

Prof. Kurt Hildebrand

dipl. HLK-Ing. FH SIA SWKI VDI
Hüttenrain 15
8905 Islisberg

www.hslu.ch
kurt.hildebrand@hslu.ch



Luftbefeuchtung im Kontext mit nationalen und internationalen Standards

Diskussionsbeitrag von Kurt Hildebrand zur Frage nach der Notwendigkeit der Luftbefeuchtung in Innenräumen

Einleitung

Der vorliegende Beitrag will sich nicht mit Sonderfällen, sondern mit den normalen klimatischen Gegebenheiten auseinander setzen. Vorab: Nach intensiven Recherchen in nationalen wie internationalen Regelwerken, gesetzlichen Grundlagen, Fachartikeln, Fachbüchern und «grauer Literatur» sind nachfolgende Erkenntnisse deutlich geworden.

Alle recherchierten Dokumente, sorgfältig betrachtet, zeigen widersprüchliche Ergebnisse zum Einfluss der relativen Feuchte auf den Menschen.

Die Innenraumluftqualität ist von verschiedensten Parametern abhängig. Allgemein bekannt sind die Faktoren Qualität der Materialisierung, Quellen im Raum (Mensch, Geräte), Art der Zuluftbehandlung, die Lufteinbringung etc. In diesem Zusammenhang wird seit langem der qualitätsfördernde Aspekt der Luftfeuchtigkeit in Innenräumen, wo sich Menschen aufhalten, stark diskutiert.

Viele Diskussionspunkte sind nicht neu, bewegen aber weiterhin medizinisch gebildete Fachleute ebenso wie Klimaingenieure, die letztlich mit den Anlagensystemen gefordert sind. Ich habe mich im Rahmen der Vortragsvorbereitung und aus grundsätzlichem Interesse diesem Thema erneut gestellt und gebe meine Überlegungen, gestützt auf das Studium der einschlägigen Normen, Fachbücher u.a.m. wieder.

Auf Grund der im letzten Kapitel zusammengestellten Übersichts-Literatur kann ich festhalten, dass aus humanmedizinischer Sicht keine fundierte Aussage über eine minimale relative Luftfeuchtigkeit gemacht werden kann. Dies relativiert im Grunde jegliche Diskussion – trotzdem wird sie intensiv geführt.

Eine umfassende Literaturrecherche zum Thema Raumluftfeuchte (Dat. 6. Dezember 2014, von Gunten/Hildebrand) wurde anlässlich der Bearbeitung durchgeführt. Zu finden unter:

www.swki.ch/hygienetagung2015

Ausgangslage/Übersicht

Literaturquellen bis 1995 geben häufig einen Bereich der r.F. von 40 bis 60 % an. Diese Angabe bezieht sich in den meisten Fällen auf eine Studie von Scofield und Sterling [10] welche den Bereich als optimal angibt und dies mit dem geringen Wachstum von Viren, Bakterien, Milben etc. in diesem Bereich begründet. 1996 wurde diese Studie überarbeitet und als Resultat daraus wurde der Bereich auf 30 bis 70 % r.F. geändert (A. V. Baughman, E. A. Arens, Indoor humidity and human health: literature review of health effects of humidity-influenced indoor pollutants, ASHRAE Trans., 1996, v 102, Pt 1 Papers 3951 3952). Publikationen nach 1996 geben 30 bis 60, 65 oder 70 % r.F. als anzustrebender Bereich an. In aktuell gültigen Regelwerken und Merkblätter (SIA, BFE, EKAS, VDI, DIN, ASHRAE) wird dieser Bereich ebenfalls angegeben. Zusätzlich wird in den SIA-Normen und VDI-Richtlinien darauf hingewiesen, dass die Grenze von 30 % r.F. in z. B. 10 % der Zeit unterschritten werden darf. Dies wird auch in der Wegleitung zum ArGV3 (Arbeitsgesetz ArGV Artikel 16 Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz Kapitel 2, 2. Abschnitt Art. 16) ausdrücklich festgehalten. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Regeln teilweise nur gelten, wenn eine mechanische Lüftung eingesetzt wird.

