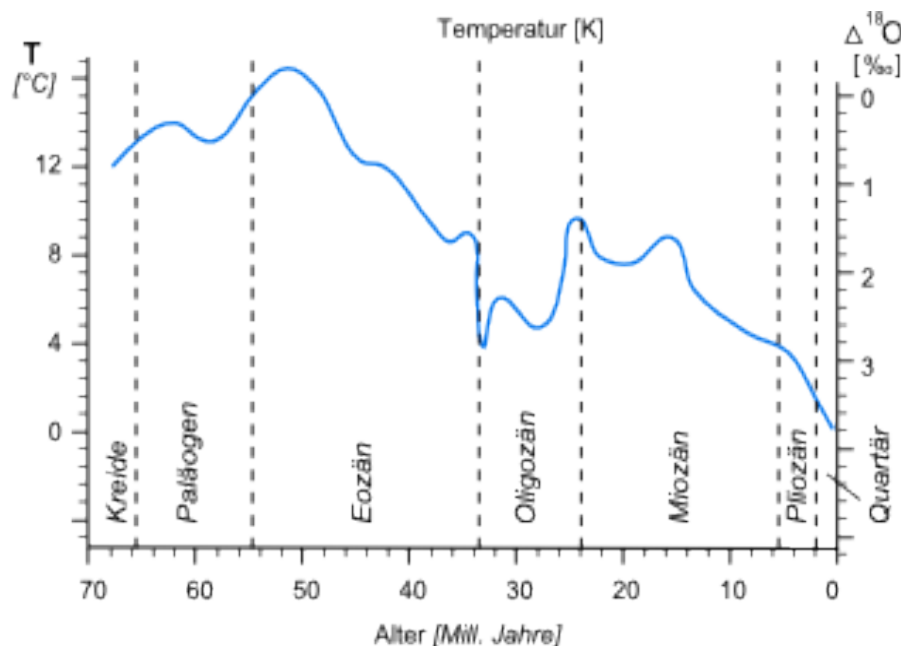
## 7. Über den Einfluss des anthropogenen Faktors

Gemäß verschiedener Schätzungen gelangen aufgrund der Verbrennung fossiler Brennstoffe 5 bis 7 Milliarden Tonnen Kohlendioxid in die Atmosphäre. Das entspricht 1,4 bis 1,9 Milliarden Tonnen Kohlenstoff, was nicht nur die Wärmekapazität der Atmosphäre verringert, sondern auch den Luftdruck geringfügig steigert. Diese Faktoren wirken in entgegengesetzte Richtungen. Im Resultat ändert sich die Temperatur an der Erdoberfläche ebenfalls nur geringfügig. Wenn bei-

spielsweise eine zum Jahr 2100 erwartete Verdoppelung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes von 0,035 auf 0,07% (Volumen-%) eintritt, muss sich der Luftdruck um 15 Pa erhöhen, was eine Temperaturerhöhung von  $7,8 \cdot 10^{-3}$  K hervorruft. Berücksichtigt man, dass ein Großteil des in die Atmosphäre gelangten  $\text{CO}_2$  nach dem Gesetz von Henry sich in den Wässern der Ozeane löst und sich weiter bei der Hydratation der Gesteine der ozeanischen Kruste in Karbonaten bindet, erweist sich, dass auch ein Teil des atmosphärischen Sauerstoffs zusammen mit Kohlenstoff in die Karbonate übergeht. Dann ist an Stelle einer schwachen Erhöhung des atmosphärischen Drucks seine unwesentliche Verminderung zu erwarten und folglich auch eine schwache Abkühlung des Klimas (aber keine wesentliche Erwärmung, wie dies orthodoxe Ökologen vermuten). Außerdem reduziert sich ein Teil des Kohlenstoffs (als Bestandteil von  $\text{CO}_2$ ) bei der Hydratation der Gesteine der ozeanischen Kruste zu Methan [17].

Aus den oben angeführten Einschätzungen folgt ein wichtiger Schluss: Sogar bedeutende Mengen des technogenen Ausstoßes von Kohlendioxid in die Erdatmosphäre bewirken keine Veränderungen der gemittelten Parameter des Wärmehaushaltes der Erde und des Treibhauseffektes. So stellen die vorherrschenden Vorstellungen über den wesentlichen Einfluss des anthropogenen Ausstoßes von Kohlendioxid auf die Erwärmung des Erdklimas einen Mythos dar. In Wahrheit hat dieser Ausstoß keinen Einfluss auf das Erdklima.

