

Über diese unerwünschte Auswirkungen des Automobils auf die Umwelt sowie über die Wege diese negativen Auswirkungen zu minimieren, wird im Rahmen dieses Buches berichtet.

Da eine Großzahl der Emissionen des Automobils ähnlicher Art sind wie die der natürlichen Quellen, scheint es zunächst angebracht zu sein, die natürliche und anthropogenen Emissionsquellen in ihrer Größe und Bedeutung zu analysieren.

1.4 Natürliche und anthropogene Emissionen

Die trockene atmosphärische Luft besteht zu 78,1 Vol % aus Stickstoff (N_2), zu 20,9 Vol % aus Sauerstoff (O_2) und weniger als 1 Vol % aus so genannten Spurengasen. Die Hauptspurengasen sind Argon (Ar) 96,6 Vol % und Kohlendioxid (CO_2) 0,3 Vol %. Daneben enthält die atmosphärische Luft noch Wasserdampf (H_2O), Kohlenmonoxid (CO), Staub, Pollen, diverse Bakterien und viele andere „luftverunreinigende“ Stoffe.

Obwohl in der Öffentlichkeit viel über die Luftverunreinigung gesprochen wurde, es dauerte viele Jahre bis man einig war, welche Luftqualität für Menschen, Flora und Fauna erforderlich ist, um sie nicht zu beeinträchtigen. In den USA wurden schon 1970 die so genannten National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) für viele Stoffe eingeführt, und später 1985 nochmals revidiert (**Bild 1.12**). Erst zu Beginn dieses Jahrhunderts wurden in der EU die Luft-Qualitätsstandards eingeführt, die ab 2005 EU-weit gelten und ab 2010 weiter verschärft werden sollen.

| Pollutant | Standard mg/m ³ | Evaluation criterion |
|--------------------|-------------------------------|--|
| Carbon Monoxide | 40 | 1-hour mean not to be exceeded more than once per year |
| | 10 | 8-hour mean not to be exceeded more than once per year |

| Pollutant | Standard µg/m ³ | Evaluation criterion |
|---------------------------|-------------------------------|---|
| Nitrogen Dioxide | 100 | Yearly arithmetic mean |
| Ozone | 240 | Hourly maximum value per day not to be exceeded more than once per year |
| Sulphur Dioxide | 80 | Yearly arithmetic mean |
| | 365 | 24-hours arithmetic mean |
| Particulate (< 10 µ) | 50 | Yearly arithmetic mean |
| | 150 | 24-hours arithmetic mean |

Bild 1.12:
Luftqualitätsstandards in den USA
(NAAQS)

1.4.1 Gesetzlich limitierte Schadstoffkomponenten

Die Forderungen des Gesetzgebers über die Reduzierung der Schadstoffemissionen aus Verkehr, Industrie und Hausbrand gehen in den USA von Anfang an von den Air Quality Standards aus. In Europa wurden die gesetzlichen Beschränkungen lange Zeit mehr oder weniger willkürlich festgelegt. Erst in den letzten Jahren orientieren sie sich nach festgelegten Luft-Qualitätsstandards.

In der öffentlichen Diskussion entsteht oft der Eindruck, dass die Luftschadstoffe ausschließlich durch menschliche Aktivität, also anthropogen entstehen. Das ist aber nur zum Teil richtig. Fast alle „Schadstoffe“, die von Menschen produziert werden, werden auch aus den natürlichen Quellen – ohne menschliches Zutun – emittiert. Nur sind sich die Wissenschaftler in ihren Abschätzungen über die Mengen, die aus unterschiedlichen Quellen entstehen, noch immer nicht einig. Ihre Aussagen liegen in einem sehr breiten Streuband, so dass jede Behauptung in der entsprechenden Literatur ihre Bestätigung finden kann. Die Größe der Streubreite einer Aussage deutet auf den gegenwärtigen Wissensstand bzw. auf das fehlende Wissen hin.

Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe in Verbrennungsmotoren, wird die erforderliche Arbeit gewonnen, aber auch die Verbrennungsprodukte gebildet. Über 98 % der Abgase galten durch die Jahrzehnte als harmlos; weniger als 2 % wurden zunächst als schädlich erkannt: Kohlenmonoxid (CO), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) und Stickstoffoxide NO_x aus Abgasen von Ottomotoren (**Bild 1.13**) sowie zusätzlich noch Partikel-(Ruß-) Emissionen (PM) aus Abgasen von Dieselmotoren.

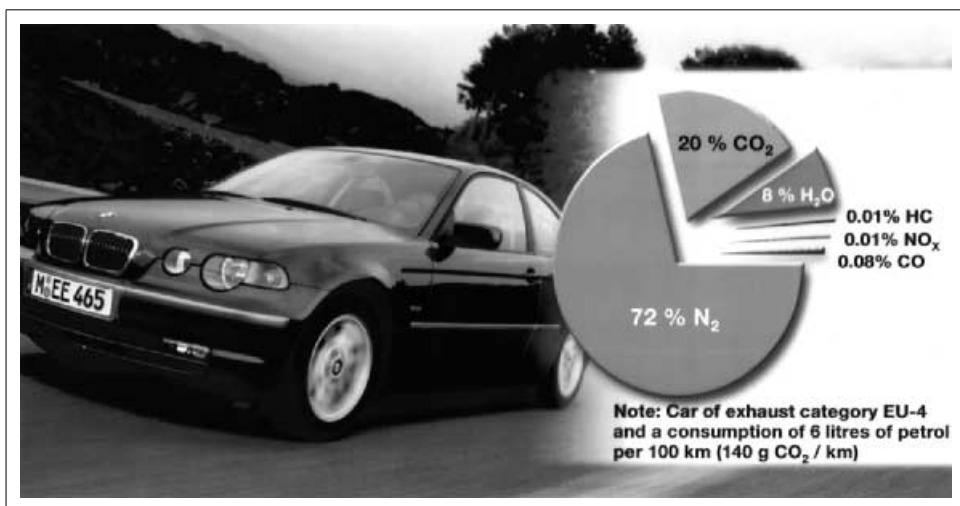


Bild 1.13: Zusammensetzung der Abgase eines modernen Ottomotors [Quelle: Metz]

1.4.1.1 Kohlenmonoxid (CO)

Anfang der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde das Kohlenmonoxid in großen Ballungsräumen als die Schadstoffkomponente Nr.1 aus Automobilabgasen schlechthin angesehen. Dank der Fortschritte in der Verbrennungstechnik sowie in der Abgasnachbehandlungstechnik (Katalysatoren), stellt heute die CO-Konzentration in der Luft in keiner modernen Stadt ein Problem dar.

Nun, trotz einer über vier Jahrzehnte andauernder Forschung, ist bis heute noch nicht genau bekannt, aus welchen Quellen und wie viel Kohlenmonoxid entsteht. In der Literatur werden Aussagen vertreten, dass natürliche Quellen zwischen 70 Millionen t und 5.000 Millionen t pro Jahr emittieren (**Bild 1.14**) [7,8].

