

LUFTBEFEUCHTUNG

BEI DER BEURTEILUNG DES EINFLUSSES DER LUFTFEUCHTIGKEIT AUF DAS WOHLBEFINDEN DES MENSCHEN SIND VERSCHIEDENE FAKTOREN ZU BERÜCKSICHTIGEN, INSBESONDERE DIE LUFT-QUALITÄT UND DIE TEMPERATUR. SIND DIESE IN ORDNUNG GENÜGT GESUNDEN MENSCHEN IM WINTER EINE RELATIVE LUFTFEUCHTE VON 30%. BEGRENZT MAN DIE RAUMTEMPERATUR AUF 21 °C UND LÜFTET BEDARFSGERECHT UND GUT GEFILTERT, IST EINE KÜNSTLICHE LUFT-BEFEUCHTUNG BEI GESUNDEN MENSCHEN NICHT ERFORDERLICH. DAMIT KANN VIEL GELD UND ENERGIE GESPART WERDEN.

Das vorliegende Merkblatt behandelt das Thema der Luftbefeuchtung bei normalen klimatechnischen Gegebenheiten in Innenräumen und richtet sich vornehmlich an Fachpersonen für raumlufttechnische Anlagen, Lüftungsplaner, Architekten, Betriebsdienste und Gebäudeverantwortliche. Es richtet sich auch an Personen, die Beschwerden der Haut, der Augen oder der Atemwege auf zu trockene Luft zurückführen. Die im Merkblatt gezeigten Beispiele gelten sowohl für natürlich wie auch mechanisch belüftete Räume.

Um den Einfluss der relativen Luftfeuchte auf das Wohlbefinden des Menschen beurteilen zu können, müssen verschiedene Aspekte integral berücksichtigt werden:

- Die Physik der feuchten Luft
- Physiologische Grundlagen des Menschen
- Lüftthygienische und bauphysikalische Grundlagen
- Elektrostatik
- Energieverbrauch

LITERATURINFORMATIONEN

Nach intensiven Recherchen der Hochschule Luzern in nationalen und internationalen Regelwerken, gesetzlichen Grundlagen, Fachartikeln, Fachbüchern und «grauer Literatur» können zwei Hauptkenntnisse formuliert werden:

Bis in die späten Neunzigerjahre wird in Literaturquellen der Bereich der relativen Luftfeuchte in Innenräumen häufig von 40 bis 60% angegeben. Diese Angabe bezieht sich in den meisten Fällen auf eine Studie von Scofield und Sterling [1], welche diesen Bereich als optimal angibt. Begründet wird dies mit dem verringerten Wachstum von Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Milben, Pilzen etc.) in diesem Feuchtebereich. 2006 wurde diese Studie überarbeitet und als Resultat daraus wurde der Bereich angepasst auf 30 bis 70% rF [2]. **Bild 1** zeigt die Zusammenfassung der aktuellen Untersuchungsergebnisse.

Die relevanten Dokumente zeigen widersprüchliche Ergebnisse zum Einfluss der relativen Feuchte auf den Menschen auf. Oft wurden die während der Untersuchungen vorliegenden weiteren Einflussparameter auf die Raumlufthqualität nicht mitbeachtet bzw. nicht mitgenannt. Wesentlich sind z.B. die Einflüsse durch verwendete Baumaterialien, Nutzer und Geräte, die Art der Zuluftbehandlung und die Lufteinbringung. Häufig werden der relativen Trockenheit Befindlichkeitsdefizite zugeschrieben, die ihren Ursprung auch in anderen Mängeln der Luftqualität haben können, z.B. erhöhter Gehalt an Schwebstaub, Formaldehyd und flüchtige organische Verbindungen (VOC) oder Belastungen durch Tabakrauch. Zur korrekten Beurteilung des Einflusses der relativen Luftfeuchte auf das Wohlbefinden des Menschen sollten daher möglichst alle gleichzeitig wirksamen Aspekte berücksichtigt werden.



DIE PHYSIK DER FEUCHTEN LUFT

Zu den physikalischen Grundlagen gehören die wichtigsten Zusammenhänge zwischen Druck, Temperatur und absolutem Wassergehalt der Luft. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasser kann sie als unsichtbaren Dampf aufnehmen. Die **Tabelle 1** gibt für eine Ortschaft auf 540 m ü.M. mit einem Normaldruck von 950 hPa (950 mbar) ein Beispiel. Die Angabe erfolgt in Gramm Wasser pro Kilogramm (trockener) Luft [g_w/kg_L].

Die relative Luftfeuchte gibt das Verhältnis an vom Dampfdruck des Wassergehaltes in der Luft zum Dampfdruck bei mit Wasser gesättigter Luft. Sie gilt bei der betrachteten Temperatur und Höhenlage (**Tabelle 2**). In der Praxis genügen meistens die Angaben von Lufttemperatur, Wasserdampfgehalt und/oder relativer Luftfeuchte zur Beschreibung eines Luftzustandes.

