

Fernlehrgang Baubiologie

Raumklima

03

Inhalt

1. Grundlagen	3
1.1 Übergeordnete Bedeutung des Raumklimas	3
1.2 Klimafaktoren	3
1.3 Äußere Einflussfaktoren	5
1.4 Bioklima und Gesundheit	5
1.5 Entwicklung des Bauens	6
2. Raumtemperatur	8
2.1 Wärmephysiologische Betrachtungen	8
2.2 Wärmeleitung und Oberflächentemperatur	8
2.3 Fenster und Raumklima	12
2.4 Optimale Raumlufttemperatur	14
Zusammenfassung - Raumlufttemperatur	18
3. Raumluftfeuchte	19
3.1 Raumluftfeuchte und Gesundheit	19
3.2 Was beeinflusst die Raumluftfeuchte?	23
3.3 Wie hängen Luftfeuchte, Wärmedämmung, Wandfeuchte und Schimmelpilzbefall zusammen?	24
Zusammenfassung und Empfehlungen - Raumluftfeuchte	28
4. Heizungsklima	30
5. Lüftung	31
5.1 Lüftung und Gesundheit	31
5.2 Frischluftbedarf in Innenräumen	35
5.3 Lüftungsarten	37
5.3.1 Natürliche Lüftung	37
5.3.2 Fallbeispiele zum Lüftungsbedarf	43
5.3.3 Lüftungsanlagen	45
5.3.4 Klimaanlage	46
6. Baustoffe und Raumklima	48
Fragen zur Lernkontrolle	49

1. Grundlagen

1.1 Übergeordnete Bedeutung des Raumklimas

Es ist die Atmosphäre einer Wohnung, eines Hauses.
Es bringt das Wesen eines Hauses zum Ausdruck.
Es erfüllt die äußeren Formen mit Leben.
Es schafft Harmonie (oder Disharmonie), die sich ganzheitlich auf Geist, Seele und Körper des Menschen auswirkt.

Das **Raumklima** wird durch Baustoffe und Bauart geprägt, es bestimmt seinerseits den Wohnwert eines Gebäudes und seine biologische Wirkung in hohem Maße. Das sollte man bei nahezu allen baulichen Maßnahmen berücksichtigen. Die nachstehenden Darlegungen beziehen sich sowohl auf Wohngebäude, als auch auf Schulen, Krankenhäuser, Heime und nicht zuletzt auf die große Zahl der Büros und Werkräume.

Selbst dort, wo die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter*innen im Vordergrund steht, ist ein gesundes Klima in Ausbildungs- und Arbeitsstätten mindestens ebenso wichtig wie Organisation, Rationalisierung und optimale technisch-räumliche Ausstattung. Zusätzlich zur quantitativen Leistung trägt das richtige Klima zur Gesundheit (niedriger Krankenstand, hohes Alter), Zufriedenheit, zum Wohlbefinden und allgemein zu einem positiven Betriebs- oder Schulklima bei; schließlich wirkt es sich auch, wie häufig nachgewiesen wurde, auf die Qualität der Arbeit günstig aus.

Diese Zusammenhänge sind mittlerweile weltweit anerkannt. Der Begriff **“Sick-Building-Syndrome”** hat sich etabliert. Dabei geht es sinngemäß um krankmachende Gebäudeeinflüsse.

Dass die Bedeutung der mikroklimatischen Einflüsse auch vom Gesetzgeber erkannt wurde, geht deutlich u. a. aus den **Bestimmungen der Verordnung über Arbeitsstätten des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales** hervor.

1.2 Klimafaktoren

Definitionen

- **Klima:** Gesamtheit aller meteorologischen Erscheinungen innerhalb eines größeren Zeitraumes für eine bestimmte Region. Bestimmende Faktoren für diese “Witterungsverhältnisse” sind: Sonneneinstrahlung, Wärmerückstrahlung der Erde, Wasserdampfgehalt der Luft, Wind, Luftdruck, Staub- und CO₂-Gehalt u.a. der Luft.



Abb. 01: Der Ofen als wärmender Mittelpunkt. Gesundes Raumklima durch Strahlungsheizung und natürliche Baustoffe wie Holz und Lehm.

Quelle: natürlich-baubio-logisch GmbH, Baubiologische Beratungsstelle IBN

https://www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/index.html

- **Klimatisierung:** Beeinflussung und Regelung der Temperatur, Luftzufuhr und -feuchtigkeit durch Klimaanlage.
- **Biometeorologie** bzw. **Bioklimatologie:** Lehre über die Einwirkung des Klimas auf biologische Systeme (hier v. a. auf den menschlichen Organismus).

Die Bioklimatologie bzw. die Schaffung eines gesunden Raumklimas ist eine der schwierigsten Sparten der Wissenschaft, da sie außerordentlich komplex ist. Diejenigen, die für das Raumklima verantwortlich sind (Architekten, Haustechniker, Energieberater, Baufirmen u.a.), müssen daher über ein umfangreiches Wissen verfügen.

Auf das Raumklima wirken die in folgender Übersicht systematisch zusammengestellten Faktoren. Luft, Temperatur, Feuchte und Elektroklima mit ihren vielseitigen Einzelaspekten beeinflussen sich wechselseitig mehr oder weniger und diese werden wieder von Baustoffen, Bauart, Installation, Möblierung und Siedlung geprägt.

Unter Anwendung der vorhandenen bauklimatischen Erkenntnisse lässt sich ein angenehmes, gesundes Raumklima schaffen.

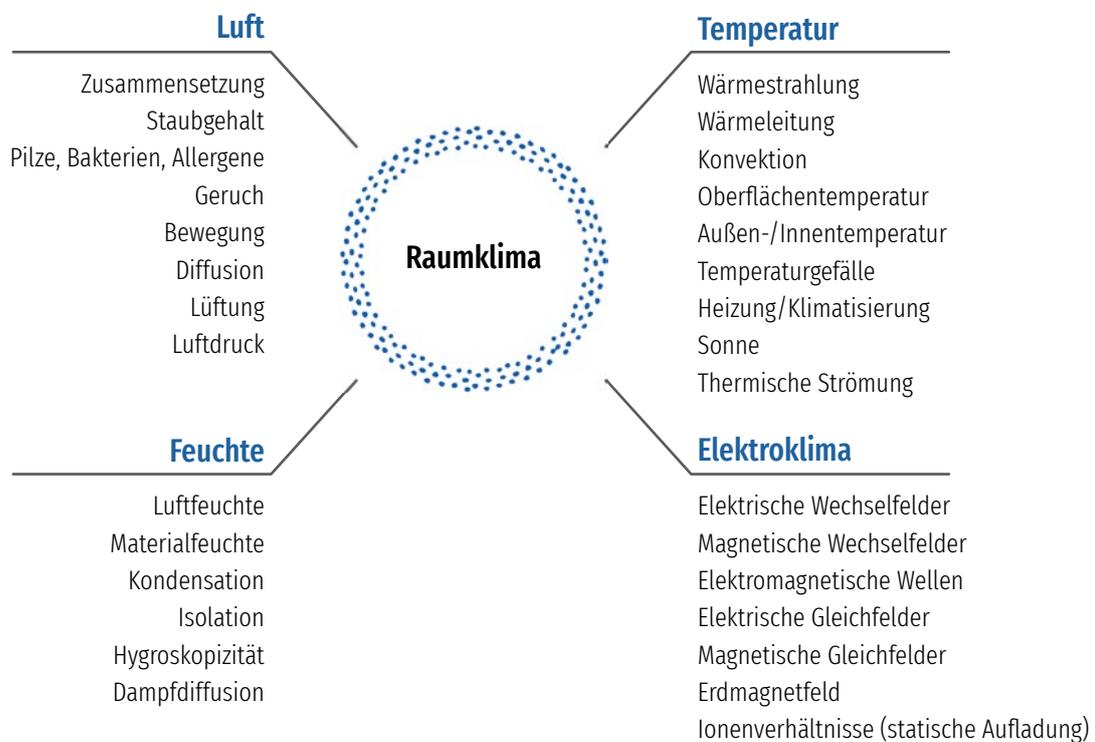


Abb. 02: Klimafaktoren in Häusern

1.3 Äußere Einflussfaktoren

Das Klima in umschlossenen Räumen wird auch von außen stark beeinflusst. Das Klima auf der Erde ist seit Milliarden von Jahren Voraussetzung für die Entstehung und Erhaltung allen Lebens. Eine besondere Wirkung geht von der Sonnen- bzw. Lichtstrahlung aus: Alle Lebensprozesse (vor allem die Photosynthese und die Molekularbewegung) sind davon abhängig – aber auch Krankheiten.

vgl. Kurs 22 Licht und Beleuchtung

Das natürliche Gleichgewicht unseres Klimas ist häufig (unabhängig von der globalen Klimaerwärmung) empfindlich gestört: In Städten ist der Schadstoffgehalt der Luft höher als auf dem Land, Licht- und kosmische Einstrahlung sind reduziert, die Versorgung mit sauerstoffreicher Frischluft ist beeinträchtigt, die Luftfeuchte ist meist niedriger, die Temperatur dagegen höher („Steinwüste“), u. a. liegt auch der CO₂-Gehalt über den Normalwerten und bedenklich ist schließlich auch der permanente Elektromog.

1.4 Bioklima und Gesundheit

Welche positiven und negativen Wirkungen das Bioklima auf den Menschen hat, kommt in folgender Darstellung zum Ausdruck:

Positive Wirkungen

- Gesundheit (physisch-psychisch)
- Wohlbefinden
- Geordneter Stoffwechsel
- Gute Hautdurchblutung
- Stärkung des Immunsystems
- Leichte Atmung
- Sauerstoffversorgung
- Harmonische Atmosphäre
- Gemütlichkeit
- Leistungsbereitschaft
- Konzentrationsfähigkeit

Negative Wirkungen

- Erkältungen
- Rheuma
- Asthma, Schweratmigkeit
- Allergien
- Kopfschmerzen
- Schlafstörungen
- Nervosität
- Ermüdung, Reizbarkeit
- Unbehagen, Depression
- Blutdruck-/ Kreislaufstörung
- Nieren- und Blasenleiden
- Wärmestauung
- Starkes Schwitzen
- Augenentzündungen
- Rissige Haut
- Verringerte Lebenserwartung
- Gestörte Fruchtbarkeit
- Erhöhter Nahrungsverbrauch
- Reduzierte (körperliche/ geistige) Leistung
- Vergiftung
- Vegetative Dystonie
- Geruchsbelästigung

Übersicht 01: Positive und negative Wirkung des Bioklimas

Prof. Jagadis Ch. Bose: Indischer Physiker und Botaniker (1858 - 1937)

Die klimabedingte Empfindlichkeit des Menschen und ebenso von Tier und Pflanze ist stark von der Konstitution des Organismus abhängig. Nach Versuchen von Prof. Jagadis Ch. Bose starben z. B. gesunde Pflanzen erst bei Temperaturen um 60 Grad Celsius, während geschwächte Pflanzen aus dem Glashaus bereits bei 30 Grad Celsius eingingen. Dieses Ergebnis dürfte auch bedeutsam im Hinblick auf die Bioklimatologie bzw. die Schaffung eines gesunden Raumklimas sein.

Der Organismus muss sich ständig auf sich verändernde klimatische (und andere) Belastungen einstellen und leidet deshalb unter **Stress-Symptomen**. Früher oder später können sie zu chronischen Erkrankungen führen. **Andererseits kann das Klima zu all dem beitragen, was den Menschen zufrieden und glücklich werden lässt: Wohlbefinden und Gesundheit, Harmonie und Lebensfreude. Entsprechend ist ein gesundes Raumklima eines der wichtigsten Ziele der Baubiologie.**

1.5 Entwicklung des Bauens

Im Tierreich finden wir einfache Beispiele des Bauens. Hier zeigt sich ganz deutlich die primäre Bedeutung klimatischer Faktoren für das Bauen von Nestern, Höhlen, Lager usw. So wird z. B. Material verwendet, das eine gute Wärmedämmung infolge seines lockeren Gefüges und seiner Porosität aufweist; die gute isolierende Wirkung ruhender Luft wird ausgenutzt. Aus der nächsten Umgebung liefert die Natur die benötigten Baustoffe, wie Reisig, Holz, Lehm, Heu, Laub, Federn und Wolle. Der Aufbau bewirkt eine zunehmende Wärmedämmung von außen nach innen.

Beispielhaft seien hier die Nester von Amseln, Schwalben, die Baumhöhlen des Spechtes oder die Wohnhöhlen des Hamsters erwähnt. Selbst Bodenbrüter wie der Kiebitz nutzen die isolierende Wirkung von Ästen oder schichten Gestein und im Falle des Sandregenpfeifers Muschelschalen so geschickt auf, dass die empfindlichen Eier und Jungvögel gegen den feuchten, kalten Untergrund durch die zwischen diesem Aufbau befindlichen Luftkammern abgeschirmt sind.

Die Ausgangsformen der Bauwerke des Menschen sind denen der Tiere sehr ähnlich. In manchen Regionen werden noch heute Hütten, Baumhäuser, Höhlen, Jurten und Zelte aus Holz, Bambus, Lehm, Steinen, Schilf, Stroh, Hirsestroh, Laub, Baumwolle, Wolle oder Rinde erstellt.

Zwischen dem örtlichen Vorhandensein von Baumaterial, den jeweiligen Klimaverhältnissen und den Bauarten bestehen enge Beziehungen. Einfachheit und Nützlichkeit prägen diese Bauten. Selbst unter extremen täglichen Klimaschwankungen in Steppen und Wüstenzonen genügen sie seit



Abb. 03: Traditionelle mongolische Kazakh Jurte aus auseinanderziehbaren Holz-Wandgittern, mehreren Lagen Wollfilz und Baumwolltüchern

Quelle: Adobe Stock, Alexandr Yermakov

Jahrtausenden den Bedürfnissen des Menschen. Und ein solcher Klimaschutz ist zudem nahezu kostenlos; nur die Arbeitskraft des Bauherrn und evtl. seiner Nachbarn sind erforderlich. Auch bei den verbesserten Bauten, bei denen zusätzlich zur Schutzfunktion auf Solidität und Schönheit geachtet wird, werden die bewährten und örtlich vorhandenen Baustoffe nach den Erfahrungen der Vorfahren verwendet. Stein- und Ziegelbauten (vorwiegend luftgetrocknete Lehmziegel) spielten vor allem in Städten warmer Gebiete wie z. B. in Griechenland oder dem Nahen Osten eine Rolle; die Holzarmut als Folge der Waldrodung hat diese Bauweise gefördert.

In Europa wurden bis zu Beginn und teils bis Mitte des 20. Jahrhunderts im Wohnungsbau 60 - 70 % mineralische Baustoffe wie z. B. Ziegel, Lehm, Kalk und 30 - 40 % pflanzliche Baustoffe wie z. B. Holz, Kork, Stroh, Schilf verwendet. Innerhalb weniger Jahrzehnte haben sich die Verhältnisse völlig verändert. Heute werden überwiegend industriell hergestellte Baustoffe wie Stahlbeton, Stahl, synthetische Materialien und Glas verbaut. Vornehmlich für das Raumklima hat diese Entwicklung – auch in Verbindung mit der modernen Heiztechnik und Elektroinstallation – zahlreiche Probleme mit sich gebracht.