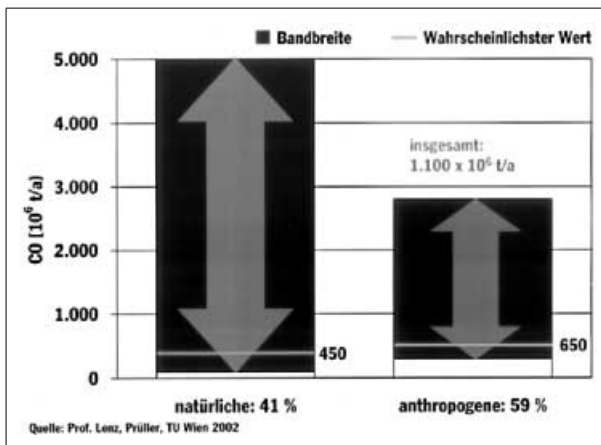


Bild 1.14:
Bandbreite der globalen jährlichen CO-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen

Ähnlich groß ist die Bandbreite, die für anthropogene CO-Quellen angegeben wird: zwischen 250 Mio. t und 2.800 Mio. t pro Jahr. In einer Studie der TU-Wien wurden als wahrscheinliche Werte der CO-Emission aus natürlichen Quellen 450 Mio. t/Jahr, und für die anthropogenen Quellen 650 Mio. t/Jahr angenommen. D.h. 59 % der gesamten globalen CO-Emission werden durch menschliche Aktivität und 41 % aus natürlichen Quellen emittiert [4,7].

Der wesentliche Teil der natürlichen CO-Emission stammt aus der langsamen Oxidation (Fäulnisprozesse, Verdörrung) von Methan (CH₄) und anderen Kohlenwasserstoffen in der Natur (**Bild 1.15**). Natürliche Brände (Wald, Steppen, Busch,...) sowie Algen aus Ozeanen leisten auch einen beträchtlichen Beitrag dazu.

Straßenverkehr, Verbrennung von Biomasse durch Rodung der Wälder sowie Hausbrand sind bedeutende anthropogene Quellen der CO-Emission. Der größte anthropogene CO-Beitrag entsteht jedoch durch die Verbrennung der Biomasse, vor allem durch die Rodung der Wälder.

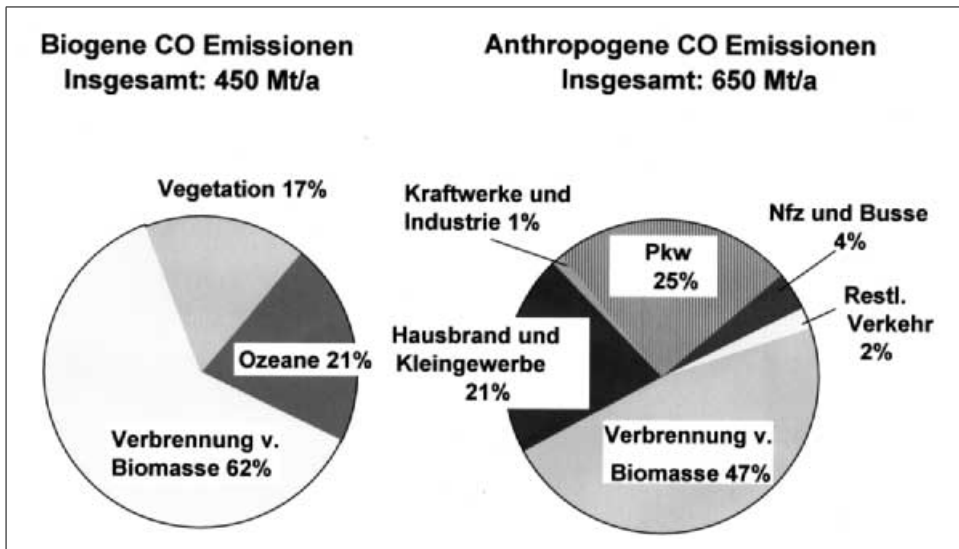


Bild 1.15: Aufteilung der globalen jährlichen CO-Emission aus natürlichen und anthropogenen Quellen

Die globale Betrachtung der CO-Emission ist nur dann sinnvoll, wenn der Verdacht besteht, dass globale Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten sind (z. B. „Treibhauseffekt“). Wegen der starken Toxizität in hohen Konzentrationen ist die Rücksicht auf die CO-Emissionsquellen im lokalen Bereich, insbesondere in geschlossenen Räumen, jedoch von größerer Bedeutung.

1.4.1.2 Kohlenwasserstoffe (HC), Volatile Organic Compounds (VOC)

Eine Vielzahl von organischen Verbindungen, die unter dem Sammelbegriff „Kohlenwasserstoffe“ bekannt sind, konnten bislang in ihrer Gesamtmenge nicht erfasst werden. Besonders schwierig ist es, natürliche Emissionsquellen und ihre Stärke für Tausende von organischen Verbindungen zu erfassen. Da die Auswirkungen diverser Kohlenwasserstoffe auf die Umwelt sehr unterschiedlich sind, wäre es wünschenswert zu versuchen, einzelne HC-Komponenten getrennt zu ermitteln.

Die erste große Aufteilung der Kohlenwasserstoffe teilt sie in zwei Gruppen: Methan (CH_4) und Nicht Methan Kohlenwasserstoffe (NMHC).

1.4.1.3 Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)

Die meisten Verbindungen aus der Gruppe NMHC haben Verweilzeiten von nur wenigen Stunden oder Tagen, so dass sich global keine einheitliche Konzentration in der Luft einstellen kann.

Natürliche NMHC werden hauptsächlich von Waldgebieten freigesetzt. Dabei hängen emittierte Kohlenwasserstoffe vom Waldbewuchs ab. Nadelhölzer emittieren vor allem Terpene; Eichenwälder Isoprene. Aber auch andere Kohlenwasserstoffverbindungen, wie Alkohole, Aldehyde, Ketone, Ether u.a. werden von der Vegetation emittiert. Es besteht außerdem ein Zusammenhang zwischen Jahreszeit, Wachstumszustand, Temperatur und Lichtverhältnissen und der emittierten Menge.

Die Bandbreite der Aussagen über die natürliche NMHC-Emissionen erstreckt sich von 500 Mio. t bis 2.100 Mio. t pro Jahr (**Bild 1.16**).

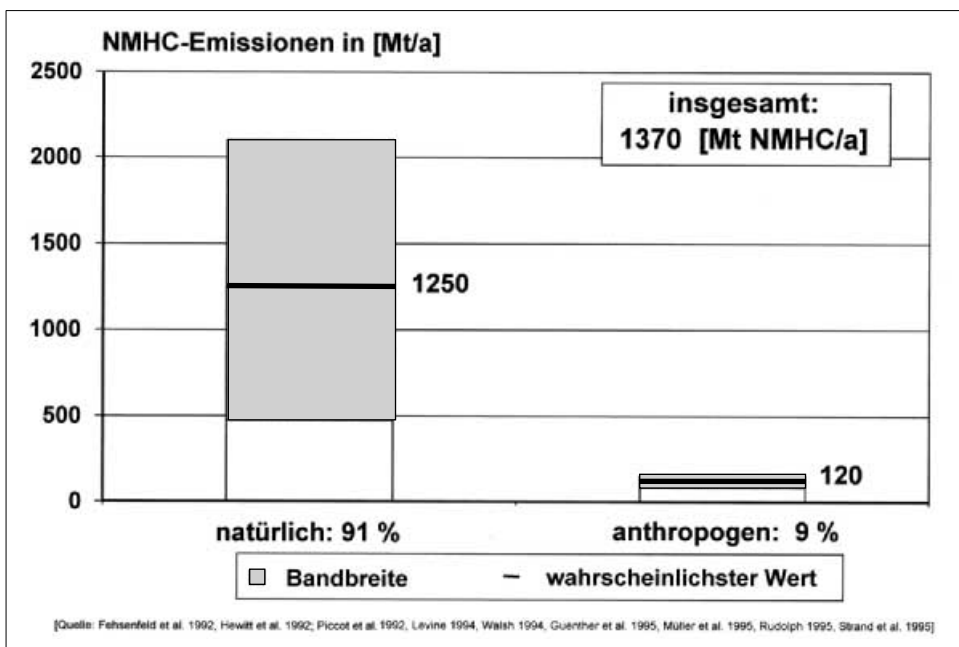


Bild 1.16: Bandbreite der globalen jährlichen NMHC-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen [Quelle: Lenz, Cozzarini]

Aus der großen Bandbreite wurde ein Mittelwert von 1250 Mio. t NMHC/Jahr, als wahrscheinlichster Wert vorgeschlagen, wobei auf die großen Unterschiede und die sich widersprechenden Angaben von verschiedenen Autoren auch hier hingewiesen wird.