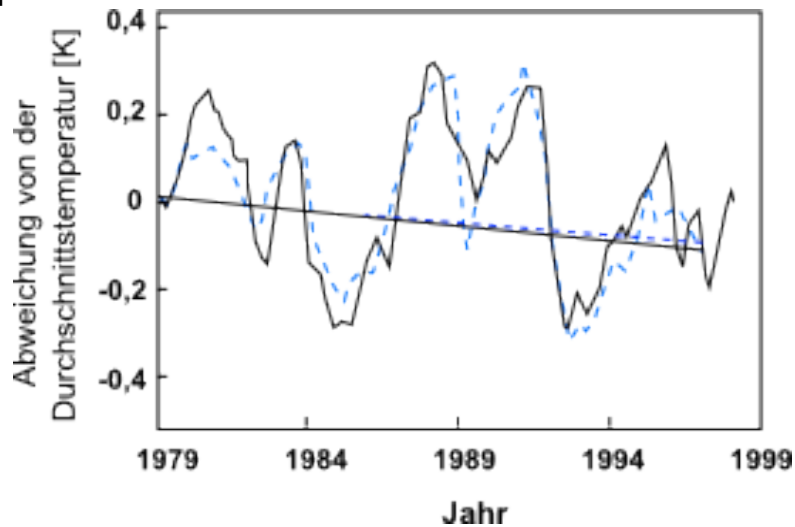
Die Gegenüberstellung der gemittelten oberflächennahen Temperaturen der nördlichen Halbkugel (Mittelengland) mit der magnetischen Sonnenaktivität (nach Beobachtungen der Sonnenflecken) für die Periode von 1750 bis 1970 zeigt, dass die Temperaturen direkt mit der Sonnenaktivität korrelieren. Man darf ebenfalls nicht vergessen, dass die unlängst beobachtete Jahrhundertwärmung des Klimas schon zu Anfang des 17. Jh. begann, als vom technogenen  $\text{CO}_2$ -Ausstoß noch keine Rede sein konnte. Die eigentlich lokale Erwärmung erfolgt am Hintergrund einer langfristigen Abkühlung. Die allgemeine Abkühlung der Wässer am Boden der Ozeane (Abb. 9) [18]) ist unbedingt in Verbindung mit der globalen Abkühlung des Erdklimas seit der Entstehung der ersten Gletscher auf der Antarktis vor ca. 40 Mill. Jahren und deren Weiterentwicklung ab dem Oligozän und den nachfolgenden Etappen zu sehen.



**Abb. 9: Die Temperaturen von Tiefenwässern der Meere anhand von Untersuchungen des Sauerstoffisotops  $^{18}\text{O}$  aus Karbonaten benthischer Fauna**

Ab dem Pliozän setzte auch die Vereisung nördlicher Regionen ein, was schnell zu einer Absenkung der Wässer am Meeresboden bis nahe  $0^\circ\text{C}$  führte. Die allgemeine Abkühlung seit den letzten 70-60 Mill. Jahren ist höchstwahrscheinlich mit der Entfernung des Stickstoffanteils aus der Erdatmosphäre und seiner Bindung in Böden und Sedimenten durch stickstoffverbrauchende Bak-

