

Wilhelm Kuttler (Hrsg.)

# Handbuch zur Ökologie

Mit Beiträgen  
zahlreicher Fachgelehrter

bearbeitet von  
Wilhelm Kuttler und  
Karin Steinecke

unter Mitwirkung von  
Inge Fischer

# Treibhauseffekt

Synonym: Glashauseffekt; englischer Begriff: greenhouse effect

Die Zusammensetzung der *Erdatmosphäre* (→ *Ökologie*, → *Biosphäre*) wird nicht nur durch natürliche, sondern in zunehmendem Maße auch durch anthropogene Einflüsse bestimmt. Es sind in erster Linie die durch Industrieprozesse, den Kraftfahrzeugverkehr und den Hausbrand freigesetzten *Emissionen* (→ *Umweltbelastung*, → *Ökologische Chemie*), die klimawirksam den Strahlungs- und Energiehaushalt infolge der Veränderung der Reflexions-, Transmissions- und Absorptionseigenschaften der Atmosphäre nachhaltig beeinflussen (→ *Ökologie*). Hierbei spielen insbesondere diejenigen Luftbeimengungen eine wichtige Rolle, die als Absorber langwelliger Strahlungsenergie auftreten und als sog. *Treibhausgase* bekannt sind.

Unter einem Treibhauseffekt versteht man dasjenige Verhalten der Erdatmosphäre, welches für ein Glashaus typisch und bekannt ist: Während die *kurzwellige Sonnenstrahlung* nahezu ungehindert durch die Atmosphäre bis zum Erdboden vordringen kann, wird die *langwellige Ausstrahlung* des Bodens von der Atmosphäre – dem Glas eines Gewächshauses entsprechend – zurückgehalten. Die Effektivität dieser *Glashauswirkung* hängt sowohl von der Art als auch von der Konzentration der im *infraroten Bereich* des Wellenlängenspektrums absorbierenden Gase ab. Steigt die Konzentration dieser Gase an, so erhöht sich die atmosphärische Gegenstrahlung und eine Erwärmung der Erdatmosphäre ist nicht mehr auszuschließen.

**Wirksamkeit atmosphärischer Spurengase:** Zur Gruppe der *atmosphärischen*

Spurengase, die im langwelligen Bereich absorbieren, gehören in erster Linie der Wasserdampf und das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) (→ Kohlenstoff-Kreislauf), ferner Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (Lachgas, N<sub>2</sub>O) und Ozon (O<sub>3</sub>) sowie mit Chlor und Brom halogenierte Kohlenwasserstoffe, wozu z. B. die verschiedenen Arten der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) zählen (→ Ökologische Chemie, → Umweltbelastung). Die Fähigkeit, Strahlung im infraroten Spektralbereich zu absorbieren, beruht auf der asymmetrischen Molekülstruktur dieser Gase. Man bezeichnet diese Verbindungen deshalb als Spurengase, weil sie im Gegensatz zu den Bestandteilen Stickstoff (N<sub>2</sub>) (→ Stickstoff-Kreislauf) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>), die rund 99 Volumenprozent der Erdatmosphäre ausmachen, nur in Konzentrationen auftreten, die im ppm- (Mischungsverhältnis 10<sup>-6</sup>) und ppb- (Mischungsverhältnis 10<sup>-9</sup>) Bereich gemessen werden. Ein wachsender Anteil dieser Stoffe ist anthropogener Herkunft. So beruht z. B. der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 280 ppm im Jahre 1850 auf nunmehr 345 ppm (1990) zum größten Teil auf der Freisetzung dieses Gases durch Verbrennungsprozesse (→ Umweltbelastung, → Kohlenstoff-Kreislauf).