Die NMHC-Emission aus anthropogenen Quellen ist um eine Zehnerpotenz niedriger. Die Bandbreite in der Literatur bewegt sich zwischen 100 Mio. t bis 150 Mio. t NMHC pro Jahr. Als wahrscheinlichster Wert wurden 120 Mio. t NMHC/Jahr angenommen. Die Hauptquellen der anthropogenen NMHC-Emission sind: Verkehr (ca. 25 %), anthropogene Biomasseverbrennung, (18 %), Lösungsmittel (Reinigungsmittel, Lacke) und die Kraftstoffverdampfung bei Umschlag von Kraftstoffen (ca. 10 %) (**Bild 1.17**).

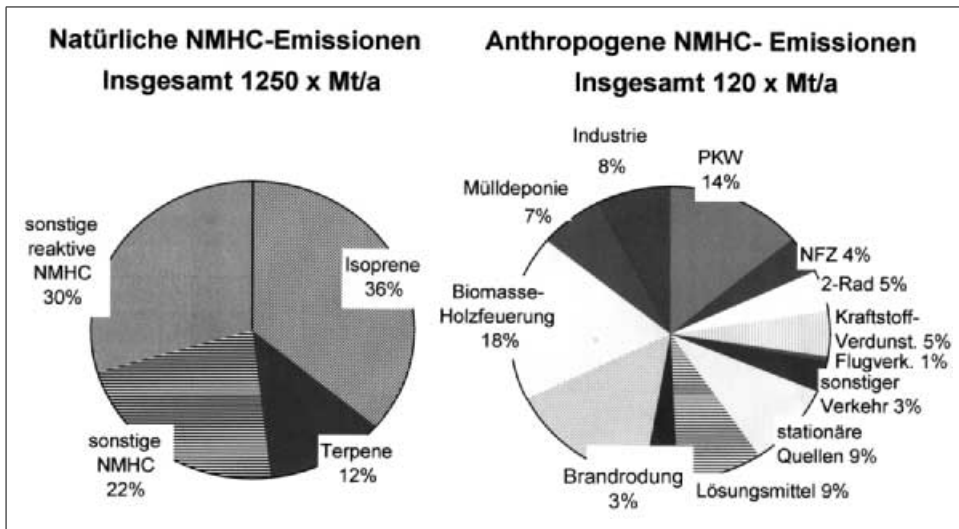


Bild 1.17: Aufteilung der globalen jährlichen NMHC-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen

1.4.1.4 Stickstoffoxide (NO_x)

Die Bandbreite der Literaturangaben über die natürlichen und anthropogenen Stickstoffemissionen ist ähnlich groß wie bei den Angaben über CO- oder NMHC-Emissionsquellen. Aus natürlichen Quellen werden zwischen 50 Mio. t und 100 Mio. t NO_x pro Jahr emittiert (**Bild 1.18**). Die Streubreite der gesamten globalen anthropogenen Stickstoffemissionen liegt in einem relativ schmalen Bereich zwischen 90 und 120 Mio. t NO_x /Jahr. Es wurde angenommen, dass die Natur wahrscheinlich ca. 80 Mio. t NO_x /Jahr (42 %) und der Mensch, durch seine Aktivitäten ca. 110 Mio. t NO_x /Jahr (58 %) produzieren.

Ein Drittel der natürlichen NO_x -Emissionen entsteht bei Gewitter und Blitzschlag. Die Freisetzung von NO_x aus Böden entsteht durch chemische und bakterielle Umsetzung. Sowohl bei der Nitrifikation als auch bei der Denitrifikation treten Stickstoffoxide auf. Neben den Umsetzungen beim rein pflanzlichen Stickstoffhaushalt tragen auch tierische Exkremente zur NO_x -Freisetzung von Böden bei. Andere wahrscheinliche NO_x -Quellen der Natur können aus dem **Bild 1.19** entnommen werden. Die Verbrennungsprozesse aus thermischen Kraftwerken, Verkehr, Industrieanlagen und Hausbrand sowie die Landwirtschaft (Mineraldünger, Ammoniak) sind die Hauptquellen der anthropogenen NO_x -Emission.

1.4.1.5 Schwefeloxide (SO_x)

Schwefel tritt in die Außenluft in Form von Oxiden, Sulfaten und reduzierten anderen Verbindungen auf. Dabei sind in der Atmosphäre nur Schwefeldioxid (SO_2) und lokal bedingt möglicherweise auch Schwefeltrioxid (SO_3) als Vorläufer von Sulfat- und Schwefelsäure Aerosolen von Bedeutung.

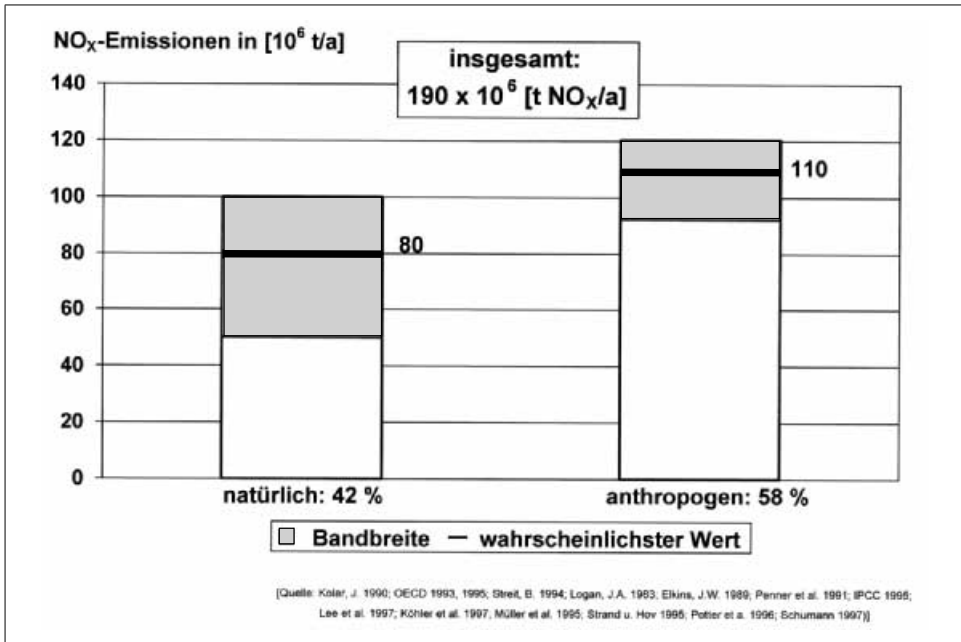


Bild 1.18: Bandbreite der globalen jährlichen NO_x-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen [Quelle: Lenz, Cozzarini]