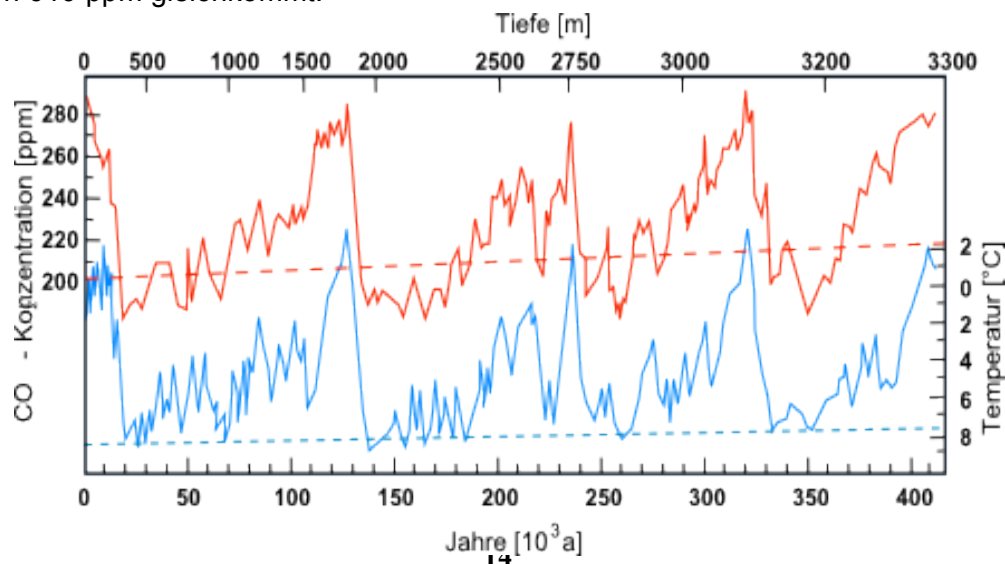
terien und organische Stoffe zu erklären. Dabei wird diese allgemeine Abkühlung gegenwärtig auch nicht durch einen allmählichen Anstieg der Sonnenaktivität kompensiert [19]. Selbiges untermauern auch vielfältige sehr genaue moderne Satellitenbeobachtungen (Abb. 10), die ein umgekehrtes Bild zeigen – eine schwache Abkühlung des Klimas [24]. Aufnahmen der Oberflächentemperatur zeigen, dass die Jahre 1996 und 1997 sowie 1938 und 1956 zu den kältesten des 20. Jh. zu zählen sind [21].



**Abb.10: Abweichungen der mittleren Temperatur vom Mittelwert (6-monatiges Mittel) nach Radiosonden- (blau gestrichelte Linie) und Satellitenmessungen (schwarze Linie) zwischen 83° nördlicher und 83° südlicher Breite**

## 8. Der Einfluss der Ozeane auf den Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre

In den Ozeanwässern ist fast die 59-fache Menge des Kohlendioxids (in Form von  $\text{HCO}_3^-$  Iononen) im Vergleich zur Atmosphäre gelöst [12]. Es zeigt sich [17], dass eine Erhöhung der Temperatur der Wässer der Ozeane um  $1^\circ\text{C}$  zu einer Erhöhung des Partialdrucks von  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre um ca.  $13,6 \cdot 10^{-6}$  atm (d. h. um 13,6 ppm) führt, wobei demgegenüber mit der Phase der quartären Vereisungen eine Verringerung der Temperatur der Ozeanwässer auf 277 K (d. h. eine Änderung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes der Atmosphäre um 12,5 ppm) einherging. Vergleicht man die gemittelten Werte der Partialdrücke von  $\text{CO}_2$  in den Kalt- und Warmzeiten miteinander, so erweist sich, dass ihr Unterschied ca. 50-52 ppm erreichen kann. Eben solche Unterschiede gleicher Größenordnung wurden in Lufteinschlüssen in Eiskernen aus Bohrungen im Inlandeis der Station „Wostok“ (Abb. 11) vorgefunden. Von Interesse ist hierbei, dass während der warmen Kreidezeit die mittlere Temperatur der Ozeanwässer bis auf  $+17^\circ\text{C}$  (291 K) anstieg, was einem Partialdruck des  $\text{CO}_2$  von 610 ppm gleichkommt.



**Abb. 11.: Die Korrelation zwischen der Konzentrationsänderung von CO<sub>2</sub> und den Temperaturschwankungen der Luft innerhalb der letzten 420.000 Jahre auf der Antarktischen Station „Wostok“ nach Eisbohrkernen aus einer Bohrung (Endtiefe 3623 m)**

Wie ersichtlich ist, beschreibt der Temperaturrend (gestrichelte Linie) eine allgemeine Abkühlung des Klimas seit den vergangenen 420.000 Jahren, obwohl der Betrag der lokalen Temperaturschwankungen der Kalt- und Warmzeiten 10 °C erreicht. Der Gang der Temperaturgrafik geht dem des CO<sub>2</sub> um 600 Jahre voraus. Das „Hinterherlaufen“ der CO<sub>2</sub> – Kurve ist sogar im Fall der Klimaabkühlung mit dem bloßen Auge sichtbar. In der Gegenwart durchleben wir eine Epoche der Absenkung der Temperaturen und einer Erhöhung bzw. Stabilisierung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre.