Luftzustandsänderungen können im sogenannten Mollier-h,x-Diagramm dargestellt werden. **Bild 2** zeigt ein vereinfachtes Diagramm mit folgendem Beispiel: Aussenluft (relative Luftfeuchte = 40%) von 0 °C und einem absoluten Wasserdampfgehalt von 1,55 g Wasser pro kg Luft (g_w/kg_L). Bei 21 °C könnte die Luft 16,7 g Wasser pro kg Luft aufnehmen (im Diagramm nicht dargestellt). Wärmt man nun die Aussenluft von 0 °C auf 21 °C auf und führt keine Feuchte zu, macht der vorhandene Wasserdampf nur noch rund 10% des maximal möglichen Gehaltes aus.

Soll nun bei der Raumlufttemperatur von 21 °C eine relative Luftfeuchte von 30% rF erreicht werden, müsste die Differenz von 1,55 bis 4,65 g_w/kg_L = 3,1 g_w/kg_L zugeführt werden. Das bedeutet, dass in einem Raum von z.B. 30 m² Grundfläche und 2,5 m Höhe bei einer natürlichen Luftwechselrate von 0,5 pro

Stunde (entspricht korrekter Fensterlüftung) stündlich 145 g Wasser zu verdunsten wären (30 m² * 2,5 m * 0,5 h⁻¹ * 1,25 kg_L/m³ * 3,1 g_w/kg_L = 145 g_w/h).

Dies geschieht z.T. durch die Wasserdampfabgabe der Personen und Pflanzen. Personen geben bei 20 °C und ruhiger Tätigkeit pro Stunde etwa 50 g Wasser ab, bei Haushaltsarbeiten bereits 130 g_w/h. Ähnliches gilt für grössere Pflanzen, wenn diese pro Tag mit etwa einem Liter Wasser gegossen werden. Kochen, Duschen und Wäschetrocknen sind weitere mögliche Feuchtequellen, die einen Beitrag zu einer höheren Raumluftfeuchte leisten. Ein allfälliger Rest der Befeuchtung müsste nun durch künstliche Wasserverdunstung erfolgen. Pro kg (Liter) Wasser müssten rund 0,7 Kilowattstunden [kWh] Wärmeenergie aufgewendet werden.

Das Beispiel zeigt, dass sich bei höheren Raumlufttemperaturen und bei schlechten Lüftungsgewohnheiten (z.B. im Winter dauernd offene Kippfenster) der Befeuchtungsbedarf vervielfachen kann und damit auch der Energieverbrauch. Weiter unten wird dies noch abschätzbar dargestellt.

PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN DES MENSCHEN

Beim gesunden Menschen bilden die Schleimhäute der Luftwege in den Nasenhöhlen und im Rachen ein leistungsfähiges Befeuchtungssystem, das in der Lage ist, feuchtebedingte Funktionsstörungen der Atmung zu verhindern.

Denn beim Menschen wird die eingeatmete Luft auf ihrem Weg zu den äussersten Verästelungen der Lunge, den Alveolen, auf

Lufttemperatur	Maximaler Wasserdampfgehalt	Absoluter Wasserdampfgehalt	Relative Luftfeuchte bei 20 °C
-20 °C	0,7 g _w /kg _L	0,0 g _w /kg _L	0% rF
-10 °C	1,7 g _w /kg _L	3,1 g _w /kg _L	20% rF
0 °C	4,1 g _w /kg _L	6,3 g _w /kg _L	40% rF
10 °C	8,2 g _w /kg _L	9,4 g _w /kg _L	60% rF
20 °C	15,7 g _w /kg _L	12,6 g _w /kg _L	80% rF
30 °C	28,4 g _w /kg _L	15,7 g _w /kg _L	100% rF

Tabelle 1: Maximaler Wassergehalt der Luft für verschiedene Temperaturen in 540 m ü.M.

Absoluter Wasserdampfgehalt	Relative Luftfeuchte bei 20 °C
0,0 g _w /kg _L	0% rF
3,1 g _w /kg _L	20% rF
6,3 g _w /kg _L	40% rF
9,4 g _w /kg _L	60% rF
12,6 g _w /kg _L	80% rF
15,7 g _w /kg _L	100% rF

Tabelle 2: Absoluter und relativer Wassergehalt für Luft von 20 °C in 540 m ü.M.

