

Lernzettel

Feuchte Luft und Hygrothermodynamik:
psychrometrische Größen,
Mollier-/h-x-Diagramm, Klima- und
Lüftungstechnik

Universität:	Technische Universität Berlin
Kurs/Modul:	Technische Wärmelehre (9 LP)
Erstellungsdatum:	September 20, 2025



Zielorientierte Lerninhalte, kostenlos!
Entdecke zugeschnittene Materialien für deine Kurse:

<https://study.AllWeCanLearn.com>

Technische Wärmelehre (9 LP)

Lernzettel: Feuchte Luft und Hygrothermodynamik: psychrometrische Größen, Mollier-/h-x-Diagramm, Klima- und Lüftungstechnik

(1) Grundbegriffe der feuchten Luft. Feuchte Luft besteht aus Trockenluft und Wasserdampf. Typische Größen sind:

- *Trockenlufttemperatur* T_a (engl. dry-bulb temperature),
- *Feuchtegehalt* bzw. *Feuchteanteil* x (auch *Spezifische Feuchte* oder *Wasserdampfgehalt*), gemessen als kg Wasser pro kg Trockenluft,
- *Feuchte Lufttemperatur* (manchmal verwendet als T_w oder T_{wb} für die nasse Temperatur, siehe Wet-Bulb),
- *Partialdruck des Wasserdampfes* p_v ,
- *Sättigungsdampfdruck* $p_{v,\text{sat}}(T)$ – der Druck, bei dem Wasserdampf bei Temperatur T gerade kondensiert,
- *Relative Feuchte* φ – Verhältnis von p_v zu $p_{v,\text{sat}}(T)$:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{v,\text{sat}}(T)}.$$

Beziehung zwischen x und p_v (Hydrothermodik der Luft):

$$x = \frac{0.622 p_v}{p - p_v}, \quad p_v = \frac{p x}{0.622 + x},$$

wobei p der Gesamtdruck der Luft ist (typisch ca. 101,3 kPa).

Zusammenhang zwischen Enthalpie h der feuchten Luft, Temperatur T und Feuchtegehalt x :

$$h = c_{p,\text{da}} T + x (h_{fg} + c_{p,v} T),$$

mit typischen Werten:

$$c_{p,\text{da}} \approx 1.006 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}, \quad c_{p,v} \approx 1.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}, \quad h_{fg} \approx 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ (bei ca. } 0 \sim 60^\circ\text{C)}.$$

Näherungsweise Schreibweise (häufig verwendet):

$$h \approx 1.006 T + x (2501 + 1.86 T),$$

wobei T in $^\circ\text{C}$ und h in $\text{kJ kg}_{\text{da}}^{-1}$ angegeben ist.

(2) Psychrometrische Größen und Zusammenhang.

- *Relative Feuchte* φ – Maß für den Wasserdampfanteil im Verhältnis zur Sättigung.
- *Dew Point* T_{dp} – Temperatur, bei der Wasserdampf zu kondensieren beginnt (wenn Luft abkühlt bei konstanter Druck).
Man setzt dann $p_v = p_{v,\text{sat}}(T_{\text{dp}})$.
- *Enthalpie* h – Wärmehalt der feuchten Luft pro kg Trockenluft (siehe obige Gleichung).

- *Wasserdampfgehalt* bzw. *Feuchtegehalt* x – Masse Anteil an Wasserdampf pro Masse Trockenluft.
- *Sättigungsdampfdruck* $p_{v,\text{sat}}(T)$ – Funktion der Temperatur.