Eine aktive Befeuchtung von Räumen kann in klar definierten Räumen von Nöten sein. In der Norm SIA 382/1, stellvertretend für die Regelwerke, wird darauf hingewiesen, dass eine aktive Befeuchtung in Spezialfällen wie z. B.: Spezialarchive, Museen, Räume mit empfindlichen Stoffen, spezielle Labors, Produktionsstätten, etc. mit speziellen Anforderungen an die relative Feuchte angezeigt sein kann oder gar notwendig ist.

Die heutige Konsensfindung wird in der SIA 382/1 wie folgt definiert:
(SIA 382/1:2014 und SIA 180:2014, Ziffern 3.5.1.3 und 3.5.1.4)

- Behaglichkeitsbereich 30 % bis 60 % r.F. (21 °C – 4,9 g_w/kg_L – 26,5 °C – 13,7 g_w/kg_L)
- Dimensionierungsvorgaben nach Nutzungen

- Einhaltung bei allen Aussenklimabedingungen zwischen den Dimensionierungswerten Winter (Minimalwert) und Sommer (Maximalwert).
- Ohne Befeuchtung darf die Grenze 30 % (4,9 g_w/kg_L) während 10 % der Nutzungszeit unterschritten werden.
(Siehe Reduktion der Aussenluft-Mengen – SIA 382/1 Ziffer 2.2.6.5)

Betrachten wir die in der Schweiz gültigen Regelwerke stellen wir interessanterweise fest, dass Unterschiede nach der geographischen Lage einer Region gemacht werden. So wird in der SIA 382/1 davon ausgegangen, dass ab 800 m ü.M. pro 100 m Höhenzunahme die Feuchte um 1 % r.F. abnehmen darf. Daher gilt z. B. bei einer Höhe von 1'800 m ü.M. 20 % r.F. als untere Grenze anstelle vom 30 % r.F.

Leben in den Alpen anders empfindende Menschen als im Tal?

Feuchte und Wasserhaushalt

Der Mensch reagiert auf Feuchte und Temperaturänderungen, je nach Jahreszeit Sommer oder Winter, unterschiedlich. Im Sommer wird eine sehr hohe Feuchte als unangenehm empfunden. Schwitzen wird zunehmend durch nasse Haut wahrnehmbar. Bereits 26 °C bei 40 % r.F. werden als unangenehm feucht empfunden.

Dem gegenüber wird die Feuchte-Diskussion für die Wintermonate entsprechend mehr, und oft emotional vorbelastet, geführt.

Der Mensch ist unbestritten nicht in der Lage, die relative Feuchte direkt zu empfinden, ein eigentliches Sensorium dafür fehlt ihm. Wir sind auf sekundäre Empfindungen wie Wärme- und Kälteempfindung angewiesen. Zum Beispiel trockene Schleimhäute, oft hervorgerufen durch luftgetragenen Feinstaub, aber auch durch die Regeleigenschaften des menschlichen Körpers wie Schwitzen und Schwüle-Empfinden. Interessant ist, dass die grösste Regulation vom Wärmehaushalt des Menschen über den Wasserhaushalt (die Verdunstungsaktivität) erfolgt. Die sensible Wärmeabgabe des Menschen bewegt sich in einem engeren Rahmen als die latente Wärmeabgabe.

Selbstverständlich ist dies in Abhängigkeit des Aktivitätsgrades und der Raumtemperatur zu sehen. (Vergleiche nachfolgende Abbildung 1, Tabelle 12 aus SIA 180:2014).

Die gefühlte Temperatur steigt mit zunehmender relativer Feuchte – letztlich bedeutet dies gar eine Einbusse im Behaglichkeitsempfinden.