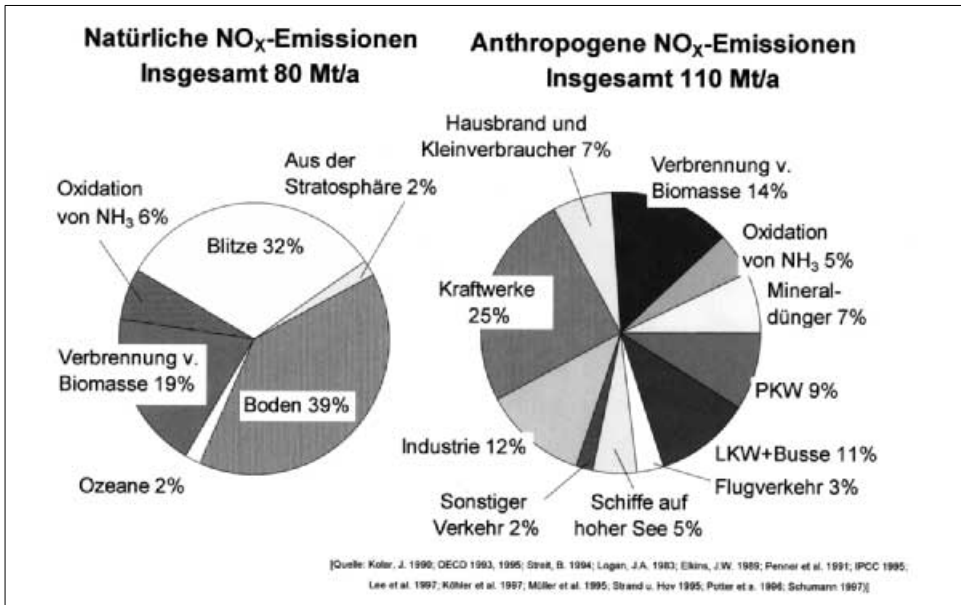


Bild 1.19: Aufteilung der globalen jährlichen NO_x-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen

Die natürlichen Quellen von atmosphärischen Schwefel werden (nach VDI Richtlinien 1983) in zwei Gruppen unterteilt: **Nicht biogene** und **biogene Quellen**.

Zu den **biogenen Quellen** zählen: Aerosole maritimen Ursprungs, vulkanische Tätigkeit und Verbrennung von Biomasse.

Die biologische Reduktion von Schwefelverbindungen zu Schwefelwasserstoff (H_2S) und organischen Sulfiden stellt vermutlich die größte Quelle biogenen atmosphärischen Schwefels dar. Schwefel wird in der Regel als H_2S , aber auch, besonders im Falle maritimer Algen, als Dimethylsulfid ($\text{CH}_3)_2\text{S}$ in die Atmosphäre abgegeben, wo es teilweise zu Schwefeldioxid oxidiert. In einer Bandbreite zwischen 15 Mio. t SO_2 und 765 Mio. t SO_2 /Jahr wird als wahrscheinlichste natürliche globale SO_2 -Emission ein Wert von 163 Mio. t /Jahr angenommen (**Bild 1.20**).

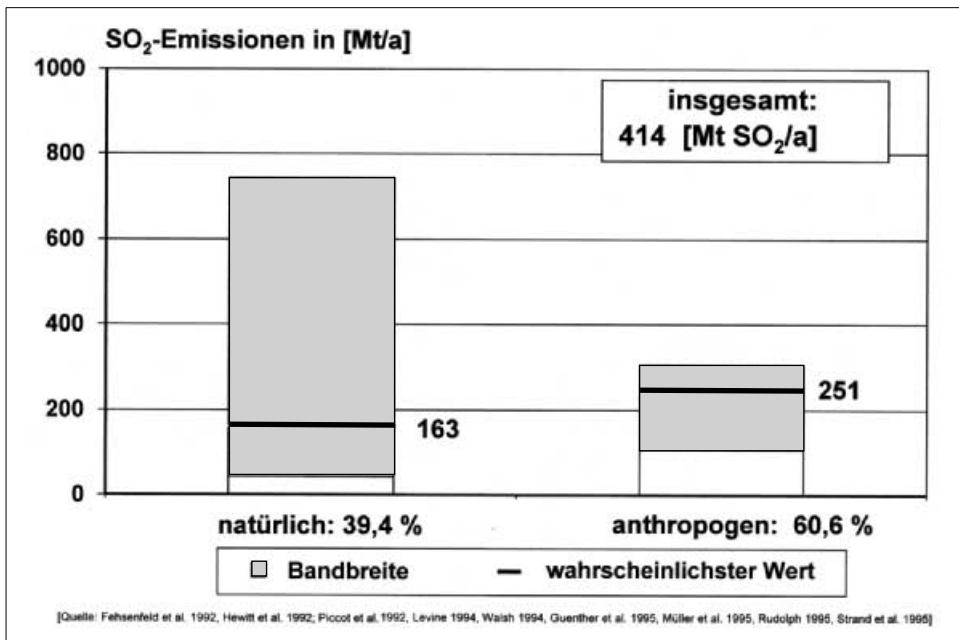


Bild 1.20: Globale jährliche SO_2 -Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen [Quelle: Lenz, Cozzarini]

Die Berechnungen der anthropogenen jährlichen SO_2 -Emissionen bewegen sich in einer Bandbreite zwischen 100 Mio. t und 300 Mio. t SO_2 /Jahr. Der wahrscheinlichste Wert wurde mit 251 Mio. t/Jahr angenommen.

Die anthropogenen globalen SO_2 -Emissionen werden in folgende Haupt-Emittenten Gruppen eingeteilt (**Bild 1.21**):

- ♦ Verbrennung von Kohle

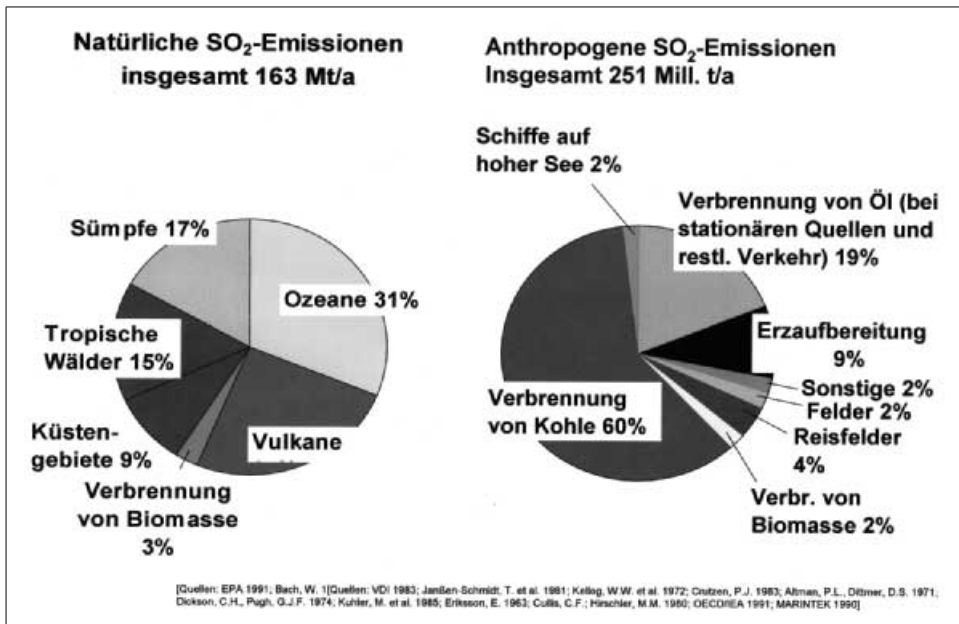


Bild 1.21: Aufteilung der globalen jährlichen SO₂-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen

- ◆ Verbrennung von Erdöl
- ◆ Erzaufbereitung
- ◆ Verbrennung von Biomasse
- ◆ Landwirtschaft (Bestellung von Reisfelder,...)