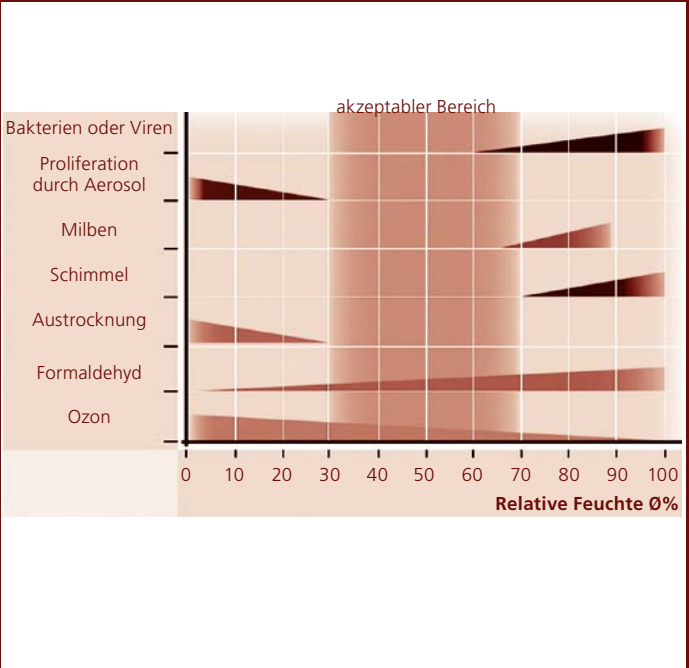


Bild 1: Beeinflussung von gesundheitsrelevanten Aspekten in Abhängigkeit der relativen Raumluftfeuchte

37°C aufgewärmt und auf 100% rF befeuchtet. Unabhängig vom «Grad der Trockenheit» der eingeatmeten Luft genügt das natürliche Befeuchtungssystem, um die relative Luftfeuchte zunächst im Rachen auf 80–90% rF und dann in der Luftröhre auf 90–99% rF zu bringen [3–8] (**Bild 3**). Ein möglicher Einfluss von trockener Luft auf die Fähigkeit der Reinigung der Atemwege konnte nur bei älteren Personen gezeigt werden [9].

Die wissenschaftliche Literatur über Zusammenhänge zwischen trockener Luft und physiologischen Auswirkungen auf Atemwege, Augen und Haut stützt grundsätzlich den in Normen genannten akzeptablen Bereich von 30% relativer Luftfeuchte ab. Wird dieser nicht über längere Zeit deutlich unterschritten, ergeben sich für gesunde Personen keine gesundheitlichen Probleme. Eine angepasste Raumlufttemperatur und eine ausreichende Raumlufthygiene werden vorausgesetzt. [10, 11].

Bei schweren Lungenerkrankungen wie chronische Bronchitis, Emphysem, Asthma oder auch bei schweren Hautkrankheiten ist eine hohe Luftfeuchtigkeit wichtig, insbesondere wenn die Patienten unter Atemnot oder Fieber leiden. Eine solche Befeuchtung ist in der notwendigen hygienischen Qualität mit lokal angewendeten, medizintechnischen Apparaten möglich.

Auch für empfindliche Personengruppen kann eine Raumbefeuchtung unter Umständen angezeigt sein. Dies sind beispielsweise Personen mit einer einmal durchgemachten Atemwegserkrankung (z.B. Nasennebenhöhlen- oder Stirnhöhlenentzündung). Sie reagieren rascher und intensiver auf thermischen Diskomfort (Trockenheit, Zugluft).

LUFTHYGIENISCHE UND BAUPHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Nachweisbare Hygieneprobleme tauchen immer dann auf, wenn die Luftfeuchte zu hoch ist. Sei es in den Befeuchtungseinrichtungen selbst, in feuchten Luftkanälen und Luftfiltern oder an kalten Raumwänden, wo sich ideale Lebensbedingungen für unerwünschte Mikroorganismen aller Art ergeben. Schnupfen, Bronchitis, Asthma und chronischer Husten wurden bei Schimmelpilzbefall nachgewiesen, der auf hohe Feuchtwerte zurückzuführen war [12]. Hohe Luftbefeuchtung erhöht auch das Wachstum von Hausstaubmilben. Feuchtigkeitsprobleme können zu Befindlichkeitsstörungen führen, lange bevor Verfärbungen in kühlen Raumecken und hinter Möbeln sichtbar werden.

ELEKTROSTATIK

Feuchte Luft selbst ist isolierend – die Oberfläche vieler isolierender Materialien kann aber durch feuchte Luft ableitfähig werden. Jedoch erst bei Feuchten über 65% rF wird der elektrische Widerstand einer Oberfläche soweit herabgesetzt, dass eine wesentliche Erdung zustande kommen kann. Während z.B. Glas oder Naturfasern diese Eigenschaft besitzen, trifft dies für viele andere Materialien, z.B. Polytetrafluorethylen PTFE oder Polyethylen PE, nicht zu.