Zu vielen Baustoffen gibt es in Deutschland keine statistische Datenerhebung. Die Verwendung natürlicher Baustoffe beispielsweise aus Lehm, Kalk, Holz oder anderen nachwachsenden Rohstoffen erlebt jedoch aufgrund des wachsenden Umwelt- und Gesundheitsbewusstseins, aber auch aufgrund des Angebots guter Produkte eine Renaissance.

Aus welchen Gründen haben Sie sich für...

... eine Dämmung entschieden?

Ich möchte meinen Heizenergieverbrauch senken.	84 %
Ich möchte den Wohnkomfort meines Gebäudes steigern.	58 %
Ich möchte den steigenden Energiepreisen entgegenwirken.	55 %
Ich möchte etwas für die Umwelt tun.	54 %
Ich möchte den Wert meiner Immobilie steigern/senken.	46 %

... einen ökologischen Dämmstoff entschieden?

gesundheitliche Aspekte	78 %
ökologische Kriterien	68 %
besserer Hitzeschutz im Sommer	65 %
gleichwertige und / oder bessere Dämmleistung	36 %
einfache Verarbeitung	32 %

Übersicht 02: Ergebnis einer Markt- und Sozialforschungsstudie der Hochschule Pforzheim 2017 zum Thema "Nachwachsende Rohstoffe" am Beispiel von Fassadendämmungen auf Basis von 340 Interviews.

2. Raumtemperatur

2.1 Wärmephysiologische Betrachtungen

Im menschlichen Organismus herrscht eine konstante Kernkörper-Temperatur (innere Organe) von ca. 37 °C; einige Zehntel Grad darüber gelten bereits als Fieber. Die gesamte Schwankungsbreite über die einzelnen Körperteile bewegt sich zwischen 22 °C (Nase/Ohren) und 40 °C (Leber). Die Hauttemperatur liegt zwischen 30 und 35 °C, im Mittel bei 32 °C.

Die Körperwärme wird laufend beim Ablauf des Energiestoffwechsels gebildet. Der Energieumsatz ist besonders abhängig von der Körperbewegung und kann sich bei Schwerarbeit um das 30-fache erhöhen. Durch Steuerungsmechanismen wie Hautdurchblutung, Regulation der Hautporen, Schweißabsonderung, Atmung wird der Wärmehaushalt des Körpers ständig im Gleichgewicht gehalten.

Der Organismus gibt dabei Wärme ab (im Durchschnitt unter normalen Bedingungen etwa 100 W) oder nimmt in Abhängigkeit von den Klimaverhältnissen von außen Wärme auf.

vgl. Kurs 07 Baustoffkunde und Bauphysik
sowie Kurs 10 Energieeffizientes Bauen und Sanieren

Der **Wärmeaustausch** ist abhängig von der Raumlufttemperatur, Oberflächentemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung, Wärmeleitfähigkeit des Kontaktmaterials sowie von der Kleidung.

2.2 Wärmeleitung und Oberflächentemperatur

Der Wärmeaustausch wird von der Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen sowie der Inneneinrichtung maßgeblich beeinflusst – besonders hinsichtlich Wärmeleitung und Wärmestrahlung. Zu achten ist nicht nur auf die Oberflächentemperaturen der Fußböden, Wände und Fenster, sondern auch auf diejenigen der Möbel (besonders Tischplatte), Arbeitsgeräte und Maschinenteile, aber auch auf die Kleidung (besonders Schuhe).

Primäre Ursache der Wärmeempfindung ist die der Körperoberfläche durch Strahlung, Konvektion und Wärmeableitung entzogene oder zugeführte thermische Energie. Die thermische Belastung der Füße ist vorwiegend durch die Wärmeableitung über die Schuhsohlen bedingt, während bei Kopf, Händen und Rumpf die Wärmeabgabe hauptsächlich durch Strahlung und Konvektion erfolgt. Kopf, Hände und Füße nehmen trotz ihres geringen Flächenanteils eine Sonderstellung als Indikatoren für das **thermische Behaglichkeitsempfinden** ein.

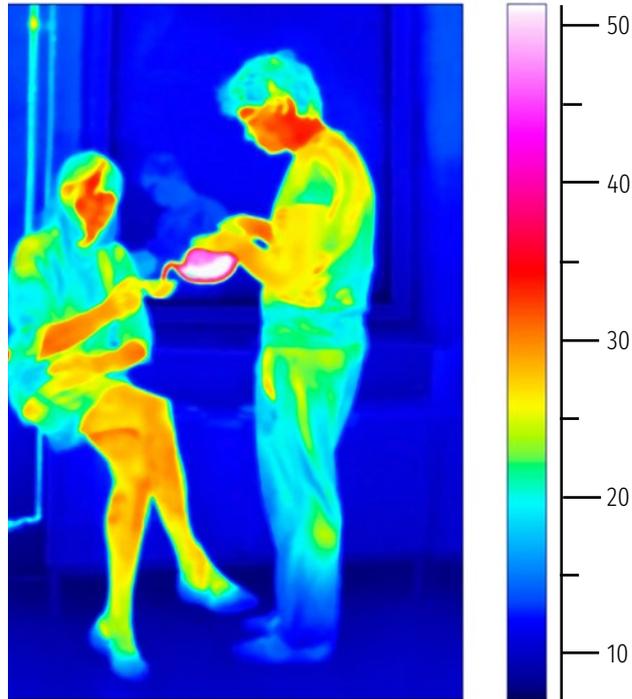
Gesamtkörper 100 % (1,8 m²)Kopf 9 % (0,16 m²)Rumpf 36 % (0,65 m²)Arme 18 % (0,32 m²)Hände 1 % (0,02 m²)Beine 34 % (0,61 m²)Füße 2 % (0,04 m²)

Abb. 04: Thermografie von zwei Menschen und deren Körperoberflächenanteile (Durchschnittswerte bei einer Körpergröße von 1,75 m und einem Körpergewicht von 75 kg).

Bild: Adobe Stock, Ingo Bartussek

Für ein gesundes Raumklima sind genügend hohe Oberflächentemperaturen und vor allem ein fußwarmer Boden, aber auch geeignete Schuhe, sehr wichtig.

Teppich	0,06 W/mK
Korkfliese	0,07 W/mK
Weichholz (z. B. Fichtendielen)	0,13 W/mK
Linoleum	0,17 W/mK
Hartholz (z. B. Eichenparkett)	0,18 W/mK
Fliesen aus Keramik	1,30 W/mK
Zementestrich	1,40 W/mK
Marmor	3,50 W/mK

Als fußwarm gilt ein Baustoff mit einer Wärmeleitfähigkeit bis ca. 0,20 W/mK

Der Unterschied zwischen z. B. einem Teppich- und einem Marmorfußboden beträgt wärmeleittechnisch 1 : 58

Tab. 01: Wärmeleitfähigkeit (W/mK) von Materialien für Fußböden



Versuche im IBN mit einem künstlichen Fuß von 30 °C bestätigen die Bedeutung fußwarmer Böden. Nach 5 1/2 Minuten reduziert sich dessen Temperatur bei:

- Estrich auf ca. 24 °C
- 24 mm Holzfußboden auf ca. 28 °C
- 8 mm Kork-Parkett auf ca. 29 °C

Wohlbefinden und Gesundheit (Erkältung, Rheuma, Kreislaufstörungen, Erkrankungen innerer Organe) werden von diesen Gegebenheiten stark beeinflusst. Das gilt besonders für Kinder, die auf dem Fußboden spielen sowie für Menschen, die wenig Bewegung haben.

Die thermischen Eigenschaften der Baustoffe (insbesondere Wärmeleitung und -speicherung) sind auch bestimmend für die Geschwindigkeit der Zunahme der Oberflächentemperatur bei Beheizung eines Raumes.

Bei einem Versuch im IBN wurde eine Stunde lang die Raumlufttemperatur von 5 °C auf 20 °C erhöht; die Oberflächen erwärmten sich zugleich bei:

- Zementestrich auf ca. 7 °C
- Holzfußböden auf ca. 12 °C
- Korkparkett auf ca. 16 °C

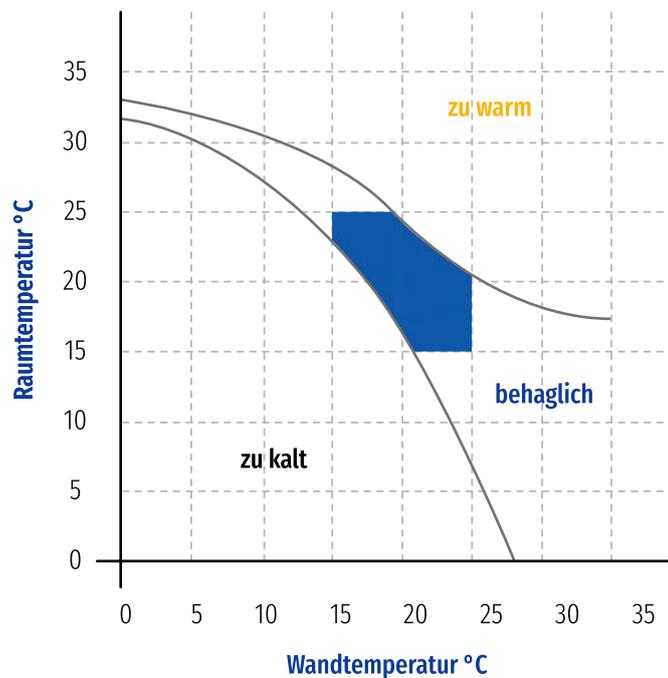


Abb. 05: Abhängigkeit zwischen der mittleren Raumlufttemperatur und der Wandtemperatur (Behaglichkeitszone blau)

Quelle: Wilhelm Ledwina, Angewandte Bioklimatologie mit modernen naturnahen Heilmethoden, 1981

Aus Abb. 05 geht hervor:

- Falls die mittlere Wandtemperatur (einschließlich Fenster) 5 °C unter der Raumlufttemperatur von etwa 20 °C liegt, muss die Raumlufttemperatur um ca. 3 °C angehoben werden, um das Temperaturempfinden des Menschen in den Behaglichkeitsbereich zu bringen.
- Die Erhöhung der Raumlufttemperatur um 1 °C bringt eine Steigerung der Heizkosten von ca. $5 - 6\%$ mit sich. Erhöht man also die Raumtemperatur von z. B. 21 °C auf 23 °C , steigen die Heizkosten um ca. $10 - 12\%$.

Wände und Fußböden von Wohnräumen sollten also idealerweise max. 2 °C kühler bzw. max. 5 °C wärmer (z. B. bei Wand- oder Fußbodenheizung) sein als die Raumluft (gemessen in 10 cm Abstand).

Auf kalten Oberflächen kann sich durch Unterschreitung des Taupunktes Tauwasser bilden. Auch deshalb sind genügend hohe Oberflächentemperaturen anzustreben, um bauliche und gesundheitliche Schäden zu vermeiden; es sei hier nur auf Durchfeuchtung, Korrosion, Rissbildung, Farb- und Tapetenschäden, verminderte Wärmedämmung, Schimmel- und Pilzbefall und als Folge u. a. Allergien, Asthma, Rheuma hingewiesen.

vgl. Kurs 13 Schadstoffe und Schimmelpilze

Wärmedämmungen sollen bei Außenbauteilen wie z. B. bei Außenwänden so beschaffen sein, dass der Taupunkt weit außen liegt und der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) unter $0,5\text{ W/m}^2\text{K}$ beträgt. Durchfeuchtung, ungenügende Dimensionierung oder Wärmebrücken (z. B. Grundmauern, Außenecken oder auskragende Balkonplatten) führen häufig dazu, dass die Oberflächentemperaturen vor allem bei älteren Gebäuden an den Innenseiten der Außenwände oft weit unter dem Optimum von ca. 20 °C liegen. An solchen Wänden sollten keine Betten aufgestellt werden. Zumindest der wärmephysiologisch empfindliche Kopfbereich darf nicht in ihrer unmittelbaren Nähe sein; dies gilt natürlich auch hinsichtlich der Fensterflächen.

Auch großflächige Möbelstücke und Einbauschränke einschließlich ihres Inhalts sind an solchen Wandflächen gefährdet (Feuchtigkeit, modriger Geruch, Schimmel u. a.), weil hier noch zusätzlich die trocknende Luftzirkulation gemindert oder unterbunden ist bzw. der Inhalt (Wäsche, Bücher usw.) bauphysikalisch betrachtet nichts anderes ist als eine Innendämmung, durch welche sich der Taupunkt weiter nach innen verlagert und zu vermehrtem Ausfall von Tauwasser führt.

2.3 Fenster und Raumklima

Im Zusammenhang mit den Oberflächen- und Raumlufttemperaturen ist den Fensterflächen eine entscheidende Bedeutung beizumessen, zumal sie bei der modernen Glasarchitektur häufig einen Wohnflächenanteil von 40 % und mehr aufweisen. Bei solchen Räumen können die Fenster im Winter am Wärmeverlust und im Sommer am Wärmeeintrag und somit der Überhitzung der Räume erheblich beteiligt sein ("Wärmelöcher").

Fensterart	U _g -Wert* W/m ² K	Oberflächentemperatur bei 0 °C	Oberflächentemperatur bei -10 °C
Einfachglas	5,8	4,9 °C	- 2,6 °C
Verbundglas	3,4	11,2 °C	6,7 °C
2-Scheiben-Isolierglas	2,8	12,7 °C	9,1 °C
3-Scheiben-Isolierglas	2,3	14,0 °C	11,0 °C
Kastenfenster (1 + 2)	2,0	14,8 °C	12,2 °C
Kastenfenster (2 + 2)	1,4	16,4 °C	14,5 °C
2-Scheiben-Wärmeschutzglas	1,1	18,1 °C	16,7 °C
3-Scheiben-Wärmeschutzglas	0,6	19,4 °C	18,7 °C
Zum Vergleich:			
Außenwand	0,4	19,0 °C	18,4 °C

*U-Wert = Wärmedurchgangskoeffizient / U_g-Wert = U-Wert für Verglasung (g = glazing)

Übersicht 03: U-Wert und Oberflächentemperatur innen von Fensterflächen bei einer Innenraumtemperatur von 21 °C

vgl. Kurs 07 Biologische Baustofflehre / Bauphysik

Gegenüber der Raumlufttemperatur (hier 21 °C) ergeben sich entspr. dieser Übersicht Differenzen von 16,1 bis 23,6 °C bei Einfachglas und 8,3 bis 11,9 °C bei 2-Scheiben-Isolierglas. Beides führt zu Zuglufterscheinungen und Unbehaglichkeit sowie zu enorm hohen Wärmeverlusten.

vgl. Kurs 08 Heizung und Lüftung

Durch passive Sonnenenergiegewinne (bei großen Verglasungen, aber auch bei hohen Außentemperaturen ohne Sonneneinstrahlung) können die Raumtemperaturen oft weit über das gewünschte Niveau ansteigen, so dass Be- und Entlüftungsmaßnahmen vorzusehen sind. Eine Durchlüftung durch Öffnen der Fenster und Türen ist nur dann entsprechend wirksam, wenn dies in den kühlen Morgen-, Abend- oder Nachtstunden geschieht, so dass der gesamte Baukörper die gespeicherte Wärme abgeben kann. Aber oft können wegen Lärmbelastigung die Fenster nicht ausreichend geöffnet werden; hier können Lüftungsanlagen sinnvoll sein.

