

Wie kann man die - für das Trocknen wesentlichen - Eigenschaften feuchter Luft quantitativ beschreiben ?

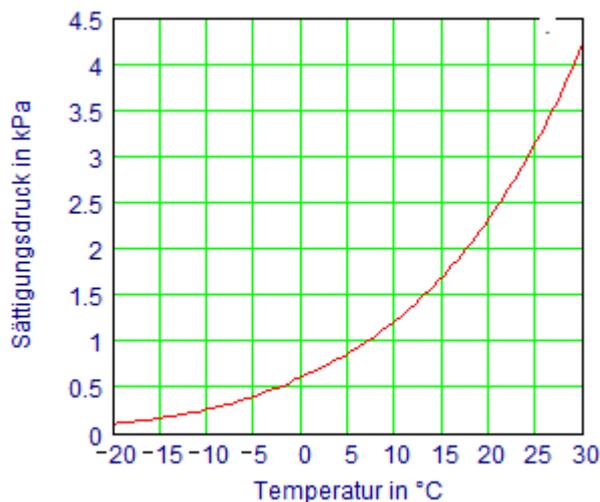
Einige ausgewählte Begriffe zur Einführung

Was ist ungesättigte, gesättigte und übersättigte feuchte Luft ?

Luft besteht aus verschiedenen - in üblichen Druck- und Temperaturbereichen - immer gasförmigen Stoffen und Wasser. Das Wasser kann dabei in allen drei Aggregatzuständen auftreten. Der messbare Gesamtdruck in einem Gasgemisch ist die Summe der sogenannten Partialdrücke. Das sind die Drücke, die man im gleichen Volumen bei gleicher Temperatur messen würde, wenn sich jeweils nur ein chemisch reines Gas darin befindet.

Gibt es in der Luft nur Wasserdampf, herrscht klare Sicht. Die Luft ist **ungesättigt** und kann noch Wasserdampf aufnehmen. Die relative Luftfeuchte φ ist kleiner als 100%.

Bei "Nebel" und Temperaturen über 0°C ist neben dem immer vorhandenen Wasserdampf noch flüssiges Wasser in Form kleinster Tröpfchen vorhanden, bei 0°C können erste Eiskristalle neben den Flüssigkeitströpfchen vorkommen und bei Temperaturen unter 0°C sind bei Nebel nur noch Eiskristalle vorhanden.



Das Wasser verhält sich dabei (mit guter Näherung) so, als wären die anderen Gase nicht vorhanden. Über Wasserflüssigkeit und Wassereis ist immer Wasserdampf vorhanden, dessen Druck - der Sättigungsdruck - (mit guter Näherung) nur von der Temperatur des Wassers abhängt.



Wenn Wasserflüssigkeit und/oder Wassereis in einem geschlossenen, luftgefüllten Raum vorhanden ist, wird solange Wasserdampf in die Luft abgegeben, bis der Wasserdampfpartialdruck dem nur von der Temperatur abhängigen Sättigungsdruck entspricht. Die Luft ist dann nach geraumer Zeit mit Wasserdampf gesättigt. Diese Luft heißt **gesättigte feuchte Luft**. Sie kann Wasser in Form von Wasserdampf nicht mehr aufnehmen. Ihre relative Feuchte beträgt $\varphi = 1$ (üblich mit 100% bezeichnet), ihre Temperatur ist die **Taupunkttemperatur**.

Kühlt man gesättigte feuchte Luft ab, so wird je nach Temperatur Wasserflüssigkeits- und/oder Wassereisnebel sichtbar. In der Fachsprache heißt wassernebelhaltige Luft **übersättigte feuchte Luft**. Wenn diese Abkühlung beispielsweise an Raumboflächen auftritt, werden diese nasser.

In "Kondensationstrocknern" wird die Taupunkttemperaturunterschreitung gekoppelt mit Wasserflüssigkeitsabscheidung zur Luftentfeuchtung genutzt.

Je nach Raumluftzustand muss ungesättigte feuchte Luft mehr oder weniger abgekühlt werden, um die Taupunkttemperatur zu erreichen. Je geringer die relative Luftfeuchte ist, desto tiefer liegt die Taupunkttemperatur.

Betrachten wir zunächst nur die "innere" Diagrammfläche. Die Ziffern an der waagerechten Achse geben den mit dem Symbol x bezeichneten Wassergehalt in kg Wasser (gesamtes H_2O gasförmig+flüssig+fest) je kg trockene Luft an.

