

# F2 Luftdichte und Luftfeuchtigkeit

## Grundlagen

Luft besteht im Wesentlichen aus etwa 78 % Stickstoff  $N_2$ , 21 % Sauerstoff  $O_2$  und 1 % Argon  $Ar$ . In atmosphärischer Luft ist noch eine nennenswerte Masse  $m_W$  an Wasserdampf enthalten. Der auf das Volumen bezogene Wasserdampfgehalt  $m_W/V$  der Luft wird als absolute Luftfeuchtigkeit bezeichnet.

Mittels der Zustandsgleichung des idealen Gases, welche die drei Zustandsgrößen Druck  $p$ , Volumen  $V$  und Temperatur  $T$  verknüpft, lässt sich dem Wasserdampfanteil  $m_W$  ein entsprechender Wasserdampfpartialdruck<sup>1</sup>

$$p_W = m_W \frac{RT}{M_W V} \quad (1)$$

zuordnen. Mit  $M_W$  wird die molare Masse von Wasser bezeichnet.

Bei jeder Temperatur kann nur eine maximale Menge Wasserdampf in der Luft vorhanden sein. In der Abbildung 1 ist die maximal mögliche Wasserdampfmasse  $m_W/V$  in Abhängigkeit der Temperatur dargestellt<sup>2</sup>.

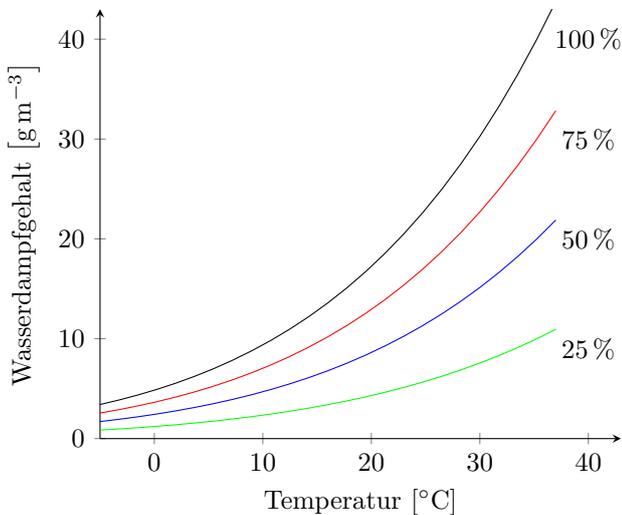


Abbildung 1: Wasserdampfgehalt der Luft für verschiedene relative Luftfeuchten

Die Kurve für 100 % relative Luftfeuchtigkeit stellt die maximal mögliche Menge an Wasserdampf in der Luft dar<sup>3</sup>. Der dieser Menge entsprechende Partialdruck wird Sättigungsdampfdruck  $p_S$  genannt. Dieser hängt im Wesentlichen

<sup>1</sup>Unter Partialdruck versteht man den Druck, den der entsprechende Stoffanteil, also z.B. die in der Luft enthaltenen Wassermoleküle, auf die Gefäßwände ausüben würden, wenn alle weiteren Bestandteile entfernt würden.

<sup>2</sup>Kurve für 100 % relative Luftfeuchtigkeit.

<sup>3</sup>Eine weitere Erhöhung des Wasseranteils würde zur Kondensation des Wasserdampfes führen.

exponentiell von der Temperatur ab und kann in sehr guter Genauigkeit für Temperaturen  $\vartheta > 0^\circ\text{C}$  mit

$$p_S = 611,2 \text{ Pa} \cdot \exp \frac{17,62 \cdot \vartheta}{243,12 + \vartheta} \quad (2)$$

berechnet werden.

Das Verhältnis

$$\varphi = \frac{m_W}{m_S} = \frac{p_W}{p_S} \quad (3)$$

des in der Luft vorhandenen Wasserdampfanteils zum bei dieser Temperatur maximal möglichen Wasserdampfanteil wird als relative Luftfeuchtigkeit bezeichnet. In der Abbildung 1 sind die dem Wasserdampfpartialdruck entsprechenden absoluten Wasserdampfgehalte für verschiedene relative Feuchten der Luft mit eingezeichnet.

Erniedrigt man die Temperatur eines sich in der feuchten Luft befindlichen Gegenstandes gerade soweit, dass der Taupunkt erreicht wird (am Körper kondensiert Wasserdampf), kann mit (2) der zur Taupunkttemperatur  $\vartheta_T$  gehörige Sättigungsdampfdruck berechnet werden. Dieser ist natürlich identisch dem Wasserdampfpartialdruck  $p_W$  der warmen Luft.

