

Prof.(FH) Dipl.-Ing. Dr. Johann Geyer
Pirching a. T. 113, 8081 Heiligenkreuz a. Waasen

Tel./Fax.: 03134/3362
066912169546

VARIATION DER RAUMLUFTZUSTÄNDE IN ABHÄNGIGKEIT VON INNEREN UND ÄUßEREN EINFLÜSSEN AN STANDORT WIEN

Auftraggeber: Fa. Frank & Partner

Dipl.-Ing. Dr. Johann Geyer

Pirching, 29.5.2003

(TBG0305_B01)

1 Allgemeines

Sehr oft wird zur Beurteilung eines behaglichen Raumklimas als einziger Parameter die Raumlufttemperatur herangezogen. Diese sehr stark vereinfachende Betrachtungsweise ist im Allgemeinen nicht zulässig, da es eine Reihe von zusätzlichen Behaglichkeitskriterien gibt, die ganz wesentlich das Behaglichkeitsempfinden beeinflussen. Die wichtigsten Raumluftparameter sind neben der Raumtemperatur (die eine Kombination aus Raumlufttemperatur und Temperatur der Raumumschließungsflächen darstellt) die Raumluftfeuchte und die Geschwindigkeit der Raumluft. Nur eine geeignete Kombination dieser Parameter sichert eine für die jeweilige Anforderung des Nutzers behagliche Umgebung.

Neben den Anforderungen des Menschen bezüglich einer behaglichen Umgebung sind gegebenenfalls zusätzliche Anforderungen zu beachten, die auf Grund von besonderen Anforderungen von Geräten bzw. Einrichtungsgegenständen einzuhalten sind.

In den weiteren Ausführungen soll im Besonderen auf die Raumluftfeuchte und die möglichen Einflüsse, die diese verändern eingegangen werden.

1.1 Luftfeuchte

In der uns umgebenden Luft ist immer auch mehr oder weniger Wasser in Form von Wasserdampf enthalten. Die Luft kann jedoch nicht beliebig viel Wasser lösen. Die maximal lösbare Wassermenge ist abhängig vom Luftdruck und der Lufttemperatur. Je höher die Lufttemperatur, desto mehr Wasser kann in Luft gelöst werden.

Die Luftfeuchte kann prinzipiell durch zwei verschiedene Kenngrößen beschreiben werden. Der absolute Feuchtegehalt (meist mit „x“ bezeichnet) stellt den tatsächlichen Feuchtegehalt der Luft dar, nämlich wie viel Gramm Wasser in einem Kilogramm Luft enthalten ist. Daneben wird vielfach die relativ Feuchte der Luft (meist mit „φ“ bezeichnet) verwendet. Die relative Feuchte der Luft kann interpretiert werden als das Verhältnis der tatsächlichen Luftfeuchte zur maximal möglichen Luftfeuchte bei einem bestimmten Luftdruck und einer bestimmten Lufttemperatur. Die Größe der bei den verschiedenen Randbedingungen maximal in der Luft lösbaren Wassermenge kann nach physikalischen Gesetzen berechnet werden. Üblicherweise werden die Zustände im so genannten „h-x-Diagramm“ dargestellt (Abbildung 1). In diesem Diagramm lassen sich die Luftzustände und die Veränderung der Luftzustände bei diversen Luftbehandlungen (Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten) einfach darstellen. Als x-Achse ist dabei der absolute Feuchtegehalt x als y-Achse die Lufttemperatur dargestellt. Weiters sind unter anderem die Linien mit konstanter relativer Luftfeuchtigkeit (in %) eingezeichnet. Die Kurve mit 100% rel. Luftfeuchtigkeit stellt jene Luftzustände mit der für jede Lufttemperatur maximal möglichen Luftfeuchtigkeit dar. Luftzustände rechts dieser 100%-Linie sind nur möglich, wenn dabei auch Wasser in flüssiger Form (Nebel) oder bei Temperaturen unter 0°C in fester Form vorliegen (Schnee).