Wärmeschutzglas wird mit einer hauchdünnen Silber- oder Goldbeschichtung (Schichtdicke 70-180 nm) versehen, welche die Wärmestrahlen im Infrarotbereich reflektiert. Die Metallbeschichtung trägt im Winter erheblich zum Energiesparen bei, verhindert aber im Sommer die Auskühlung, was

durch verstärktes Lüften ausgeglichen werden muss. Nach Abwägung aller Vor- und Nachteile haben Wärmeschutzgläser durchaus ihre Berechtigung. Metallbedampfte **Sonnenschutzscheiben**, die vorwiegend für Bürogebäude verwendet werden, reflektieren einen Teil der Wärme- sowie der Lichtstrahlung. Dies jedoch nicht nur im Sommer, sondern auch an kalten Tagen, an welchen die Sonnenwärme – u. a. aus Energiespargründen - erwünscht ist. Alternativ besser geeignet sind deshalb Sonnenschutzanlagen oder elektrisch leitfähige Glasbeschichtungen („Intelligentes Glas“), die eine bedarfsgerechte Abschattung ermöglichen.

vgl. Kurs 10 Energieeffizientes Bauen... und Kurs 22 Licht und Beleuchtung

Noch wichtiger als der Einbau richtiger Gläser ist der regelmäßige Aufenthalt im Freien. Nur hier steht der Mensch im ungefilterten Strahlungsaustausch mit der Atmosphäre und dem Erdboden, nur hier ist ein ausreichendes Angebot von UV-Licht und das gesamte natürliche Lichtspektrum anzutreffen. Dies gilt umso mehr für kranke Menschen, die aus eigener Kraft nicht mehr ins Freie können. Deshalb sollte jede Wohnung und jedes Haus einen windgeschützten, schwellenlos erreichbaren Platz im Freien (SO bis SW) haben (z. B. Balkon, Terrasse).

Sonnenschutzanlagen (Jalousien, Jalousetten usw.) mindern zwar die Wärme, aber auch die Lichteinstrahlung und die freie Sicht nach draußen. Sie sind deshalb nicht ideal. Durch ausreichend große Dach- oder Balkonüberstände kann auf Sonnenschutzanlagen häufig verzichtet werden. Um die Sonneneinstrahlung zu regulieren, eignen sich sehr gut Laubbäume (auch Sträucher, Stauden oder Pergolen mit Kletterpflanzen). Im Sommer wird die Sonneneinstrahlung durch das Laub reduziert. Im Winter, wenn die Bäume kahl sind, kann die Sonnenenergie für die Raumerwärmung genutzt werden.

Größe und Orientierung der Fenster, Beschattung durch Grün, Vorhänge, Vorbauten, Dachvorsprünge, Balkon, Brüstung usw. sollten unter Berücksichtigung der Baustoffe für den gesamten Baukörper so aufeinander abgestimmt sein, dass sich optimale Wärme-, Luft- und Lichtverhältnisse zu jeder Jahreszeit einstellen. Eine solche **natürliche Klimatisierung** schafft nicht nur ein behagliches Raumklima, sie macht auch eine Raumkühlung oder Klimaanlage entbehrlich und sie reduziert zusammen mit anderen Maßnahmen die Heiz- und Kühlkosten.

Baubyo-logisch

Diese wärmetechnisch wichtigen Fragen sollten schon am Anfang des Bauens bzw. Sanierens im Rahmen der Planung eingehend geprüft werden – und zwar im Sinne einer natürlichen und baulichen Klima-Regulation. Baubyologische Gebäude-Energieberater IBN sind hierfür besonders gut qualifiziert.



2.4 Optimale Raumlufthtemperatur

Auf das thermisch bedingte Wohlbefinden des Menschen wirken Lufttemperatur, Oberflächentemperatur, Art der Wärmequelle, Luftbewegung als Folge unausgeglichener Wärmeverhältnisse, Zugluft sowie wärmeabhängige Luftfeuchte gemeinsam und einzeln.

Unser **Temperaturempfinden** mittelt zwischen den Luft- und Oberflächentemperaturen eines Raumes, jedoch begrenzt auf ± 2 bis 3 °C Abweichung zwischen diesen beiden Wärmequellen. Einzelne Flächen (meist Fenster oder Wärmebrücken) wirken unbehaglich und mindern den Wohnkomfort, wenn sie diese Temperaturdifferenz überschreiten.

vgl. Abbildung 05

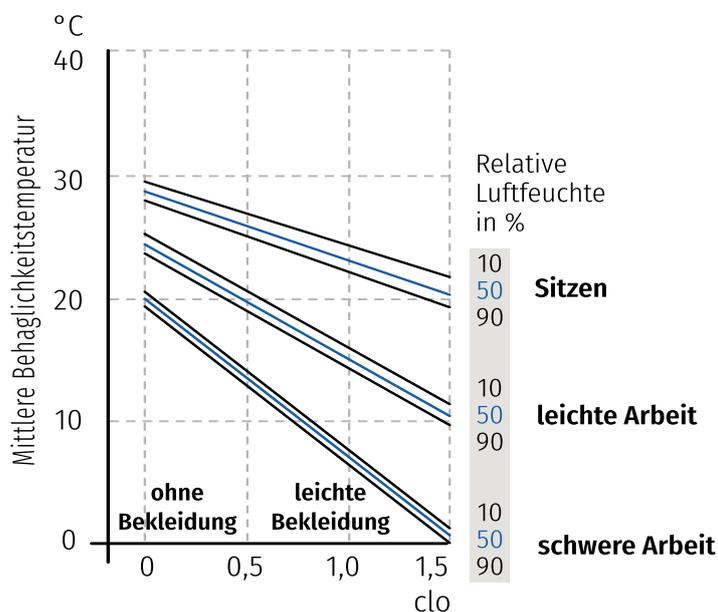
Das **Wärmeempfinden** ist individuell verschieden und streut sehr stark; besonders in Abhängigkeit von der Bekleidung, der körperlichen Betätigung, der Nahrungsaufnahme, dem Alter, der Gesundheit, dem Geschlecht, der Anpassung, der Heizungsart, der Luftfeuchte, der Jahreszeit (22 °C z. B. werden im Winter als warm, im Sommer als kühl empfunden), den Licht- und Farbverhältnissen (eine „warme“ Farbe wie z. B. orange erhöht die subjektiv empfundene Temperatur um $1 - 2\text{ °C}$, eine „kalte“ Farbe wie z. B. blau senkt diese um $1 - 2\text{ °C}$) usw. Werte von $20 - 24\text{ °C}$ gelten als normal. Der als „angenehm warm“ bezeichnete Schwankungsbereich liegt zwischen 17 und 27 °C . Deshalb sollte Toleranz gegenüber Menschen mit anderen Temperaturempfindungen selbstverständlich sein. Im beruflichen Umfeld kann es durchaus sinnvoll sein, Arbeitsplätze mit unterschiedlichen Temperaturzonen zu schaffen oder Arbeitsstühle mit integrierter Heiz- und Kühlfunktion zu verwenden.

Arbeitsstühle mit Klimatechnologie z. B. von Klöber GmbH, Owingen

Wohnzimmer und Büro	$20 - 23\text{ °C}$
Schlafzimmer	$15 - 20\text{ °C}$
Bad	$20 - 23\text{ °C}$
Treppenhaus	15 °C
Küche bei leichter Tätigkeit	$18 - 20\text{ °C}$
Arbeitsräume bei schwerer Tätigkeit	$15 - 17\text{ °C}$

Tab. 02: Empfohlene Raumtemperaturen

Eine bedeutende Rolle für das physiologische Wärmeempfinden spielt die Gewöhnung z. B. an zu hohe Raumtemperaturen. **Aus gesundheitlichen Gründen und auch aus Umweltgesichtspunkten sollte deshalb regelmäßig geprüft werden, ob die Raumtemperaturen zumindest etwas reduziert werden können.** Auch eine wärmere Bekleidung am Wohnort wie am Arbeitsplatz ist empfehlenswert.



clo = clothing units (Clothing insulation = Isolationswert der Kleidung)
1 clo entspricht dem Wärmeleitwiderstand $160 \text{ m}^2\text{K}/\text{kW}$

Abb. 06: Einfluss der relativen Luftfeuchte, Bekleidung und Tätigkeit auf die Behaglichkeitstemperatur (bei einer geringen Luftgeschwindigkeit von $< 0,1 \text{ m/s}$).

Quelle: Wegner, J. „Luftqualität in Innenräumen“, G. Fischer Verlag, 1982

Entsprechend Abb. 06 liegen die Behaglichkeitstemperaturen sehr weit auseinander (etwa zwischen 0 und $30 \text{ }^\circ\text{C}$), wenn man Extremwerte von Luftfeuchte, Bewegung, Arbeit und Bekleidung (clo) als Einflussfaktoren zugrunde legt.

Eine gleichmäßig hohe Temperatur im ganzen Haus ist aus gesundheitlichen und energetischen Gründen nicht erstrebenswert.

Auch in der Natur herrschen große Unterschiede auf engem Raum (Sonne/Schatten, mit oder ohne Wind, auf Stein- oder Holzboden...). Die auf den Organismus infolge Temperaturschwankungen einwirkenden Impulse erfrischen und stärken das Immunsystem. Allerdings sind ähnliche Raumtemperaturen in Gebäuden mit niedrigem Energiebedarf nicht vermeidbar. Besonders für die Bewohner solcher Häuser ist es empfehlenswert, öfter mal Zeit im Freien zu verbringen.

Eine **übermäßig hohe Wärme** (das Maß ist individuell verschieden und kann mit wenigen Grad C bei schwerer Arbeit schon erreicht sein) führt, wie anhand von Testreihen in Schulen und Betrieben nachgewiesen werden konnte, zur Reduktion der Konzentrations- und Leistungsfähigkeit, zu Fehlleistungen, Anstieg der Pulsfrequenz und der Hautfeuchte und -temperatur sowie zu Müdigkeit und Unwohlsein.

Angemessen niedrige Temperaturen fördern die Tiefenatmung, was besonders zur Regeneration im Schlaf wichtig ist. Für diese positive Wirkung dürfte auch folgende Effekt eine Rolle spielen: Mit abnehmender Temperatur nimmt auch die Luftdichte zu, was bedeutet, dass volumenbezogen mehr Sauerstoffmoleküle vorhanden sind, also mit jedem Atemzug mehr Sauerstoff eingeatmet wird.

Kältegefühl führt allerdings ebenso zu verminderter Konzentration bei geistiger Arbeit sowie zu Unruhe und Bewegungsdrang, zu sinkender Wärmestrahlung des Körpers und zu gestörtem Wohlbefinden.

Die als behaglich geltende Temperatur steigt auch mit der **Luftbewegung**. Das gilt besonders hinsichtlich einer Luftströmung am Fußboden. Eine Differenz von 2 °C zwischen der Oberflächen- und der Raumlufttemperatur verursacht bereits eine Luftbewegung von 20 cm/sec; dies ist etwa die Grenze zur Entstehung von Zugluftempfindungen. **Die Luftgeschwindigkeit sollte in Wohn- und Arbeitsräumen bei sitzender Tätigkeit 15 cm/Sekunde nicht überschreiten.**

Geringe Luftbewegung ist besonders bei ruhendem Körper bzw. sitzender Tätigkeit erforderlich. Zugluft wird als ungemütlich empfunden; sie verursacht örtlich intensiven Wärmeentzug und kann, besonders bei empfindlichen Menschen, zu Erkältungen, Bindehautentzündungen sowie zu neuralgischen und rheumatischen Beschwerden führen. Zugluft ist eine der häufigsten Ursachen von Berufskrankheiten. Bei körperlich anstrengender Arbeit kann auch eine Luftbewegung von 50 cm/Sekunde toleriert bzw. als angenehm empfunden werden. **Völlige Luftruhe ist andererseits wieder als ungünstig zu beurteilen;** sie beeinträchtigt die Atmung und führt zur Wärmestauung und Schweißbildung, ermüdet, mindert die Frischluftversorgung und bildet Wärme- und Feuchtenester im Raum.

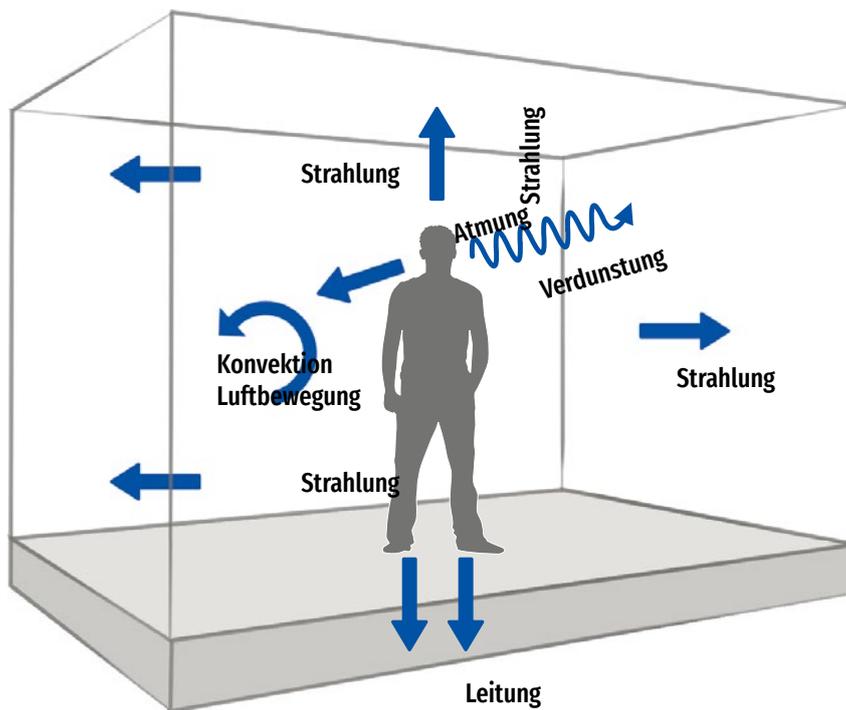
In der Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV) wird besonderer Wert auf günstige Temperaturbedingungen gelegt.

Neuralgie = Nervenschmerz

Quelle: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften



www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/inhalts_bersicht.html



Am Wärmeaustausch des menschlichen Körpers sind mit variablen Anteilen maßgeblich beteiligt:

Anteil an der Gesamtwärmeabgabe

Wärmeleitung: In erster Linie über die Fußsohlen

0 - 10 %

Konvektion: Wärmemitführung – diese ist insbesondere von Lufttemperatur und -bewegung abhängig

25 - 30 %

Strahlung: Es handelt sich um eine infrarote Körperstrahlung, deren Anteil am Wärmeaustausch je nach Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen variiert

40 - 60 %

Transpiration und Atmung: 1 bis 2,5 Liter Feuchtigkeit „verdunstet“ der Körper pro Tag – das entspricht einer Wärmeleistung von 600 bis 1.500 W (0,58 W/g Wasser).

Bei Schwerarbeit kann alleine durch die Hautporen 1 Liter/h ausgeschieden werden. Die Verdampfung ist besonders abhängig von der Raumluftfeuchte und -temperatur sowie von der Körperbewegung. Die Regelung des Wärmehaushaltes geschieht am besten und zuträglichsten durch kühle Atemluft.

25 - 30 %

Übersicht 04: Wärmeaustausch des menschlichen Körpers

Zusammenfassung - Raumlufttemperatur



Die optimale Raumlufttemperatur ist abhängig von

- den Oberflächentemperaturen der umgebenden Flächen
- der persönlichen Empfindung
- der Kleidung
- der Art der Tätigkeit
- der Luftbewegung (Zugluft)

Zu hohe und zu niedrige Raumlufttemperatur mindert das Wohlbefinden sowie die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit und führt längerfristig zu Gesundheitsschäden.