Zur Messung der Luftdichte  $\rho_L = m_L/V_L$  wird in einem Druckbehälter mittels einer Luftpumpe ein Überdruck erzeugt. Die zusätzlich zur anfänglich vorhandenen Luft hineingepumpte Luftmasse  $m_L$  kann einfach durch Wägung bestimmt werden. Das Volumen  $V_L$  der zusätzlichen Luft unter Umgebungsdruck  $p_L$  wird mittels Glockengasometer nach Müller bestimmt<sup>4</sup>.

Um die Luftnormdichte  $\rho_0$  zu ermitteln, muss zunächst das Ergebnis hinsichtlich des vorhandenen Wasserdampfes korrigiert werden.

Die im Volumen enthaltene Wasserdampfmasse kann mittels (1) in Verbindung mit (2) berechnet und von der gemessenen Luftmasse  $m_L$  abgezogen werden. Natürlich muss im gleichen Zuge auch das vom Wasserdampf beim Luftdruck  $p_L$  eingenommene Volumen

$$V_W = \frac{p_W}{p_L} V_L \quad (4)$$

berechnet und vom ursprünglich gemessenen Volumen abgezogen werden.

<sup>4</sup>Dieses besteht im Wesentlichen, ähnlich einer Taucherglocke, aus einem unten offenen und zunächst vollständig mit Wasser gefüllten inneren Glasgefäß in einem weiteren größeren wassergefüllten Gefäß. Strömt die überschüssige Luft aus dem Druckbehälter in das innere Gefäß, wird gerade die entsprechende Menge Wasser verdrängt. Damit die ausgeströmte Luft den Umgebungsdruck hat, wird anschließend das innere Gefäß soweit angehoben, bis die Wasserstände in beiden Gefäßen gleich sind.

Die so erhaltene Dichte  $\rho_l$  der trockenen Luft muss nun noch mittels der Zustandsgleichung auf die Normbedingungen für die Temperatur  $\vartheta_0 = 0^\circ\text{C}$  und den Luftdruck  $p_0 = 101\,325\text{ Pa}$  umgerechnet werden.

$$\rho_0 = \rho_l \frac{T}{273,15\text{ K}} \frac{101\,325\text{ Pa}}{p_L} \quad (5)$$

## Versuchsvorbereitung

- Zustandsgleichung des idealen Gases
- Begriffserklärung: Druck, Gaspartialdruck, Taupunkt, Sättigungsdampfdruck, relative und absolute Luftfeuchte
- Wie kann die Luftfeuchtigkeit gemessen werden?
- hydrostatischer Druck, Druckeinheiten (Pa, mm Wasser- und Quecksilbersäule)
- Berechnen Sie unter Berücksichtigung der Anteile der Luftbestandteile und deren molaren Massen die molare Masse von Luft! Welcher Wert ergibt sich damit unter Verwendung der Zustandsgleichung des idealen Gases für die Luftnormdichte?
- molare Masse von Wasserdampf

## Aufgaben

- Bestimmen Sie die Taupunkttemperatur  $\vartheta_T$  mittels Taupunkthygrometer<sup>5</sup>!
- Berechnen Sie den Wasserdampfpartialdruck  $p_S(\vartheta_T)$  und den Sättigungsdampfdruck  $p_S(\vartheta)$  mit (2) sowie die relative (3) und die absolute (1) Luftfeuchtigkeit.
- Bestimmen Sie die Luftdichte  $\rho_L$ .
- Berechnen Sie die im gesamten gemessenen Luftvolumen enthaltene Wasserdampfmasse  $m_W$  sowie das zugehörige Volumen  $V_W$ !  
Berechnen Sie damit die Dichte der trockenen Luft.
- Berechnen Sie die Luftnormdichte  $\rho_0$  (5)!
- Führen Sie eine Fehlerabschätzung für die Luftdichte  $\rho_L$  durch!
- Entscheiden Sie anhand Ihrer Messwerte, welches die beiden wesentlichen Fehlerquellen bei der Bestimmung der Luftnormdichte  $\rho_0$  sind. Führen Sie eine Fehlerschätzung unter Berücksichtigung dieser beiden Fehlerquellen durch.

<sup>5</sup>Dieses besteht aus einem mit einer leichtflüchtigen Flüssigkeit gefüllten metallischen Gefäß. Wird durch die Flüssigkeit Luft geblasen, verdampft die Flüssigkeit und kühlt sich dadurch ab. Bildet sich an der Gefäßwand Kondenswasser, kann die Taupunkttemperatur am Thermometer abgelesen werden.