

- ☉ In Bezug auf die Maßeinheit des Wassergehaltes x_w ist zu vermerken, dass er in die Berechnungen maßeinheitenlos eingeht, im Sprachgebrauch aber mit Kilogramm Wasser je Kilogramm trockene Luft, besser noch mit Gramm Wasser je Kilogramm trockene Luft benannt wird.

Die in den praktischen Fällen als konstant zu betrachtende Masse der trockenen Luft m_L berechnet sich mithilfe des Wassergehaltes x_w zu:

$$m_L = \frac{m}{(1 + x_w)}, \quad (64)$$

Der Molanteil ψ_w des enthaltenen Wassers bestimmt sich zu

$$\psi_w = \frac{x_w}{\left(\frac{R_L}{R_w} + x_w\right)}, \quad (65)$$

mit

x_w dem Wassergehalt der feuchten Luft und
 R_L, R_w den spezifischen Gaskonstanten von Luft und Wasser,
 wobei auf eine Herleitung des Sachverhaltes verzichtet wird.

Feuchte Luft kann nur begrenzt Wasser in Form von Wasserdampf aufnehmen. Ist die maximale Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf erreicht, spricht man vom Sättigungszustand der feuchten Luft bzw. von gesättigter feuchter Luft. In diesem Fall ist der Wassergehalt x_w dann der sogenannte Sättigungswassergehalt x_{ws} , mit dessen Berechnung wir uns im Abschnitt 2.2.2 beschäftigen werden.



Für den Sättigungszustand vergeben wir den Index s.

Wie kann man sich die begrenzte Aufnahmefähigkeit feuchter Luft in Bezug auf den Wasserdampf vorstellen?

Führen wir zur Erklärung die Gleichungen (32) und (5) zusammen, die beide für ideale Gasgemische Gültigkeit haben, und stellen sie für die Komponente Wasserdampf auf:

$$\frac{p_D}{p} = \frac{n_D}{n} = \psi_D \quad (66)$$

In dieser Gleichung sind p_D und n_D der Partialdruck bzw. die Stoffmenge des enthaltenen Wasserdampfes im idealen Gasgemisch Feuchte Luft, p der Gesamtdruck und n die Gesamtstoffmenge der feuchten Luft.

Gleichung (66) betrachtend erkennt man, dass eine größere Stoffmenge n_D (gleichbedeutend mit einem größeren Molanteil ψ_D) des enthaltenen Wasserdampfes auch einen größeren Partialdruck p_D desselben nach sich zieht.

Die sich daraus ergebenden Konsequenzen wollen wir an einem Gedankenexperiment besprechen, das wir parallel zu den Erläuterungen im Text mit Abbildung 6 verfolgen.

In Abbildung 6 sehen wir in einem Diagramm den Partialdruck p_D des Wasserdampfes auf der Ordinate aufgetragen, während auf der Abszisse die Temperatur ϑ der feuchten Luft gezeigt wird. Weiterhin zu sehen ist die Dampfdruckkurve von Wasser,

oberhalb derer sich das Flüssigkeitsgebiet und unterhalb das Gebiet des Gases (Dampfes) befinden.

Wir stellen uns einen unbesetzten Versuchsraum vor, in dem die Raumluft anfänglich in Zustand ① als trockene Luft bei dem Druck $p = 1$ bar und der Temperatur $\vartheta = 25^\circ\text{C}$ vorliegt. Die Zusammensetzung der Raumluft ist in den Rechtecken rechts neben dem Diagramm versinnbildlicht. Die Nummerierung dieser Rechtecke von 1 bis 4 korrespondiert mit den Bezeichnungen der Zustände der Raumluft im Diagramm.