Bei der Betrachtung des Problems des Treibhauseffektes dürfen die Argumente der Befürworter der Idee von S. Arrhenius über die direkte Auswirkung der Kohlendioxidkonzentration auf die Temperaturen in der Troposphäre nicht verschwiegen werden. Ja, der CO<sub>2</sub>-Gehalt in Luftproben aus den Firnschichten von Grönland und der Antarktis zeigt, dass innerhalb der Warmphasen der Interstadiale die Konzentration dieses Gases jedes mal erhöht war. In deutlich größerem Maße wurde dieser Effekt in besonders warmen Klimaepochen beispielsweise in der Kreidezeit beobachtet. Jedoch folgt aus den vorhandenen Daten, dass die Anhänger der klassischen Herangehensweise ganz offensichtlich die Ursache mit den Folgen verwechselten, denn die Erhöhung des Partialdruckes von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre ist nicht der Grund sondern die Folge von Temperaturänderungen. Bei sorgfältiger Betrachtung ist ersichtlich, dass der Verlauf der Temperaturschwankungen den entsprechenden Änderungen der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen deutlich vorausgeht. D. h., die Temperaturschwankungen sind primär, wobei die Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration lediglich Folge dieser Schwankungen sind.

Dies ist mit Hilfe der umgekehrten Abhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Löslichkeit in den ozeanischen Wässern von der Temperatur sowie mit Hilfe des Gesetzes von Henry erklärbar, wonach sich ein dynamisches Gleichgewicht zwischen dem Partialdruck des Gases in der Atmosphäre und seiner Konzentration innerhalb der Hydrosphäre einstellt. Die Erhöhung der Temperatur der Ozeanwässer führt zu ihrer teilweisen Entgasung und damit zu einem Übergang von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre. Umgekehrt – bei einer Abkühlung erhöht sich die CO<sub>2</sub>-Löslichkeit in den Ozeanwässern. Von Interesse ist es in diesem Zusammenhang, dass die beschriebene „Nachläufigkeit“ der CO<sub>2</sub>-Konzentration hinter der Temperaturänderung hinsichtlich ihrer zeitlichen Dauer der vollständigen Durchmischung der Meerwässer (≈ 1000 Jahre) in ihren Größenordnungen ähnlich sind.

Die wahren Gründe für Temperaturschwankungen des Erdklimas muss man bei anderen Prozessen und Erscheinungen suchen beispielsweise in der Ungleichmäßigkeit der Sonnenaktivität (s. Abb. 10), in der Präzession der Eigenrotation der Erde, in der Instabilität von Meeresströmungen oder Veränderungen ihrer Zirkulation und solchen, die durch noch andere Ursachen bedingt sein können (z. B. periodische Demineralisierung oder Versalzung der Oberflächenwässer des Arktischen Ozeans).

Im Verlauf der Evolution der Erde erfolgt seit Mitte des Mesozoikums (150-100 Mill. Jahren) eine allmähliche Abkühlung des Klimas. Das ist auf verschiedene Weise erklärbar – u. a. damit, dass sich durch Entfernung des Stickstoffs aus der Atmosphäre und seiner nachfolgenden Bindung in Nitraten und Nitriten bei der Herausbildung von Böden [19] dementsprechend die Atmosphärenmasse ändert sowie auch mit dem Abdriften der Kontinente in höhere Breiten. Gegenwärtig befinden wir uns in einer zwischeneiszeitlichen Warmphase, was auch bedeutet, dass uns eine neue Phase einer Eiszeit mit erhöhter Rauheit des Klimas erwartet.

Das Problem des Klimawandels muss deshalb systematisch und auf der Basis einer strengsten physikalischen Betrachtungsweise unter Berücksichtigung der Evolution der Zusammensetzung der Atmosphäre, der geologischen Situationen, der Schwankungen der Sonnenaktivität, der Präzession der Erdrotation, ozeanologischer Daten sowie unter unbedingter Berücksichtigung von im sehr schwierigen System existierenden Rückkopplungen angegangen werden. Fehl am Platz ist dabei die Suche nach einer Erklärung mit einer einzigen und dazu noch imaginären Abhängigkeit des Klimas von der Konzentration so genannter „Treibhausgase“.