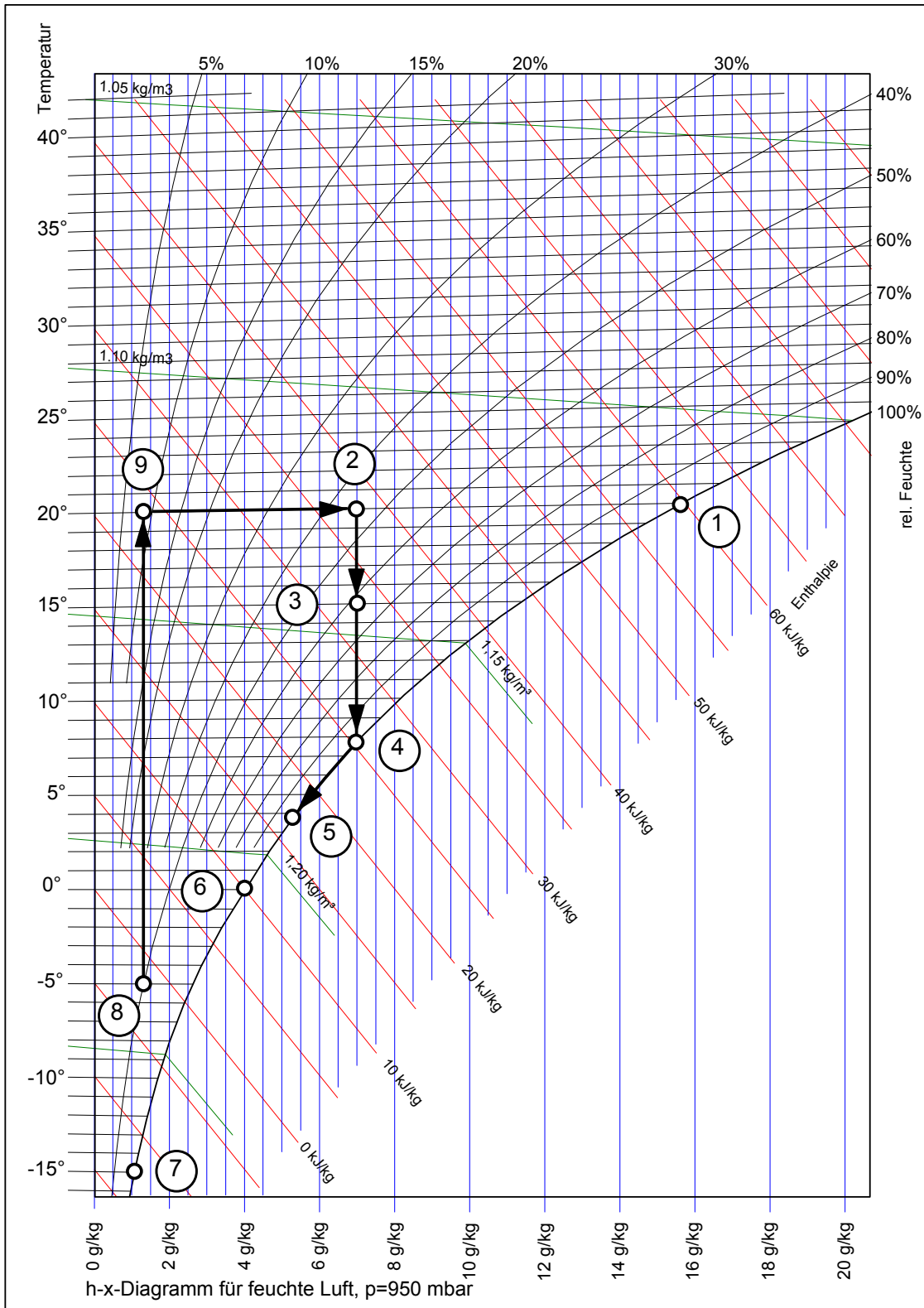


Abbildung 1: h-x-Diagramm für feuchte Luft

Aus Abbildung 1 lässt sich z.B. einfach ablesen, dass 1kg Luft mit einer Temperatur von 20°C maximal ca. 15,6g Wasser aufnehmen kann (Punkt 1), dabei beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 100%.

Bei einer Lufttemperatur von 0°C kann die Luft nur max. 4g Wasser je kg Luft aufnehmen (Punkt 6), bei einer Lufttemperatur von -15°C sinkt dieser Wert auf ca. 1,08g/kg (Punkt 7).

Wenn Luft abgekühlt wird, ohne dass dabei gleichzeitig Feuchtigkeit zu- oder abgeführt wird, so erhöht sich dadurch die relative Feuchtigkeit (Zustand 2 nach 3), bei entsprechender weiterer Abkühlung erreicht die Luft bei einer bestimmten Temperatur eine relative Feuchtigkeit von 100%. Man nennt diesen Punkt den Taupunkt bzw. die Taupunkttemperatur (Zustand 4). Bei einer weiteren Abkühlung würde sich rechnerisch eine Luftfeuchtigkeit von über 100% ergeben. Dies ist jedoch nicht möglich, der Luftzustand ändert sich entlang der 100%-Linie (nach Zustand 5), wobei das überschüssige Wasser in flüssiger Form ausgeschieden wird (Tauwasserbildung, Nebel).

Wird Luft ohne Feuchtezu- oder -abfuhr erwärmt, so verringert sich die relative Luftfeuchte. Wird beispielsweise Luft vom Zustand -5°C, 50% rel. Feuchte (Zustand 8) auf 20°C erwärmt so sinkt dabei die relative Luftfeuchte auf ca. 9%.

Wird der Luft Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf zugeführt, so ergibt sich dabei praktisch keine Änderung der Lufttemperatur, es steigt bei gleich bleibender Temperatur die absolute und die relative Feuchtigkeit (Zustand 9 nach Zustand 2).

1.2 Raumlufffeuchte

In den einschlägigen Normen und Richtlinien wird die relative Raumlufffeuchte für Wohn- bzw. Aufenthaltsbereiche festgelegt. In der DIN 4108-3 wird für normale Wohnbauten ein Raumluffzustand von 20°C und 50% Feuchte festgelegt, wobei bezüglich der rel. Luftfeuchte allgemein von einer zulässigen Bandbreite von 40% bis 60% ausgegangen wird. Diese rel. Luftfeuchte bei üblichen Raumlufftemperaturen wird vom Menschen als behaglich empfunden und ist auch im Allgemeinen für die im Bau verwendeten Werkstoffe bzw. für die im Gebäude befindlichen Einrichtungsgegenstände verträglich. Größere Abweichungen von diesen Sollwerten über einen längeren Zeitraum, sowohl in Richtung größerer Luftfeuchte, als auch in Richtung zu geringer Luftfeuchte führen einerseits zu unbehaglichen Raumluffzuständen, andererseits können Schäden an der Bausubstanz oder an Einrichtungsgegenständen verursacht werden. Eine zu große Luftfeuchte wird als unangenehm schwül empfunden und es besteht insbesondere in der kalten Jahreszeit die Gefahr von Schimmelbildung. Darüber hinaus kommt es bei zunehmender Luftfeuchte zu einer entsprechenden Feuchteaufnahme der umgebenden Baustoffe und Materialien, was zu Schäden führen kann.

