

Die Atmosphäre und ihre Masse

Was enthält die Atmosphäre?

Woher kommen die Masseanteile?

Gas	Formel	Mischungsverhältnis Vol%	Massenanteil %
Stickstoff	N ₂	78,08	75,51
Sauerstoff	O ₂	20,95	23,14
Argon	Ar	0,93	1,28
Kohlendioxid	CO ₂	0,034	0,05
Neon	Ne	0,0018	
Helium	He	0,00052	
Methan	CH ₄	0,00018	
Krypton	Kr	0,00011	
Xenon	Xe	0,00009	
Wasserstoff	H ₂	0,00005	
Lachgas	N ₂ O	0,000031	

Tabelle: Die (normierte) Zusammensetzung trockener Luft

Hierzu kommen 0.001 - 4 Vol.% Wasserdampf. Zu berücksichtigen sei, dass es sich um eine Normtabelle handelt. Nicht aufgeführt sind Schwebstoffe, welche ebenfalls Auswirkungen haben, sei es Streuung, Absorption oder lediglich die Wirkung als Kondenskeim. Auch Stoffe in ionisierter Form aus den Ozeanen, wie z.B. Chloride, fehlen in der Auflistung.

Die folgende Auflistung soll den Versuch darstellen, die wesentlichen Massebestandteile hinsichtlich ihrer Quellen zu erfassen. Dies geschieht ohne jegliche Quantifizierung. Eine Beurteilung des anthropogenen Anteils soll vorerst nicht Bestandteil der Betrachtung sein, vorab genügen die Relationen der Massen zu einer versuchsweisen abschätzenden Betrachtung des Wirkungsanteils.

n = natürliche Ursache
a = anthropogene Ursache

Wasser

- Verdunstung Ozeane n
- Verdunstung Festlandwasser n
- Verdunstung Festland n
- Verdunstung Flora n
- Vom Ausatmen luftatmender Fauna n/a
- In Dampfform aus der Industrie (Kühlturm) a
- In Dampfform aus Haushalten (Duschen, Kochen) a
- Ausgestossen aus Geysiren n
- Freisetzung aus den Ozeanen bei Zerfall von Kohlensäure n
- Kondensstreifen vom Flugverkehr a
- Verstärkung des Kreislaufes oberirdisch durch Grundwasserentnahme a

Sauerstoff

- Aus Reproduktion der Flora n
- Bislang werden ihm keine schädlichen Eigenschaften nachgesagt -
- Wobei 100% auf Dauer sogar giftig wäre -
- Problem: Umwandlung in Ozon kann nachteilig wirken a/n

Kohlendioxid

- Verbrennung fossiler Brennstoffe (Industrie und Haushalte) a
- Waldbrände a/n
- Brandrodungen a

- Schwelbrände (z.B. Torf, Zechen) a/n
- Pkw-Verkehr a
- Lkw-Verkehr a
- Flugverkehr a
- Aus tektonischen Vorgängen (entweichende Gasblasen) n
- Aus den Massen der Ozeane freigesetzt ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) n
- Wird aber von den Pflanzen als Nahrung benötigt -

Argon

- Wird hinsichtlich der Erwärmungstheorien nicht bzw. kaum thematisiert -
- Kommt aber 25x häufiger vor als CO_2 -

Methan

- Aus der Landwirtschaft, Viehzucht: z.B. wenn Kühe verdauen a
- Aus der Landwirtschaft, Ackerbau: z.B. wenn Silage hergestellt wird a
- Aus Sumpfgebieten (gewaltige Mengen aus dem Amazonas-Gebiet) n
- Aus tektonischen Vorgängen (entweichende Gasblasen) n

Feststoffe

- Riesige Mengen von Vulkanausbrüchen n
- Sandmassen der Sahara infolge der Wirbelstürme n
- Aus Strassenverkehr (z.B. Russpartikel) a
- Aus der Industrie (was am Filter der Schornsteine vorbei geht) a
- Staub aus dem Weltall (Erdeintrag jährlich mehrerer kt) n

Schwefel

- Vulkanausbrüche n
- Aus tektonischen Vorgängen (permanentes Abgasen) n
- Bei Verbrennungsvorgängen (Industrie, Verkehr, Haushalte) a