## 9. Die natürliche Entstehung so genannter „Ozonlöcher“

Unter „Ozonlöchern“ versteht man allgemein Areale innerhalb der Stratosphäre im Bereich polarer und gemäßigter Breiten mit verringerten Ozongehalten um 20-30%. Sie entstehen im Winterhalbjahr an Orten stabiler Antizyklone beispielsweise in der Antarktis oder in Jakutien. Das ist damit verbunden, dass über den Winter die Insolation stark absinkt und in polaren Breiten gänzlich ausfällt. In den Gebieten der Existenz von Antizyklonen erfolgt der Aufstieg von Luftmassen sowie ihr Übergang in die Stratosphäre. Infolge dessen wird die Ozonschicht in diesen Gebieten quasi verweht. Zur Sommerzeit verkleinern sich die „Löcher“ erheblich oder verschwinden ganz.

Eine Panik entstand zu Ende der 1950-er Jahre, als der Ozongehalt der Atmosphäre quantitativ ermittelt wurde. Erstmals wurde ein „Ozonloch“ über der Antarktis festgestellt. Daraufhin gab es eine Masse von Vermutungen über einen anthropogenen Einfluss. Die Wahrheit ist, dass damals unklar war, warum ausgerechnet über der Antarktis die größten „Ozonlöcher“ zu beobachten waren, d. h., auf der Südhalbkugel angesichts dessen, dass das Maximum anthropogener Ausstöße von Fluorkohlenwasserstoffen (FCKW) auf der Nordhalbkugel liegt und ebenfalls dass die im Vergleich zu anthropogenen natürlichen FCKW über Vulkanausbrüche in ungleich größeren Mengen in die Atmosphäre gelangen. Jedoch sind die „Hauptzerstörer“ des Ozons nicht die FCKW sondern Methan und Wasserstoff. So werden allein z. B. bei der Serpentinisierung (metasomatischer Prozess der Umwandlung basischer Ergussgesteine wie z. B. Basalte – *Anm. d. Übers.*) der Gesteine der ozeanischen Erdkruste bei ihrer Hydratation schätzungsweise 6-10 Mill. Tonnen [10] natürlicher FCKW frei, wobei der anthropogene Ausstoß von FCKW 100.000 t/a nicht überstieg. Folgerichtig müssten auch noch viele Millionen Tonnen von Methan und Wasserstoff aufgeführt werden, die aus dem Untergrund tektonisch aktiver Gebiete ausgasen sowie in tropischen Wäldern entstehen - ebenfalls Methan, welches aus den Sumpfbereichen der Nordregionen Kanadas und Eurasiens entweicht.

Deshalb lässt sich schlussfolgern, dass die Rolle des anthropogenen Einflusses auf die Ozonschicht in der Stratosphäre, in welcher die „Ozonlöcher“ entstehen, vernachlässigbar klein ist. Alle Schwankungen des Ozongehalts der Erdatmosphäre tragen ausschließlich natürlichen Charakter und sind nicht mit der industriellen Tätigkeit des Menschen in Zusammenhang zu bringen. Wie A. P. Kapiza und A. A. Gawrilow [22] zeigen konnten, ändert sich die Ozonkonzentration in der Stratosphäre periodisch saisonabhängig. Außerdem erwies sich im Resultat weiterer Untersuchungen, dass im Bereich des Äquators in tropischen Breiten geringere Ozonkonzentrationen vorliegen als in den „tiefsten“ polnahen Ozonlöchern. Wie sich zeigt, stellt dies offensichtlich keine Gefahr für die Lebewelt dar. Es kann festgestellt werden, dass das Problem der „Ozonlöcher“ nicht existent ist und für den Kampf dagegen andererseits kolossale Mittel aufgewendet werden. Entsprechend Schätzungen muss Russland allein für die Erfüllung seiner Verpflichtungen aus dem Protokoll von Mont Real zur Wiener Konvention (1985) über den Schutz der Ozonschicht jährlich 5 Mrd. \$ aufwenden. Der einmalige materielle Verlust aufgrund der Aussonderung und Neuanschaffung von Technik, die mit zu FCKW alternativen Stoffen funktioniert, beträgt ca. 10-15 Mrd. \$! Dieses Geld könnte eine bessere Verwendung finden.