Um elektrostatische Entladungen zu verhindern, ist eine aktive Befeuchtung keine zweckmässige Massnahme. Sinnvoller ist, Baumaterialien so zu wählen, dass elektrostatische Aufladungen durch Ausgleich des Potenzials (Erdung) vermieden werden kann. Leitende Fussböden mit Anschluss an den Potenzialausgleich des Hauses und körperberührende Erdungsruten sind die einzig

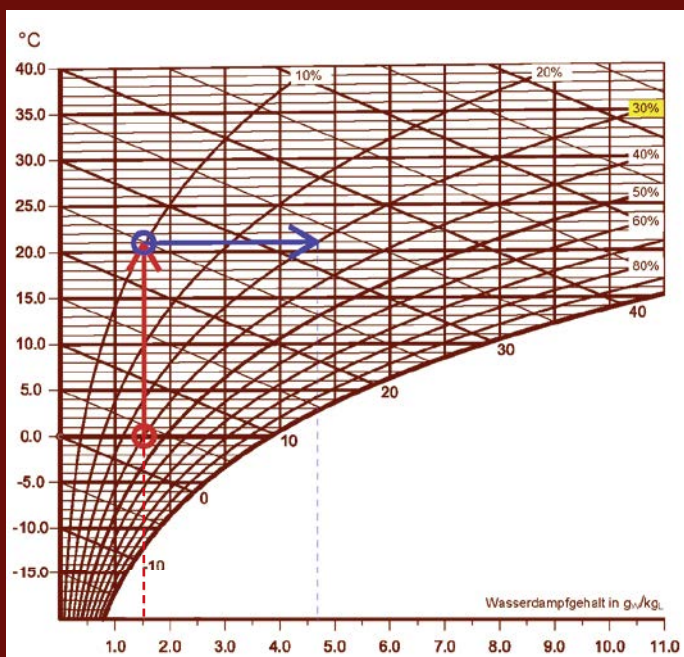


Bild 2: Vereinfachtes Mollier-h,x-Diagramm mit Beispiel gemäss Text

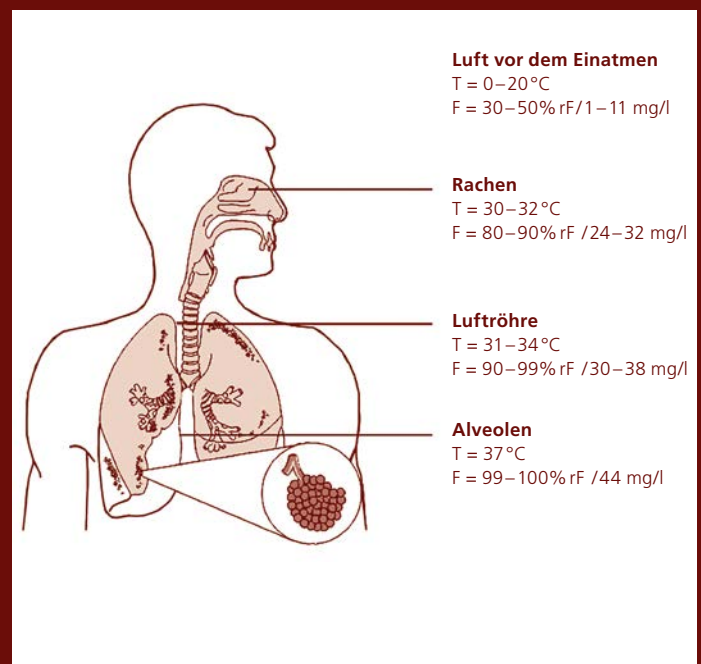


Bild 3: Befeuchtung der Luft im Atemtrakt T: Temperatur, F: Feuchte

wirksamen und sicheren Mittel gegen die für Mensch (z.B. in einem Operationssaal) und Produkte möglicherweise schädlichen Entladungen.

Normalerweise sind kleinere Stromschläge durch elektrostatische Aufladung nur lästig, aber nicht gefährlich. Wenn sie aber mehrmals täglich und über einen längeren Zeitraum immer wieder auftreten, sollte die Ursache behoben werden. Dabei sollten folgende Massnahmen geprüft werden:

- Am Bürostuhl können sowohl die Rollen als auch Bezüge aus Kunstfasern für elektrostatische Aufladung sorgen. Antistatikmatten unter dem Arbeitsplatz und Spezialrollen können Abhilfe schaffen.
- Die Oberflächen von Arbeitstischen sollten aus ableitendem Material bestehen. Liegt auf dem Schreibtisch eine Kunststoffauflage, sollte diese entfernt werden.
- Kleidungsstücke aus Baumwolle laden sich weniger auf als Seide, Wolle und Kunstfasern. Bei den Schuhen führen Kunststoffsohlen auf Teppichböden oft zu Problemen. Ledersohlen oder Schuhe mit Spezialsohlen vermeiden elektrostatische Aufladung.
- Wenn die oben aufgeführten Problemstellen ausgeschlossen sind, muss der Bodenbelag behandelt werden. Möglicherweise hilft eine Antistatikbehandlung, allenfalls sollte der Bodenbelag ausgewechselt werden.