Die Wände und Fußböden von Wohnräumen und büroähnlichen Arbeitsräumen sollten idealerweise max. 2 °C kühler bzw. max. 5 °C wärmer sein als die Raumluft (gemessen in 10 cm Abstand).

Eine gleichmäßige Temperatur im ganzen Haus ist aus energetischen und gesundheitlichen Gründen nicht empfehlenswert.

Die Luftgeschwindigkeit sollte bei sitzender Tätigkeit 15 cm/Sekunde nicht überschreiten. Aber auch völlige Luftruhe ist (auch aus hygienischen Gründen) abzulehnen.

Schnelle Regulierbarkeit ist wichtig.

Menschen haben unterschiedliche Temperaturbedürfnisse.

Letztendlich ist es die Aufgabe von Baubiolog*innen, dass sich jeder Mensch entsprechend seinen individuellen Bedürfnissen in seinem Wohn- und Arbeitsumfeld wohl fühlt.

3. Raumluftheuchte

3.1 Raumluftheuchte und Gesundheit

Lange Zeit galt zu niedrige Raumluftheuchte als Ursache für zahlreiche Gesundheitsbeschwerden u. a. der Atemwege und der Haut. Mittlerweile weiß man jedoch, dass es dafür meist andere oder zumindest weitere Ursachen gibt.

Wenn von Luftfeuchte die Rede ist, wird unterschieden zwischen der **relativen** Luftfeuchtigkeit und der **absoluten** Luftfeuchtigkeit. Relative Luftfeuchtigkeit steht in Relation zur Luft- oder Oberflächentemperatur und wird in Prozent gemessen. In Fachkreisen verwendet man als Maß jedoch meist die absolute Luftfeuchtigkeit, also den tatsächlichen Wassergehalt der Luft in Gramm je m^3 . Erst damit lassen sich konkrete Berechnungen durchführen, z. B. bezüglich Tauwasserausfall oder einer Wassermenge, die einer Raumlufte entnommen oder verdunstet werden muss, um eine gewünschte Luftfeuchtigkeit zu erhalten.

Der Mensch atmet etwa 12 bis 15 mal pro Minute (Atemminutenvolumen), also täglich ca. 20.000 mal und bewegt dabei rund $11 m^3$ Luft. Bei einer Raumtemperatur von $20\text{ }^\circ\text{C}$ und einer rel. Luftfeuchte von 50 % gibt der Mensch über die Atmung ca. 11,1 g/h Wasserdampf ab, bei einer rel. Luftfeuchte von 20 % aber ca. 13,2 g/h, also um ca. 19 % mehr.

Die ausgeatmete Luft ist mit Wasserdampf gesättigt und auf Körpertemperatur erwärmt; das bedeutet, dass sie bei $37\text{ }^\circ\text{C}$ Körpertemperatur 43,92 g Wasser je m^3 Luft enthält. Die Befeuchtung erfolgt durch die große innere Oberfläche der Lunge, die 100 - 120 m^2 misst. Je kühler und trockener die eingeatmete Luft ist, umso mehr Wasserdampf nimmt sie beim Vorgang des Atmens auf. Bei $0\text{ }^\circ\text{C}$ enthält die eingeatmete Luft maximal 4,84 g Wasser/ m^3 , so dass der Organismus 39,08 g/ m^3 ausatmen kann.

Mit dem Wasserdampf werden zugleich toxische Stoffwechselprodukte ausgeatmet.

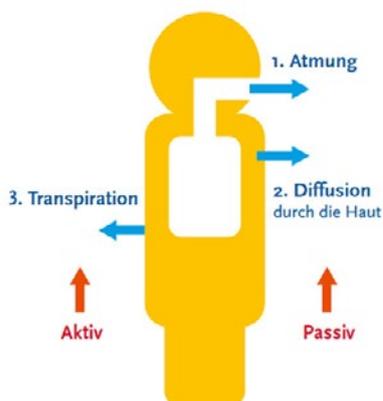


Abb. 07: Wasserdampfabgabe des Menschen
Quelle: www.baubiologie-magazin.de/trockene-raumlufte

Luftraumtemperatur	relative Luftfeuchtigkeit in %	Wassergehalt der Luft in g/m ³	Abgegebene Körperfeuchte in g je m ³ Atemluft
0 °C - Schneefall	100	4,48	39,08
0 °C - schöner Wintertag	50	2,42	41,50
4 °C - schöner Herbsttag	100	6,40	37,52
18 °C - ausgeglichenes Raumklima	45	6,93	36,99
20 °C - ausgeglichenes Raumklima	50	8,65	35,27
20 °C - trockenes Raumklima	25	4,33	39,59
20 °C - feuchtes Raumklima	70	12,11	31,81
30 °C - schöner Sommertag	10	3,03	40,89
30 °C - schwüler Sommertag	40	12,12	31,80
30 °C - tropisches Klima	100	30,30	13,62

Übersicht 05: Einfluss der Lufttemperatur und -feuchte auf die abgegebene Körperfeuchte je m³ Atemluft

Hierzu stellt sich die Frage, was günstiger ist und wo das Optimum liegt. Wir wissen aus Erfahrung einerseits, dass wir uns in **kühler, trockener Luft** beim Wintersport besonders wohl fühlen und dass der Winterurlaub erholsamer ist als der Sommerurlaub. Dieses Klima regt zum tiefen Atmen an. Das gilt auch für die trockene Luft an warmen Sommertagen; bei 30 °C und 10 % relative Luftfeuchte fühlt man sich hier wohl, während 30 °C mit 40 % relative Luftfeuchte bereits als schwül gelten. Viel Feuchtigkeit und Wärme aus dem Energiestoffwechsel des Organismus kann bei trockener bzw. kalter Luft mit der Atmung abgegeben werden.

Andererseits fällt uns bei **feuchtem Wetter** oder in Räumen mit hoher Luftfeuchte das Atmen schwer, die schwüle Luft ermüdet, führt zu Wärme- stauung und Erschöpfung. Der Gehalt an Krankheitskeimen steigt. Auch die Geruchsbelästigung ist größer als bei trockener Luft. Ebenso sind Bauschäden, erhöhter Energiebedarf sowie Pilzbefall verbunden mit Erkrankungen zu berücksichtigen. Dies wirkt sich zunehmend besonders ab 60 % relative Luftfeuchte bei 20 °C aus; dagegen nicht bei z. B. 60 % relative Luftfeuchte in kalter Luft. Der Vergleich lässt bereits erkennen, dass die **absolute Luftfeuchtigkeit** physiologisch entscheidend ist.

Aus medizinischer Sicht werden bei üblichen Raumlufttemperaturen häufig Werte um 45 - 50 % relative Luftfeuchte als optimale Luftfeuchte beschrieben; 30 % relative Luftfeuchte sollen nicht unterschritten, 60 % relative Luftfeuchte nicht überschritten werden. In unseren Wohnungen, Arbeits- und Schulräumen liegen aber die relativen Feuchtwerte während des Winters meist zwischen 20 - 35 % relative Luftfeuchte, auch 15 % sind nicht selten – besonders an kalten, trockenen Tagen und bei Lüftung (auch durch Lüftungsanlagen) verbunden mit starker Raumerwärmung.

Die betroffenen Menschen klagen in solchen Räumen häufig über „schlechte Luft“, Beschwerden wie Erkältungskrankheiten, trockener Hals, trockene Augen und Haut sowie Ermüdung, Kopfschmerzen und Leistungsabfall.

Hierzu gilt es jedoch auf Grund durchgeführter Studien folgendermaßen zu differenzieren:

Quellen: Literaturstudie vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz BGIA, 2007

Trockener Hals

Viele sind der Meinung, dass durch zu trockene Luft die Schleimhäute der Atemwege austrocknen, was deren Widerstandskraft gegenüber Bakterien und Viren herabsetzt und in der Folge die Anfälligkeit für Erkältungskrankheiten steigen lässt. Richtig dagegen ist, dass der Feuchtegehalt der eingeatmeten Luft auf ihrem Weg zu den Lungen reguliert wird. Gesunde Atemwege sind in der Lage, die Trockenheit der Luft selbst bei längerfristiger Einwirkung durch eine körpereigene Befeuchtung zu kompensieren. Voraussetzung für diese Aussage ist aber eine staubarme Luft. Zudem gelten diese Aussagen nicht für Menschen mit Atemwegserkrankungen wie z. B. Asthma.

Erkältungen und virenbedingte Erkrankungen der Atemwege

Über den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf Infektionen und virenbedingter Erkrankungen wie Grippe oder Covid-19 gibt es unterschiedliche Ansichten. Sehr niedrige relative Luftfeuchten unter etwa 30 % sind wahrscheinlich ungünstig, da zum einen die Viren-Partikel wohl länger in der Luft zirkulieren können, vor allem aber weil die menschlichen Schleimhäute bei Austrocknung generell anfälliger für Viren sind. Zudem begünstigt eine geringe relative Luftfeuchte die Entwicklung von Staub und hält Staubpartikel und die darin befindlichen Mikroorganismen länger schwebfähig.

Trockene Augen

Durch eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte kann die Häufigkeit von Beschwerden über trockene Augen gesenkt werden. Als Ursache werden eine reduzierte Verdunstung der Tränenflüssigkeit sowie eine geringere Staubbelastung vermutet.

Hautbeschwerden

Eine niedrige Luftfeuchte führt bei vielen Menschen zu trockenerer Haut. Die Ursachen sind noch unklar. Vermutlich spielt dabei auch eine Rolle, dass sich bei einer geringeren relativen Luftfeuchte infolge der elektrostatischen Aufladung (siehe weiter unten im Text) hygroskopischer Feinstaub, also Feinstaub, welcher der Haut Feuchtigkeit entzieht, auf der Haut ablagert und somit Hautprobleme auslösen kann.



Baubio-logisch:

Die eigentlichen Ursachen der beschriebenen Beschwerden sind i.d.R. nicht zu trockene Luft, sondern v. a.:

- schlechte Lüftung
- Luftverunreinigungen wie Staub, Feinstaub und Schadstoffe
- zu hohe Raumlufttemperaturen
- Luftzug
- elektrostatische Aufladung
- Sonnenlichtmangel
- Vitaminmangel und bereits vorhandene Erkrankungen

Quelle: Gassel R. P., „Innenraumbehaglichkeit“, Fachzeitschrift "Wohnmedizin" Nr. 41, 2003

Eine geringe Luftfeuchte begünstigt die Entwicklung von **Staub** und hält Staubpartikel und darin befindliche Mikroorganismen länger schwebfähig.

Eine geringe Luftfeuchte begünstigt zudem die **elektrostatische Aufladung** z. B. von Synthetikteppichen oder lackierten Oberflächen und die damit verbundenen Phänomene wie Entladungsfunken an Türgriffen, fliegende Haare, Knistern beim Ausziehen eines Kleidungsstückes, Staubpartikelansammlungen auf elektrostatisch aufgeladenen Oberflächen sowie Clusterbildung von Staub. Hinzu kommt eine einseitig ionisierte Raumluft. Die Härchen des Flimmerepithels der Atemwegsschleimhäute werden infolge der positiv geladenen staubigen Luft in ihren Bewegungen blockiert, sodass es zur Krustenbildung, behinderter Selbstreinigung gegenüber Staub und Bakterien und schließlich zur Erkrankung kommen kann.

Cluster (engl.) = Anhäufung, Ansammlung

Die negativen gesundheitlichen Wirkungen geringer relativer Luftfeuchte im Raum sind also überwiegend indirekt bedingt. Diese Feststellung ist in der Praxis keineswegs belanglos, denn ein erwünschter Wasserdampfgehalt der Luft müsste mit kostspieliger Klimatisierung oder mit häufig unzureichend wirksamen und gesundheitlich bedenklichen (Keimbildung) Befeuchtungsaggregaten eingestellt werden. Dagegen reicht es häufig aus, durch geeignete Maßnahmen (Staubsauger mit HEPA-Filter, feucht wischen u. a.) die Ansammlung von Staub zu reduzieren.

3.2 Was beeinflusst die Raumluftheuchte?

Die Raumluftheuchte ist v. a. abhängig von:

- der Raumluftheuchte- und Oberflächentemperatur (bei steigender Raumluftheuchte sinkt die relative Luftfeuchte)
- der Intensität der Lüftung
- den Baustoffen und Einrichtungsgegenständen (Hygroskopizität, Diffusion)
- der Zahl der Personen im Raum (bzw. der Raumgröße pro Person)
- der Bewegung bzw. Tätigkeit der Bewohner
- inneren Feuchtequellen wie kochen, waschen, duschen, Pflanzen etc.
- dem Außenklima

vgl. Kurs 07 Biologische Baustofflehre und Bauphysik

vgl. Tabellen 03 und 04

Ist viel hygroskopisches, also feuchteaufnahmefähiges Material im Raum (z. B. unbehandeltes Holz und Lehmprodukte), so werden die **Feuchte-schwankungen** der Luft gedämpft, es entweicht weniger Wasserdampf mit der natürlichen Lüftung und dadurch wird das Niveau der Luftfeuchte im Mittel höher. Diffusionsfähige Baustoffe reduzieren zudem die Bildung von Kondenswasser, sodass auch aus diesem Grunde weniger Feuchtigkeit für die Raumluftheuchte verloren geht.

vgl. Kurs 07 Biologische Baustofflehre und Bauphysik

Schließlich sind die Raumgröße je Person und die Betätigung der Bewohner wichtige Einflussgrößen. Wie bereits erwähnt, ist die bei der Atmung und Transpiration abgegebene Wasserdampfmenge nicht unerheblich. Besonders in Räumen mit starker Besetzung (z. B. Versammlungs- und Schulräume) ist dies zu beachten. Auch die in einer Normalwohnung anfallende Wasserdampfmenge ist nicht vernachlässigbar. Täglich sind es in einem 3-Personen-Haushalt etwa 6 Liter; eine Menge, die nicht unberücksichtigt bleiben darf, auch um Schimmel und Feuchteschäden zu vermeiden.

Person ruhend	ca. 40 g/h
Person, wohnungsübliche Tätigkeit	ca. 90 g/h
Topfpflanze (mittelgroß)	ca. 5 g/h
Kochen oder Feuchtreinigung	ca. 600 g/h
Waschmaschine	ca. 300 g/Ladung
Spülmaschine	ca. 200 g/Spülung
Duschbad	ca. 1.700 g/Bad
Wannenbad	ca. 1.100 g/Bad
Freie Wasseroberflächen	ca. 40 - 200 g/h und m ²

Tab. 03: Feuchtequellen in Wohnungen

Quellen: u. a. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Personen (17 h anwesend)	2.550 g/Tag
15 Topfpflanzen (verschiedene Größen)	1.000 g/Tag
Küche	800 g/Tag
Bad	800 g/Tag
Sonstiges	700 g/Tag
Summe	5.850 g/Tag

Tab. 04: Feuchteanfall in einer 3-Personen-Wohnung

Quellen: u. a. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

3.3 Wie hängen Luftfeuchte, Wärmedämmung, Wandfeuchte und Schimmelpilzbefall zusammen?

Die negativen Folgen von Wandfeuchte und Schimmel sind sehr vielschichtig:

- schlechtes Raumklima
- giftige Sporen von Pilzen
- kühlere Wände
- höherer Heizbedarf durch Verdunstungskälte und reduzierter Wärmedämmung
- unangenehmer Geruch
- günstige Bedingungen für Insekten, Bakterien und Milben
- Zerstörung der Bausubstanz (Aktivieren von Salzen, Korrosion, Frost, Pilze), aber auch der Möbel, Kleidung u. a.