Zum Abschluss möchte ich meinen Dank den Akademiemitgliedern K. Ja. Kondratjew für seine ideelle Unterstützung und A. S. Monin für seine Teilnahme an der Diskussion zu Problemen sowie S. S. Grigorjew für die detaillierte Prüfung der Theorie, seine fruchtbaren Ratschläge und Bemerkungen aussprechen.

*(Bei der Darstellung physikalischer Größen benutzt der Autor Maßeinheiten unterschiedlicher Systeme darunter auch inzwischen ungebräuchliche. Die Redaktion änderte diese nicht. Dabei sei bemerkt, dass  $1 \text{ cal} \approx 4,2 \text{ J}$ ;  $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$  und  $1 \text{ atm} = 101,32 \text{ kPa}$  sind.)*

## Literatur

1. Arrhenius S. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. – Phil. Mag., 1896, v. 41, 237–276.
2. Будыко М.И. Проблема углекислого газа. – Л.: Гидрометеоздат, 1997.  
(Budyko, M. I.: Das Problem des Kohlendioxids – Leningrad, Verl. Hydrometeoizdat, 1997)
3. Глобальное потепление: Доклад Гринпис. – М.: Изд-во МГУ, 1993.  
(Global Erwärmung: Vortrag Greenpeace – Moskau, Verl. Staatll. Mosk. Univ.. 1993)
4. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы. – Л.: Гидрометеоздат, 1989.  
(Der Treibhauseffekt, Klimawandel und Ökosysteme – Leningrad, Verl. Hydrometeoizdat, 1989)
5. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. – М.: Изд-во МГУ, 1994.  
(Chromow, S.P.; Petrosjanz, M.A.: Meteorologie und Klimatologie – Moskau, Verl. Staatll. Mosk. Univ. 1994)
6. Хакен Г. Синергетика.– М.: Мир, 1980.  
(Haken, G.: Synergetik – Moskau, Verl. Mir 1980)
7. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихсясамоорганизующихсятемах и устройствах. – М.: Мир, 1985.  
(Haken, G.: Synergetik. Hierarchie der Instabilität in sich selbstorganisierenden Systemen und Vorrichtungen – Moskau, Verl. Mir, 1985)
8. Атмосфера Земли: Физическая энциклопедия, т. 1. – М.: Советская энциклопедия, 1988.  
(Die Atmosphäre der Erde: Physikalische Enzyklopädie, Bd. 1 – Moskau, Verl. Sovj. Enzyklopädie, 1988)
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, ч. 1.– М.: Наука, 1979.  
(Landau, L.D.; Lifschitz, J. M.: Statistische Physik, V. 1 – Moskau, Verl. Nauka, 1979)
10. Сорохтин О.Г. Парниковый эффект: миф и реальность. – Вестник РАН, 2001, т. 1, № 1, 6–21.  
(Sorochtin, O. G.: Der Treibhauseffekt – Mythos und Realität, Mitt. Russ. A. d. W., 2001, Bd. 1, Nr. 1, 6-21)
11. Фельдбаум А.А. Введение в теорию нелинейных цепей. – М.: Госэнергоиздат, 1948.  
(Feldbaum, A.A.: Einführung in die Theorie nichtlinearer Ketten – Moskau, Verl. Gosizdat, 1948)
12. Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии.– М.: Недра, 1990.  
(Woitkjewitsch, G.W.; Kokin, A.W.; Miroshnikow, A.J.; Prochorow, W.G.: Wörterbuch der Geochemie – Moskau, Verl. Nedra, 1990)
13. Наумов Г.Б., Рыженко Б.Н., Ходаковский И.Л. Справочник термодинамических величин (для геологов).– М.: Атомиздат, 1971.  
(Naumow, G.B.; Ryshenko, B.N.; Chodakowski, I.L.: Wörterbuch thermodynamischer Größen (für Geologen) – Moskau, Atomizdat, 1971)
14. Бачинский А.И., Путилов В.В., Суворов Н.П. Справочник по физике.– М.: ГУПИ, 1951.  
(Batschinski, A.I.; Putilow, W.W.; Suworow, N.P.: Wörterbuch der Physik – Moskau, Verl. GUPI, 1951)
15. Планета Венера (атмосфера, поверхность, внутреннее строение). – М.: Наука, 1989.  
(Der Planet Venus (Atmosphäre, Oberfläche, Innerer Aufbau) – Moskau, Verl. Nauka, 1989)