Tätigkeit	Spezifische Wärmeeinträge		Wärmeeinträge W/Person **			Behagliche Hauttemperatur °C
	met	W/m ² *	total	sensibel	latent	
Ruhig liegend, schlafend	0,8	46	80	55	25	34,4
Ruhig sitzend	1	58	100	70	30	34,1
Sitzende Tätigkeit (Büro, Schule, Labor), ruhig stehend	1,2	70	125	75	50	33,8
Leichte Tätigkeit, stehend (Laden, Werkbankarbeit, Labor)	1,6	93	170	85	85	33,1
Mittelschwere Tätigkeit, stehend (Haushalt, Werkstatt)	2	116	210	105	105	32,5
Gehen in der Ebene (2 km/h)	1,9	110	200	100	100	32,7
Gehen in der Ebene (3 km/h)	2,4	139	250	105	145	31,9
Gehen in der Ebene (4 km/h)	2,8	162	300	110	190	31,2
Gehen in der Ebene (5 km/h)	3,4	200	360	120	240	30,3

* bezogen auf die Körperoberfläche

** gerundete Werte für eine Person von 1,8 m² Körperoberfläche (z. B. Grösse 1,7 m, Gewicht 69 kg)

Abb. 1: Tabelle 12 aus SIA 180:2014 gibt die Wärmeeinträge (Wärmeabgabe) des Körpers (fühlbare und latente) bei verschiedenen Tätigkeiten an. Der Tabelle 13 kann der Wärmedämmwert der Bekleidung entnommen werden. Ausführlichere Tabellen sind in EN ISO 7730 zu finden.

Die Erkenntnis, dass in Raumluftechnischen Anlagen, die den notwendigen hygienischen Luftaustausch garantieren müssen, eine Befeuchtung unnötig ist, ist nicht neu. Der Mensch reguliert seinen Feuchtehaushalt perfekt selbst. Die «Feuchtezufuhr», erfolgt sinnvollerweise über das Trinken.

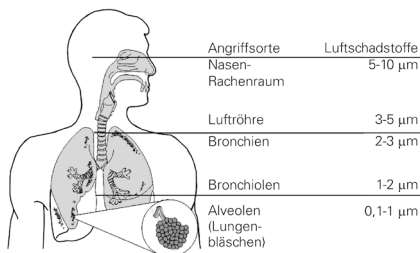
Die Funktion des Wassers im Körper ist definiert als Wärmespeicher bei tiefen Aussen-temperaturen, als Regulator-Grösse für die Wärmeabgabe durch Schwitzen und Erzeugung von Verdunstungskälte. Wasser ist auch Transportmittel von Sauerstoff und Nährstoffen im Blut, Stoffwechselprozessen und hat somit eine wichtige Aufgabe beim Abtransport von Stoffwechselprodukten über den Urin.

Damit diese Funktionen gewährleistet sind, ist ein stetiger Wasserumsatz und Wassergehalt des Körpers erforderlich. Der Wasserinhalt eines erwachsenen Menschen in mittlerem Alter beträgt rund 50 % seines Körpergewichtes.

Die Wasserbilanz, d. h. die Wasserabgabe erfolgt an erster Stelle über die Atemluft, den Schweiss in Abhängigkeit der Aktivität und Umgebungstemperatur. Die grösste Menge wird jedoch über den Urin abgegeben. Hier ist auch der grösste körpereigene «Regel-Einfluss».

Die Flüssigkeitsaufnahme erfolgt direkt zu etwa 50 % über Getränke. Über die «feste» Nahrung zu etwa 35 %. Aber auch bei der Verbrennung von Nährstoffen wird Wasser freigesetzt, genannt Oxidationswasser. Es wird ebenfalls im Körper genutzt, Anteil etwa 15 %.

In Abbildung 2 ist die natürliche Befeuchtung im Atemtrakt abgebildet; heute weiss man, dass die Luftwegschleimhäute in den Nasenhöhlen und im Rachen ein leistungsfähiges Klimatisierungssystem bilden.



Luft vor dem Einatmen: T = 0 bis 25 °C,
r.F. 30 bis 50 %
abs. = 1 bis 11 mg/l

Rachen: T = 30 bis 32 °C,
r.F. 80 bis 90 %
abs. = 24 bis 32 mg/l

Lufttröhre: T = 31 bis 34 °C,
r.F. 90 bis 100 %
abs. = 30 bis 38 mg/l

Alveolen: T = 37 °C,
r.F. 100 %
abs. = 44 mg/l

Abb. 2:

- Feinstaub Abscheidung in den Atemwegen
(Quelle: PM 10 Fragen und Antworten, BAFU 11/2006) und
- Befeuchtung der Luft im Atemweg
(Quelle: MB Luftbefeuchtung des BFE)

Luftbelastung durch gasförmige und partikuläre Verunreinigungen

Das Bedürfnis nach befeuchteter Luft hat vor allem mit der Innenluftqualität zu tun. Je mehr staubbeladene Luft, die sich in den Atemtrakt absondern muss, vorhanden ist, umso mehr kommt auch das Befeuchtungsbedürfnis auf.