Was sind die Ursachen für Feuchteprobleme mit Schimmelpilzbefall?

In den üblichen Gerichtsprozessen streiten sich über diese Probleme nicht nur Mieter und Vermieter, Bauherr und Baufirma bzw. Architekt, sondern auch Bausachverständige, Bauphysiker sowie Juristen. Auf konstruktive Baumängel wie ein undichtes Dach oder fehlende Sperrschichten als Ursache für Feuchteprobleme soll hier nicht eingegangen werden.

Auf der einen Seite sucht man die Ursache im **Fehlverhalten der Hausbewohner**, wobei hierbei die häufigsten Vorwürfe lauten:

- es wird zu wenig oder falsch gelüftet
- es wird zu wenig geheizt
- der Abstand von Möbeln zu den Außenwänden ist zu gering
- der Feuchtigkeitsanfall durch Kochen, Waschen (ohne Dunstabzug) oder infolge vieler Pflanzen ist zu hoch

Auf der anderen Seite erklärt man sich das Phänomen **bauphysikalisch** und findet als häufigste Ursachen:

- schlechte Wärmedämmwerte (Taupunkt zu weit innen)
- Wärmebrücken (z. B. auskragender Balkon)
- fehlende oder fehlerhafte Dampfsperre/-bremse
- Undichtigkeiten (Risse, Fugen u. a.)
- mangelnde Diffusionsfähigkeit
- Verwendung nicht hygroscopischer Baustoffe (und Möbel)
- zu dichte Fenster

Zur **Problemlösung** schlagen Fachleute in der Regel folgende Maßnahme vor:

- mehr Wärmedämmung der Außenwände
- Einbau von Dampfsperren
- kontrollierte, also mechanisch betriebene Be- und Entlüftung
- verändertes Nutzerverhalten der Bewohner

Baubiologen fordern eine **naturgemäße Lösung** dieser Probleme auf Basis der Eigenschaften natürlicher Baustoffe sowie bauphysikalischer Gesetzmäßigkeiten. In baubiologisch und bauphysikalisch richtig ausgeführten Neubauten bzw. sanierten Altbauten gibt es unter normalen Wohnbedingungen keine Probleme mit Kondenswasserbildung.

Wenn natürliche, diffusionsfähige und hygroskopische Baustoffe, wie Holz, Ziegel, Lehm, Kalkmörtel usw. verwendet werden, wird Feuchtigkeit von den Baustoffen aufgenommen und kapillar weiter geleitet (Pufferwirkung). Diese wichtige bauphysikalische Eigenschaft wird durch Dampfsperren, dichte Anstriche, Holzwerkstoffplatten mit hohem Leimanteil (z. B. OSB-Platten, Spanplatten), Kunstharzputze oder synthetische Wärmedämmstoffe unterbunden oder zumindest stark eingeschränkt.

Wie soll ein feuchtes Haus mit Schimmelbefall saniert werden?

Wichtig ist, zunächst die Ursachen der Feuchtigkeit zu ermitteln. Nicht jedes Haus lässt sich mit vertretbarem Aufwand baubiologisch perfekt sanieren. Aber fast immer kann die Wohnqualität spürbar verbessert werden.

Grundsätzlich ist die Feuchtigkeit der Außenwände an der Oberfläche und in Wandmitte zu prüfen (Bau- und Holzfeuchtemessgeräte stehen dafür zur Verfügung). Wenn diese zu feucht sind, müssen evtl. innen und/oder außen wenig dampfdurchlässige Materialien wie z. B. Kunstharzputze, Dispersionsfarben, kunststoffbasierte Dämmstoffe kleberhaltige Holzwerkstoffplatten, Tapeten usw. entfernt werden.

Feucht eingebaute Materialien wie z. B. Putze, Beton oder Estrich sollten zunächst ausreichend austrocknen, bevor mit diffusionsfähigen Materialien weitergearbeitet wird oder bevor eine Außendämmung angebracht wird.



Abb. 08: Bau- und Holzfeuchtemessgerät
Quelle: protimeter.com

Baubio-logisch:



Häufig wird eine professionelle Feuchte- und Schimmelsanierung zu aufwändig bzw. zu teuer sein. In diesen Fällen empfiehlt es sich, in mehreren Schritten vorzugehen. Nur wenn man mit dem jeweilig vorherigen Schritt keinen dauerhaften Erfolg hat, vollzieht man den nächsten Schritt. Häufig aber führt auch nur eine Kombination mehrerer Schritte zum gewünschten Erfolg:

vgl. Kurs 13 Schadstoffe und Schimmelpilze

vgl. Kurs 07 Biologische Baustofflehre und Bauphysik

vgl. Kurs 08 Heizung und Lüftung

1. Schimmel nach Begutachtung durch hierfür qualifizierte Fachleute (z. B. Baubiologische Messtechniker IBN) fachgerecht beseitigen lassen (Vorsicht: Sporen können hochgiftig sein!)
2. Bewohnerverhalten ändern: Lüftung, Heizung, Feuchtigkeitsquellen reduzieren
3. Luftfeuchtigkeit laufend mit Hygrometer kontrollieren
4. Sanierungsmaßnahmen ergreifen: konstruktive und/oder bauphysikalische Mängel beseitigen, ggf. Wärmedämmung außen
5. Einbau selbstregulierender Zuluftelemente in die Fenster und/oder Einbau einer kontrollierten Lüftungsanlage
6. Evtl. Einbau einer Fußleisten-, Linien- oder Wandheizung

Abb. 09: Digitaler Hygrometer zum Messen der relativen Luftfeuchtigkeit
Quelle: TFA Dostmann GmbH

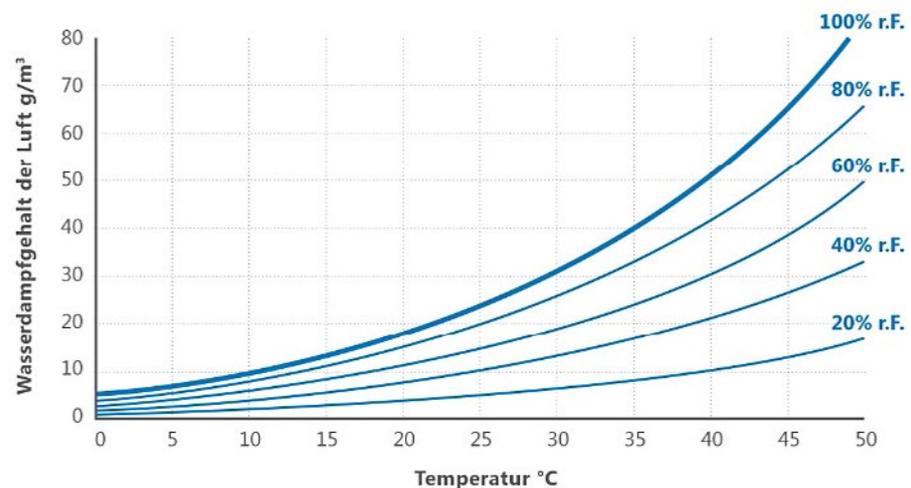


Abb. 10: Max. Wasserdampfgehalt der Luft in Abhängigkeit zur Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit

Anmerkung zu Abbildung 10:

Je wärmer Luft ist, desto mehr Feuchtigkeit kann sie aufnehmen ($0\text{ °C} = 5\text{ g/m}^3$, $20\text{ °C} = 18\text{ g/m}^3$). Beim Aufheizen kalter Außenluft wird Feuchtigkeit aus Baustoffen und Möbel aufgenommen. Je kälter und trockener die Außenluft ist, desto kürzer können die Lüftungszeiten sein. Ideal ist es, öfter am Tag bei völlig geöffneten Fenstern (und Türen!) querzulüften. Kellerlüftung im Sommer dagegen ist meist kontraproduktiv (warme Außenluft kühlt sich ab, dabei fällt Feuchtigkeit aus).

Nachts sollte im **Schlafzimmer** mindestens ein Fenster gekippt sein oder es sollte eine geeignete Lüftungsanlage vorhanden sein. Mit der warmen, verbrauchten und feuchten Luft aus dem Wohnzimmer oder gar aus der Küche oder dem Bad sollte ein kühles Schlafzimmer, dessen Hüllflächen (Außenwände, Dach...) nicht heutigem Dämmstandard entsprechen, nicht aufgewärmt werden, um Kondenswasserbildung an kalten Oberflächen zu vermeiden. Dies auch wegen der Betten/Matratzen, welche die Feuchtigkeit aufnehmen und dann zur Brutstätte für Milben, Schimmel, Bakterien usw. werden können.

In der **Küche** sowie im **Bad** – insbesondere in Bädern ohne Fenster – sollte in jedem Fall ein Dunstabzug vorgesehen werden. **Schränke** sollten etwa 5 - 10 cm von Außenwänden weg gerückt und große Bilder an Außenwänden vermieden werden.

Die sozialen Wohnungsbauten der Nachkriegszeit und zahlreiche andere vor allem in den 50er bis 80er Jahren entstandene Gebäude werden seit den 90er Jahren saniert. In der Folge bilden sich in vielen Wohnungen Feuchteschäden und Schimmel. Warum?

- Einzelöfen werden durch Zentralheizungen ersetzt. Damit fehlt der Kaminsog, der in den Räumen Unterdruck erzeugt, so dass kältere Außenluft durch Undichtigkeiten nach innen gesaugt wird.
- Undichte Fenster werden entfernt und dichte Fenster eingebaut.
- Wärmeschutzglas ersetzt Einfach- oder Verbundglas. Dadurch verlagert sich der Taupunkt vom Fensterglas (beschlagene Scheiben, Eisblumen) auf Fensterlaibungen, Raumecken u. a.
- Einbau von neuen Bädern, in denen häufiger geduscht/gebadet wird und somit mehr Feuchtigkeit entsteht.
- Einbau von Innendämmung. Dadurch verlagert sich der Taupunkt weiter nach innen und Tauwasser fällt aus.

vgl. Kurs 07 Biologische Baustofflehre und Bauphysik

Alle diese Maßnahmen haben zu erheblichen Problemen geführt, die oft nach wenigen Jahren eine zweite Sanierung erforderlich machen: Beseitigung der entstandenen Schäden und Anbringung einer Außendämmung.

Zusammenfassung und Empfehlungen - Raumluftheuchte



Die **Luftfeuchte** steht in enger Beziehung zu:

- Temperatur (auch Außentemperatur)
- Staub, Schadstoffe, Keime
- Ionen, elektrostatische Aufladung und Elektrosmog

Die **relative Luftfeuchte** wird am meisten von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Raumluftheuchte
- Lüftungsintensität
- Baustoffe und Einrichtungsgegenstände
- Außenklima
- Anzahl der Personen im Raum
- Feuchtequellen (Pflanzen, Kochen, Duschen u. a.)

Nachteile warm-trockener Heizungsluft:

- Vor allem aufgrund einer erhöhten Staubbelastung in Kombination mit Schadstoffen, Austrocknung und Reizung der Schleimhäute im Atmungstrakt, Erkältungskrankheiten, trockene Augen, Hautbeschwerden, Ermüdung und Kopfschmerzen
- Elektrostatische Aufladung
- Verminderung der negativen Ionen

Nachteile zu feuchter Luft:

- Atmen fällt schwerer
- Ermüdung
- kann langfristig zu gesundheitlichen Problemen führen
- Bauschäden
- Pilzbefall
- Geruchsbelästigung

Empfehlungen für eine gesunde Raumluftheuchte:

- Mittlere relative Luftfeuchte von etwa 40 bis 50 %:
Eine Unterschreitung dieser Werte für einige Tage ist i.d.R. unproblematisch und sollte nicht als Anlass genommen werden, die Luft künstlich zu befeuchten. Gegebenenfalls kann die Raumluftheuchte abgesenkt werden, wodurch die relative Luftfeuchte ansteigt und die Luft i.d.R. auch als angenehmer empfunden wird.

- Vermeidung zu feuchter Luft (> 60 % r.F.): Dies ist weit wichtiger als die Vermeidung trockener Luft. Feuchte Luft wird als ermüdend empfunden, führt häufig zu Geruchsbelästigungen und begünstigt die Entwicklung von gesundheitsschädlichen Hausschädlingen und Mikroorganismen wie Schimmel, Pilze und Bakterien, was auch zu Bauschäden führen kann.
- Staubarme Luft: Verwendung von Materialien, die selbst keinen Staub verursachen und/oder binden (z. B. Verzicht auf Teppichböden). Staubsauger mit HEPA-Filter, feucht Wischen, reinigen der Heizkörper etc.
- Materialien mit feuchteausgleichenden Eigenschaften, die sich nur wenig statisch aufladen: Hierzu zählen die meisten baubiologisch empfehlenswerten Baustoffe wie Holz, Naturfasern sowie Lehm- und Kalkprodukte. Wichtig dabei ist, dass diese Materialien nicht mit Lacken oder lackähnlichen Beschichtungen (z. B. Dispersionsfarben) beschichtet/gestrichen werden.
- Strahlungsheizung: Niedrige Raumtemperaturen (s. oben) werden bei einer Strahlungsheizung weit angenehmer empfunden, als bei Einsatz einer Konvektionsheizung.
- Optimierung der Lüftung: Zum Teil wird im Winter zu häufig gelüftet bzw. die Lüftungsanlage weist einen zu hohen Außenluft-Volumenstrom auf. Hierdurch sinkt die relative Raumluftheuchte. Die Lüftung sollte deshalb, aber auch aus energetischen Gründen entsprechend dem tatsächlichen Frischluftbedarf optimiert werden. Hilfreich kann das Aufstellen eines CO₂-Messgerätes sein.
- Luftbefeuchter sollten möglichst vermieden werden, da hier ein hohes Risiko der Verkeimung besteht und damit oft hohe Stromkosten, unangenehme Geräusche und elektromagnetische Felder verbunden sind. Soweit solche Geräte nicht vermeidbar sind, sollten sie über einen Hygrometer verfügen, der das Gerät bei Überschreitung einer relativen Luftfeuchte von z. B. 50 % abschaltet. Zudem sollten die Geräte regelmäßig gewartet und gereinigt werden. Besser als technische Geräte sind Pflanzen im Raum, wobei hier die mögliche Bildung von Schimmelpilzen und Bakterien im Humus beachtet werden soll.



Abb. 11 : CO₂-Messgerät PCE-AQD10
Dieses Messgerät erfasst zugleich die
Raumtemperatur und relative Raumluftheuchte

Quelle: PCE Deutschland GmbH

4. Heizungsklima

Dass die Heizung maßgeblicher Faktor für das Klima im umbauten Raum ist und dieses in Mitteleuropa bis zu 60 % des Jahres bestimmt, ist bekannt; dass von ihr aber auch Gesundheit und Wohlbefinden der Bewohner abhängen, ist eine Tatsache, die häufig unbeachtet bleibt. Auch auf diesem Sektor sind technische und wirtschaftliche Belange einseitig ausschlaggebend.