Eine zu geringe Raumlufffeuchte wird (unter ca. 30%) als zu trocken empfunden. Es kommt dabei vor allem zu einer Austrocknung und Reizung der Schleimhäute. Bei anhaltend trockenem Raum-

Klima diffundiert Feuchtigkeit aus der Bausubstanz und sonstigen Bauteilen bzw. Einrichtungen in die Raumluft, wodurch diese ausgetrocknet werden.

Die Größe der Raumluftfeuchte, die sich in einem Gebäude bzw. einem Raum einstellt ist von mehreren Faktoren abhängig.

Die Haupteinflussgrößen sind:

- Feuchtequellen (oder Feuchtesenken) im Raum
- Durchlüftung (Luftaustausch mit Außenluft)
- Zustand der Außenluft

Die Kombination dieser verschiedenen Einflüsse ergibt den jeweiligen Feuchtezustand der Raumluft. Abhängig von der Größe der einzelnen Faktoren ergeben sich fallweise extrem unterschiedliche Werte der Raumluftfeuchte.

1.2.1 Feuchtequellen in Gebäuden

In einem Gebäude bzw. einer Wohnung sind fallweise verschiedene Feuchtequellen vorhanden. Eine wesentliche Feuchtequelle stellen die Personen in einem Gebäude dar. Je nach Tätigkeit (Aktivitätsgrad) gibt ein Mensch 30 – 300 Gramm Wasser je Stunde in Form von Wasserdampf an die Umgebung ab. Bei leichten Tätigkeiten kann man von einem Wert von ca. 40g/h ausgehen (VDI-2078). Dies bedeutet, dass pro Person in 24 Stunden eine Wassermenge von ca. 1 Liter an die Umgebung abgegeben wird.

Weitere wichtige Feuchtequellen ergeben sich durch menschliche Aktivitäten wie Kochen, Waschen, Duschen, feuchte Reinigung usw. Wesentliche Wassermengen werden gegebenenfalls auch durch Zimmerpflanzen oder offene Wasserflächen (z.B. Aquarium) abgegeben.

Feuchtequelle	Feuchteabgabe [g/h]
Mensch, je nach Aktivität	30 - 300
Trocknende Wäsche (4,5 kg-Trommel)	
- geschleudert	50 - 200
- tropfnass	100 - 500
Kochen, Backen	600 - 1500
Zimmerblumen, Topfpflanzen	5 - 20
Aquarium, je m ²	ca. 40

Abbildung 2: Wasserabgabe in Wohnräumen

1.2.2 Raumlufzustände im Winter

Welcher Raumlufzustand sich in einem Raum in der kalten Jahreszeit tatsächlich einstellt, ist vor allem davon abhängig, welche Feuchtequellen in einem Gebäude vorliegen und wie groß die Durchlüftung (Luftaustausch mit Außenluft) ist. Dabei sind insbesondere zwei Extremfälle zu beachten.

- **Durchlüftung bei geringen Feuchtequellen im Gebäude**

Jedes Gebäude bzw. jeder Raum muss zur Aufrechterhaltung der Luftqualität (Lufthygiene) entsprechend belüftet werden. Als Maß für die Lüftung wird in der Raumluftechnik die so genannte Luftwechselzahl verwendet. Die Luftwechselzahl gibt an, wie oft je Stunde das gesamte Raumvolumen mit frischer Außenluft ausgetauscht wird.

Bezüglich der Bemessung der erforderlichen Luftmengen unterscheidet man zwischen „Grundlüftung“ und „Betriebslüftung“. Als Grundlüftung versteht man die Mindestdauerlüftung, die zur Einhaltung der hygienischen und bauphysikalischen Grenzwerte notwendig ist. In der ÖNORM M7636 ist dafür mindestens ein 0,5-facher stündlicher Außenluftwechsel (Luftwechselzahl=0,5 1/h) vorzusehen.

Unter Betriebslüftung ist der deutlich höhere erforderliche Luftvolumenstrom zu verstehen, der während der Nutzung von Bad, Küche und WC notwendig wird. Bezogen auf die Gesamtnutzungsdauer des Gebäudes (24 Stunden) sind die Zeiten in denen die Betriebslüftung aktiviert werden muss eher von untergeordneter Bedeutung. In der ÖNORM wird als Mittelwert über 24h ein 0,7-facher stündlicher Außenluftwechsel angegeben.

Aus den erforderlichen bzw. den tatsächlichen Luftwechselzahlen kann einfach auf jene Luftmenge zurückgerechnet werden, die stündlich von außen in ein Gebäude eingebracht wird. Diese Außenluft wird im Winter durch das Heizungssystem auf Raumlufthtemperatur erwärmt. Die für die Erwärmung dieser Luft benötigte Heizleistung bzw. Heizenergie wird als „Lüftungswärmeverlust“ bezeichnet.