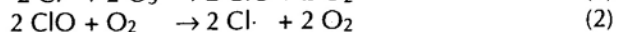
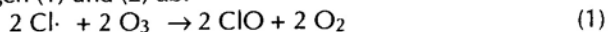
Das bodennah gebildete troposphärische Ozon entsteht im wesentlichen bei der photochemischen Oxidation der Spurengase CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und insbesondere NO<sub>x</sub>; letztgenannter Spurenstoff wird in starkem Maße durch den Kraftfahrzeugverkehr emittiert. Methan (CH<sub>4</sub>) und Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) sind größtenteils mikrobiellen Ursprungs (→ Ökologie der Mikroorganismen, → Stickstoff-Kreislauf). CH<sub>4</sub> entsteht im Rahmen anaerober Gärungen, z. B. beim Reisanbau, bei der Viehzucht und auf Mülldeponien. Lachgas wird freigesetzt bei der bakteriellen Nitrifikation und Denitrifikation sowie in der Landwirtschaft durch die Verwendung von Düngemitteln (→ Agrarökologie).

Auf ausschließlich industrielle Prozesse ist die Emission der 1930 erstmals synthetisierten Fluorchlorkohlenwasserstoffe zurückzuführen. FCKW finden als Kühlmittel für Klimaanlage und Kühlschränke, als Treibmittel in Sprühdosen, zu Reinigungszwecken für elektronische Bauteile und bei der Fertigung von Dämmstoffen weite Verbreitung. Ihre globale Verwendung beruht auf der Tatsache, daß es sich hierbei um ungiftige, chemisch inerte (reaktionsträge) und sehr stabile Gase handelt, die mit anderen Chemikalien keine Verbindungen eingehen. Diese Eigenschaft zeichnet sie deshalb auch als ausgezeichnete Treibmittel für Sprühdosen aus, da sie mit dem jeweiligen Inhalt chemisch nicht reagieren und ihn somit nicht verändern.

Die genannten chemischen Eigenschaften der Fluorchlorkohlenwasserstoffe gelten jedoch nur für troposphärische Strahlungsverhältnisse, die sich durch eine geringe Strahlungsstromdichte der stark photolytisch wirkenden ultravioletten Anteile des solaren Spektrums auszeichnen.

Da die FCKW (z. B. CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, CFCl<sub>3</sub>, CCl<sub>4</sub>) jedoch eine außerordentlich hohe atmosphärische Verweilzeit besitzen, können diese Spurengase auch in die Stratosphäre gelangen. Hier herrschen jedoch hinsichtlich der Einstrahlungsbedingungen gänzlich andere Verhältnisse.

Die in diesen Höhen zur Verfügung stehende energiereiche harte UV-Strahlung spaltet die in der unteren Atmosphäre in einer stabilen Verbindung vorliegenden FCKW-Moleküle auf, wobei Chlorradikale freigesetzt werden. Chlor wiederum baut Ozon gemäß der Gleichungen (1) und (2) ab.



Das freigewordene Chloratom ist in der Lage, 10 000 bis 100 000 Ozonmoleküle katalytisch zu zerstören, bevor es dann selbst in tiefere Schichten der Atmosphäre gelangt und dort durch die troposphärischen Selbstreinigungsprozesse dem Boden zugeführt wird.