Unter dem Begriff Heizungsklima ist nicht nur, wie allgemein üblich, die Raumlufttemperatur zu verstehen, integriert sind darin auch Oberflächentemperatur, Art der Wärme, horizontale und vertikale Temperaturdifferenzen im Raum, Luftfeuchte, Staub- und Gasbildung, Luft-, Staub- und Virenzirkulation, Geruch, Ionisation der Luft einschließlich elektrostatischer Ladungen, u.U. auch Verbreitung elektromagnetischer Felder und Wellen sowie von Geräuschen.

vgl. Kurs 08 Heizung und Lüftung

Baubiologische Anforderungen an eine gesundheitlich optimale Heizung:

- hoher Anteil an Strahlungswärme bei relativ kühler, angenehmer Atemluft
- niedrige Oberflächentemperatur der Heizkörper (max. 70 °C)
- niedrige Temperaturgradienten (ausgeglichene Oberflächen- und Lufttemperatur mit max. Differenz von etwa 2 °C)
- geringe Luftzirkulation und damit auch geringe Zirkulation von Staub und Viren
- keine thermische Monotonie
- den unterschiedlichen individuellen Bedürfnissen gerecht werdend
- keinen Elektromog verursachend
- leichte Regulierbarkeit (konstante Temperatur haltend)
- bequeme Reinigung (kein Staubfänger)
- nicht geruchsbelästigend
- keine Geräuschbelästigung
- klimagerechte Abstimmung mit dem gesamten Baukörper und dessen Orientierung
- Reduzierung der Materialfeuchte – besonders der Außenwände.

vgl. Kurs 11 Felder - Wellen - Strahlung

Die ideale Heizung, welche all dieser Forderungen entsprechen würde, gibt es nicht. **Dem anzustrebenden Optimum der Heizung kommen wassergeführte Wandflächenheizungen, gute Grundöfen sowie „echte“ Kachelöfen am nächsten.** Sie verbreiten eine komfortable Raumatmosphäre. Jeder Bewohner kann sich den für ihn adäquaten Wärmebereich im Raum wählen; denn die Strahlungswärme nimmt quadratisch mit der Entfernung ab.

Moderne Grund- und Kachelöfen sind mit außenluftgeführter Zuluft- und Systemsteuerung ausgestattet und können mit integriertem Wasserbehälter zu einer Zentralheizung ausgebaut werden. Zudem können sie mit Sonnenkollektoren kombiniert werden.

Baubio-logisch:

Zur Beurteilung des optimalen Heizungsklimas sollte man sich an den Verhältnissen im Freien bei angenehmer Witterung und Sonnenschein (idealerweise von der Seite, also nicht von oben) orientieren. Die Sonne gibt Strahlungswärme ab (diese durchwärmt den Körper selbst bei Frost), die Temperaturen zwischen Kopf- und Fußbereich variieren nur geringfügig, allgemein wirkt ein wohltuendes Klima auf den Menschen



5. Lüftung

5.1 Lüftung und Gesundheit

Innen- und Außenluft sind kombiniert zu betrachten, besonders wenn es um Fragen der Klimatisierung und Belüftung geht.

Eine gute Versorgung mit frischer Luft ist in quantitativer und qualitativer Hinsicht aus folgenden Gründen zu gewährleisten:

a) O₂-Mangel und CO₂-Überschuss

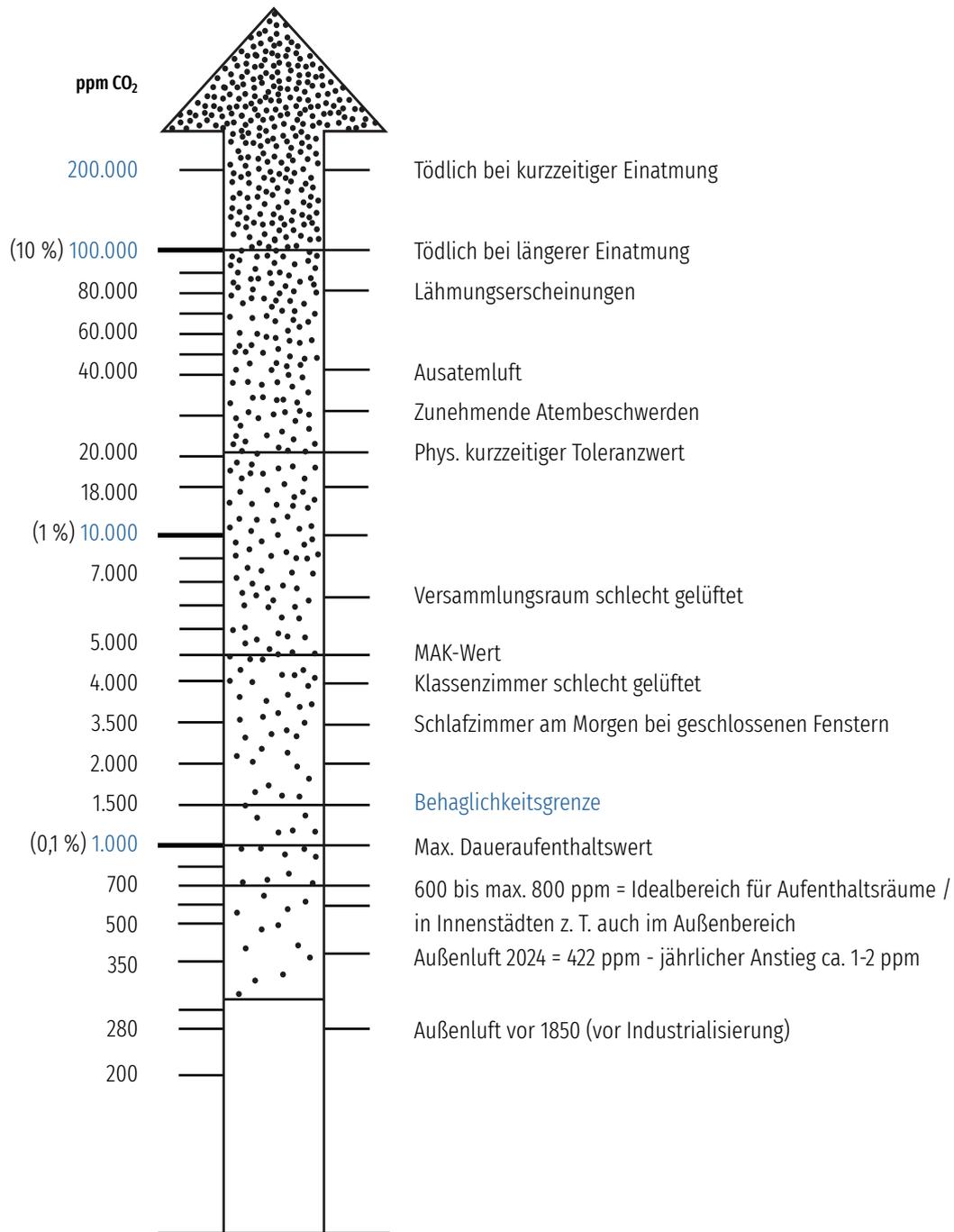
Die Atmung bewirkt in geschlossenen Räumen eine CO₂-Zunahme und O₂-Abnahme. Frischluft enthält rund 21 % O₂ und 0,04 % CO₂. Die ausgeatmete Luft (in Ruhe 0,5 m³/h) dagegen enthält rund 16 % O₂ und 4 % CO₂. Bei Sauerstoffmangel und Überschuss an Kohlendioxid werden zuerst die empfindlichen Gehirnzellen gestört; es kommt zunächst (bereits bei 20 % O₂ und 0,07 % CO₂) zu Ermüdung, Leistungsminderung, Kopfschmerzen und Atemsteigerung, danach zu Schweratmigkeit und zuletzt bei 15 % O₂ und 5,4 % CO₂ zum Erstickten.

Der CO₂-Gehalt sollte etwa 0,08 % (800 parts per million - ppm) nicht dauerhaft überschreiten. Unter dem Aspekt Raumlüftung ist zu berücksichtigen, dass der CO₂-Gehalt der Luft in Städten häufig höher ist als in ländlicher Umgebung. Hier ist es deshalb oft aufwändiger, den CO₂-Gehalt der Raumluft dauerhaft unter 800 ppm zu halten.

Uhrzeit	CO ₂	Personenanzahl
8.00 Uhr	575	-
9.00 Uhr	709	1
10.00 Uhr	678*	1
11.00 Uhr	1137	2
12.00 Uhr	1023	1

* Reduzierung durch häufiges Öffnen der Türen

Tab.05: **Messung der CO₂-Konzentration in einem Büroraum** (unsaniertes Altbau) mit ca. 15 m² Grundfläche und ca. 40 m³ Volumen ohne Lüftung bei unterschiedlicher Personenbelegung (Messung IBN)



Baubiologische Richtwerte für Schlafbereiche (SBM 2015) für CO₂:

< 600 ppm = unauffällig

600 - 1.000 ppm = schwach auffällig

1.000 - 1.500 ppm = stark auffällig

> 1.500 ppm = extrem auffällig



co2.earth

Abb. 12: Auswirkung von CO₂-Konzentration auf den Menschen

Quellen: Sauter-Cumulus GmbH, Freiburg, Messungen IBN u. a.

b) Sonstige Luftschadstoffe

Gesundheitliche Schäden, unzumutbare Störung des Wohlbefindens sowie physische Leistungsminderung treten zusätzlich ein durch **Außen- wie Innenluftverunreinigungen** u. a. durch Kohlenmonoxid, Lösemittel, Aldehyde, Kohlenwasserstoffe, Fasern oder Staub. Soweit die CO₂-Belastung hoch ist, ist häufig auch die Konzentration weiterer Luftschadstoffe hoch. Deshalb wird CO₂ im Zusammenhang mit der Raumluftqualität auch als „Leitgas“ bezeichnet.

c) Gesundheitsschädliche Mikroorganismen

Normal beträgt die Keimzahl innen wie außen bei relativ sauberer Luft 100 - 200 je m³ Luft. Bei Innenraumluft nach Feuchteschäden beträgt die Keimzahl (Schimmel und Hefepilze, Bakterien und Viren) häufig über 2.000/m³. Bei guter natürlicher Belüftung und Sonneneinstrahlung (UV-Licht) werden Krankheitskeime deutlich reduziert. Im Zweifel oder bei Verdacht auf hohe Keimbelastung sind jedoch Analyse- und fachgerechte Sanierungsverfahren durchzuführen.

d) Geruchsbelästigung

Die Anhäufung von **Riechstoffen** im bewohnten Raum (besonders in Arbeits-, Versammlungs- und Schulräumen) führt häufig zu unzumutbarer Geruchsbelästigung verbunden mit Unbehagen und Abneigung. Es ist bekannt, dass schlechte Gerüche nicht nur durch Belüftung und Besonnung (UV-Licht), sondern auch infolge absorptionsfähiger Baustoffe effektiv reduziert werden können.

e) Regulierung der Raumluftfeuchte durch Lüftung

Der Luftwechsel ist mindestens so groß zu wählen, dass er die Raumluftfeuchte auf einen Wert reduziert, der auch bei der niedrigsten zu erwartenden Oberflächentemperatur zu keinem Tauwasserausfall führt.

vgl. Kap. 3.3, Abb. 10

Um Raumluft- und Materialfeuchte zu reduzieren, muss die Außentemperatur i.d.R. deutlich unter der Innentemperatur liegen

f) Versorgung mit negativ geladenem Sauerstoff

Luftionen und hierbei insbesondere negativ geladener Sauerstoff sind wichtige Bestandteile gesunder und natürlicher Frischluft, welche wir zur Atmung benötigen. Durch Elektro-neraustausch wird die Luft (und besonders Sauerstoff) während des Atemvorgangs neutralisiert, was für die Regulation des gesamten Organismus von Bedeutung ist (u. a. für Zellladung, Blutdruck, Stoffwechsel, Nervensystem, Wachstum).

Typische Luftionenwerte:

- am Meer 2.000 je cm³
- Land Außenluft 1.000 je cm³
- Innenraumluft 100 je cm³

Luftionen (Kleinionen) entstehen natürlicherweise durch das UV-Licht der Sonne, durch kosmische Strahlung, die Radioaktivität der Erde, Gasentladungen, Blitze und sprühendes Wasser wie die Gischt am Meer. In Innenräumen sind es an erster Stelle die natürliche Radioaktivität der mineralischen Baumaterialien und Radon, welche die Luftionenzahlen ansteigen lassen, zudem offene Flammen (Kaminfeuer, Kerzen...) und das Feinzerstäuben von Wasser (Dusche, Ultraschallbefeuchtung der Raumluft, minimal auch plätschernde Brunnen).

Im Innenraum wird die natürliche Luftionenanzahl und -zusammensetzung häufig gestört. Luftionen werden durch elektrische Felder, an erster Stelle Elektrostatik, und durch Partikelbelastungen, Feinstaub, Ruß, Zigarettenrauch, mangelhafte Lüftung und zu trockene Luft (je trockener desto mehr Elektrostatik) reduziert. Ein sehr deutlicher Anstieg der Luftionenkonzentrationen in der ungelüfteten Raumsituation deutet jedoch auf ein Radonproblem hin, welches wiederum nachteilig für die Gesundheit ist.

Ein permanenter und konsequenter Raumluftwechsel ist somit auch aus Gründen der Versorgung mit negativ geladenem Sauerstoff und zur Abfuhr von Schad- und Geruchsstoffen sowie Radon unerlässlich.

g) Luftqualität und Arbeitsstättenverordnung

Die deutsche Arbeitsstättenverordnung setzt europäische "Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten" um. Zum Thema Luftqualität findet man darin u. a. folgende Hinweise:

- „Die Größe des notwendigen Luftraumes ist in Abhängigkeit von der Art der physischen Belastung und der Anzahl der Beschäftigten sowie der sonstigen anwesenden Personen zu bemessen.“
- „Fenster, Oberlichter und Lüftungsvorrichtungen müssen sich von den Beschäftigten sicher öffnen, schließen, verstellen und arretieren lassen...“
- „Der Arbeitgeber hat raumlufttechnische Anlagen instand zu halten und in regelmäßigen auf ihre Funktionsfähigkeit prüfen zu lassen.“
- „In Arbeitsräumen ... muss unter Berücksichtigung der des spezifischen Nutzungszwecks, der Arbeitsverfahren, der physischen Belastungen und der Anzahl der Beschäftigten sowie der sonstigen anwesenden Personen während der Nutzungsdauer ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein.“
- „Ist für das Betreiben von Arbeitsstätten eine raumlufttechnische Anlage erforderlich, muss diese jederzeit funktionsfähig sein. Eine Störung muss durch eine selbsttätige Warneinrichtung angezeigt werden. Es müssen Vorkehrungen getroffen sein, durch die die Beschäftigten im Fall einer Störung gegen Gesundheitsgefahren geschützt sind.“

- „Werden raumluftechnische Anlagen verwendet, ist sicherzustellen, dass die Beschäftigten keinem störenden Luftzug ausgesetzt sind.“
- „Ablagerungen und Verunreinigungen in raumluftechnischen Anlagen, die zu einer unmittelbaren Gesundheitsgefährdung durch die Raumluft führen können, müssen umgehend beseitigt werden.“

Die Arbeitsstättenverordnung verzichtet auf dezidierte Vorgaben in Bezug auf Maße, Abstände, Längen oder Mindestluftraumgrößen und setzt diesbezüglich auf die Eigenverantwortlichkeit der Betriebe. Um die Arbeitsplätze im Sinne des Gesundheitsschutzes und haftungsrechtlich sicher ausstatten zu können, müssen sich die Arbeitgeber an anderen Gesetzen, Vorschriften und Normen orientieren: z. B. Gefahrstoffverordnung, TRGS 900 Arbeitsplatzgrenzwerte, Bauordnung, Landesbauordnungen.

