

## Notiz über

**Ermittlung der Anzahl von Gasmolekülen und ihrer einzelnen Komponenten in einem m<sup>3</sup> Luft in Meereshöhe unter den heute herrschenden Bedingungen.**

Ergänzt 31. Dez. 2013

Zugrunde gelegter Zustand:

Druck: 1013 mb entsprechend 760 Torr (Meereshöhe)

Temperatur: 15 °C entsprechend 288,15 °K

rel. Feuchte: 60%

- o Daraus ergibt sich ein  $\gamma_{\text{Luft}}$  von 1,222 kg/m<sup>3</sup>. Darin sind 7,7g Wasser enthalten (7,7 g/m<sup>3</sup><sub>Luft</sub> oder 6,3 g/kg<sub>Luft</sub>.. Nach Blasius "Wärmelehre", Tabelle 13).

- o die oben definierte Luft von einem m<sup>3</sup> setzt sich wie folgt zusammen:  
(entnommen aus Wikipedia, Stichwort "Luft")

N <sub>2</sub> : 75,52	Gewichts - %.	Gewichtsanteil:	1,222 kg/m <sup>3</sup>	· 0,7552	= 0,92290 kg/m <sup>3</sup>
O <sub>2</sub> : 23,14	" - %.	"	:	" "	· 0,2314 = 0,28280 kg/m <sup>3</sup>
Ar: 1,288	" - %.	"	:	" "	· 0,01288 = 0,01560 kg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub> : 0,059	" - %.	"	:	" "	· 0,00059 = 0,00072 kg/m <sup>3</sup>
	(0,038% oder 380ppm)				
CH <sub>4</sub> : 0,000148	" - %.	"	:	" "	· 0,000148 = 0,00018 kg/m <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> O: 0,063	" - %.	"	:	" "	· 0,0630 = 0,00770 kg/m <sup>3</sup>
	(60% rel. Feuchte)				

- o In der Chemie legt man für Gewichtsrechnungen im atomaren Bereich als kleinsten Wert  $\mu = 1,66054 \cdot 10^{-27}$  kg zugrunde. Dieser Wert entspricht dem 12' ten Teil der Masse eines Kohlenstoff- Atoms (Schüler-Duden "Physik").

- o Einzelgewichte und Anzahl der Moleküle/Atome von den Luftkomponenten:

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O-Molekül: Einzelmasse} &= \text{Molekulargewicht} \cdot \mu \\ &= 18 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 29,89 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ \text{Anzahl H}_2\text{O-Moleküle:} &= 0,0077 \text{ kg/m}^3_{\text{Luft}} / 29,89 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = \underline{2,58 \cdot 10^{23} / \text{m}^3_{\text{Luft}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{-Moleküle (Molekulargewicht 28)} \\ \text{Einzelmasse: Molekulargewicht} \cdot \mu &= 28 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 46,495 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ \text{Anzahl N}_2\text{-Moleküle:} &= 0,9229 \text{ kg/m}^3_{\text{Luft}} / 46,495 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = \underline{198,5 \cdot 10^{23} / \text{m}^3_{\text{Luft}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2\text{-Moleküle (Molekulargewicht 32)} \\ \text{Einzelmasse: } 32 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} &= 53,137 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ \text{Anzahl O}_2\text{-Moleküle: } 0,2828 \text{ kg/m}^3_{\text{Luft}} / 53,137 \cdot 10^{-27} \text{ kg} &= \underline{53,22 \cdot 10^{23} / \text{m}^3_{\text{Luft}}} \end{aligned}$$

1

$$\begin{aligned} \text{Ar (Edelgas Argon, Atomgewicht 40)} \\ \text{Einzelmasse: } 40 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} &= 66,4216 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ \text{Anzahl Ar-Atome: } 0,0156 \text{ kg/m}^3_{\text{Luft}} / 66,4216 \cdot 10^{-27} \text{ kg} &= \underline{2,348 \cdot 10^{23} / \text{m}^3_{\text{Luft}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2\text{-Moleküle (Molekulargewicht 44,01)} \\ \text{Einzelmasse: } 44,01 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} &= 73,08 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ \text{Anzahl CO}_2\text{-Moleküle: } 0,00072 \text{ kg/m}^3_{\text{Luft}} / 73,08 \cdot 10^{-27} \text{ kg} &= \underline{0,098 \cdot 10^{23} / \text{m}^3_{\text{Luft}}} \end{aligned}$$

CH<sub>4</sub>-Moleküle (Molekulargewicht 16,04)

$$\text{Einzelmasse: } 16,04 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 26,635 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Anzahl CH}_4\text{-Moleküle: } 0,00018 \text{ kg/m}^3_{\text{Luft}} / 26,635 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 0,0000067 \cdot 10^{23}/\text{m}^3_{\text{Luft}}$$