16. Маров М.Я. Планеты Солнечной системы. – М.: Наука, 1986.  
(Marow, M.Ja.: Die Planeten des Sonnensystems – Moskau, Verl. Nauka, 1986)
17. Сорохтин О.Г., Леин А.Ю., Баланюк И.Е. Термодинамика океанических гидротермальных систем и абиогенная генерация метана. – Океанология, 2001, т. 41, № 6, с. 898–909.  
(Sorochtin, O.G.; Lein, A.Ju.; Balnjuk, I.J.: Die Thermodynamik ozeanischer hydrothermaler Systeme und die abiogene Generation des Methans – Verl. Okeanologija, 2001, Bd. 41, Nr. 6, S. 898-909)
18. Гладенков Ю.Б. Биосферная стратиграфия: Труды ГИН, вып. 551. – М.: ГЕОС, 2004.  
(Gladenkow, Ju.B.: Biosphärenstratigraphie – Arbeiten des GIN, Ausgabe 551 – Moskau, GEOS, 2004)
19. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли. – М.: Изд-во МГУ, 2002.  
(Sorochtin, O.G.; Uschakow, S.A.: Die Entwicklung der Erde – Moskau, Verl. Staatl. Mosk. Univ. 2002)
20. Christy J.R., Spencer R.W., Braswell W.D. – Nature, 1997, v. 389, 342–344.
21. Robinson A.B., Baliunas S.L., Soon W., Robinson Z.W. Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide. 1998 [info@oism.org; [info@marshall.org](mailto:info@marshall.org)].
22. Капица А.П., Гаврилов А.А. Подтверждение гипотезы о естественном происхождении антарктической озоновой дыры. – Докл. РАН, 1999, т. 366, № 4, с. 543–546.  
(Kapiza, A.P.; Gawrilow, A.A.: Die Bestätigung der Hypothese von der natürlichen Entstehung des antarktischen Ozonlochs – Vorträge der Russ. Akad. d. Wiss. (RAW), 1999, Bd. 366, Nr. 4, S. 543-546)

Über den Autor:

**Oleg Georgijewitsch Sorochtin**



geb. 17.05.1927 Twer (Russland)  
 Professor, Dr. d. math. phys. Wissenschaften (in Deutschland analog Dr. rer. nat. habil),  
 ord. Akademiemitglied (1991), Akademiemitglied der Intern. Akad. der Wiss. f. Ökologie,  
 Gesundheits- und Umweltschutz,  
 Träger vieler Wissenschaftspreise der UdSSR/RF,  
 Begründer einer eigenen Schule der „Tektonik der Lithosphärenplatten“,  
 Begründer der „adiabatischen Theorie des Treibhauseffektes“ (zus. mit S.A. Uschakow),  
 1951 Absolvent des Leningrader Berginstituts als Geophysiker,  
 1957-1964 Teilnahme an sowj. Antarktisexpeditionen (Tiefenbohrungen, Seismik),  
 1964 Leiter der Abteilung „Tektonik der Lithosphärenplatten“ des Instituts für  
 Ozeanologie bei der Sowj./Russ. Akad. d. Wiss., später Institutsdirektor,  
 vielfacher Teilnehmer an ozeanologischen Expeditionen,

(Taucherfahrung, Erforschung untermeerischer Vulkane, schwarzer Raucher),  
Autor von über 500 wiss. Arbeiten, darunter 20 Monographien; u. a. Publikationen in der  
Zeitschrift „Nature“

**Anschrift des Übersetzers**

Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. Bernd Hartmann  
Leipziger Str. 36  
06108 Halle (S.)  
Mobil: 0163/4554 627  
*b.h.hartmann@googlemail.com*