An der senkrechten Achse lesen wir oben " t in $^{\circ}C$ " und darunter " h in kJ/kg_L ". Die Ziffern quantifizieren demnach zwei physikalische Größen. Das Symbol t ist unschwer als die CELSIUS-Temperatur zu deuten.

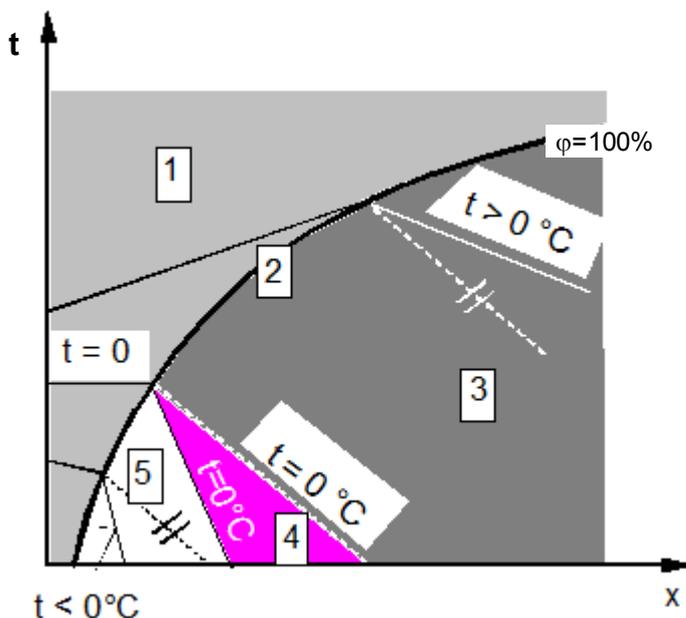
Die zweite Bedeutung der senkrechten Achse wollen wir vorerst nicht beachten.

Für die ganz Neugierigen hier schon mal eine kurze Erklärung:

Das Symbol h steht für die sogenannte Enthalpie, bezogen auf die Masse der trockenen Luft. Enthalpie ist die mit einem Stoffstrom transportierte Energie.

Jeder Punkt in diesem Diagramm ist Abbild feuchter Luft eines bestimmten "Zustands".

Zunächst wird in einem nicht maßstäblichen Bild gezeigt, wo wir in diesem Diagramm die oben erläuterten "Luftarten" finden.



Mit der Ziffer 2 ist hier die im obigen Diagramm dargestellte Linie $\varphi=100\%$ bezeichnet. Auf dieser Linie werden die Zustände gesättigter feuchter Luft abgebildet. Sie heißt **Sättigungslinie**.

Die mit unterschiedlichen Farben hinterlegten und ebenfalls mit Ziffern benannten Flächenbereiche sind:

- 1 - ungesättigte feuchte Luft
- 3 bis 5 - übersättigte feu. Lu. mit:
 - Flüssignebel (3) bei $t > 0^{\circ}C$
 - Mischnebel (4) bei $t = 0^{\circ}C$
 - Eisnebel (5) bei $t < 0^{\circ}C$.