«Befeuchte den Schmutzpartikel und er wird nicht mehr kratzen». Dies Aussage tönt zwar trivial, wird aber sehr oft in den Untersuchungen auf verschiedenste Arten bestätigt. Eben-

falls wird natürlich der kleine luftgetragene Partikel durch das Befeuchten im Eigengewicht ansteigen, und eine vermehrte Sedimentation der Verunreinigungen ist als Folge zu beobachten.

In diesem Zusammenhang bekommen auch die CO₂-Untersuchungen von Seppänen [4] eine wesentliche Bedeutung.

«... Obwohl CO₂ in den in Innenräumen üblicherweise auftretenden Konzentrationen in der Regel kein unmittelbares Gesundheitsrisiko darstellt, können ab bestimmten Konzentrationen Befindlichkeitsstörungen wie z. B. Beeinträchtigung von Leistungsfähigkeit, Konzentration und Kopfschmerzen auftreten (Müller-Limroth 1977).

Eine Zusammenschau von Studien zu gesundheitlichen Wirkungen und Kohlendioxid zeigte, dass sich in 50 Prozent der Untersuchungen mit abnehmender CO₂-Konzentration die sogenannten Sick-Building-Syndrom-assoziierten Beschwerden (z. B. Reizungen und Trockenheit von Schleimhäuten, Müdigkeit, Kopfschmerzen) verringern (Seppänen et al. 1999). In etwa der Hälfte der betrachteten Studien wurden statistisch signifikante, positive Korrelationen mit dem Auftreten einer oder mehrerer Beschwerden des Sick-Building-Syndroms festgestellt. In keiner einzigen Arbeit nahmen die Symptome mit abnehmender CO₂-Konzentration zu....»

Dies ist ein Hinweis, die Luftmengen nicht weiter zu minimieren, sondern grosszügig beizubehalten. Dies kann Teil der Lösung sein und liegt bei der Ausspülung der luftgetragenen Verunreinigungen. N. von Hahn [3] hat bereits in Ihrer Studie «Trockene Luft» festgestellt, dass in Räumen, die mit reiner Luft belüftet sind keine Irritationen auftreten - so schreibt sie...

«Bei den oben genannten Studienergebnissen ist zu berücksichtigen, dass es sich in allen Fällen um Reinraumuntersuchungen handelt, d. h. die zugeführte Luft wurde entsprechend gefiltert, sodass wirklich nur der reine Effekt der relativen Luftfeuchte auf die Nasenschleimhäute untersucht werden konnte.»

Luftgetragene Belastungsstoffe können vielseitig in ihrer Wirkung auf den Menschen sein und ihre Eindringtiefe in die Atmungswege

hängt im Wesentlichen von ihrer Grösse ab, wie Abbildung 3 verdeutlicht.

Alle Partikel mit einer Grösse von unter $3\text{ }\mu\text{m}$ mittleren Durchmessers erreichen die Bronchien und Bronchiolen. Sie können zu einer Verschlechterung der Lungenfunktion führen und

eine Verstärkung von Asthmasymptomen, erhöhte Anfälligkeit von Atemwegserkrankungen und sogar ein erhöhtes Krebsrisiko bewirken. Nicht nur Feinstaub, auch Bakterien und Viren liegen in dieser Grössenordnung, wie die Übersicht von Belastungsstoffen in Abbildung 3 erkennen lässt.