1.4.1.6 Partikel-Emissionen (PM)

Der Sammelbegriff Partikel-Emissionen (**PM**, **Partikulate Matter**, Partikulates) umfasst luftschwebende Teilchen, die sowohl **direkt** von natürlichen und anthropogenen Quellen gebildet und emittiert werden, als auch solche, die indirekt aus gasförmigen Vorläufersubstanzen entstehen und ebenfalls natürlichen oder anthropogenen Ursprungs sein können. Schwebestaub, Ruß und Rauch gehören zu den direkten (auch primären) PM-Emissionen.

Die indirekten Partikel Emissionen, aus Gasen (Schwefel-, Stickstoff- und Kohlenwasserstoff-Verbindungen) sind nur mit sehr großen Unsicherheiten zu quantifizieren, und werden im Folgenden nicht betrachtet.

Die Quellen der natürlichen, direkten Partikel-Emissionen sind: Meeressalze, Vulkane-ruptionen, Bodenerosion und Verbrennung von Biomasse. Für die globalen natürlichen Partikel-Emissionen gilt als wahrscheinlichster Wert 3250 Mio. t PM/Jahr, der in **Bild 1.22** mit der gesamten Bandbreite dargestellt ist.

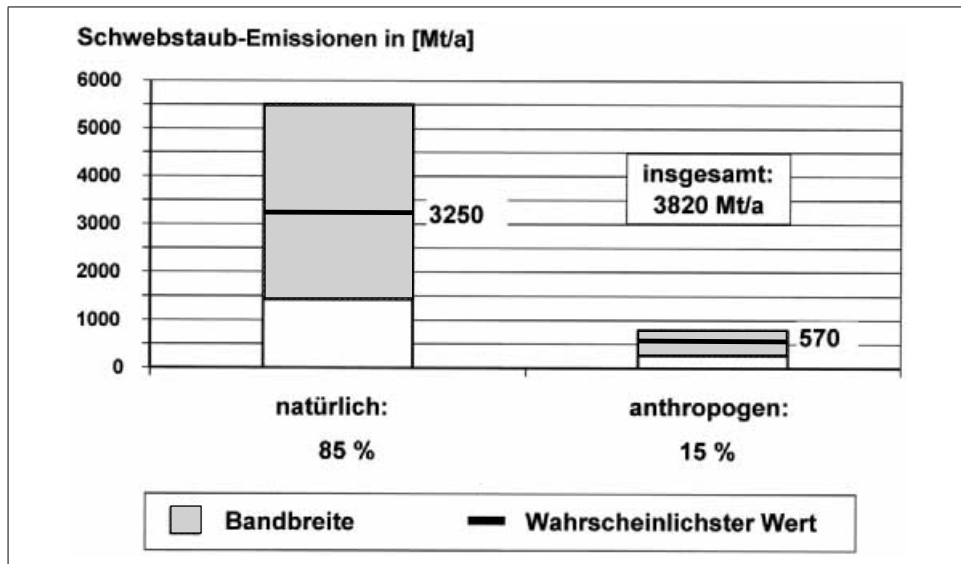


Bild 1.22: Globale jährliche PM-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen
[Quelle: Lenz, Cozzarini]

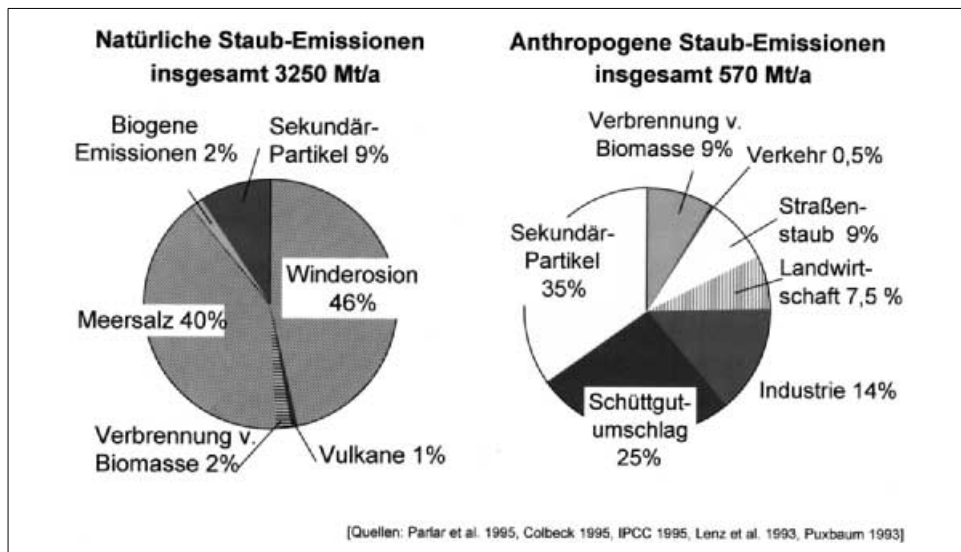


Bild 1.23: Aufteilung der globalen jährlichen PM-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen

Die anthropogenen globalen direkten Partikel-Emissionen werden in folgende Gruppen unterteilt (**Bild 1.23**):

- ◆ Staub von Hochbau, Steinbruch, Minen, Straßen- und Ackerbau
- ◆ Verbrennung von Biomasse

- ◆ Verbrennung fossiler Brennstoffe bei stationären Quellen
- ◆ Landwirtschaft
- ◆ Industrieprozesse
- ◆ Verkehr

Bei dem Versuch die Auswirkungen der Partikel-Emissionen auf die Umwelt abzuschätzen, muss berücksichtigt werden, dass diese Teilchen in der Regel nur eine geringe Verweilzeit in der Atmosphäre haben und meistens nur in der untersten Atmosphären-Schicht auftreten. Die globalen Betrachtungen dürfen auch nicht von den wesentlich größeren lokalen Abhängigkeiten bei den Emissionswerten ablenken. In zivilisatorisch stark genutzten Zonen mit mangelndem Luftaustausch können die anthropogenen PM-Emissionen bei weitem die natürlichen Quellen übertreffen. In der gegenwärtigen Diskussion über die Luftqualität in urbanen Regionen spielen die kleinen Teilchen, mit einer Größe von $10\ \mu$, $2,5\ \mu$ und $0,1\ \mu$ eine sehr wichtige Rolle.

1.4.2 Nichtlimitierte Schadstoffe

Bisher betrachtete natürliche und anthropogene Emissionen haben sich auf die Verbindungen bezogen, die grundsätzlich in Abgasen von Otto- und Dieselmotoren vertreten sein können, und die durch gesetzliche Regelungen in ihrer Menge aus anthropogenen Quellen limitiert sind. In letzten zwei Jahrzehnten wurde immer intensiver über die Rolle der bislang nicht limitierten Schadstoffkomponenten diskutiert. Dies bezieht sich vor allem auf Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O), und Benzol (C_6H_6).

1.4.2.1 Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt ist eine hervorragende „Erfindung“ der Natur. Die Temperatur der Erdoberfläche hängt stark von der Atmosphärenzusammensetzung, ihrer Temperatur und Dichte ab. Mehrere Gase in der Atmosphäre haben die Eigenschaft, die infraroten Strahlen zu absorbieren, die von der Erdoberfläche in das Weltall reflektiert werden und so die Wärme in der unteren Atmosphärenschicht zu speichern (**Bild 1.24**). Deswegen beträgt die mittlere Oberflächentemperatur der Erde nicht $-18\ ^\circ\text{C}$ sondern $+15\ ^\circ\text{C}$. Diesem Unterschied von $33\ ^\circ\text{C}$ verdanken die Lebewesen auf diesem Planeten das Leben in der Form, die uns bekannt ist.