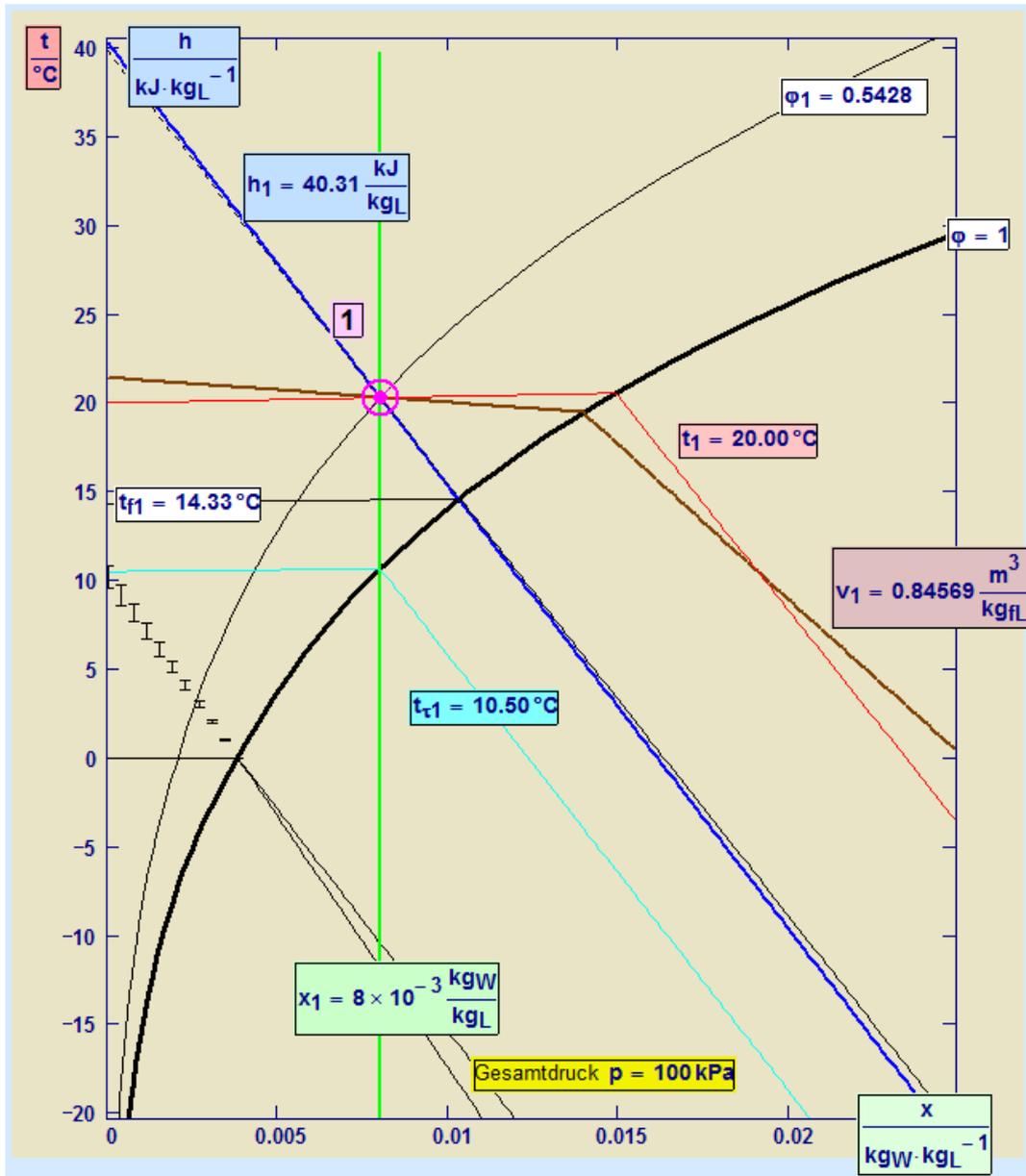
Um für ungesättigte feuchte Luft einen Punkt in ein solches Diagramm eintragen zu können, messen wir mit handelsüblichen (möglichst kalibrierten) Messgeräten die CELSIUS-Temperatur t und die relative Luftfeuchte φ .

Der bei "Wetterstationen" meist auch noch verfügbare Luftdruck wird hier nicht berücksichtigt. Weil seine Schwankungen nur unwesentlichen Einfluß auf hier interessierende Größen haben, benutzen wir nur das eine - exakt nur für 100 kPa gültige - Diagramm.

Einige Besonderheiten des MOLLIER- h,x -Diagramms muss man kennen, um mit t und φ den Luftzustandspunkt richtig einzutragen:

1. Linien konstanter Temperatur (im großen Diagramm rot) heißen Isothermen und haben an der Sättigungslinie einen Knick.
2. Nur die $0^{\circ}C$ -Isotherme verläuft im Bereich ungesättigter feuchter Luft waagrecht; im Bereich übersättigter feuchter Luft gibt es einen (keilförmigen) $0^{\circ}C$ -Bereich.
3. Isothermen für $t > 0^{\circ}C$ steigen im Bereich ungesättigter feuchter Luft (leicht) nach rechts - d.h., mit zunehmendem Wassergehalt - an, Isothermen für $t < 0^{\circ}C$ fallen ab.

Im nachfolgenden Diagramm ist mit $t = 20^{\circ}C$ und $\varphi = 54.28\%$ ein Luftzustand eingetragen und mit der Ziffer 1 bezeichnet.