o Zusammenstellung Moleküle/Atome pro Volumeneinheit

Teilchen	Volumenanteil in % pro m <sup>3</sup> <sub>Luft</sub>	Gewichtsanteil pro m <sup>3</sup> <sub>Luft</sub>	Anzahl pro m <sup>3</sup> <sub>Luft</sub>	Anzahl pro cm <sup>3</sup> <sub>Luft</sub>	Anzahl pro mm <sup>3</sup> <sub>Luft</sub>
Stickstoff (N <sub>2</sub> )	78,084 %	0,9229 kg	198,50 · 10 <sup>23</sup>	" · 10 <sup>17</sup>	" · 10 <sup>14</sup>
Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	20,942 %	0,2828 kg	53,22 · 10 <sup>23</sup>	" · 10 <sup>17</sup>	" · 10 <sup>14</sup>
Wasser (H <sub>2</sub> O) (60% Feuchte)	1,024 %	0,0077 kg	2,58 · 10 <sup>23</sup>	" · 10 <sup>17</sup>	" · 10 <sup>14</sup> oder 258 Billionen
Argon (Ar)	0,932 %	0,0156 kg	2,348 · 10 <sup>23</sup>	" · 10 <sup>17</sup>	" · 10 <sup>14</sup> oder 235 Billionen
Kohlendioxid heute (CO <sub>2</sub> ) anthropogener Anteil	0,0385 % (0,0115 %)	0,00072 kg (0,000189 kg)	0,098 · 10 <sup>23</sup> (0,0255 · 10 <sup>23</sup> )	" · 10 <sup>17</sup> (" · 10 <sup>17</sup> )	" · 10 <sup>14</sup> = 9,58 · 10 <sup>12</sup> oder 9,8 Billionen (" · 10 <sup>14</sup> = 2,55 · 10 <sup>12</sup> )
Methan (CH <sub>4</sub> )	0,000176 %	0,00015 kg	0,0000067 · 10 <sup>23</sup>	" · 10 <sup>17</sup>	" · 10 <sup>14</sup> = 6,7 · 10 <sup>8</sup> oder 670 Millionen

Insbesondere die Spalte "Anzahl pro mm<sup>3</sup>" (Kugel mit 1,24 mm Ø) macht die **Kleinheit** der Moleküle und Atome deutlich: In einem Gasvolumen von der Größe etwa eine Tropfen aus einer Pipette befinden sich unter Atmosphärendruck in Meereshöhe insgesamt immer noch rund 26-tausend mal eine Billion (26 Trillionen) Gasmoleküle. Zwischen diesen ist außerdem noch viel Platz, so dass sie mit hoher Geschwindigkeit hin und her sausen können, bis sie mit einem ihrer Nachbarn einmal zusammenstoßen und dadurch ihre Flugrichtung ändern. Stoßen sie dann auch an die Wände eines Gefäßes – z. B. an den Deckel einer luftleer-gepumpten Barometerdose – üben sie mit ihrer kinetischen Energie alle zusammen einen Druck aus, der vereinbarungsgemäß als "1 bar" bezeichnet wird.

Selbst die Anzahl der CO<sub>2</sub>-Moleküle, die seit der industriellen Revolution sich in der Atmosphäre angereichert haben (sollen), ist immer noch schwer vorstellbar groß: 2,5 Billionen! Auch vom Methan, mit nur 0,000176 % Volumenanteil das geringste Spurengas in dieser Auflistung (es gibt noch viele weitere Kandidaten mit wesentlich geringeren Anteilen), kommen im Mittel immer noch 670 Millionen in diesem Tropfen vor.

o Abschätzung der Abstände zwischen den Molekülen und Atomen.

Vereinfachend wird angenommen, dass alle Gaskomponenten in dem betrachteten m<sup>3</sup> Luft aus Wasserdampf bestehen. Dann ist das Verhältnis der spez. Gewichte zwischen den flüssigen und gasförmigen Zuständen

$$\gamma_{\text{Wasser}} \text{ zu } \gamma_{\text{Dampf}} = 1 \cdot 10^6 \text{ g/m}^3 \text{ zu } 0,77 \cdot 10^3 \text{ g/m}^3 = 1300$$

Die mittleren Abstände (Leerräume) zu den benachbarten Molekülen (oder Wänden) betragen also (bei dieser Annahme) rund das 1300-fache ihrer Ausdehnung. Um wie in dem hier betrachteten Fall bei 15°C einen Druck von 1 bar auf den Deckel einer luftleer gepumpten Barometerdose ausüben zu können, müssen die Moleküle und Atome eine mittlere Geschwindigkeit von ~500 m/s entsprechend 1800 km/h haben. Bei der etwas vereinfachten Rechnung wurden nur die beiden Hauptkomponenten Stickstoff und Sauerstoff entsprechend ihrer %-turalen Anteile berücksichtigt.

- o Abschätzung der mittleren Geschwindigkeit bei 15°C (Globaltemperatur)

$$v_{\text{mittel}} = \sqrt{3 \cdot k \cdot T / m} \text{ (aus Schüler-Duden für Physik)}$$

$k$  = Boltzmann-Konstante mit  $1,38065 \cdot 10^{-23}$  J/K

$J$  = spezielle Gaskonstante.  $J_{\text{Luft}} = 287,1$  kg·K

$m$  = Molekülmasse = Molekulargewicht mal kleinste Masseneinheit  $\mu$

$$m_{\text{Stickstoff}} = 28 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 46,495 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sauerstoff}} = 32 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 53,137 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Vereinfachend wird nur aus den beiden Hauptbestandteilen der Atmosphäre  $\text{N}_2$  und  $\text{O}_2$  unter Berücksichtigung ihrer Anteile die mittlere Molekülmasse gebildet:

$$m_x = (46,495 \cdot 0,7551 + 53,137 \cdot 0,2315) \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 47,41 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

In die obige Gleichung diese Werte eingesetzt:

$$\begin{aligned} v_{\text{mittel}} &= \sqrt{3 \cdot k \cdot T / m} = \sqrt{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 288,65 / 47,41 \cdot 10^{-27}} = 5 \cdot \sqrt{10^4} \\ &= \sim 500 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Gerd Zelck, Seevetal