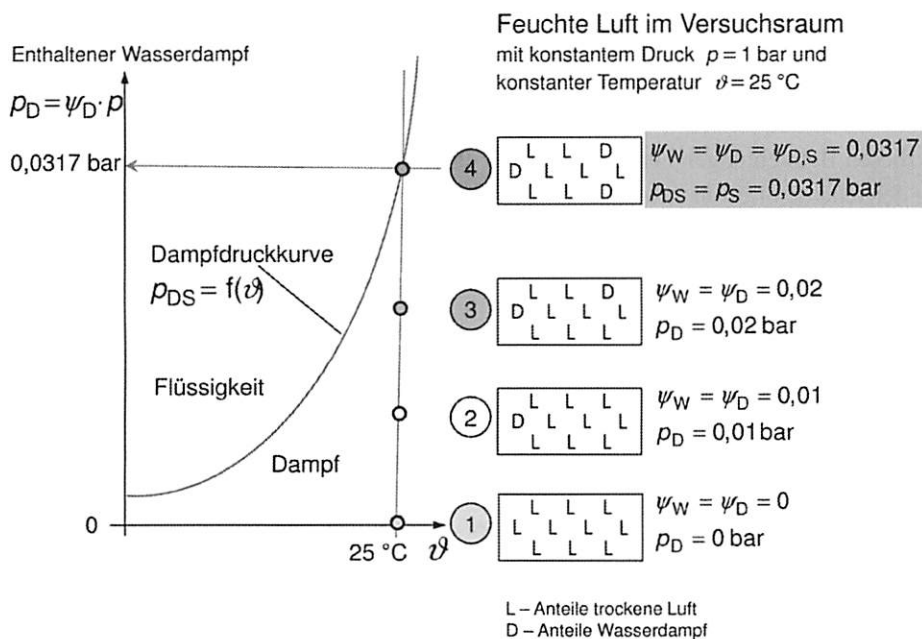


Abbildung 6:
Erreichen des Sättigungs-
zustandes feuchter Luft
durch Erhöhen des Mol-
anteils des enthaltenen
Wasserdampfes infolge
von Raumnutzung

Der Molanteil trockener Luft des Wasserdampfes ist in Zustand ① unter diesen Voraussetzungen naturgemäß $\psi_D = 0$. Betreten nun in unserem Gedankenexperiment wir als Nutzer diesen Raum, so geben wir, wie in Tabelle 5: gezeigt, durch Atmung und Transpiration Wasser an die Luft ab. Infolgedessen steigt der Molanteil ψ_D des in der nun feuchten Luft enthaltenen Wasserdampfes kontinuierlich an. In Übereinstimmung mit Gleichung (66) wächst der Wasserdampfpartialdruck p_D in der feuchten Luft gleichermaßen. Exemplarisch für diesen Vorgang sind die Zustände ② und ③ in Abbildung 6 gezeigt.

Wenn nun durch weiteren Eintrag von Wasserdampf in die feuchte Luft der Partialdruck des enthaltenen Wasserdampfes p_D den Sättigungsdruck von Wasser bei dieser Temperatur erreicht (Zustand ④ in Abbildung 6), nennt man diesen Partialdruck den Sättigungspartialdruck p_{DS} . In unserem Beispiel ist dies in Übereinstimmung mit Tabelle A7a in der Stoffwert- und Diagrammsammlung $p_{DS} = 0,0317$ bar. Der zugehörige Molanteil ist der Molanteil bei Sättigung $\psi_{D,S}$.

Für den Sättigungspartialdruck gilt

$$p_{Ds} \begin{cases} = p_s(\vartheta) & \text{für } \vartheta \geq 0,01^\circ\text{C} \\ = p_{\text{subl}}(\vartheta) & \text{für } \vartheta \leq 0,01^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (67)$$

Werte für den Sättigungspartialdruck p_{Ds} von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ sind in Tabelle A15 der Stoffwert- und Diagrammsammlung im AKAD Campus zusammengestellt.