Durch den Punkt 1 sind außer der (roten) Isotherme und der (dünnen schwarzen) φ -Linie weitere Linien eingetragen. Entlang einer solchen Linie haben die jeweiligen physikalischen Größen einen konstanten Wert, der mit Bezug auf den speziellen Punkt 1 mit einem tiefgestellten Index am Symbol der physikalischen Größe im Bild angegeben ist.

hier braune Linie, im "großen" Diagramm blau:

$$v(\text{spezifisches_Volumen}) = \frac{\text{Volumen}}{\text{Feuchtluftmasse}}$$

Kehrwert ist die Dichte; dichtere Luft sinkt nach unten.

BEACHTET: Die braune Linie hat im Bereich übersättigter feuchter Luft einen zweiten Schnittpunkt mit der roten Isotherme. => Wolken können in ungesättigter Luft gleicher Temperatur schweben.

BEACHTEN:

Entlang einer Isotherme nimmt mit wachsender Feuchte das spezifische Volumen zu. Feuchtere ungesättigte Luft einer bestimmten Temperatur hat demnach eine geringere Dichte. Konsequenz:

In einem Raum mit (etwa) konstanter Lufttemperatur - beispielsweise in einem ungelüfteten Keller - wird sich unter der Kellerdecke die feuchteste Luft sammeln. Durch Öffnen der Kellertür kann so Wasserdampf in die oberen Etagen gelangen und dort im schlimmsten Fall Bauteile so befeuchten, dass Schimmel auftritt.

hier blaue Linie, im "großen" Diagramm grün:

$$h(\text{spezifische_Enthalpie}) = \frac{\text{Enthalpie}}{\text{Trockenluftmasse}}$$

Man verfolgt die Linie bis zur senkrechten Achse und liest dort den speziellen Wert ab.

hier und im "großen" Diagramm grüne senkrechte Linie:

$$x(\text{Wassergehalt}) = \frac{\text{gesamte_Wassermasse}}{\text{Trockenluftmasse}}$$

Der spezielle Wert ist auf der waagerechten Achse ablesbar.

Im Schnittpunkt der grünen senkrechten Linie mit der Sättigungslinie ($\varphi = 1 = 100\%$) findet man die Isotherme der zum Luftzustand 1 gehörenden **Taupunkttemperatur** ($t_{\tau 1} = 10.5^\circ\text{C}$).

Um den speziellen Wert aus dem Diagramm ablesen zu können, verfolgt man diese Isotherme bis zur senkrechten Achse.

Auf die im Diagramm außerdem noch eingetragene Feuchtkugelttemperatur gehen wir hier nicht weiter ein.

Nur der Hinweis:

Sie spielt bei Luftzustandsmessungen mit dem Aspirationspsychrometer nach ASSMANN eine Rolle.

Weil Differenzen von Wasserdampfpartialdrücken für das Trocknen eine besondere Bedeutung haben, wird hier erläutert, wie **Wasserdampfpartialdrücke** ermittelt werden können.

Jedem Wert des Wassergehaltes x in ungesättigter und gesättigter feuchter Luft ist bei festliegendem Gesamtdruck p ein bestimmter Wasserdampfpartialdruck p_D zugeordnet :

$$p_D = \frac{x}{0.622 + x} \cdot p.$$

Um dem Diagrammnutzer die Auswertung dieser Gleichung zu ersparen, sind auf einer zweiten waagerechten Skale die Wasserdampfpartialdrücke (gemäß dieser Gleichung und des Gesamtdruckes $p = 0.1\text{MPa}$) angegeben.

Bei übersättigter feuchter Luft der Temperatur t ist die Gasphase gesättigte feuchte Luft der gleichen Temperatur und der Wasserdampfpartialdruck entspricht dem im ersten Diagramm dargestellten Sättigungsdruck $p_D = p_S(t)$.

Bei bekannter relativer Luftfeuchte φ^* kann der Wasserdampfpartialdruck ungesättigter feuchter Luft der Temperatur t^* auch berechnet werden aus:

$$p_{D^*} = \varphi^* \cdot p_S(t^*)$$

PS:

Der aufmerksame Leser wird bemerkt haben, dass der "Randstreifen mit den blauen Strichen" nicht erwähnt wurde.

Er hat für die Gebäudetrocknung keine Bedeutung.

[zurück zur Startseite](#)

Haftungsausschluss