ENERGIEVERBRAUCH

Wenn die Raumluft befeuchtet werden soll, dann muss auch der damit verbundene Energieverbrauch beachtet werden. Dieser ist

stark abhängig vom geforderten Feuchtwert und den Betriebsbedingungen.

Es ist allgemein bekannt, dass ein Anheben der Raumlufttemperatur um 1 °C eine Steigerung des Jahresenergieverbrauchs um rund 6% (im schweizerischen Mittelland) zur Folge hat. Kaum jemand ist sich aber bewusst, dass die Forderung nach 50% relativer Feuchte den Energieverbrauch für Heizung und Befeuchtung im betroffenen Gebäude im Gegensatz zum Gebäude ohne aktive Befeuchtung mehr als verdoppelt (**Bild 4**).

PRAXISBEISPIEL

Wieviel elektrische Energie ist notwendig, um Luft bei 20 °C in einem Lüftungsgerät mit einem Dampfbefeuchter von 30% rF auf 50% rF zu befeuchten? Der Massenstrom der trockenen Luft beträgt 0,1 kg/s (Einfamilienhaus mit ca. 310 m³/h).

Aus dem h,x-Diagramm (siehe **Bild 5**) können folgende Zusammenhänge abgelesen werden:

Luftzustand 1: Temperatur 20 °C, abs. Feuchte 4,4 g_w/kg_L
Energieinhalt 31,0 kJ/kg_L

Luftzustand 2: Temperatur 20 °C, abs. Feuchte 7,4 g_w/kg_L
Energieinhalt 38,5 kJ/kg_L

Differenz abs.

Feuchte Δx = 3,0 g_w/kg_L

Energieinhalt Δh = 7,5 kJ/kg_L

Wasserbedarf: 0,1 kg_L/s * 3,0 g_w/kg_L = 0,3 g_w/s =
1,08 kg_w/h $\approx$ 1,08 l_w/h

El. Leistung: 0,1 kg_L/s * 7,5 kJ/kg_L = 0,75 kJ/s = 0,75 kW

Strom pro Tag: 12 h * 0,75 kW = 9 kWh

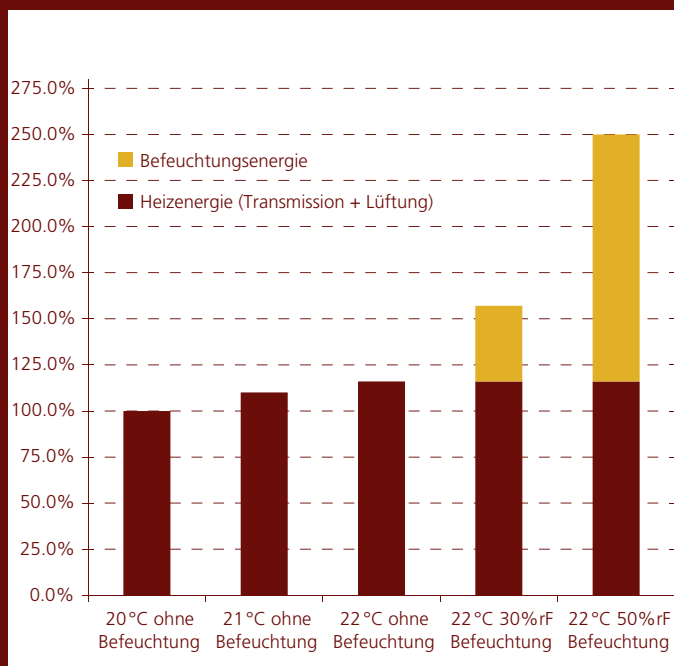


Bild 4: Jahresenergieverbrauch eines Bürogebäudes in Zürich.
Annahmen: Luftwechsel nachts 0,5 h⁻¹, tagsüber 2,0 h⁻¹
Jahresnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung: 90%