Als wichtigste „Treibhausgase“ werden Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) sowie eine Reihe von chemischen Verbindungen wie Fluorchlor-kohlenwasserstoffe (FCKW) genannt (**Bild 1.25**).

Den größten Beitrag zu dem „natürlichen“ Treibhauseffekt mit fast $21\ ^\circ\text{C}$ hat der Wasserdampf (H_2O). Mit ca. $7\ ^\circ\text{C}$ wird der Beitrag von Kohlendioxid (CO_2) geschätzt. Wie groß die Unsicherheit der Wissenschaftler auch auf diesem Gebiet ist, zeigt die große Streubreite

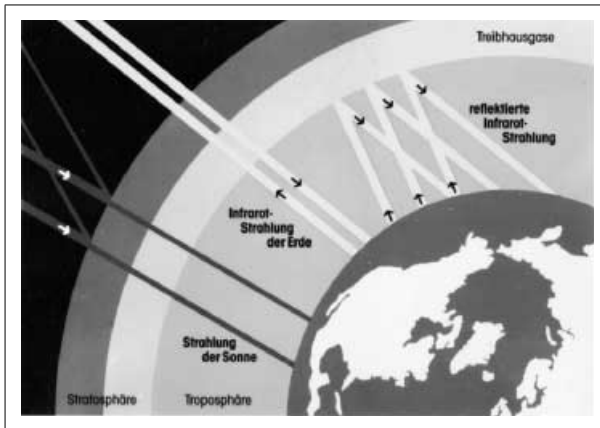


Bild 1.24:
Schematische Darstellung des Treibhauseffekts [Quelle: Shell]

| | | |
|------------------|--------------------|---------|
| Wasserdampf | (H ₂ O) | 20,6 °C |
| Kohlendioxid | (CO ₂) | 7,2 °C |
| bodennahes Ozon | (O ₃) | 2,4 °C |
| Distickstoffoxid | (N ₂ O) | 1,4 °C |
| Methan | (CH ₄) | 0,8 °C |
| Sonstige | etwa | 0,6 °C |

Temperaturanstieg durch Spurengase 33 °C
(von -18 °C auf +15 °C)

(nach Schönwiese, BdW. 9/1987)

Bild 1.25:
Beitrag der einzelnen Spurengase zum „Treibhauseffekt der Atmosphäre“

te der Werte, die für das Treibhauspotential und für die Berechnung der möglichen Auswirkungen der Treibhausgase auf das Klima von entscheidender Bedeutung sind (**Tabelle 1.1**) [4, 11].

Die physikalisch-chemischen Prozesse, welche Klimaschwankungen verursachen sollen, sind noch immer nur sehr unvollständig bekannt und nur ein Teil davon kann bisher in mathematisch-physikalischen Modellen simuliert werden. Selbst die derzeit besten Klimamodelle erlauben die Vorhersage der Reaktionen des Klimas auf menschliche Eingriffe in nur sehr eingeschränktem Maße. Einflüsse wie z.B. Behandlung der Bewölkung, der ozeanischen Zirkulation, des Eises und der Biosphäre, können kaum erfasst werden. Ähnliches gilt für solare Einflüsse.

1.4.2.2 Kohlendioxid (CO₂)

CO₂ ist das vollständige Endprodukt der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Kraftstoffen. In der Atmosphäre ist es nahezu inert. CO₂-Moleküle werden in der Atmosphäre nicht

Tabelle 1.1: Treibhauspotential unterschiedlicher Gase im Vergleich zu Kohlendioxid

| Gas | Lebensdauer (Jahren) | Effekt in einer Zeitspanne von | |
|---|-------------------------|--------------------------------|---------------|
| | | 20 Jahren | 100 Jahren |
| CO ₂ | 50–200 | 1 | 1 |
| CH ₄ | 7–15 | 56–63 | 21–24 |
| N ₂ O | 120–150 | 270–290 | 290–320 |
| HFC – 23 | 264 | 9200 | 12.100 |
| HFC – 125 | 28–36 | 4.600–4.800 | 2.500–3.200 |
| HFC – 134a | 14–16 | 3.200–3.400 | 1.200–1.300 |
| HFC – 152a | 1,5–2,0 | 460–570 | 140 |
| HFC – 227a | 37 | 4.300 | 2.900 |
| Perfluoromethan (CF ₄) | 50.000 | 4.400 | 6.500 |
| Perfluoroethan (C ₂ F ₆) | 10.000 | 6.200 | 9.200 |
| Schwefelhexafluorid (SF ₆) | 3.200 | 16.300–16.500 | 23.900–24.900 |

abgebaut, sondern werden an der Erdoberfläche von Biomasse gebunden (Photosynthese) oder physikalisch in den Ozeanen abgespeichert.

Durch die Verbrennung fossiler Kraftstoffe wird eine CO₂-Menge in die Atmosphäre freigesetzt, die offensichtlich nicht mehr von der Natur aufgenommen werden kann. In so genannten Reinluftgebieten, weit von Industriezentren und Ballungsräumen entfernt, wird seit Jahrzehnten ein Anstieg der CO₂-Konzentration und anderen klimawirksamen Gase in der Luft gemessen (**Bild 1.26**).

Wie viel Kohlendioxid jährlich in die Atmosphäre ausgestoßen wird, ist jedoch noch nicht ausreichend bekannt. Die wissenschaftlichen Angaben in der weltweiten Literatur schwanken zwischen 600 und 1.000 Milliarden Tonnen pro Jahr (**Bild 1.27**).

Die Quellen natürlicher globaler CO₂-Emissionen sind Ozeane, Vegetation und Humusschichten vom Festland, die Verbrennung von Biomasse sowie die Atmung von Tier- und Pflanzenwelt (**Bild 1.28**). Alle Lebewesen auf der Erde nehmen am „Kohlenstoff-Kreislaufzyklen“ teil. In dem das atmosphärische CO₂ von Pflanzen aufgenommen und in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt wird. Der Kohlenstoff wird für Wachstum der Biomasse genutzt, während der Sauerstoff in die Atmosphäre freigesetzt und von Menschen und Tieren geatmet wird. Durch alle menschlichen Aktivitäten werden ca. 4 % (29 Mrd. t/Jahr) der gesamten globalen CO₂-Emission produziert. Die Quellen anthropogener globaler CO₂-Emissionen werden üblicherweise in folgende Emittentengruppen eingeteilt: Kraftwerke, Hausbrand und Kleinverbraucher, Industrie, Verbrennung von Biomasse (Rodung der Wälder) und Verkehr.

Der Anteil des Straßenverkehrs (PKW und Nutzfahrzeuge) bei globaler anthropogener CO₂-Emissionen liegt bei ca. 12 %. In der öffentlichen Diskussion über den Beitrag des Automobils zu der CO₂-Emission wird diese Größenordnung oft übersehen.