Für ein Wohngebäude mit einer Wohnfläche von beispielsweise 150m² und einer Raumhöhe von 2,5m ergibt sich ein gesamtes Raumvolumen von 375m³. Bei einer angenommenen Luftwechselzahl von 0,7 1/h wird dabei das Gebäude mit einer Außenluftmenge von 262,5 m³ je Stunde durchströmt. Wenn man für einen Wintertag einen Außenluftzustand von z.B. -0°C und 70% rel. Feuchte annimmt (Abbildung 4), so ergibt sich dabei ein absoluter Feuchtegehalt von ca. 2,8g/kg. Diese Außenluft wird durch die Erwärmung im Gebäude auf eine rel. Feuchte von 17,2% getrocknet. Um eine gewünschte relative Luftfeuchtigkeit von wenigstens 40% zu erreichen, muss diese Luft entsprechend befeuchtet werden. Dazu ist im hier angenommenen Fall der Luft eine Wassermenge von 1,1 kg/h bzw. 26,4 kg je Tag zuzuführen. Diese Wasserzufuhr muss durch die vorhandenen Feuchtequellen abgedeckt werden. Aus den in Kap. 1.2.1 angeführten Werten für Feuchtequellen lässt sich leicht erkennen, dass in modernen Haushalten die vorhandenen Feuchtequellen nicht ausreichen um diese Wassermenge bereitzustellen.

In Abbildung 3 ist beispielhaft die Berechnung für ein Wohnhaus dargestellt. dabei wurde bereits der sehr optimistische Fall angenommen, dass sich permanent vier Personen im Gebäude aufhalten. Wie das Beispiel zeigt ergibt sich dabei eine Wasseremission an die Raumlufte von 7,24kg pro Tag. Dies entspricht einer mittleren Feuchtigkeitsabgasabgabe von 301g/h. Die erforderliche Wassermenge von 1,1kg/h wird also bei weitem nicht erreicht.

Quelle	Anzahl	Emission einzeln [g/h]	Emission [g/h]	Emission je Tag [kg/Tag]
Personen	4	40	160	3,84
Kochen	1	1000	1000	1,0
Zimmer- pflanzen	10	10	100	2,4
Summe				7,24

Abbildung 3: Wasserabgabe in einem Gebäude (Beispiel)

Dadurch wird sich innerhalb einer relativ geringen Zeitspanne eine (zu) geringe relative Raumlufffeuchte einstellen. Vorerst wird dabei eventuell gespeicherte Feuchtigkeit aus der Bausubstanz oder gegebenenfalls aus feuchtespeichernden Einrichtungsgegenständen ausgetrocknet, was das Absinken der Raumlufffeuchte etwas hinauszögert. Bei längerem Anhalten dieser Situation kommt es jedoch unweigerlich zu einem trockenen Raumluffzustand. Mit den oben gewählten Bedingungen kann aus den grundlegenden Gesetzen für feuchte Luft berechnet werden, dass sich die absolute Feuchte der Raumluff um einen Betrag von 1,02g/kg (gegenüber Außenluffzustand) erhöhen wird. Damit ergibt sich eine absolute Raumlufffeuchte von 3,82g/kg (Punkt 3a in Abbildung 4), was bei einer angenommenen Raumlufftemperatur von 21°C einer relativen Lufffeuchte von ca. 23% entspricht.

Die Zeiträume, in denen die Gefahr einer Austrocknung besteht sind im Allgemeinen nicht zu vernachlässigen. So ergeben sich beispielsweise für den Standort Wien ca. 2000 Stunden in denen die abs. Feuchte unter 3g/kg liegt (Abbildung 5).

Noch dramatischer wird die Situation, wenn man von tieferen Außenlufftemperaturen (z.B. -15°C) ausgeht. Die absolute Feuchtigkeit der Außenluff kann dabei nur max. 1,08g/kg erreichen. Rechnet man mit diesem Wert, so würde sich, falls es keine Feuchtequellen im Gebäude gibt eine relative Raumlufffeuchte von ca. 6% einstellen (Punkt 5 in Abbildung 4). Im angenommenen Berechnungsfall erhöht sich durch die inneren Feuchtequellen die abs. Feuchte um 1,02 g/kg auf 2,1g/kg was einer relativen Raumlufffeuchte von ca. 12% entspricht (Punkt 6 in Abbildung 4).

Auch aus dem h-x-Diagramm lässt sich leicht erkennen, dass beispielsweise bei Außenlufftemperaturen unter 0°C die absolute Lufffeuchte kleiner als 4g/kg liegen muss (rel. Lufffeuchten über 100% sind nicht möglich!). In der kalten Jahreszeit sind praktisch jedes Jahr längere Perioden mit Außenlufftemperaturen unter 0°C bis -5°C feststellbar. In dieser Zeit sind die oben beschreiben

Austrocknungsprozesse praktisch unvermeidlich, falls nicht gezielte Maßnahmen zur kontrollierten Befeuchtung der Raumluft getroffen werden.