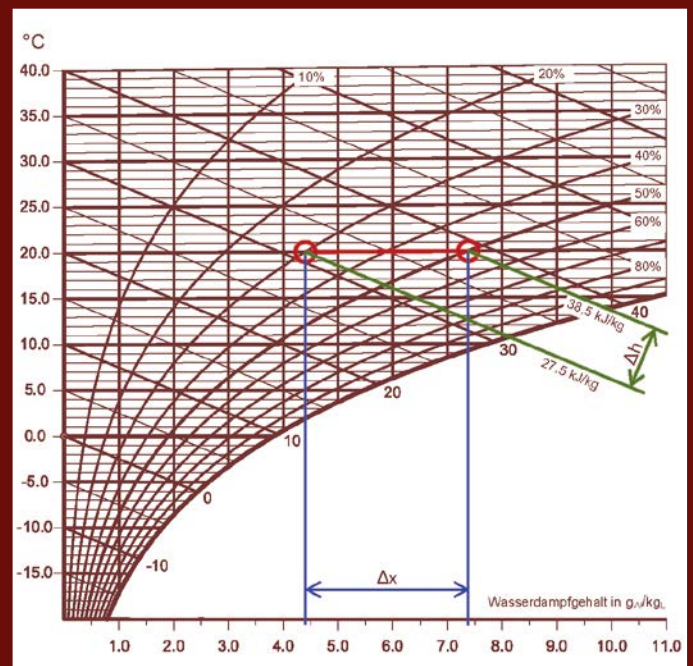


Bild 5: Praxisnaher Zustandsverlauf bei Befeuchtung mit Dampf

Um den Jahresenergiebedarf für die künstliche Befeuchtung zu berechnen, stehen heute für sämtliche Regionen der Schweiz stündliche Wetterdaten zur Verfügung. **Bild 6** zeigt für das Beispiel Luzern die Anzahl Stunden im Jahr mit Befeuchtungsbedarf, wenn man bei 20°C im Raum 30% oder 50% relative Feuchte haben will.

Die Aufsummierung der Fläche unter einer Summenkurve bis zu einem Wassergehalt der gewünschten relativen Feuchte (bei 20°C) ergibt den jährlichen Befeuchtungswasserbedarf je kg geförderter Luft. Die Multiplikation mit dem geförderten Luftmassenstrom und der Verdunstungswärme des Wassers führt zum Jahresenergiebedarf für die Befeuchtung (ohne Verlustbetrachtungen). Beispielhaft wurde dies für eine Anlage mit 1000 m³/h Aussenluftvolumenstrom in **Bild 7** gemacht. Dieses Bild kann zur Abschätzung des Jahresenergiebedarfes für die Befeuchtung bei einer gewünschten Raumlufttemperatur und relativen Feuchte verwendet werden. Dazu ist ausgehend von der im Raum gewünschten relativen Feuchte und Temperatur der Ablesewert für den Jahresenergiebedarf auf der Ordinate durch 1000 zu teilen und mit dem Aussenluftvolumenstrom der betrachteten Anlage (in m³/h) zu multiplizieren.

In der Realität ist der Befeuchtungsenergiebedarf noch viel höher. Denn neben dem periodischen Spülbedarf von Befeuchtern sind auch höhere Raumtemperaturen durch grössere Innenlasten Ursachen für erhöhten Energieverbrauch. Gerade erhöhte Raumlufttemperaturen im Winter sollten vermieden werden, statt noch stärker zu befeuchten, um die relative Feuchte zu halten.

Eine lohnende Sparmethode ist auch die Feuchte-Nachtabsenkung. Im Gegensatz zur (noch nicht erreichten) Raumtemperatur wirkt sich eine reduzierte Luftfeuchte im morgendlichen Anfahrbetrieb wegen der ohnehin unbedeutenden Feuchtespeicherung nicht nachteilig aus. Es ist vielmehr sogar darauf zu achten, dass der Feuchte-Sollwert am Morgen über mindestens eine Stunde verzögert hochgefahren wird. Damit können ein sofortiges Befeuchten bei höchster Leistung und die Gefahr von nassen Anlageteilen vermieden werden. Eine Zuluftfeuchteüberwachung mit Grenzwert kann daher hilfreich sein.