5.2 Frischluftbedarf in Innenräumen

Voraussetzung für eine gute Innenraumluftqualität ist eine ausreichende Luftwechselrate erforderlich.

Bei körperlicher Ruhe oder leichten Tätigkeiten wird lt. DIN 1946-6 eine Mindestluftwechselrate von 30 m³ je Stunde pro Person als notwendig erachtet, 50 m³ je Stunde werden empfohlen.

Bei mittelschwerer Arbeit (Küche, Werkstatt) ist der Frischluftbedarf etwa doppelt so hoch (siehe Abbildung 13). In Räumen mit einer raumbelüfteten Feuerstelle (Kamin, Ofen) oder in denen geraucht wird, ist die mehrfache Frischluftmenge nötig. In gewerblichen Betrieben sind zum Teil Luftwechselraten von 10 - 25 erforderlich

Typische Luftwechselraten

undichte Altbauten	4 – 12 je h
Neubauten ohne besondere Luftdichtkeitsmaßnahmen	3 – 7 je h
Niedrigenergiegebäude	1 – 2 je h
Passivhäuser	0,1 – 0,6 je h

Bei Messungen des IBN stieg in einem 50 m³ großen Raum mit 3 Personen der CO₂-Gehalt innerhalb von 4 Stunden auf:

- 3.000 ppm bei einer Luftwechselrate von 0,3 je Stunde
- 1.500 ppm bei einer Luftwechselrate von 1,0 je Stunde
- 900 ppm bei einer Luftwechselrate von 2,0 je Stunde

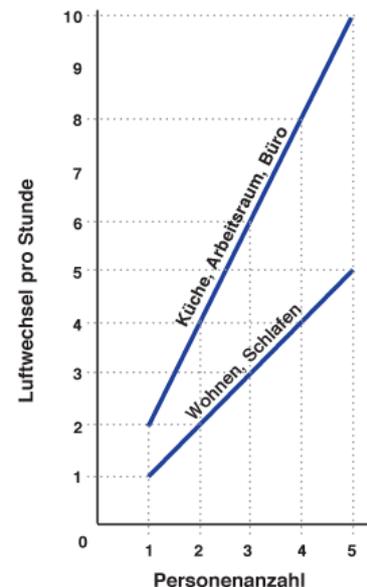


Abb. 13: Empfehlenswerte Luftwechselrate in Abhängigkeit von der Personenanzahl sowie der Art des Raumes (Raumvolumen ca. 50 m³)

Zusammenfassung - Lüftung



Pro Person wird bei körperlicher Ruhe oder leichten Tätigkeiten eine Luftwechselrate von mindestens 30 m³/h empfohlen.

Die Versorgung mit frischer Luft muss aus folgenden Gründen gewährleistet sein:

- Sauerstoffversorgung
- Vermeidung einer Zunahme von Kohlendioxid, weiteren Luftschadstoffen, Mikroorganismen und Geruchsbelästigung
- Regulierung der Raumluftfeuchte
- Versorgung mit negativen Ionen

Die erforderliche Luftwechselrate kann sich u. a. aus folgenden Gründen erhöhen:

- Anzahl der Personen im Raum steigt
- körperliche Tätigkeit
- durch erhöhte Konzentration von Luftschadstoffen (aus Baustoffen, Einrichtungsgegenständen, Reinigungs- und Pflegemittel, rauchen) und/oder Mikroorganismen (Schimmel, Bakterien, Viren)
- Geruchsbelästigung
- hohe Luftfeuchtigkeit
- im Raum befindet sich eine raumluftabhängige Feuerstelle (Kamin, Gasherd etc.)

Um für die Beheizung bzw. Kühlung von Räumen nicht mehr Energie zu verbrauchen, als erforderlich, gilt folgendes Motto:

So viel lüften wie nötig, aber so wenig wie möglich.

In diesem Sinne sollte die Luftdichtigkeit und Lüftung nicht dem Zufall überlassen werden, sondern durch geeignete Maßnahmen optimiert werden. Das IBN empfiehlt, das Lüftungsverhalten anhand eines CO₂-Messgerätes und eines Luftfeuchtemessgerätes zu optimieren. Lüftungs- oder Klimaanlageanlagen lassen sich heute meist mit integrierten Luftqualitätssensoren steuern.

5.3 Lüftungsarten

Eine ausreichende Lüftung ist notwendige Voraussetzung für ein gesundes Raumklima, vor allem bei weitgehend dichten Gebäuden. Da häufig entweder zu wenig oder aber auch zu viel (Energieverschwendung) gelüftet wird, können selbstregulierende Zuluftelemente oder kon-trollierte Lüftungsanlagen eine sinnvolle Alternative sein. Aus Gründen der Gesundheitsvorsorge und des Bautenschutzes (Feuchtigkeit, Schimmel) ist das Wissen bzgl. des richtigen manuellen oder auch automatischen Lüftens sehr wichtig.

vgl. Kurs 08 Heizung und Lüftung

5.3.1 Natürliche Lüftung – oder auch Freie Lüftung

Temperaturdifferenz und Winddruck sorgen hier als natürliche Kräfte für den Luftaustausch. Zu unterscheiden sind folgende freie Lüftungsarten:

- Natürliche Lüftung
- Manuelle Fensterlüftung
- Automatische Fensterlüftung
- Außenbauteil-Luftdurchlässe
- Schachtlüftung und Lüftungsöffnungen im Dach

Definition „Freie Lüftung“ laut DIN EN 16798-7:

„Lüftung, bei der die Luft aufgrund von natürlichen Kräften durch Undichtheiten (Infiltration) und Öffnungen (Lüftung) in das Gebäude strömt und dieses durch Undichtheiten, Öffnungen, Schachtaufsätze oder Dach-Fortluftdurchlässe, einschließlich Lüftungsschächte zur Luftabführung, verlässt.“

Gebäude können dermaßen undicht sein (Fugen, Risse, Baumängel...), dass eine zusätzliche (unkontrollierbare) Lüftung durch Fenster o. ä. nicht oder nur selten erforderlich ist. Die erforderliche Lüftung ist durch folgende Möglichkeiten zu gewährleisten:

Luftwechselrate z. B. in undichten Altbauten ca. 4-12/h, in Passivhäusern 0,1-0,6/h

a) Porenlüftung

Die Porenlüftung kann bei hierfür konzipierten heute nicht mehr zulässigen Bauweisen erheblich zur Lüftung beitragen. Vor allem in den 80er Jahren gab es Versuche, Außenwände („Porenwände“) so zu konstruieren, dass sie eine ausreichende natürliche Lüftung gewährleisten. Zum Einsatz kamen dafür z. B. Holzwolle-Leichtbauplatten, die eine gewisse Winddichtigkeit bieten, aber vergleichsweise sehr luftdurchlässig sind. Auf Basis des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sind solche Konstruktionen nicht mehr zulässig.

Im Gebäudeenergiegesetz (GEG) heißt es hierzu:

“Ein Gebäude ist so errichten, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig nach den anerkannten Regeln der Technik abgedichtet ist.”

und:

“Öffentlich-rechtliche Vorschriften über den zum Zweck der Gesundheit und Beheizung erforderlichen Mindestluftwechsel bleiben unberührt.

b) Manuelle Fensterlüftung

Bei der Fensterlüftung wird unterschieden zwischen

- Lüftung durch Fugendurchlässigkeit (Undichtigkeiten in den Fugen zwischen Flügel- und Blendrahmen) und
- Lüftung durch Öffnen der Fenster

Um Energie zu sparen und Feuchtigkeitsbildung in Fugen, aber auch Zuglufterscheinungen zu vermeiden, sollten Fenster, Fenstertüren, und Außentüren möglichst dicht sein (q -Wert = Fugendurchlasskoeffizient).

Die Kombination von Fensterlüftung durch Fugendurchlässigkeit und natürlicher Lüftung genügt heute in neueren Bauten sowie sanierten Altbauten nicht mehr den Anforderungen für einen ausreichenden Luftwechsel.

Deshalb ist eine Lüftung durch Öffnen der Fenster oder anderen in der Folge noch beschriebenen Lüftungsmöglichkeiten erforderlich.

Bei der **Spalllüftung** (Luftaustausch im Winter ca. 30 - 75 Minuten) wird das Fenster oder die Fenstertür in Dreh- oder Kippstellung einen Spalt geöffnet. Auch das Öffnen einer Lüftungs-klappe oder eines Lüftungsschiebers kann man hier einordnen. Bei den meisten Fenstern ist die Spalllüftung wenig regulierbar. In Versuchen der TU Wien mit einer Feineinstellung anhand von 12 Einstellmöglichkeiten (Haken mit Einstellrasten), die für einen maximalen Kippwinkel von 14 cm eine entspr. Unterteilung zuließen, konnte der Luftwechsel zwischen 20 und 200 m³/h reguliert werden.

Stoßlüftung (Luftaustausch im Winter ca. 4 - 6 Minuten) liegt vor, wenn alle Fenster eines Raumes kurz geöffnet werden, so dass ein völliger Luftaustausch stattfindet.

Querlüftung bedeutet, dass gegenüberliegende Fenster (oder zumindest Über-Eck), die sich auch in verschiedenen Räumen befinden können, gleichzeitig geöffnet sind (Luftaustausch im Winter ca. 2 - 4 Minuten). Falls eine Türe dazwischen liegt, muss diese geöffnet oder zumindest ein Lüftungsgitter eingebaut werden. Abbildung 14 kann man deutlich entnehmen, dass Querlüftung die effektivste Lüftungsart ist.

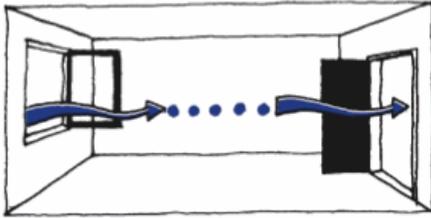
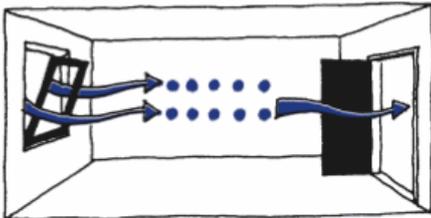
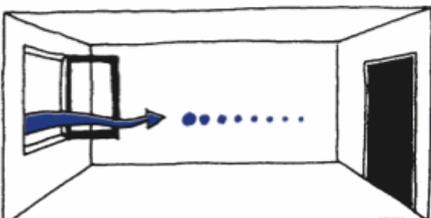
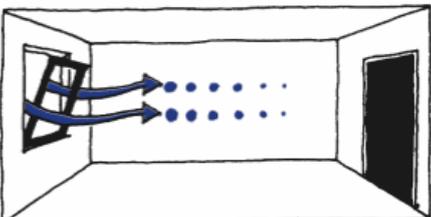
Fenster und gegenüberliegende(s) Fenster/Tür ganz offen (Querlüftung)		Winter Frühjahr/Herbst Sommer	2 - 4 min. 4 - 10 min. 12 - 20 min.
Fenster und gegenüberliegende(s) Fenster/Tür gekippt (Querlüftung)		Winter Frühjahr/Herbst Sommer	4 - 6 min. 8 - 15 min. 25 - 30 min.
Fenster ganz offen (Stoßlüftung), gegenüberliegende(s) Fenster/Tür geschlossen		Winter Frühjahr/Herbst Sommer	4 - 6 min. 8 - 15 min. 25 - 30 min.
Fenster gekippt Gegenüberliegende(s) Fenster/Tür geschlossen		Winter Frühjahr/Herbst Sommer	30 - 75 min. 1 - 3 h 3 - 6 h

Abb. 14: **Ungefähre Dauer eines kompletten Luftaustausches** bei Windstille sowie normaler Raum- und Fenstergröße. Verschiedene Quellen

Baubyo-logisch:

Um Heizenergie zu sparen und Schimmel im Fenster(laibungs)bereich zu vermeiden, sollte bei kalten Außentemperaturen auf eine Dauerlüftung in Kippstellung verzichtet werden. Empfehlenswert ist stattdessen regelmäßiges Stoß- bzw. Querlüften. Dabei muss allerdings auf eine ausreichende Luftwechselrate geachtet werden. So kann es erforderlich sein, mehrmals stündlich zu lüften. Wem dies zu aufwändig ist, kann z. B. Fensterkippmotoren, selbstregulierende Zuluft Elemente in Kombination mit Abluftventilatoren oder eine Lüftungsanlage installieren.



Die notwendige Lüftungsrate richtet sich auch nach den Außentemperaturen.

Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, desto länger muss gelüftet werden.

Geringe Temperaturdifferenz = geringes Luftdruckgefälle = langsamer Luftaustausch (typische Sommersituation)

Hohe Temperaturdifferenz = hohes Luftdruckgefälle = schneller Luftaustausch (typische Wintersituation)

Beispielsweise muss bei ganz geöffnetem Fenster durchschnittlich für einen Luftwechsel so lange gelüftet werden:

- im Frühjahr und Herbst 8 – 15 Minuten
- im Sommer 25 – 30 Minuten
- im Winter 4 – 6 Minuten

Einfacher – hier stört kein Blumentopf – zu realisieren ist das Öffnen der Fenster übrigens durch die in Norddeutschland oder den skandinavischen Ländern traditionell üblichen nach außen aufgehenden Fenster.

An verkehrsreichen Straßen ist zumindest während der Hauptverkehrszeiten von der Fensterlüftung abzuraten (Luft, Lärm). Hier empfiehlt sich eine **Lüftungsanlage** mit integrierten Zuluftfiltern.

Situation 1

ständig geschlossene Fenster / 28 Schüler + 1 Lehrer

Zeitverlauf	Beginn	nach 20 min.	nach 45 min.
Fenster	geschlossen	geschlossen	geschlossen
CO ₂ -Gehalt	523 ppm	1.228 ppm	1.845 ppm

Ergebnis: Der CO₂-Wert innerhalb der Schulstunde steigt stark an. Nach 45 min. werden während der großen Pause 4 Fenster 20 Minuten gekippt (Türe geschlossen, keine Person im Raum). Danach beträgt die CO₂-Konzentration 1.022 ppm.

Situation 2

ständig geöffnete Fenster (teils gekippt, teils ganz geöffnet)

30 Schüler + 1 Lehrer

Zeitverlauf	Beginn	nach 20 min.	nach 45 min.
Fenster	offen	offen	offen
CO ₂ -Gehalt	733 ppm	744 ppm	745 ppm

Ergebnis: Der CO₂-Wert während der Schulstunde bleibt nahezu konstant.

Situation 3

zunächst geschlossene, später geöffnete Fenster plus geöffnete Tür (Querlüften)

28 Schüler + 1 Lehrer

Zeitverlauf	Beginn	nach 20 min.	nach 45 min.
Fenster	geschlossen	offen	offen
CO ₂ -Gehalt	725 ppm	1.332 ppm	670 ppm

Ergebnis: Der CO₂-Wert innerhalb der Schulstunde steigt stark an. Querlüften („Durchzug“) mit ganz geöffneten Fenstern hat sehr guten Effekt (vgl. Situation 1), selbst wenn der Klassenraum voll besetzt ist.