Beziehung zwischen T , φ und p_v :

$$p_v = \varphi p_{v,\text{sat}}(T), \quad x = \frac{0.622 p_v}{p - p_v}.$$

Beispielhafte Berechnung (Raumluft bei 22 °C, $\varphi \approx 0.50$, Druck $p = 101,3$ kPa):

$$p_v \approx 0.50 p_{v,\text{sat}}(22^\circ\text{C}) \approx 0.50 \times 2.64 \text{ kPa} \approx 1.32 \text{ kPa},$$

$$x \approx \frac{0.622 \times 1.32}{101.3 - 1.32} \approx 0.0082 \text{ kg water kg}_{\text{da}}^{-1},$$

$$h \approx 1.006 \times 22 + 0.0082 (2501 + 1.86 \times 22) \approx 22.1 + 0.0082 \times 2542 \approx 43.0 \text{ kJ kg}_{\text{da}}^{-1}.$$

(3) Mollier-/h-x-Diagramm. Das Mollier-Diagramm (h-x) stellt die Enthalpie h gegen den Feuchtegehalt x dar. Typische Merkmale:

- Gerade Linien konstanter Temperatur T verlaufen annähernd waagrecht.
- Linien konstanter relativer Feuchte φ verlaufen schräg.
- Die Abhängigkeit $h(T, x)$ ergibt sich direkt aus der obigen Gleichung.

Lesen und Anwendung:

- Gegeben: T und x – dann h nach

$$h \approx 1.006 T + x (2501 + 1.86 T).$$

- Gegeben: T und h – dann x durch Umstellen von

$$h - 1.006 T = x (2501 + 1.86 T) \Rightarrow x = \frac{h - 1.006 T}{2501 + 1.86 T}.$$

Hinweis zur Praxis:

$$T \in [-20^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}], \quad x \in [0, 0.030] \frac{\text{kg}}{\text{kg}_{\text{da}}}.$$

(4) Klima- und Lüftungstechnik – Anwendungen und Kennlinien.

- Zielgrößen in Gebäuden: Komfort (Temperaturbereich), Innenraumpflege (φ und T stabil halten),
- Temperatur- und Feuchtereduktion durch Zuluft, Nachheizung/Nachfeuchte, Entfeuchtung.
- Berechnungen mit der Größe h und dem Feuchtegehalt x ermöglichen Aussagen zu *Zuluftmengendurchsatz*, *Luftwechselrate* und *Feuchtebilanz*.
- Designkriterien: - Raumkomfort (Dauerfeuchte, Raumluftqualität), - Vermeidung von Kondensation an Bauteilen (Taupunktkontrolle), - Energieeffizienz durch optimierte Klimatisierung.

(5) Messung und Bewertung psychrometrischer Größen.

- Messgrößen: T_a (Trockenlufttemperatur), T_w bzw. T_{wb} (Feuchte Luft-/Nasskugeltemperatur), p_v (Wasserdampf-Druck), φ (relative Feuchte), x (Feuchtegehalt), h (Enthalpie).
- Messprinzipien: Hygromsensoren (kapazitiv, resistiv, keramisch), Kalibrierung über Referenzbedingungen, Temperaturkompensation.
- Praxis: Aus Messpunkten von T und φ lässt sich x bzw. p_v berechnen, anschließend h berechnen und Lüftungs- bzw. Kondensationsrisiken einschätzen.

(6) Beispiel-Anwendung: Konditionierte Zuluft. Gegeben:

- Zuluft $T = 12^\circ\text{C}$,
- gewünschte relative Feuchte $\varphi = 60\%$,
- Gesamtdruck $p = 101,3 \text{ kPa}$.

Bestimme grob p_v , x und h der Zuluft.

$$p_v \approx 0.60 p_{v,\text{sat}}(12^\circ\text{C}),$$

$$x = \frac{0.622 p_v}{p - p_v},$$

$$h \approx 1.006 T + x (2501 + 1.86 T).$$

Hinweis: Für exakte Werte ist $p_{v,\text{sat}}(T)$ aus Tabellen zu verwenden bzw. eine Näherungsgleichung zu verwenden.

Hinweis zur Sicherheit und Praxis. In der techn. Wärmelehre ist die korrekte Berücksichtigung von Feuchte- und Kondensationseffekten entscheidend. Nutze das Mollier-/h-x-Diagramm als Arbeitsinstrument zur Abschätzung von Luftzuständen, Kondensationsthead und Energieströmen.