Die weltweiten Bemühungen zielen darauf ab, die FCKW-Produktion ganz einzu-

Tab. 1: Übersicht über wichtige klimawirksame Spurengase

Klimawirksames Spurengas chem. Symbol	Derzeitige Volumenanteile in der Atmosphäre Anteile in: v.H. = $10^{-2}$ ppm = $10^{-6}$ ppb = $10^{-9}$ ppt = $10^{-12}$	Mittlere Verweilzeiten (Lebensdauer) in Tagen (d) Jahren (a)	Heutige anthropogene Konzentrationsänderung in der Atmosphäre (1988) in v.H. a <sup>-1</sup>	Heutiger Beitrag am TH-Effekt (1988) in K und in (v.H.)	Prognost. Konzentrationsänderung in der Atmosphäre (→2050) in ppm	Zusätzlicher Beitrag am TH-Effekt (→2050) in K	Hauptquellen	Derzeitige globale Emission (1988) in t a <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub> O (Dampf)	≈ 2,6 v.H. trop. ≈ 3,0 ppm strat.	ca. 10 d ca. 2 a	kein Datenmat.	20,6 (65)	kein Datenmat.	?	biologisch	?
O <sub>3</sub>	≤ 0,05 ppm trop. 0,6 ppm Stadt  10,0 ppm strat.	30 - 90 d ?  2 d	+ 1,6 +1,0 - 0,6 bis - 40 Ant.	2,4 (< 7)  bodennah	0,06	0,9	photochem. Prozesse, strat. - O <sub>2</sub> -Spaltg.	?
CO <sub>2</sub>	345 ppm	6 - 10 a	+ 0,7 - 1,0	7,2 (20)	600	2 - 4	Biomasse Verbrennung	ca. 10 <sup>10</sup>
CO	120 ppb Reinl. 100 ppm Stadt	60 - 180 d ?	+ 10	?	?	?	unvollständige Verbrennung	ca. 10 <sup>9</sup>
NO <sub>x</sub>	< 10 ppt Reinl. ≈ 100 ppm Stadt	einige d	+ ? + ?	?	?	?	Kfz., Industrie	ca. 10 <sup>8</sup>
NH <sub>3</sub>	1 - 10 ppb	7 - 14 d	+ ?	?	0,001	0,09	Viehhaltung	ca. 10 <sup>9</sup>
N <sub>2</sub> O	0,35 ppm	150 - 200 a	+ 0,2 - 0,3	1,4 (< 4)	0,6	0,4	Dünger	15 · 10 <sup>6</sup>
CH <sub>4</sub>	1 - 1,7 ppm Reinl. 3 ppm Stadt	4 - 10 a	+ 1,5	0,8 (< 2)	3,0	0,3	Viehhaltung, Reis-anbau	5 · 10 <sup>6</sup>
Summe CKW	2 bis zu 620 ppt	0,3 bis max. 100 a (je nach Spezies)	+1 bis max. +7 (je nach Spezies)	?	?	0,2	Industrie	ca. 10 <sup>5</sup>
Summe FCKW	2 bis zu 300 ppt	2 bis max. 500 a	+1 bis max. +11	?	?	0,06	Industrie	ca. 10 <sup>5</sup>

TH-Effekt = Treibhauseffekt, trop. = troposphärisch, strat. = stratosphärisch, Reinl. = Reinluftgebiet, Ant. = Antarktis, K = Kelvin, +/- = Zu- bzw. Abnahme, ? = keine gesicherten Daten, → = bis zum Jahre, CKW = Chlorkohlenwasserstoff, FCKW = Fluorchlorkohlenwasserstoff

Quelle: zusammengestellt nach BECKER/LÖBEL 1985, EHHALT 1987, FABIAN 1988, FISCHER/GRASSL 1987, SCHMIDT 1987, SCHÖNWIESE/DIEKMANN 1987. Eine ausführliche tabellarische Zusammenstellung findet sich in BUSCH/KUTTLER 1990.

stellen, denn diese Gase zerstören nicht nur die stratosphärische Ozonschicht, sondern tragen auch zum Treibhauseffekt bei.

Analysiert man die Anteile derjenigen Gase, die einen Treibhauseffekt bewirken, dann lassen sich, ohne Berücksichtigung des troposphärischen Wasserdampfes, folgende Werte nennen:

CO<sub>2</sub> 50 v.H., CH<sub>4</sub> 19 v.H., FCKW 15 v.H., O<sub>3</sub> 8 v.H. und N<sub>2</sub>O 4 v.H. Die restlichen ca. 4 v.H. machen andere Arten der FCKW (z.B. CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>) und der stratosphärische Wasserdampf aus. Tab. 1 gibt Auskunft über die Charakteristika wichtiger klimawirksamer Treibhausgase. Dabei wurde – ausgehend vom Stand

1988 – auch versucht, auf der Grundlage verschiedener Szenarien Aussagen über den Beitrag zur potentiellen Erwärmung der einzelnen Spezies für die Zukunft – bezogen auf das Jahr 2050 – vorzunehmen. Diese Prognosen sind z. T. noch unsicher.

**Natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt:** Während die kurzwellige solare Strahlung im Wellenlängenbereich von  $0,2\ \mu\text{m}$  bis  $4\ \mu\text{m}$  erfolgt, strahlt die Erde im langwelligen Bereich zwischen  $4\ \mu\text{m}$  und  $100\ \mu\text{m}$  aus. Im Spektralbereich unterhalb von  $8\ \mu\text{m}$  und oberhalb von  $18\ \mu\text{m}$  wird die langwellige Strahlung durch den atmosphärischen Wasserdampf und im Spektralbereich von  $13\ \mu\text{m}$  bis  $18\ \mu\text{m}$  durch  $\text{CO}_2$  fast vollständig absorbiert. Diese Energie bleibt der unteren Atmosphäre erhalten und sorgt dafür, daß sich in der *Biosphäre* eine globale Durchschnittstemperatur von etwa  $15\ ^\circ\text{C}$  eingestellt hat ( $\rightarrow$  *Ökoklimatologie*). Würden diese beiden Gase – insbesondere der *Wasserdampf* – in den genannten Spektralbereichen die langwellige Ausstrahlung nicht absorbieren, so hätte sich auf der Erde eine Durchschnittstemperatur eingestellt, die um  $34\ \text{K}$  niedriger wäre und somit  $-19\ ^\circ\text{C}$  betrüge. Wasserdampf und  $\text{CO}_2$  schaffen somit als *natürliche Treibhausgase* erst die Voraussetzung dafür, daß Leben auf der Erde in dieser Form möglich ist.

Allerdings ist die langwellige Strahlungsabsorption von Wasserdampf und  $\text{CO}_2$  im wesentlichen auf die genannten Wellenlängenbereiche beschränkt. Beide Spurengase absorbieren z.B. nicht zwischen  $7\ \mu\text{m}$  und  $13\ \mu\text{m}$ , dem Bereich, den man allgemein als *offenes atmosphärisches Strahlungsfenster* bezeichnet. Hierdurch kann die langwellige Ausstrahlung ungehindert in den Weltraum erfolgen. Allerdings besitzen die Spurengase  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und die FCKW zwischen  $7\ \mu\text{m}$  und  $13\ \mu\text{m}$  ihre stärksten Absorptionsbanden; Konzentrationserhöhungen dieser Spurenstoffe können deshalb zu einer erheblichen Strahlungsabsorption führen, wodurch ein Anstieg der Lufttemperatur über den durch die natürlichen Treibhausgase verursachten Effekt hinaus nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Die prognostizierten und vielfach bereits festgestellten Konzentrationsanstiege der im langwelligen Bereich absorbierenden Spurenstoffe sollen sich nach den Ergebnissen der durchgeführten Szenarien hinsichtlich ihres Erwärmungseffektes auf die Erdatmosphäre allerdings recht unterschiedlich auswirken. Für das  $\text{CO}_2$  kann z. B. festgestellt werden, daß es bei einem Anstieg dieses Spurengases in der Atmosphäre zwar zu einer zusätzlichen Infrarotabsorption kommt, diese aber nicht linear mit der wachsenden  $\text{CO}_2$ -Konzentration ansteigt, sondern nur in logarithmischer Abhängigkeit. Bei einer Verdopplung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes auf z. B.  $690\ \text{ppm}$  resultiert hieraus deshalb nur ein Temperaturanstieg von etwa  $2,8\ \text{K}$ . Dieses ist darauf zurückzuführen, daß die bisherige  $\text{CO}_2$ -Konzentration bereits zu einer fast optimalen Absorption der langwelligen Ausstrahlung in den genannten Spektralbereichen führt.