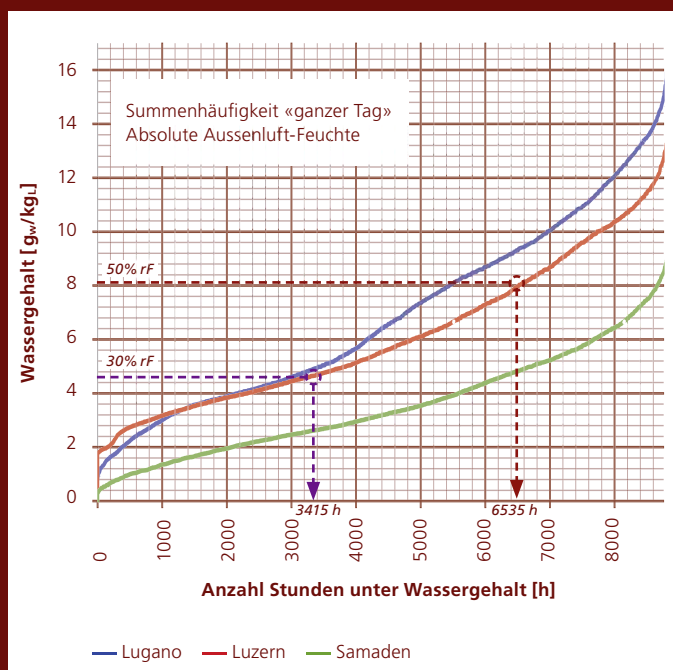


Bild 6: Summenhäufigkeitsdiagramm Wasserdampfgehalt für drei Standorte (Werte für den ganzen Tag) mit Beispiel für Luzern: notwendige Befeuchtungsstunden, um nach der Erwärmung der Aussenluft auf 20°C im Raum 30 bzw. 50% relative Luftfeuchte zu haben

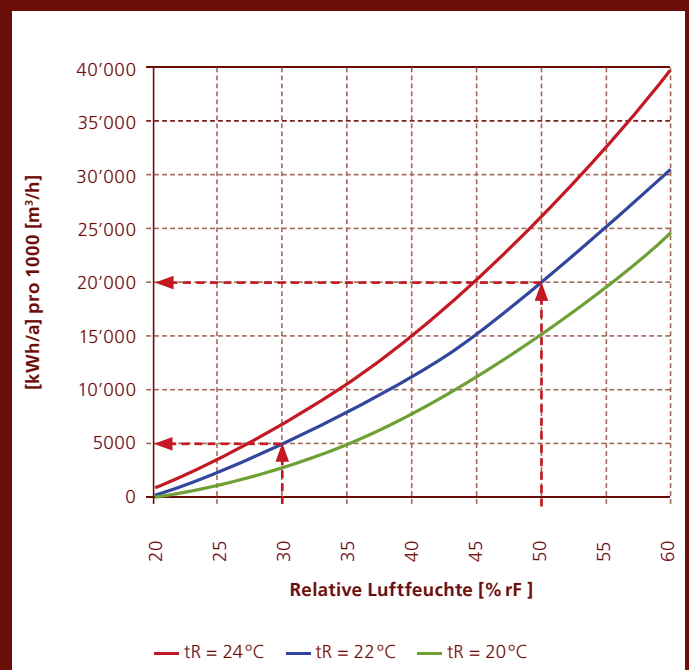


Bild 7: Jährlicher minimaler Befeuchtungsenergiebedarf für 1000 m³/h Aussenluft zur Erlangung einer gewünschten relativen Luftfeuchte bei unterschiedlichen Raumlufttemperaturen tR (Beispiel für schweizerisches Mittelland)

FAZIT UND EMPFEHLUNGEN

- Der Mensch hat mit seinem Atemtrakt ein perfekt funktionierendes «Feuchte-Regulatorium».
- Es gibt keine medizinischen evidenzbasierten Hinweise, die eine Befeuchtung für normale Komfort-Lüftungsanlagen im Mittelland rechtfertigen.
- Nach der Anwesenheit von Personen geregelte Lüftungsanlagen (z.B. CO₂-Regelung) bewirken auch, dass die Luftfeuchte in Räumen durch die Befeuchtungsquelle «Mensch» selten unter 30% rF fällt. Daher sind solche Regulierungen zu empfehlen.
- Bevor eine Anlage zur Luftbefeuchtung geplant und installiert wird, ist die Innenraum-Luftqualität durch schadstofffreie Materialien und eine hygienisch einwandfreie, mit guten Feinstaubfiltern (F7–F9) ausgestattete raumluftechnische Anlage sicherzustellen.
- Ist trotzdem eine Luftbefeuchtung notwendig, so sind 30% rF bei rund 21 °C ausreichend.

NORMEN UND RICHTLINIEN

Es ist zu beachten, dass sich die folgenden Angaben bezüglich Befeuchtung im Wesentlichen auf Räume mit mechanischer Belüftung beziehen.

In aktuellen Regelwerken und Merkblättern (SIA, EKAS, VDI, DIN, ASHRAE) wird der Bereich 30 bis 60 (70)% rF angegeben. Zusätzlich wird in den SIA-Normen und auch in VDI-Richtlinien darauf hingewiesen, dass die Grenze von 30% rF z.B. während 10% der Belegungszeit des Gebäudes unterschritten werden darf. (SIA 382/1:2014 und SIA 180:2014, Ziffern 3.5.1.3 und 3.5.1.4) [13, 14].

Dies wird auch in der Wegleitung zum Arbeitsgesetz (ArGV3, Artikel 16, Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz, Kapitel 2, 2. Abschnitt Art. 16) ausdrücklich festgehalten.