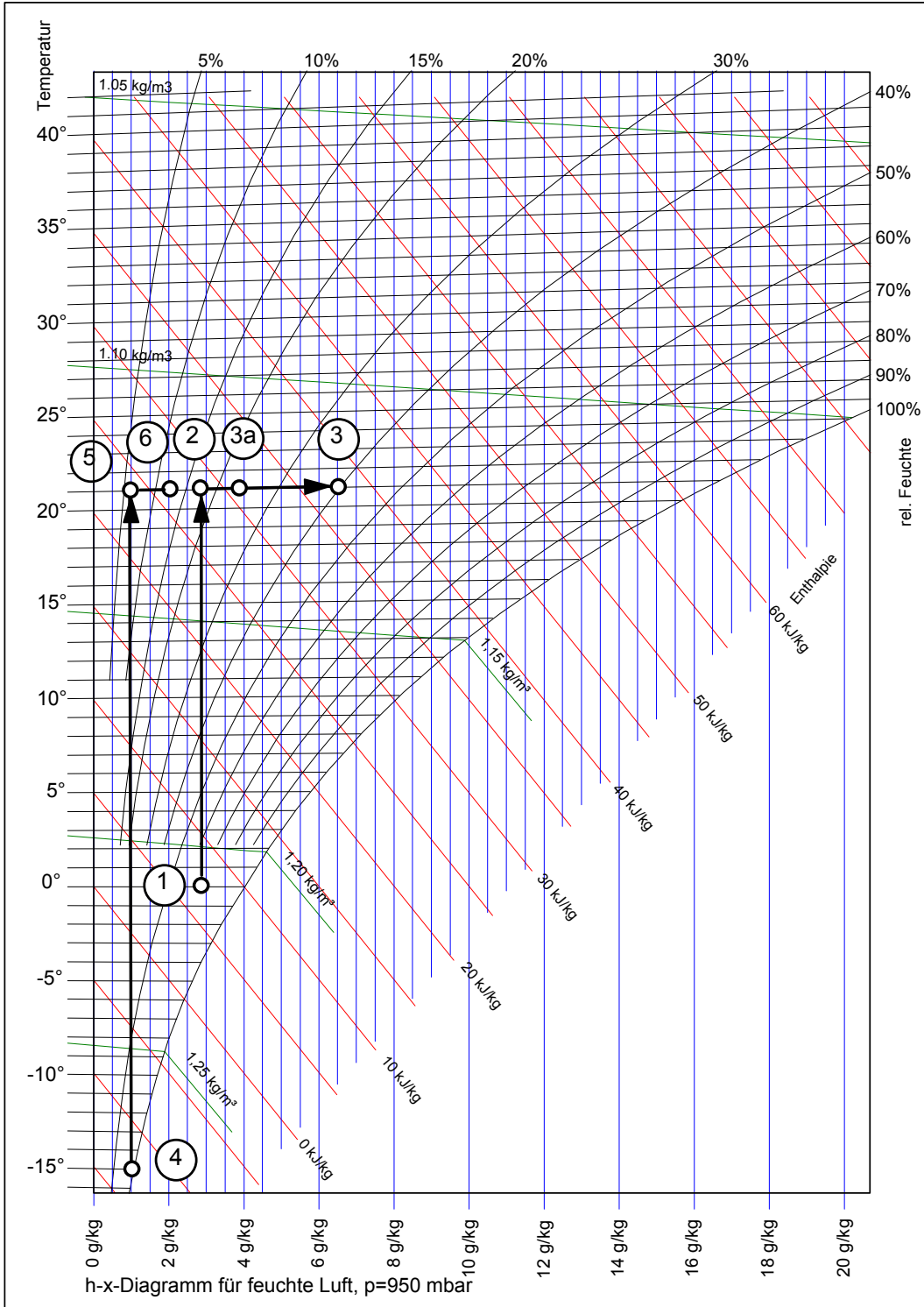


Abbildung 4: Luftzustände im Winter

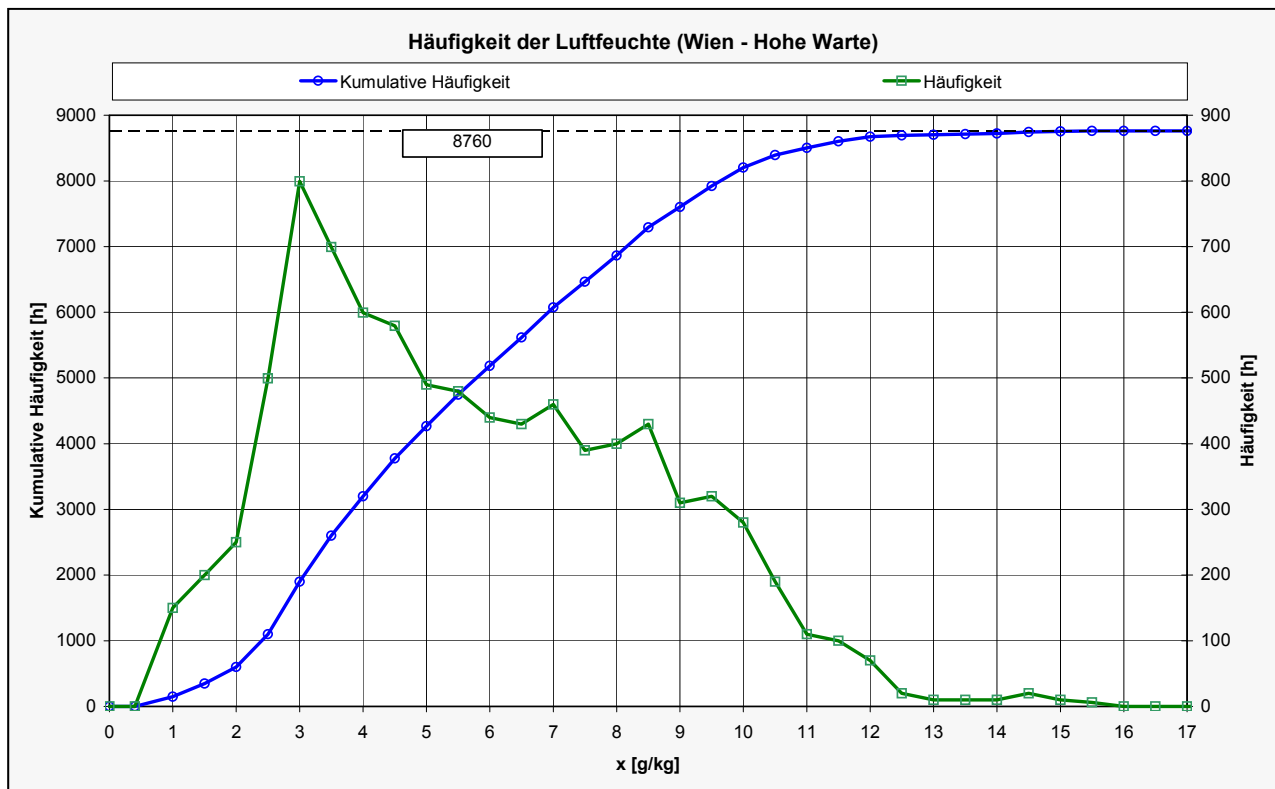


Abbildung 5: Häufigkeit der Luftfeuchte für Wien (Quelle: Klimadaten von Österreich, Fachverband der Maschinen- und Stahlbauindustrie Österreichs)

- **geringe Durchlüftung in Kombination mit großen Feuchtequellen**

Eine andere Problematik kann entstehen, wenn Gebäude sehr dicht gebaut werden, die Lüftung praktisch unterbunden wird oder die empfohlenen Luftwechselzahlen zur Lüftung deutlich unterschritten werden. Insbesondere ist dies der Fall, wenn dabei gleichzeitig aus welchen Gründen auch immer übermäßige Feuchtequellen vorliegen. Potentiell gefährdete Raumtypen für diesen Fall sind beispielsweise Nassräume oder Küchen. Falls es bei Vorliegen einer erheblichen Feuchteabgabe in die Raumluft zu einem nur sehr geringen Luftaustausch mit trockener Außenluft kommt oder eine Lüftung gänzlich unterbunden wird, so steigen die absolute und auch die relative Luftfeuchte entsprechend an (z. B. Abbildung 6, Punkt 4). In der kalten Jahreszeit besteht dabei neben einer unbehaglich hohen rel. Raumluftfeuchte die Gefahr, dass sich diese feuchte Luft an kalten Flächen (z.B. Kältebrücken, nicht beheizte Flächen hinter Wandverkleidungen oder Verbauten) abkühlen kann. Dies kann so weit führen, dass dabei der Taupunkt der Raumluft erreicht bzw. unterschritten wird (z. B. Abbildung 6, Punkt 5). Die dabei frei werdende Feuchtigkeit in flüssiger Form führt zu einer Durchnässung der betroffenen Bereiche und es besteht die große Gefahr einer Schimmelpilzbildung.