Weitere Steigerungen des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes könnten dann bei ausschließlicher Nutzung der noch nicht mit  $\text{CO}_2$  „gesättigten Flankenbereiche“ der Absorptionsbanden zwischen  $13\ \mu\text{m}$  und  $14\ \mu\text{m}$  sowie bei  $10\ \mu\text{m}$  den Treibhauseffekt verstärken. Im Gegensatz zum  $\text{CO}_2$  weisen die anderen Spurenstoffe wesentlich geringere Konzentrationen (vgl. Tab. 1) auf. Die durch diese Luftbeimengungen bedingte langwellige Absorption ist aber wesentlich effektiver als die des  $\text{CO}_2$ , da  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und FCKW im „offenen Strahlungsfenster“ absorbieren. Die entsprechende Infrarotabsorption steigt – im Gegensatz zu der des  $\text{CO}_2$  – linear mit der Konzentration an. Ein Vergleich der Wirksamkeit der Absorption zu  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2 = 1$ ) zeigt, daß z. B. diejenige eines FCKW-Moleküls zwischen  $14\ 000$  und  $17\ 000$  mal größer ist. Bei einer prognostizierten Konzentrationszunahme des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Gehaltes von derzeit  $345\ \text{ppm}$  auf  $600\ \text{ppm}$  im Jahre 2050 ist von einer Erhöhung der langwelligen Strahlungsbilanz ( $\rightarrow$  *Ökoklimatologie*) um  $2,1\ \text{W m}^{-2}$  auszugehen. Eine im Vergleich dazu eher bescheidene Erhöhung der FCKW-Konzentrationen von derzeit etwa  $0,6\ \text{ppb}$  auf insgesamt rund  $3,2\ \text{ppb}$  würde eine Zunahme im Infrarot-Strahlungsfluß von  $0,9\ \text{W m}^{-2}$  bewirken.

Dies entspräche einem in etwa gleichgroßen Wert, wie er durch  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  verursacht würde. Somit resultierte hieraus allein durch die FCKW,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  eine Verdopplung des  $\text{CO}_2$ -Effektes. Dabei ist noch nicht der Einfluß des bodennahen troposphärischen Ozons (derzeitige Konzentration 0,05 ppm) berücksichtigt. Bei einer wohl als realistisch anzusetzenden Ozonzunahme in der Troposphäre von 15 bis 20 v. H. bis zum Jahre 2050 müßte von einer Erhöhung des langwelligen Strahlungsflusses ausgegangen werden, die bei  $0,2\text{--}0,6 \text{ W m}^{-2}$  liegen dürfte.

Eine Prognose der durch den zusätzlichen Treibhauseffekt verursachten klimatischen Auswirkungen zu geben, ist schwierig, da verschiedene, z. T. auf kompliziertem Wege miteinander verbundene Faktoren und Reaktionsketten berücksichtigt werden müssen. Hierzu zählen z. B. die Erfassung der Spurenstoffquellen und -senken, die Umsetzungen und Kreisläufe ( $\rightarrow$  *Stoffkreislauf*) sowie die Rückkopplungsmechanismen der klimawirksam auftretenden Spurengase. Die meist unter Zuhilfenahme komplizierter mathematisch/physikalischer Modelle ( $\rightarrow$  *Ökologische Modelle*) durchgeführten Trendaussagen sollen Antworten auf die Frage geben, in welchem Maße und in welchen Zeiträumen mit einer Klimaänderung auf der Erde zu rechnen ist. Unter der Annahme unterschiedlich hoch angesetzter Eingangsgrößen werden *Szenarien* gerechnet, die nach heutigem Kenntnisstand eine mittlere globale Temperaturerhöhung innerhalb der nächsten 50 bis 100 Jahre von 1,5 K bis 4,5 K vorherzusagen. Aufgrund des Temperaturanstiegs müßte auch von einer erhöhten Wasserdampfaufnahmekapazität der Atmosphäre ausgegangen werden, wodurch sich eine zusätzliche Infrarotabsorption einstellen würde. Ein weiterer, den Treibhauseffekt verstärkender Rückkoppelungseffekt wäre eine vermehrte  $\text{CH}_4$ -Freisetzung, unter anderem aus subarktischen Böden ( $\rightarrow$  *Bodenökologie*). Eine Verringerung des Effektes ergäbe sich durch eine auf verstärktem Wasserdampftransport beruhenden vermehrten Wolkenbildung. Stärkere Wolkenbedeckung würde aufgrund der höheren *Albedo* ( $\rightarrow$  *Ökoklimatologie*) letztendlich wieder zu einer Absenkung der Lufttemperaturen führen. Nach dem gegenwärtigen Wissensstand wird jedoch allgemein davon ausgegangen, daß die Temperatur der Erdatmosphäre steigen wird.