Sonstige

- Chemikalien in Aerosolform bei Betriebsunfällen (Bayer) a
- Chemikalien in Aerosolform bei militärischen Aktivitäten (Krieg, Tests) a
- Sonstige Stoffe bei Bränden (Häuser, Eisenbahn) a
- Betriebsunfälle und Leckagen bei Erdgaspipelines a
- Allen bislang aufgelisteten Quellen lassen sich Nebenprodukte zuordnen a/n
- Das sind u.a.: CO , N_2O , NO_x , SO_2 , KW, CFC, O_3 a/n

Einflussfaktoren

- Sonnenaktivitäten (Sonnenwinde, Strahlungseintrag) n
- Diskontinuierliche Wärmefreisetzung durch Vulkanausbrüche n
- Bewegungen der Ozeanmassen n

Zur Verteilung der Stoffe

Zunächst sei beschrieben, wie die Atmosphäre unterteilt wird. Nach der thermischen Schichtung der einzelnen Bereiche unterscheidet man (von unten nach oben): Troposphäre „Wettersphäre“, Stratosphäre „geschichtete Sphäre“, Mesosphäre „Zwischensphäre“ und Thermosphäre „heiße Sphäre“.

Folgte man der These, dass „schwere Moleküle“, also Moleküle mit hohem Molekulargewicht, sich in Bodennähe anreichern würden, würde sich in einer hypothetischen, rein diffusiv gemischten Atmosphäre für jedes Spurengas eine eigene Höhenverteilung entsprechend der Barometrischen Höhenformel einstellen.

Die Atmosphäre ist aber in Wirklichkeit bis zur sogen. Turbopause in etwa 100 Km Höhe turbulent durchmischt. Die diffusive Entmischung tritt also erst oberhalb von ca. 100 Km in der Heterosphäre auf. Man unterscheidet nach dem vorwiegenden Mischungsmechanismus zwischen der Homosphäre, welche homogen (turbulent) gemischt ist, und der Heterosphäre, welche heterogen (diffusiv) entmischt ist.

Daraus ist zu schlussfolgern, dass die sogenannten Treibhausgase nicht wie eine Hüllschicht am oberen Ende der Turbopause konzentriert sitzen und daher mit dem Glasdach des Treibhauses zu vergleichen wären.

Die sogenannten Treibhausgase sind also von kurz über dem Erdboden bis in eine Höhe von ca. 100 km in der Atmosphäre verteilt. Daraus ist zu den Mechanismen der Absorption und der Streuung zu schlussfolgern, dass diese hinsichtlich der Strahlungsrichtung (von unten von der Erdoberfläche aus, von oben von der Sonne kommend) und der Intensität (jeweils von/nach oben/unten abnehmend) zu unterscheiden sind. Hierbei spielt die unterschiedliche Wellenlänge der Strahlung eine wichtige Rolle.

Trotz der oben beschriebenen (nahezu) gleichmässigen Verteilung aller Gase muss man von örtlichen Unterscheiden in der Konzentration ausgehen. Das Gegenteil würde bedeuten, von einem stationären Zustand auszugehen, was ja bei einem so bewegten Medium wie der Atmosphäre unvorstellbar ist.

In diese Betrachtung der unterschiedlichen Verteilung sind erst recht die anderen Stoffe einzubeziehen: Wasser in Dampfform (Wolken) und Schwebstoffe. Ausserdem gibt es Bestandteile, die fast ausschliesslich bodennah festzustellen sind.

Diese Verteilungsunterscheide bezogen sich bislang auf die Höhe. Sie müssen aber auch bezogen auf die Erdoberfläche darstellen, was sich schon allein aus der örtlichen Zuordnung ihrer Quellen erklärt. Industrieemissionen werden sich natürlich auch über Meergebieten ausbreiten, aber klar dürfte sein, dass ihre Konzentration am Entstehungsort viel höher ist.

Um sich die Relationen zu verdeutlichen muss man sich vor Augen führen, dass die Ozeane 70% der Erdoberfläche bedecken und dass sie das grösste Reservoir an CO_2 darstellen: in Form von HCO_3^- ist das ca. 60x mehr als in der Atmosphäre.

Dass eine gleichmässige Verteilung vorhanden ist, dürfte auch dem Laien schwer vorstellbar sein. Es gehört schon eine gehörige Portion Modellverliebtheit und Relitätsferne dazu, all die komplexen Vorgänge mit ihren Wechselbedingungen, Ursachen und Auswirkungen in ein computer-rechenbares Modell stopfen und die Witterung global voraussagen zu wollen.

Gibt es ein Gleichgewicht?