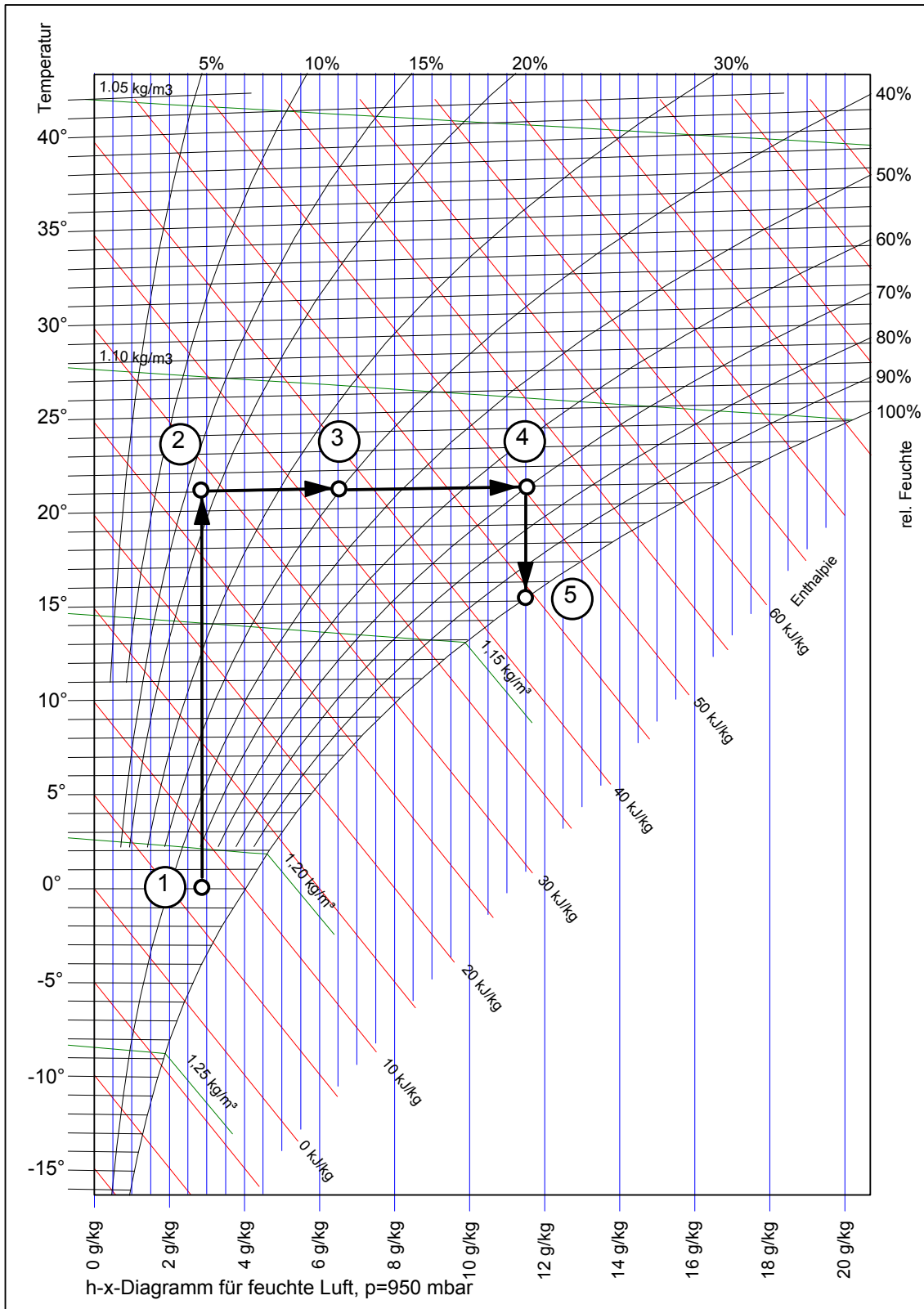


Abbildung 6: Luftzustände im Winter

1.2.3 Raumlufzustände im Sommer

In der warmen Jahreszeit besteht im Allgemeinen keine Gefahr einer zu trockenen Raumluf. Durch die erhöhten Außenlufttemperaturen in der warmen Jahreszeit kann die Luft vermehrt Feuchtigkeit aufnehmen. Es besteht dadurch prinzipiell die Gefahr einer zu hohen Raumlufffeuchte. Problematisch in diesem Zusammenhang sind einerseits Räume bzw. Gebäude mit relevanten inneren Feuchtequellen bzw. geringer Durchlüftung. Es ist dabei zu beachten, dass auch bei Vorliegen nur sehr geringer inneren Feuchtequellen die rel. Luftfeuchte innerhalb eines Gebäudes nie geringer sein kann als die der Außenluft, da jede Feuchtequelle eine Erhöhung der Feuchte bewirkt. Durch entsprechende Erhöhung der Luftwechselrate kann (bei mäßigen inneren Quellen) die Raumlufffeuchte an die der Außenluft herangeführt werden.

Problematisch kann diese Situation werden, wenn die Luft in der warmen Jahreszeit gekühlt wird. Wird beispielsweise warme Außenluft mit 30°C und 40% rel. Feuchte (es ist dies ein typischer Wert für einen heißen Sommertag) auf 22°C abgekühlt, so steigt dabei die rel. Feuchte auf ca. 65% (Abbildung 7, Punkt 1 nach 2). Befindet sich in einem Raum zusätzlich eine Feuchtequelle, so ergibt sich eine entsprechende weitere Erhöhung der Luftfeuchte (Punkt 3). Diese zusätzliche Erhöhung kann durch entsprechende Verstärkung der Lüftungsrate verringert werden, ein Wert unter jenem von Punkt 2 kann jedoch durch eine Lüftung alleine nie erreicht werden. Ein nur geringer oder gänzlich unterbundener Außenluftwechsel bewirkt jedenfalls eine mehr oder weniger starke Erhöhung der Raumlufffeuchte, da die gegebenenfalls im Gebäude freigesetzte Feuchtigkeit nicht bzw. nicht ausreichend abtransportiert wird.

Eine Kontrolle und geeignete Beeinflussung der Raumlufffeuchte im Sommer ist nur durch eine entsprechende Entfeuchtung der Luft möglich (Punkt 1 nach Punkt 4 in Abbildung 7). Nur damit kann eine entsprechende Reduzierung der Raumlufffeuchte auf das gewünschte Maß erreicht werden. Eine Kühlung alleine kann zwar die Raumlufftemperatur reduzieren, führt aber unweigerlich zu einem (fallweise unzulässig hohen) Anstieg der rel. Luftfeuchte.

In den einschlägigen Normen wird von einer Entfeuchtung der Luft auf einen Wert von ca. 8g/kg (absolute Luftfeuchte) ausgegangen. Damit kann die Raumluff gegebenenfalls zusätzliche Feuchtigkeit aus diversen Quellen aufnehmen, ohne dass der zulässige Wert von 60% rel. Luftfeuchte überschritten wird.

Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass für den Standort Wien im langjährigen Mittel ca. 1895 Stunden pro Jahr mit einer Außenluftfeuchte größer als 8g/kg vorliegen. In dieser Zeit kann im Allgemeinen eine Kontrolle der Raumlufffeuchte durch Lüften alleine nicht sichergestellt werden.