**Vermutete ökosystemare Auswirkungen des Treibhauseffektes:** Bei der modellmäßigen Betrachtung der Auswirkungen des Treibhauseffektes zeigt sich, daß eine Erwärmung der Atmosphäre nicht zu einem gleichhohen Temperaturanstieg in allen Klimazonen ( $\rightarrow$  *Biom*,  $\rightarrow$  *Ökozonen*) führen wird. Unter Zugrundelegung der Ergebnisse verschiedener Arbeitsgruppen, die sich mit dieser Problematik befassen (vgl. z. B. SCHÖNWIESE/DIEKMANN 1987), ist aus Gründen, die an dieser Stelle nicht weiter dargelegt werden können, davon auszugehen, daß sich der Treibhauseffekt insbesondere in den hohen Breiten wesentlich stärker ausprägt als in den Tropen und Subtropen. Durch die zu erwartenden Veränderungen im Niederschlags- und Energiehaushalt mit ihren Auswirkungen auf die Zusammensetzung und Funktion von  $\rightarrow$  *Ökosystemen* käme es langfristig zu einer Verschiebung der Landschaftsgürtel der Erde ( $\rightarrow$  *Ökozonen*) mit einer daran gekoppelten globalen Verlagerung der landwirtschaftlichen Anbauzonen. Einzelnen, auf Länderbasis durchgeführten Modellanalysen zufolge, müßte insbesondere in den Entwicklungsländern von z. T. katastrophalen Veränderungen in der Nahrungsmittelversorgung für die Bevölkerung ausgegangen werden.

Ein prognostizierter *Meeresspiegelanstieg* mit einer *Verschiebung der Klimazonen* würde in globalem Maßstab auch Auswirkungen auf die küstennahen landwirtschaftlichen Anbaugelände haben. Erhebliche *Landverluste* in den großen, nicht eingedeichten Flußdeltagebieten der Erde wären die Folge. Auch müßte von einer längeren Vegetationsperiode in den höheren Breiten ausgegangen werden, ebenso wie von einer gesteigerten Photosyntheseleistung ( $\rightarrow$  *Photosynthese*,  $\rightarrow$  *Pflanzenökologie*) aufgrund der höheren  $\text{CO}_2$ -Konzentration. Die höheren Temperaturen würden außerdem zu einer exponentiellen Zunahme von Pflanzenschädlingen ( $\rightarrow$  *Parasitismus*) und von mi-

krobiellen Umsetzungen führen. Desweiteren wären Eingriffe in den *Oberflächen- und Grundwasserhaushalt* zu erwarten ( $\rightarrow$  *Wasserkreislauf*), wobei heutige hochproduktive Anbauflächen ( $\rightarrow$  *Agrarökologie*) an Bedeutung verlören und Ertragsminderungen z. B. beim Mais- und Weizenanbau nur teilweise durch Ertragssteigerungen, z. B. bei Reis, ausgeglichen werden könnten. Auswirkungen auf die Ernährungssituation insbesondere in den Ländern der Dritten Welt wären die unausweichlichen Folgen.

Für die aquatischen Ökosysteme ( $\rightarrow$  *Aquatische Ökologie*) resultierten aus dem Meeresspiegelanstieg und einer Veränderung der Wassertemperaturen vielerorts eine Modifikation der Wasserzirkulation und der Strömungsverhältnisse. Brut- und Laichplätze verschiedener Fischarten wären wahrscheinlich einem derartigen Selektionsdruck ausgesetzt, daß einzelne Spezies aussterben würden. Besonders große Veränderungen müßten z. B. für die Wattenmeere erwartet werden, wodurch sich nachhaltige Folgen für Flora und Fauna einstellen dürften. Sollten sich Modellanalysen bewahrheiten, wonach von einem Meeresspiegelanstieg von  $15 \text{ mm a}^{-1}$  in den nächsten 100 Jahren auszugehen ist, würde das auch negative Auswirkungen auf das Wachstum von Korallenriffen ( $\rightarrow$  *Symbiose*,  $\rightarrow$  *Marine Ökologie*) haben. Denn ein Riffwachstum, das mit  $3 \text{ mm a}^{-1}$  angegeben wird, würde mit einem fünfmal schneller ansteigenden Meeresspiegel nicht Schritt halten können (BUDDENMEIER/SMITH 1988).

Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß bei der Diskussion über die Folgen einer Veränderung der Zusammensetzung der Erdatmosphäre bedacht werden sollte, daß die bisher getroffenen Aussagen auf Modellanalysen beruhen. Diese beinhalten naturgemäß Unzulänglichkeiten hinsichtlich ihres Aussagegehaltes.

Orientiert man sich an den bisher vorliegenden Meßergebnissen, dann muß festgestellt werden, daß ein durch den Treibhauseffekt zu erwartender Anstieg der globalen Lufttemperatur bisher ebensowenig eindeutig anhand der zur Verfügung stehenden Meßreihen nachgewiesen werden konnte wie eine Zunahme der durch den  $\text{O}_3$ -Abbau zu erwartenden UV-Strahlung in Bodennähe.

**Literatur:** BECKER, K.H./LÖBEL, J. 1985: Atmosphärische Spurenstoffe und ihr physikalisch-chemisches Verhalten. Ein Beitrag zur Umweltforschung. Berlin u. Heidelberg: Springer. – BUDDENMEIER, R.W./SMITH, S.V. 1988: Coral-reef grows in an era of rapidly rising sealevel: Predictions and suggestions for longterm research. In: Coral-reefs 7, pp. 51-56. – BUSCH, P./KUTTLER, W. 1990: Grundriß allgemeine Geographie. Teil 1: Klimatologie. Paderborn u.a.O.: Schöningh. – EHHALT, D.H. 1987: Der troposphärische Kreislauf klimarelevanter Spurengase. In: Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF) (Hrsg.): Menschlicher Einfluß auf das Klima, S. 33-35. – FABIAN, P. 1988: Das Ozonloch: Chemische Aspekte. In: Labor 2000, S. 8-87. – FISCHER, H./GRASSL, H. 1987: Strahlungs- und Klimaeffekte durch Konzentrationsänderungen atmosphärischer Spurenstoffe. In: Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF) (Hrsg.): Menschlicher Einfluß auf das Klima, S. 42-45. – SCHMIDT, U. 1987: Chemie der Stratosphäre. In: Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF) (Hrsg.): Menschlicher Einfluß auf das Klima, S. 39-41. – SCHÖNWIESE, C.-D./DIEKMANN, B. 1987: Der Treibhauseffekt. Der Mensch ändert das Klima. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.

Hinweise auf weiterführendes Schrifttum: FABIAN, P. 1989: Atmosphäre und Umwelt. 3. Aufl. Springer. – SEIFRITZ, W. 1991: Der Treibhauseffekt. Technische Maßnahmen zur  $\text{CO}_2$ -Entsorgung. München: Hanser. – ENQUETE-KOMMISSION „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.) 1990: Schutz der Erdatmosphäre. Eine internationale Herausforderung. 3. erw. Aufl. Bonn: Economica u. Karlsruhe: Müller.

Wilhelm Kuttler

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Handbuch zur Ökologie** : mit Beiträgen zahlreicher Fachgelehrter / Wilhelm Kuttler (Hrsg.). Bearb. von Wilhelm Kuttler und Karin Steinecke. Unter Mitw. von Inge Fischer. - Berlin : Analytica, 1993

(Handbücher zur angewandten Umweltforschung ; Bd. 1)

ISBN 3-929342-07-3

NE: Kuttler, Wilhelm [Hrsg.]; GT

1. Aufl. 1993

© Analytica Verlagsgesellschaft, Berlin 1993. Printed in Germany. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen, der fotomechanischen Wiedergabe und Übersetzung vorbehalten.

Umschlagentwurf: Susanne Maier

Buchgestaltung und Satz: RevierA GmbH, Essen

Druck: Fuldaer Verlagsanstalt

ISBN 3-929342-07-3