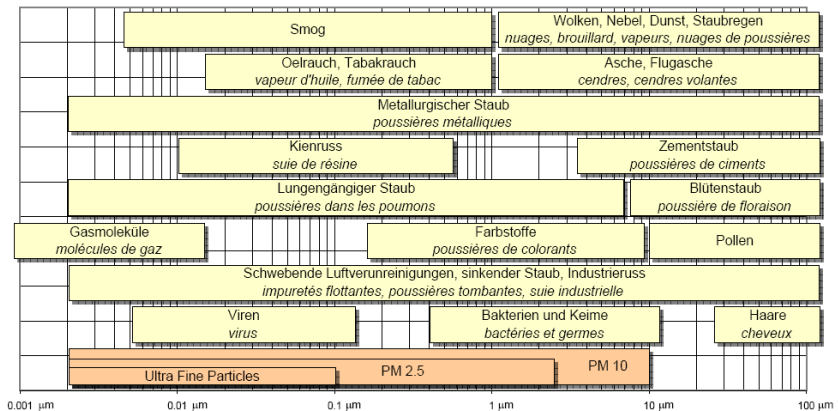


Abb. 3: Grösse von luftgetragenen Belastungsstoffen (Quelle: SWKI VA101-01)

Trotz der medizinisch nicht eindeutig nachgewiesenen Notwendigkeit der künstlichen Befeuchtung in Innenräumen, sind die Irritationen und Krankheits-Symptome von Menschen dahingehend ernst zu nehmen, dass bei Lüftungstechnischen Anlagen immer zertifizierte und geprüfte Feinstaubfilter (Mindestqualität F7) eingesetzt werden müssen. Daneben ist es die Pflicht des Bauherrn und der Architekten, der schadstofffreien Materialisierung ihrer Bauten eine hohe Beachtung zu schenken.

Befeuchtungen und Energieaufwand

Dadurch, dass eine aktive Befeuchtung nicht notwendig ist, bekommt deren energetischer Aufwand ein umso grösseres Gewicht. Der Energiebedarf durch Befeuchtung erreicht schnell die 50 %-Marke des Gesamtenergieaufwandes einer RLT-Anlage.

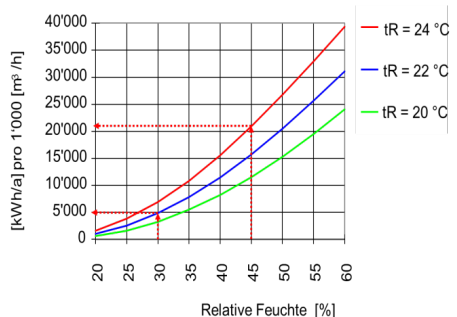


Abb. 4: Befeuchterenergie pro 1'000 m³/h in Abhängigkeit der relativen Feuchte im schweizerischen Mittelland; tR = Raumlufttemperatur

Beispiel 1:

Das Diagramm (Abbildung 4) zeigt den Energieaufwand in kWh/a für 1'000 m³/h Zuluft, basierend auf der Summenhäufigkeitskurve der Aussentemperatur im schweizerischen Mittelland. Der Energieaufwand für 50 % r.F. entspricht dem Gesamtenergieaufwand von rund sieben Minergie-Einfamilienhäusern.

Beispiel 2:

Eine Extrapolation, ein Gedankenexperiment – Befeuchtung für 8 Mio Einwohner.

Ausgehend von den Meteodaten Zürich wird pro 1'000 m³/h Luft 14'692 kWh/a (19'702 kg Wasser) Wärmeenergie für die Befeuchtung benötigt – Verlustfrei gerechnet – effektiv

heisst das somit etwa 20'000 kWh/a oder 20 MWh/a. bzw. damit verbunden 26'000 kg aufbereitetes Befeuchter-Wasser).

Siehe nachfolgender Ausschnitt aus dem Berechnungstool «JEB-L» (Berechnungsbasis Summenhäufigkeitskurven Meteostation Zürich-Kloten):