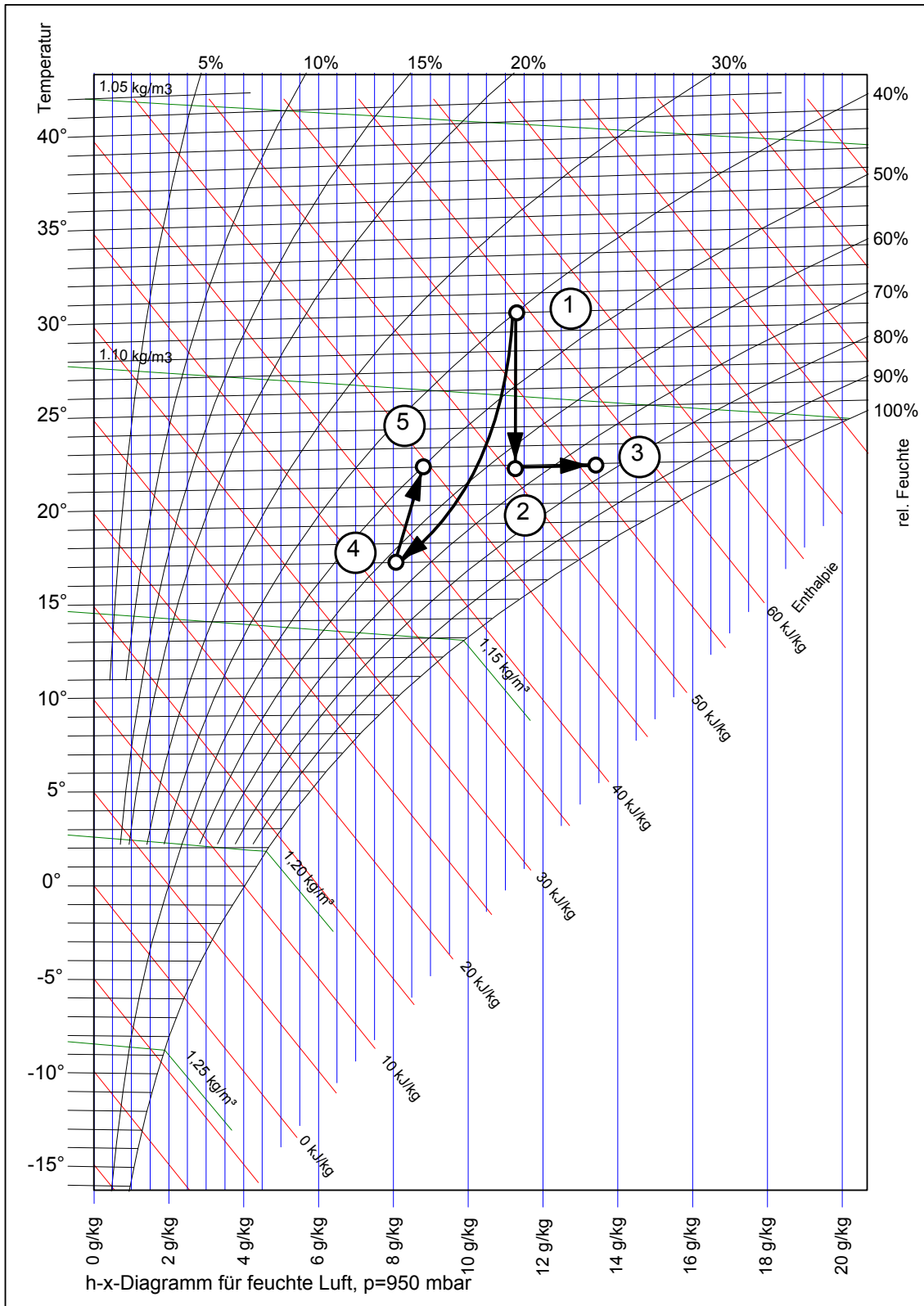


Abbildung 7: Luftzustände im Sommer

2 Zusammenfassung

Die sich einstellende Raumlufffeuchte in einem Gebäude bzw. Raum ergibt sich aus der Kombination der drei Haupteinflussgrößen Außenluftzustand, Lüftungsintensität und Feuchtequellen.

In modernen Gebäuden mit trockener Bausubstanz und heute üblichen inneren Feuchtequellen ergibt sich in der kalten Jahreszeit praktisch immer die Situation einer deutlich zu geringen Raumlufffeuchte. Dies wird durch die notwendige Durchlüftung des Gebäudes zur Aufrechterhaltung der notwendigen Raumluffqualität (CO₂-Konzentration, Gerüche usw.) mit der im Winter sehr trockenen Außenluft verursacht. Auf Grund der vorliegenden meteorologischen Rahmengedingungen für den Standort Wien ist in der kalten Jahreszeit jedenfalls mit einer derartigen Situation zu rechnen. Nur durch eine entsprechende kontrollierte Befeuchtung kann der Wert der Raumlufffeuchte auf das notwendige Maß angehoben werden. Die, auf Grund des heutigen modernen Lebensstiles geringen internen Feuchtequellen (wenige Personen, fallweise halbtags unbewohnt, kein aufwendiges Kochen usw.) reichen dafür im Allgemeinen nicht aus.

Im Sommer ergibt sich im Allgemeinen eine umgekehrte Problematik. Durch den relativ hohen Feuchtegehalt der Außenluft kann der Feuchteanfall in einem Gebäude durch Lüften alleine fallweise nicht ausreichend abtransportiert werden. Eine Reduzierung des Luftaustausches bei Vorliegen von Feuchtequellen erhöht zusätzlich den Feuchtegehalt der Raumluff. Weiters bewirkt eine gegebenenfalls installierte Raumkühlung die relative Luftfeuchte. Nur durch eine geeignete Luftentfeuchtung kann die Raumlufffeuchte auf den hinsichtlich Behaglichkeit oder für Baumaterialien bzw. Einrichtungsgegenstände erforderlichen Grenzwerte der Luftfeuchtigkeit eingestellt werden.