Eine aktive Befeuchtung kann in Sonderfällen wie z.B. Spezialarchiven, Museen, Räumen mit empfindlichen Stoffen, Speziallabors oder Produktionsstätten mit speziellen Anforderungen an die relative Feuchte angezeigt oder gar notwendig sein.

BEGLEITGRUPPE

Dr. med. Otto Brändli, Stiftungsrat und Präsident Swiss Lung Foundation
Alessandro Cerninara, Ingenieur Hospital Schweiz IHS, Die Spitäler der Schweiz H+

Adrian Grossenbacher, Bundesamt für Energie BFE

Dr. Christian Monn, Staatssekretariat für Wirtschaft Seco

Roger Waeber, Bundesamt für Gesundheit BAG

Prof. Kurt Hildebrand, Dozent für Gebäudetechnik Hochschule Luzern, SIA Kommission für Gebäudetechnik und Energienormen KGE

Prof. Dr. Rüdiger Külpmann, Dozent für Gebäudetechnik Hochschule Luzern, Vorsitzender Sektion Klima und Raumluftechnik Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene

Prof. Arnold Brunner, Dozent für Gebäudetechnik Hochschule Luzern, Consultant Gebäudetechnik HBS-Group, Vorsitzender SWKI Luftfilter-Richtlinie

VERWENDETE LITERATUR

- [1] Scofield und Sterling (1985-01) Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings (ASHRAE Transactions Vol. 91; 611–622)
- [2] R. Lazzarin und L. Nalini (2004) Air Humidification – Technical Health and Energy Aspects (Carel Industries S.p.A, Brugine Italy)
- [2a] A. V. Baughman, E. A. Arens (1996) Indoor humidity and human health – Part I: Literature review of health effects of humidity-influenced indoor pollutants (ASHRAE Transactions Vol. 102, pp. 193–211, Paper 3951)
- [2b] A. V. Baughman, E. A. Arens (1996) Indoor humidity and human health – Part II: Buildings and their systems (ASHRAE Transactions Vol. 102, pp. 212–221, Paper 3952)

- [3] D.F. Proctor, I. Andersen, G.R. Lundqvist (1977) Human nasal mucosal function at controlled temperatures (Respiration Physiology; 30: 109–24)
- [4] P. Cola (1982) Modification of inspired air. In: D.F. Proctor, I. Andersen: The nose: Upper airway physiology and the atmospheric environment (Elsevier, pp. 351–75; Amsterdam)
- [5] S. Ingelstedt (1956) Studies on the conditioning of air in the respiratory tract (Acta Oto-Laryngologica 131; 1–80)
- [6] J.E.C. Walker, R.E. Wells (1961) Heat and water exchange in the respiratory tract (Am. J. Med.; 30: 259–67)
- [7] P. Cola (1953) Some aspects of temperature, moisture and heat relationships in the upper respiratory tract (Acta Oto-Laryngologica 67; 449–56)
- [8] C. Sara, T. Currie (1965) Humidification by nebulization (Med. J. Aust.; 52; 174–9)
- [9] Sunwoo, Y., Chou, C., Takeshita, J., Murakami, M. and Tochiwara, Y. (2006) 'Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity in Young and Elderly Men', J Physiol Anthropol 25(3): 229–238
- [10] von Hahn, N. (2007) Trockene Luft und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturrecherche (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, St. Augustin; pp. 103–107)
- [11] Pfluger, R., Feist, W., Tietjen, A., Neher, A. (2013) Physiological impairment at low indoor air humidity., Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft (2013), 73, Nr. 3, S. 107–108, www.passipedia.org/_media/picopen/low_humidity.pdf (20.03.2016)
- [12] Bundesamt für Gesundheit BAG (2009) Vorsicht Schimmel – Eine Wegleitung zu Feuchtigkeitsproblemen und Schimmel in Wohnräumen, Bundespublikationen, BBL-Art. Nr. 311.310.d, Bern
- [13] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2014) SIA 180 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden (SIA Zürich)
- [14] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2014) SIA 382/1 Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen (SIA Zürich)

QUELLE TABELLEN UND BILDER

Tabellen 1 + 2, Bild 2, 4, 5, 6 + 7: Hochschule Luzern

Bild 1: R. Lazzarin und L. Nalini (2006); überarbeitete Grafik von Scofield und Sterling (1995) [Proliferation: Ausbreitung über die Luft (Staubverbreitung)]

Bild 3: Feinstaub PM10 – Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Emissionen, Immissionen, Auswirkungen und Massnahmen, Bundesamt für Umwelt BAFU, 2006, ergänzt durch die Hochschule Luzern mit Angaben zur Temperatur und Feuchte

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern
Infoline 0848 444 444, www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Vertrieb: www.bundespublikationen.admin.ch
Artikelnummer 805.162.1D



ClimatePartner®
klimaneutral

Druck | ID 53458-1703-1026