Global gesehen, ja. Wenn wir einmal von den läppischen Kilotonnen Weltallstaub absehen, die Jahr für Jahr auf die Erde fallen. Bezogen auf die Erdmasse sind die fast zu vernachlässigen.

In der Summe der Massen der Erde kann man von einem Gleichgewicht ausgehen, sofern dies weder eine wesentliche Zu- noch Abnahme bedeutet. Auch die Strahlungsvorgänge - Stichwort Welle-Teilchen-Dualismus der elektromagnetischen Strahlung - ändern daran nichts, weil die Erde soviel abstrahlt, wie sie aufnimmt.

Nun wissen wir aber, dass es in der Atmosphäre recht turbulent zugeht. Das zieht mitunter beträchtliche Konzentrations-, Dichte-, Gefälle-, Bewegungs-, und Temperaturunterschiede nach sich. Man spricht ja auch von Luft- und Wasser-Massen, vor den Einheiten steht Mega, Tera, Giga.

Dass Veränderungen von solch unvorstellbaren Massen Auswirkungen auf die Atmosphäre haben, ist leicht vorstellbar. Die Auswirkungen von plötzlich einfallenden Warm- oder Kaltluftfronten kennt jeder, ohne sich Gedanken über die Massen gemacht zu haben.

Stellen wir uns einen kleinen Abschnitt von 100 km Tiefe und 100 km Breite vor, dann macht das auf die 100 km Höhe bis zur Turbopause insgesamt $100 \times 100 \times 100 = 1.000.000 \text{ km}^3 = 1 \times 10^6 \text{ km}^3$ (1 Million Kubikkilometer). Das sind 10^{15} m^3 Luft ($1.000.000.000.000.000 \text{ m}^3$). Haben wir gerade 1 Vol% Wasser, entspricht dies $1 \times 10^{13} \text{ m}^3$ bzw. $1 \times 10^{16} \text{ l}$.

Dieses dynamische Gleichgewicht findet man auch im Meer vor. Jeder kennt den Golfstrom, aber nicht jeder weiss, dass wir in unseren Breitengraden die nächste Eiszeit hätten, würde der Golfstrom aussetzen.

Die einzige Konstante am Golfstrom ist, dass er sich seit tausenden von Jahren im Atlantik von Süd nach Nord bewegt. Ansonsten ist er schon sehr veränderlich. Geringe Veränderungen im horizontalen oder im vertikalen Verlauf wirken sich drastisch auf Temperatur- und Wettergeschehen aus.

Dazu kommt eine veränderte Abgabe oder Aufnahme von CO₂, um nur ein Beispiel zu nennen. Auch wenn es sich nur um Spurenelemente handelt, letztendlich geht es um Mega-Tonnen. Soviel CO₂ kann Deutschland in den nächsten 1.000 Jahren nicht durch die Esse jagen, was die Ozeane freisetzen (oder binden).

Wenn es nun kein Gleichgewicht (im stationären Sinne) geben kann, ist zu schlussfolgern, dass sich auch die Masse der Atmosphäre verändert. Sie ist genauso eine veränderliche Grösse wie die Dichte und das Volumen, denn die 100 km über der Erdoberfläche sind keine starre Grenze.

Es ist weiterhin davon auszugehen, dass die Menschheit auch mit modernsten Geräten kaum in der Lage sein dürfte, eine quantifizierbare Grenze der Atmosphäre zu messen. Zum Abschluss noch ein paar Zahlen:

Die Erdoberfläche beträgt ca. 510 Mio km², davon sind 363,5 Mio km² Wasserfläche. 25% der Meeresfläche hat eine Tiefe von rd. 5 km. Das allein sind schon rd. 450 Mio km³ Wasser, für deren Abkühlung / Erwärmung gigantische Energiemengen erforderlich sind. Der Erdumfang beträgt rd. 40.000 km, der Durchmesser rd. 25.500 km.

Die Atmosphäre hat auf 100 km eine Temperatur von ca. 240 K, die bei 120 km auf ca. 400 K ansteigt. In diesem Bereich liegt die Dichte nur noch bei 10⁻⁶ bis 10⁻⁷ kg/m³. Der Umfang der Tropopause beträgt rd. 40.350 km, der Durchmesser rd. 25.700 km.

Dipl.-Ing. Matthias G. Bumann
Bauingenieur und "Hobbymeteorologe"
Berlin, 08. November 2002