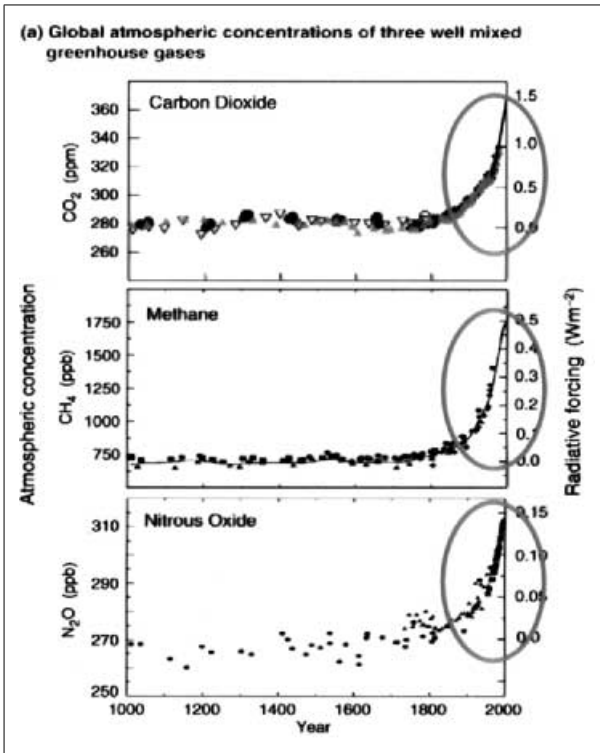


Bild 1.26:
Anstieg der Industriegase
[Quelle: IPCC]

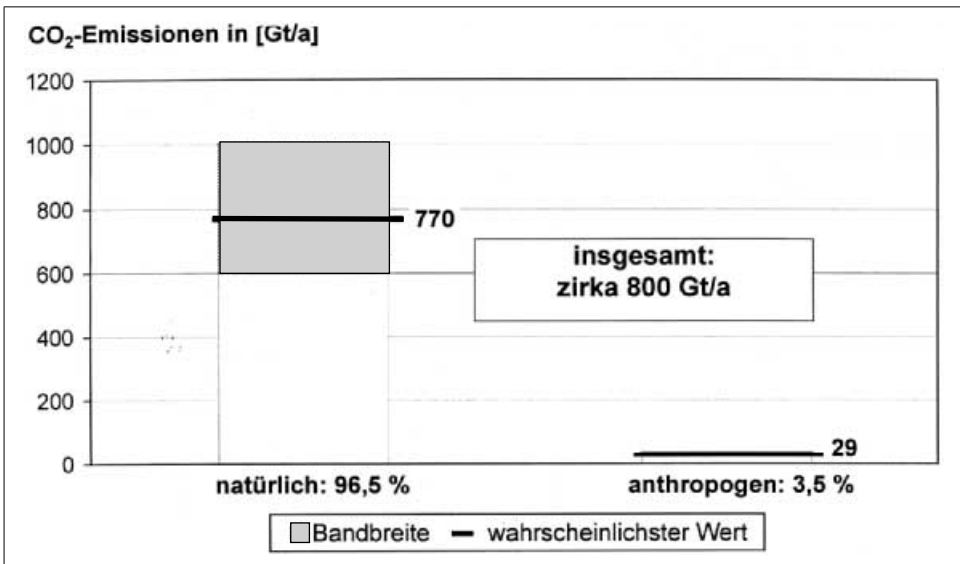


Bild 1.27: Streubreite der in der Literatur angegebenen jährlichen CO₂-Emissionen [Quelle: Lenz, Cozzarini]

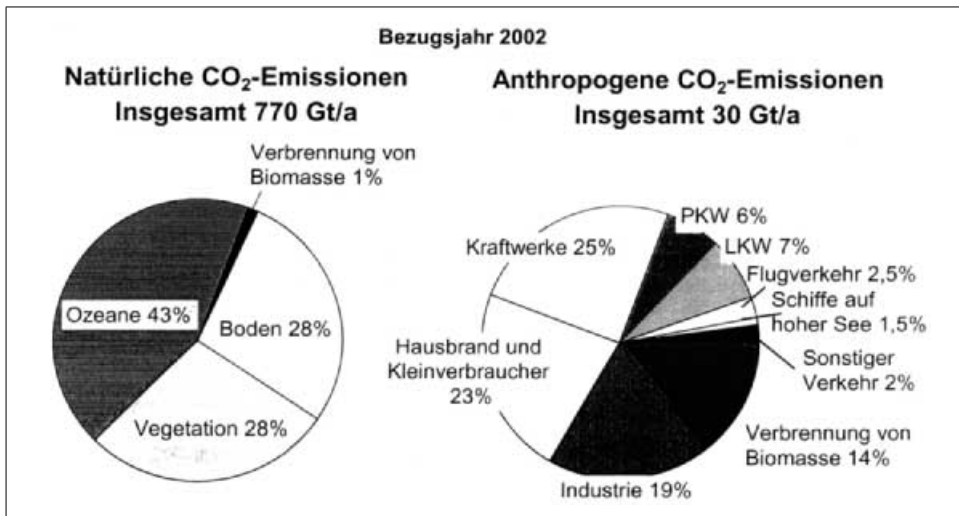


Bild 1.28: Aufteilung der globalen jährlichen CO₂-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen

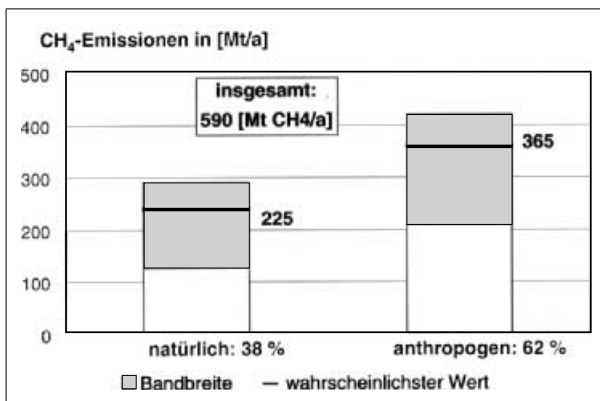


Bild 1.29: Globale jährliche CH₄-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen [Quelle: Lenz, Cozzarini]

1.4.2.3 Methan (CH₄)

Die Bestimmung der Methanemission ist wesentlich ungenauer, als die der CO₂ Emission. Methan entsteht in der Natur durch anaeroben bakteriellen Abbau organischer Substanzen sowie in der Erdkruste bei der Erdölbildung durch Thermokatalyse (Erdgas). Hauptquellen der natürlichen CH₄-Emission sind Moore und Feuchtgebiete, Verbrennung von Biomasse, Verdauungsprozesse bei Termiten und anderen Insekten, Ozeane, usw. Die Bandbreite der globalen natürlichen CH₄-Emission erstreckt sich zwischen 120 Mio. t und 295 Mio. t/Jahr, mit einem wahrscheinlichen Wert von 225 Mio. t/Jahr (**Bild 1.29**).

Die anthropogenen Methanemissionen entstehen bei der Produktion und Transport von Kohle, Erdgas und Erdöl. Weiterhin durch anaeroben Zersetzung von Mülldeponien, Reisanbau sowie durch steigende Anzahl von Tieren (Wiederkäuer) in der Landwirtschaft. Kleinere Methanmengen entstehen bei der Verbrennung fossiler Kraftstoffe und bei Industrieprozessen (Bild 1.30).

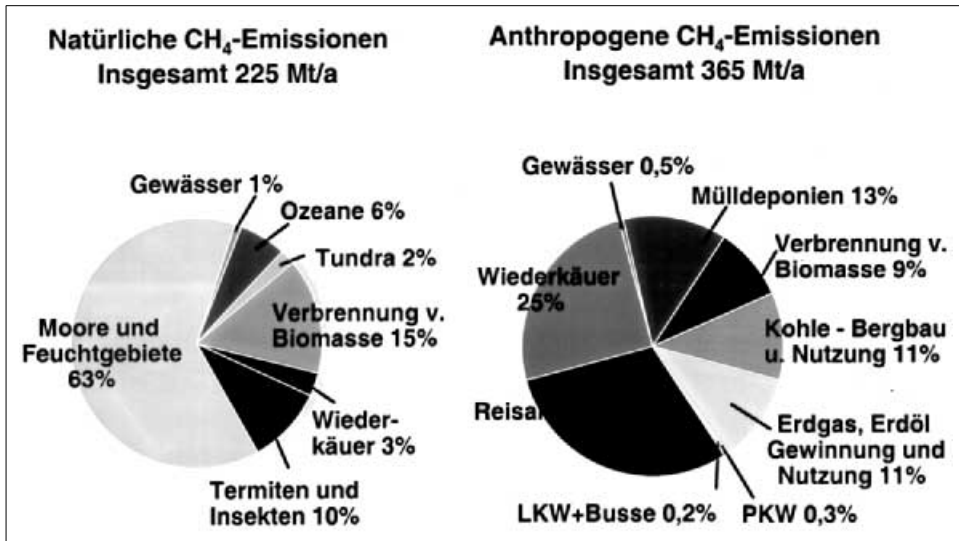


Bild 1.30: Aufteilung der globalen jährlichen CH₄-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen

Die Streubreite für die jährlichen globalen anthropogenen CH₄-Emissionen wird zwischen 210 Mio. t/Jahr und 420 Mio. t/Jahr angegeben. Als wahrscheinlich werden 365 Mio. t/Jahr als globale anthropogene CH₄-Emission angenommen.