Eingaben													
Betrachtete Anlage: Lüftungsanlage mit LE, BEF, WRG							Mittlere Luftdichte in der Anlage: $\rho_{L,m} = 1.15$ [kg/m³]						
Aussenluft-Grenztemperatur Winter: $\vartheta_{\text{AHL,m,Wi}} = 12$ [°C]							Raumluft-Grenztemperatur Winter: $\vartheta_{\text{RLm,Wi}} = 23$ [°C]						
Aussenluft-Grenztemperatur Sommer: $\vartheta_{\text{AHL,m,So}} = 20$ [°C]							Raumluft-Grenztemperatur Sommer: $\vartheta_{\text{RLm,So}} = 23$ [°C]						
Rückwärmszahl der WRG: $\Phi_{\text{WRG}} = 80\%$ [-]							Zielltemperatur nach der Luftaufbereitung: $\vartheta_{\text{Ziel}} = 21$ [°C]						
Sattdampftemperatur Befeuchter: $\vartheta_{\text{Satt}} = 105$ [°C]							Absolute Zielfeuchte nach der Luftaufbereitung: $x_{\text{Ziel}} = 7.5$ [g/kg _a]						
Dampfenthalpie im Sättigungszustand: $h'_{\text{Satt}} = 2685$ [kJ/kg _a]							Deckungsgrad der WRG-Anlage: DG = 63.1 [%]						

Resultate													
Betriebsstufen	Luftvolumenstrom	WRG-Heiz-Differenz	WRG-Kühl-Differenz	Lufterhitzer-Differenz	Befeuchter-Differenz	Luftkühler-Differenz	Dampfverbrauch	WRG-Heiz-Energie	WRG-Kühl-Energie	Lufterhitzer-Energie	Befeuchter-Energie	Luftkühler-Energie	Total-Energie
St.	V _L	$\Delta\vartheta_{\text{WRG,H}}$	$\Delta\vartheta_{\text{WRG,K}}$	$\Delta\vartheta_{\text{LH}}$	$\Delta\vartheta_{\text{BEF}}$	$\Delta\vartheta_{\text{LK}}$	M _{Dampf}	Q _{WRG,H}	Q _{WRG,K}	Q _{LE}	Q _{BEF}	Q _{LK}	Q _{tot}
[-]	[m³/h]	[K/a]	[K/a]	[K/a]	[g _w /h(kg _a a)]	[K/a]	[kg _w /a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1000	96759	691	9874	17132	1311	19702	31094	222	3173	14692	421	49603
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total:		96759	691	9874	17132	1311	19702	31094	222	3173	14692	421	49603

(0 l/a)
(8760 l/a)
(0 l/a)
(0 l/a)

Abb. 5: JEB-L V6.0, HLKSE-Tool by D. Burkhardt, Jahresenergieberechnung (verlustfrei) von einer Zuluftanlage mit Luftmenge 1'000 m³/h, 8'760 Betriebsstunden mit Hilfe der Summenhäufigkeitskurven der Aussenlufttemperatur und Feuchte – Meteodaten Zürich-Kloten

Annahmen für die approximative Berechnung:
8 Mio Einwohner mit einem Innenraum-Flächenanspruch von 50 m² = 400'000'000 m².
Durchschnittliche Raumhöhe 2,5 m – es resultiert 1'000'000'000 m³ Raumvolumen.

Ein heute durchschnittliches Haus erfordert eine minimale Luftwechselrate von mindestens 0,3 pro Stunde, um die Bau- und menschliche Hygiene aufrecht zu erhalten.

Es resultieren somit rund 300'000'000 m³/h Luft, die befeuchtet werden müssten.

Bei 20 MWh/a auf 1'000 m³/h ergibt sich
(300'000'000 m³/h : 1'000 m³/h)
x 20 MWh/a = 6'000'000 MWh/a

Das Resultat → Der Energieaufwand für geforderte 45 % r.F. entspricht der durchschnittlichen Jahres-Energieproduktion vom AKW Gösgen.
Bei geforderten 60 % r.F. entsprechend zwei AKW Gösgen.

Info

Das AKW Gösgen hat eine Nettoleistung von 985 MW. Zwischen 1979 und 2010 hat es 233'707'510 MWh Energie geliefert, also rund 7'500'000 MWh pro Jahr (Quelle: Wikipedia).

Schlussbemerkung

Die Recherche zeigt, dass der gesunde Mensch in der Lage ist, seinen Körper mit Feuchte zu versorgen ohne künstliche Befeuchtung über RLT-Anlagen. Die Irritationen werden durch Feinstaub, gasförmige Verunreinigungen etc. verursacht.