Der Sättigungspartialdruck von Wasser beträgt bei der Temperatur $\vartheta = 17^\circ\text{C}$ der feuchten Luft

$$p_{Ds}(17^\circ\text{C}) = p_s(17^\circ\text{C}) = 1,93829 \text{ kPa}$$

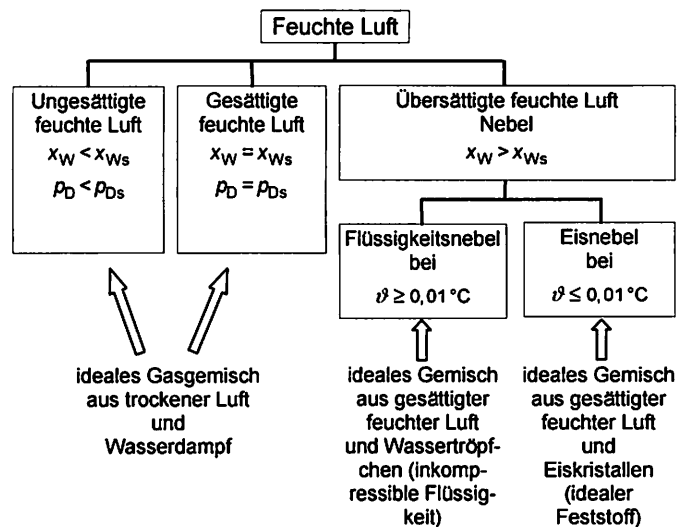
und bei der Temperatur $\vartheta = -17^\circ\text{C}$ der feuchten Luft

$$p_{Ds}(-17^\circ\text{C}) = p_{\text{subl}}(-17^\circ\text{C}) = 0,13722 \text{ kPa}.$$

Durch weitere Zufuhr von Wasser würde der Molanteil bei Sättigung $\psi_{D,S}$ überschritten, d. h. $\psi_W > \psi_{D,S}$. Der den Sättigungsmolanteil $\psi_{D,S}$ überschreitende Anteil von Wasser ($\psi_W - \psi_{D,S}$) wird aus dem Gemisch Feuchte Luft bei $\vartheta \geq 0,01^\circ\text{C}$ als Wasserflüssigkeit und bei $\vartheta \leq 0,01^\circ\text{C}$ als Wassereis ausgeschieden.

Aus diesen Betrachtungen heraus ergibt sich die in Abbildung 7 gezeigte Eingruppierung der feuchten Luft in Arten, deren thermodynamische Eigenschaften in den Folgeabschnitten genauer untersucht werden.

Abbildung 7:
Übersicht über Arten
von feuchter Luft



Hinweis: Bei $\vartheta = 0,01^\circ\text{C}$ (exakt) kann übersättigte feuchte Luft als Gemisch aus Flüssigkeitsnebel und Eisnebel vorliegen.

Ist der Wassergehalt x_W kleiner als der Sättigungswassergehalt x_{Ws} , d. h. $x_W < x_{Ws}$, so bezeichnet man das Gemisch feuchter Luft als ungesättigte feuchte Luft. In Übereinstimmung mit den oben gemachten Ausführungen und Gleichung (66) ist dann der Wasserdampfpartialdruck p_D auch kleiner als der Sättigungspartialdruck der Temperatur ϑ , d. h. $p_D < p_{Ds}(\vartheta)$. Unter den Bedingungen $x_W = x_{Ws}$ bzw. $p_D = p_{Ds}$ liegt gesättigte feuchte Luft vor. Sowohl ungesättigte als auch gesättigte feuchte Luft sind ein ideales Gasgemisch aus trockener Luft und Wasserdampf. Da das gesamte Wasser in Form von Wasserdampf vorliegt, gilt für beide Arten feuchter Luft $m_W = m_D$.

Übersteigt der Wassergehalt der feuchten Luft x_W den Sättigungswassergehalt x_{Ws} , d. h. $x_W > x_{Ws}$, liegt übersättigte feuchte Luft, auch Nebel genannt, vor. Ist die Temperatur $\vartheta \geq 0,01^\circ\text{C}$, entsteht ein ideales Gemisch aus gesättigter feuchter Luft und Wassertröpfchen (inkompressible Flüssigkeit), das als Flüssigkeitsnebel bezeichnet