1.4.2.4 Lachgas (Distickstoffmonoxid N₂O)

Es wird angenommen, dass die Hauptquellen der anthropogenen N₂O-Emissionen die Landwirtschaft, in Verbindung mit der übermäßigen Anwendung von künstlichen Düngemitteln, ist. Ein Teil stammt aus Industrieprozessen sowie aus der Verbrennung fossiler Kraftstoffe. Die Natur emittiert doppelt so viel N₂O, als der Mensch durch seine Tätigkeit (Bild 1.31). Die Bestimmung der N₂O-Emission ist allerdings sehr unsicher.

1.4.2.5 Halogene und andere verwandte Kohlenwasserstoffe

Unter dieser Gruppe von Kohlenwasserstoffen versteht man Fluorchlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW), Hydrochlorfluor-Kohlenwasserstoffe (HFCKW), Fluor-Kohlenwasserstoffe (HFKW), Perfluor-Kohlenwasserstoffe (PFC) und andere Verbindungen, die auf den Treib-

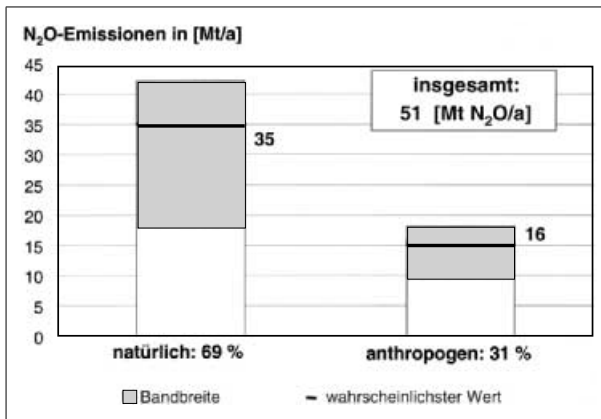


Bild 1.31:
Globale jährliche N₂O-Emissionen aus natürlichen und anthropogenen Quellen [Quelle: Lenz, Cozzarini]

hauseffekt einen Einfluss haben. Diese Kohlenwasserstoffe sind überwiegend anthropogenen Ursprungs und finden die Anwendung als Kühlmittel in Klima- und Kühlanlagen, als Lösungs- und Schäumungsmittel sowie in Industrieprozessen (Gewinnung von Aluminium). Schwefelhexafluorid (SF₆) findet die Anwendung als Isoliergas in elektrischen Transformatoren und in der Reifenindustrie.

1.4.2.6 Wasserdampf (H₂O)

In vielen Diskussionen über die Auswirkungen der menschlichen Aktivität auf die Umwelt wird nur selten der Wasserdampf als möglicher „Schadstoff“ erwähnt. Obwohl der Wasserdampf das stärkste natürliche Treibhausgas ist, hat die Wissenschaft den Wasserdampf aus anthropogenen Quellen noch nicht entsprechend berücksichtigt. In allen Verbrennungsprozessen von Kohlenwasserstoffen entsteht der Wasserdampf, als ein vollständiges Verbrennungsprodukt. Er wird bislang als unbedenklich betrachtet. Nur in der Diskussion über den möglichen menschlichen Eingriff in den Treibhauseffekt wird dem Wasserdampf aus Flugzeugabgasen Aufmerksamkeit geschenkt.

Über lokale Beeinträchtigungen durch den Wasserdampf in der Nähe von Kühltürmen großer Kraftwerke sowie über klimatische Änderungen in der Nähe von künstlichen Stauseen wird berichtet.

1.5 Abwärme

Der globale jährliche Weltenergiebedarf wird heute mit ca. 170×10^6 bdoe = 10^9 GJ/a angegeben. Mehr als 90 % davon wird durch thermische Prozesse gedeckt. Der maximale

Wirkungsgrad aller bekannten thermischen Prozesse liegt in der Nähe von ca. 35 bis 40 %, in der Regel jedoch niedriger. D.h. dass mehr als 60 % des Weltenergiebedarfs, als Wärmeverluste an die Umgebung abgegeben wird.

Welche Auswirkungen diese Wärme auf die Umwelt ausübt, ist bislang nicht bekannt. Im lokalen Bereich, in so genannten Mikrogebieten, ist diese Wärme jedoch spürbar. Zwei Drittel der Primärenergie aus thermischen Kraftwerken wird z.B. in die Flüsse eingeleitet, wo sie das biologische Gleichgewicht verändern, oder sie wird über die Kühltürme in die Atmosphäre abgeleitet, wo sie die lokalen klimatischen Bedingungen verändern.

Die Maßnahmen zur Erhöhung des Wirkungsgrades bei der Energieumwandlung stellen somit auch hier einen sinnvollen Weg zur Verminderung von Wärmeverlusten und dadurch zur Schonung der Umwelt dar.

Literatur

- [1] v. Weizsäcker, C.-F.: Der Mensch in seiner Geschichte. Wien: Carl Hauser Verlag, 1991
- [2] Die Wunder des Lebens. Knauer Verlag, 1962
- [3] Moody, R.: De prehistorische Wereld. Amsterdam: Letteren en Kunst, 1981
- [4] Gruden, D. u.a.: Traffic and Environment. Heidelberg: Springer Verlag, 2003
- [5] Energy Needs, Choices and Possibilities. Scenarios to 2050. Shell International, 2001
- [6] Leitbilder einer nachhaltigen Entwicklung. Stuttgart: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, 2001
- [7] Lenz, H-P., Cozzarini, Ch.: Emissionen und Luftqualität. Düsseldorf: VDI Fortschritt-Berichte Reihe 12, Nr. 365, 1998
- [8] Lenz, H-P., Prüller, S.: Emissionen und Immissionen von Abgaskomponenten. Düsseldorf: VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 12, Nr. 528, 2003
- [9] Umweltbewusstsein in Deutschland. Berlin: UBA, 2002
- [10] The Environmental Impact of Transport. Volvo Corp., 1998
- [11] Lochte, H.G.: Energie und Umwelt. BWK 48, Nr.1/2, 1996
- [12] Emissions of Greenhouse Gases in the United States 1996. Washington D.C.: US-Department of Energy, 1997
- [13] Environment, Climate, Health. VDI-World Engineers' Conference, Hannover, 2000
- [14] Environmentally sustainable transport – EST-OECD Guidelines. Wien 2000
- [15] Metz, N.: Auto und Umwelt, Teil 2, Vorlesungsreihe Umweltschutztechnik. TU-München, 2001
- [16] Ökologische Industrie Politik. Umwelt 12/2006. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2006
- [17] UN Predicts 9,1 Billion People on Earth by 2050. CARLINES, April 2005