Das Problem ist an der Quelle zu suchen und zu lösen. Die künstliche Befeuchtung für normale Komfortanlagen ist im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung der Klimabranche abzulehnen.

Fazit und Empfehlungen

- Die nationalen wie internationalen Gremien sprechen sich für eine Luftbefeuchtung im Rahmen von den 30 % r.F. bei rund 21 °C aus. Es herrscht diesbezüglicher Konsens.
- Dem interessierten Leser und Klimaingenieur wird die Literaturstudie von N. von Hahn – «Trockene Luft und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie» [3] als umfassende und inhaltlich wertvolle Arbeit empfohlen.
- Der Mensch hat mit seinem Atemtrakt ein, in allen Jahreszeiten, perfekt funktionierendes «Feuchte-Regulatorium».
- Es gibt keine medizinischen evidenzbasierten Beweisführungen/Untersuchungen, die eine Befeuchtung für normale Komfort-Anlagen rechtfertigen.
- Die (sicheren) kostenintensiven energetischen Massnahmen für Befeuchtungsanlagen in normalen Komfort-Anlagen stehen in keinem Verhältnis zu ihrem (unsicheren) Nutzen.
- Die Innenluftqualität ist durch schadstofffreie Materialien und eine hygienisch einwandfrei realisierte Lüftungstechnische Anlage sicher zu stellen.
- Die Luftmengen entsprechend dem Aktivitätsgrad von mindestens 10 l/s pro Person helfen, luftgetragene Partikel auszuspülen und damit auch Feuchteirritationen besser zu vermeiden. Niedrige Luftmengen pro Person führen auch dazu, dass die relative Feuchte in Räumen durch die Luftbefeuchtungsquelle «Mensch» selten unter 30 % r.F. fällt.
- Studien im Bereich des Sick Building Syndroms zeigen, dass auch Einflüsse, wie der Luftionengehalt und elektrostatisch aufgeladene Oberflächen, auf das Wohlbefinden Einfluss haben können. Hier sind weitere Forschungsarbeiten anzustreben.

Literatur

- [1] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, SIA 180:2014 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden, Zürich: SIA, 2014.
- [2] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, SIA382/1:2014, Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Zürich: SIA, 2014.
- [3] Trockene Luft und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturrecherche p. 103 bis 107, 2007. Dr. rer. nat. Nadja von Hahn; Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, St. Augustin.
- [4] Bewertung der Innenraumluft Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter; Dipl.-Ing. Dr. R. Boos, Dipl.-Ing. Bernhard Damberger, Dipl.-Ing. Dr. H.-P. Hutter, Univ.-Prof. Dr. M. Kundi, Dr. H. Moshhammer, Dipl.-Ing. P. Tappler, Dipl.-Ing. F. Twrdik, Dr. P. Wallner
- [5] Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., «Fragen und Antworten zur Raumluftfeuchte» Bietigheim-Bissingen, ohne Datum.
- [6] Bundesamt für Energie BFE, «Merkblatt Luftbefeuchtung», BFE, Bern 1999
- [7] Ionisierte Luft im Innenraum, Review zur Anwendung von ionisierter Luft im Innenraum, Hochschule Luzern, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP), Dr. Jan Eckert, Sibylla Amstutz, Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Külpmann, Prof. Kurt Hildebrand, Prof. Dr. Peter Schwehr und s-leit swissengineering AG, Durrer-Technik AG im Januar 2013
- [8] Raumluftqualität Zuluftionisation Gesundheit. Werner Fleischer, Klaus Fiedler. UNI-MED 2006, ISBN 3-89599-331-X
- [9] Endonasales Temperatur- und Feuchteprofil nach Exposition zu verschiedenen klimatisierter Einatemluft, T. Keck, R. Leacker, J. Lindemann, S. Kühnemann – Universitätsklinik-HNO-Klinik Ulm HNO 5-2001 | HNO 2001 49:372-377, Springer-Verlag
- [10] P. Iselt und U. Arndt, Grundlagen der Luftbefeuchtung, Heidelberg: C.F. Müller Verlag GmbH, 1996