Übersicht 06: Kohlendioxid-Messungen an einer Schule abhängig vom Lüftungsverhalten (Messungen IBN)

Rahmenbedingungen: Klassenzimmergröße l/b/h = 9 x 6 x 3 m = (ca. 162 m³) / 4 große Fenster je 2 x 2 m / Außentemperatur ca. 20 °C.

c) Automatische Fensterlüftung

Diese Motoren wurden ursprünglich für schwer erreichbare Fenster (z. B. Dachfenster), für körperlich behinderte Menschen oder für zentrale Fensterschließanlagen im gewerblichen Bereich entwickelt, können aber auch im konventionellen Bereich gute Dienste leisten und bei richtiger Auslegung und/oder in Kombination mit Abluftventilatoren eine gute und energiesparende Alternative zu Lüftungsanlagen sein.

Im IBN wurden Versuche mit Fensterkippmotoren jeweils kombiniert mit folgenden Sensoren durchgeführt:

- Zeitschaltuhr
- CO₂-Messgerät
- Luftfeuchte-Messgerät

Alle Sensoren funktionierten einwandfrei. Zu beachten sind jedoch folgende Situationen:

- Ausreichende und energiesparende Luftwechselzahlen sind nur mit Querlüftung erreichbar. Das bedeutet, gegenüberliegende (oder zumindest über Eck angeordnete) Fenster müssen synchron durch Fensterkippmotoren gekippt werden. Dazwischen liegende Türen müssen mit Lüftungsgittern ausgestattet oder geöffnet werden.
- Die Fensterkippmotoren sind relativ laut (ca. 60 db(A)) und eignen sich deshalb weniger für geräuschempfindliche Räume wie z. B. Schlafzimmer.
- Die Fenster werden durch die Sensoren entspr. den eingestellten Zeiten, der CO₂- bzw. der Luftfeuchte-Konzentration im Raum geöffnet. Dies geschieht auch dann, wenn außen gerade eine Lärmquelle stört oder unangenehme Gerüche in die Räume eindringen können.
- Zeitschaltuhren registrieren nicht den CO₂-Anstieg bei einer erhöhten Personenzahl.

Aus diesen Gründen ist die Kombination von Sensoren mit manuellen Schaltern empfehlenswert, über welche die Fenster jederzeit manuell auch unabhängig von den Sensoren geöffnet oder geschlossen werden können. Empfehlenswert ist, dass z. B. beim Einschalten einer Dunstabzugshaube in der Küche automatisch auch ein Fenster öffnet.

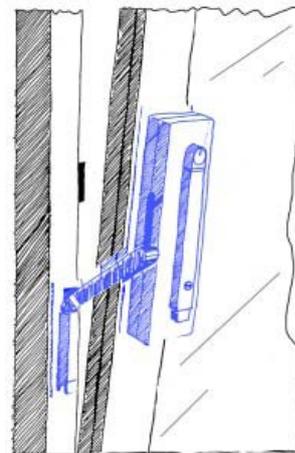


Abb. 15: Fensterkippmotor

Fensterkippmotoren: WindowMaster GmbH
Sensoren: Sauter-Cumulus GmbH

d) Außenbauteil-Luftdurchlässe

Außenbauteil-Luftdurchlässe werden z. B. in die Außenwände, in Rolladenkästen oder in die oberen Fenster-Blendrahmen eingebaut. Angeboten werden selbstregulierende, feuchtegeführte und schallgedämmte Luftdurchlässe, die bei starkem Wind automatisch den Luftdurchsatz begrenzen. Jeder Aufenthaltsraum sollte mindestens einen Luftdurchlass erhalten.

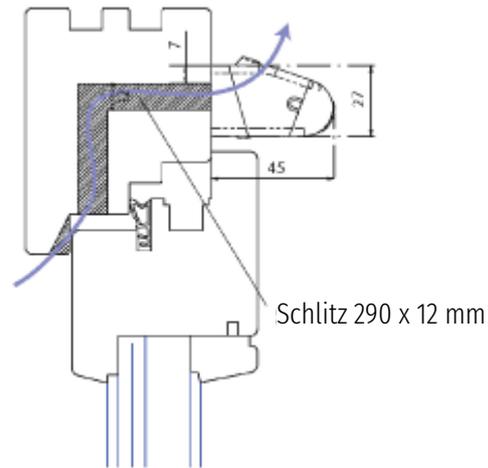


Abb. 16: Feuchtegeführter Luftdurchlass für Holzfenster (Maße bzw. Fräsung typbeding)
Quelle: Aereco GmbH

Solche Luftdurchlässe eignen sich aufgrund ihres geringen Querschnitts i.d.R. nicht zur ausschließlichen Lüftung, ermöglichen aber zumindest einen definierbaren Mindestluftwechsel. Vor allem bei dichten Neubauten oder sanierten Altbauten ohne Lüftungsanlage sind solche Luftdurchlässe wichtig, insbesondere für die Verbrennungsluftversorgung raumluftabhängiger Feuerstätten, beim Einsatz von Dunstabzugshauben oder bei Abluftanlagen z. B. in Bädern. Werden Luftdurchlässe mit einer einfachen Abluftanlage kombiniert, können sie sich bei ausreichender Dimensionierung auch als ausschließliche Lüftung eignen.

e) Schachtlüftung und Lüftungsöffnungen im Dach

Bei der Schachtlüftung entweicht Abluft in einem Schacht, der wie ein Kamin i.d.R. bis übers Dach geführt wird. Entsprechend diesem Prinzip werden auch Oberlichter mit Lüftungsfunktion, Dachfenster, Lüftungsklappen im Dach, Labyrinthlüfter o. ä. eingesetzt. Da der Luftdruck mit zunehmender Höhe abnimmt, entsteht ein leichter Unterdruck, der gewährleistet, dass Frischluft z. B. durch geöffnete Fenster oder Luftdurchlässe in die Räume gelangt und Abluft durch den Schacht oder eine Lüftungsöffnung im Dach entweicht. Bei wenig hohen Schächten bzw. Gebäudehöhen und vor allem bei hohem Luftdruck – besonders in der warmen Jahreszeit – ist diese Art der Lüftung jedoch nicht ausreichend, es kann sogar dazu kommen, dass sich der Luftstrom umdreht. Mit Hilfe von Ventilatoren und Staubfiltern in den Zuluftdurchlässen kann ihre Aufgabe quantitativ und qualitativ verbessert werden.

5.3.2 Fallbeispiele zum Lüftungsbedarf

Anhand der folgenden zwei Fallbeispiele kann der Frischluftbedarf in Wohn- oder Arbeitsräumen mit hinreichender Genauigkeit abgeschätzt werden:

Annahmen: In einem Wohnzimmer mit 4 x 5 m Grundfläche und 2,5 m Höhe halten sich 3 sitzende Personen (Nichtraucher) auf.

- Mindestluftwechsel: $3 \times 30 \text{ m}^3 = 90 \text{ m}^3/\text{h}$
- Luftvolumen Wohnzimmer: $4 \times 5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 50 \text{ m}^3$
- Hieraus ergibt sich, dass ca. **2 mal je Stunde** die Luft ausgetauscht werden sollte (= Luftwechselrate)

vgl. Kap. 5.2

Fallbeispiel I: Wohnzimmer in einem Niedrigenergiegebäude

Die Luftwechselrate in Niedrigenergiegebäuden beträgt bei geschlossenen Fenstern und Türen, also bei "Natürlicher Lüftung" durch Undichtigkeiten typischerweise etwa 1 - 2 je Stunde (kann aber auch niedriger/höher sein!). In diesem Fallbeispiel wird von einer Luftwechselrate von 1 ausgegangen.

Durch Lüftungsmaßnahmen – z. B. Fensterlüftung – sollte also je Stunde mindestens eine zusätzliche Luftwechselrate angestrebt werden. Verrichten die Bewohner Tätigkeiten wie z. B. Bügeln, Spielen, Basteln, Gymnastik, sollte die Luftwechselrate noch höher sein. Entsprechend wird bei den folgenden Ausführungen von einer zusätzlichen **Luftwechselrate von 2 je Stunde durch Lüften** ausgegangen und auf Basis von Abb. 14 folgendes **Lüftungsverhalten empfohlen:**

- Bei Querlüftung und ganz geöffneten Fenstern oder Fenstertüren:
 - im Winter 2 mal je Stunde je 2 - 4 Minuten lüften
 - im Frühling/Herbst 2 mal je Stunde je 4 - 10 Minuten lüften
 - im Sommer 2 mal je Stunde 12 - 20 Minuten lüften
- Bei Querlüftung und gekippten Fenstern oder Fenstertüren bzw. bei einem ganz geöffnetem Fenster ohne Querlüftung:
 - im Winter 2 mal je Stunde je 4 - 6 Minuten lüften
 - im Frühling/Herbst 2 mal je Stunde je 8 - 15 Minuten lüften
 - im Sommer 2 mal je Stunde 25 - 30 Minuten lüften (= Dauerlüftung!)
- Bei einem gekippten Fenster ohne Querlüftung: Hier müsste selbst im Winter 2 mal je Stunde je 30 - 75 Minuten gelüftet werden, d. h. selbst eine Dauerlüftung reicht nur noch unter optimalen Bedingungen (2 x 30 Minuten) für den empfohlenen Luftwechsel aus. Während der anderen Jahreszeiten ist eine ausreichende Lüftung lediglich über ein gekipptes Fenster nicht mehr möglich.

Verkürzen (und damit bzgl. Energieverbrauch optimieren) lassen sich die Lüftungszeiten durch das Öffnen von zwei oder mehreren Fenstern und/ oder das Öffnen von Türen zu anderen Räumen. Alternativ kann hier eine einfache Abluftanlage oder eine kontrollierte Lüftungsanlage sinnvoll sein. Die Gebäudehülle weniger dicht zu machen (z. B. durch das Entfernen von Fensterdichtungen), ist nicht empfehlenswert. Dies wäre mit einem Verlust der Kontrolle über den Luftaustausch und des Heizenergieverbrauchs sowie der Gefahr von Kondensation in Bauteilen verbunden. Zudem würde sich damit auch der Schutz gegen Lärm verringern.

Fallbeispiel II: Wohnzimmer in einem undichten Altbau

Vorausgesetzt werden die gleichen Annahmen wie in Fallbeispiel I. Es handelt sich aber um einen Raum in einem undichten Altbau (Fenster ohne Fugendichtung, offener Speicher u. a.). Die Luftwechselrate in undichten Altbauten beträgt bei geschlossenen Fenstern und Türen (= Natürliche Lüftung) etwa 4 - 12 je Stunde (kann aber auch niedriger oder höher sein!). Es sind also zumindest bei Ruhe oder leichten Tätigkeiten i.d.R. keine weiteren Lüftungsmaßnahmen erforderlich.

Eine Lüftungsanlage ist bei besonders undichter Bauweise (i.d.R. ältere Bauten) nicht sinnvoll. Wird das Gebäude nachträglich aus Energie-spargründen besser abgedichtet, muss das Lüftungsverhalten bzw. -konzept an die geänderten Verhältnisse angepasst werden, auch um Tauwasserschäden zu vermeiden.

vgl. Kap. 5.2

Übersicht 07: Fallbeispiele zum Lüftungsbedarf



Baubio-logisch:

Das IBN empfiehlt, das Lüftungsverhalten anhand von regelmäßigen CO₂- und Luftfeuchtemessungen zu optimieren.

5.3.3 Lüftungsanlagen

Lüftungsanlagen arbeiten mit Ventilatoren, die entweder durch Unterdruck im Raum (Sauglüftung) oder durch Überdruck im Raum (Drucklüftung) zur Luftumwälzung sowie zur Frischluftversorgung führen.

vgl. Kurs 08 Heizung und Lüftung

Im Vergleich zur Natürlichen Lüftung haben sie folgende Vorteile:

- kontrollierte Frischluftzufuhr und/oder Abfuhr von Luftschadstoffen entsprechend den tatsächlichen Bedürfnissen (Luftqualität, -feuchte, -temperatur)
- Optimierung des Heizenergieverbrauchs
- Filterung der Außenluft (Feinstaub, Pollen etc.)
- Komfortgewinn (die Nutzer müssen nicht selbst lüften)
- Lüftung trotz Außenlärm
- Möglichkeit der Wärmerückgewinnung

Aufgrund von Planungs- und/oder Ausführungsfehlern sowie mangelhafter Wartung können u. a. folgende Mängel auftreten:

- zu hoher oder zu niedriger Luftaustausch
- hygienische Probleme u. a. aufgrund zu geringer Filterqualität und/oder schlechter Wartung der Filter oder fehlender Kondensatablauf bei Erdwärmetauschern
- Lärmprobleme (monotones Rauschen, Lärmübertragung etc.)
- mangelhafte Abstimmung mit Feuerstellen oder Dunstabzugshauben
- Zugerscheinungen

Fachgerecht geplante, gebaute, einregulierte und regelmäßig gewartete Lüftungsanlagen geben aber in der Regel selten Anlass zur Kritik, dies ergab auch eine Umfrage des IBN. Auch eigene Erfahrungen mit Lüftungsanlagen im IBN sind bislang positiv.



Abb. 17 : Lüftungsgerät mit Wärme- und Feuchterückgewinnung, Luftleistung 300 m³/h
Abmessung: 100 x 56 x 37 cm
Quelle: Hoval AG

Quelle: Wohnung + Gesundheit Nr. 114

Quelle: www.baubiologie-magazin.de/einfluss-verschiedener-lueftungsarten-luftqualitaet

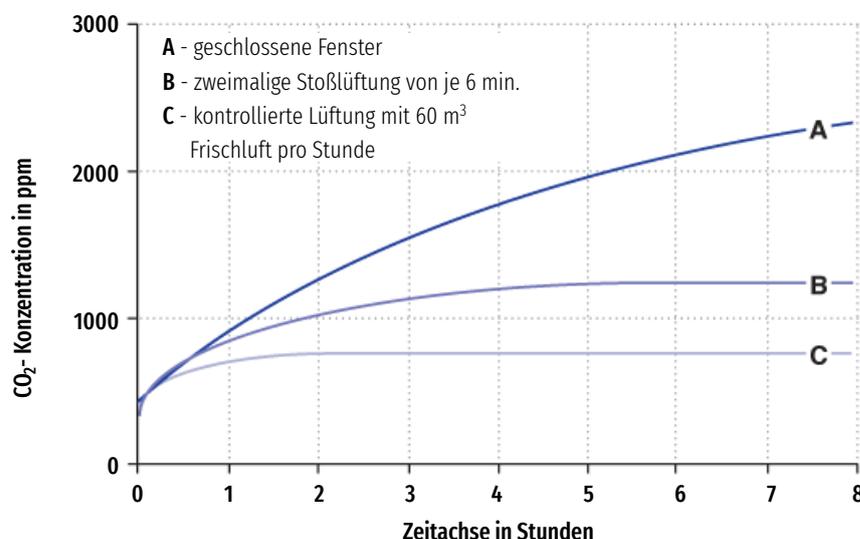


Abb. 18: Verlauf der CO₂-Konzentration während eines achtstündigen Aufenthalts von zwei Personen in einem 15 m² großen Wohnraum (gemessene Luftwechselrate 0,21/h) Quelle: Steffen Sabin, Baubiologie IBN, TGA-Fachplaner



Baubio-logisch:

Als Mindeststandard sollte in dichten Gebäuden zumindest eine einfache Abluftanlage mit Außenbauteil-Luftdurchlässen in jedem Raum oder alternativ eine automatische Fensterlüftung vorgesehen werden. Besonders im Rahmen von Sanierungen oder bei nachträglichem Einbau eignen sich sehr gut auch sog. dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.

5.3.4 Klimaanlage

Darunter versteht man eine kontrollierte Lüftung, bei der zugleich die Zuluft auf eine definierte Temperatur (heizen oder kühlen), Feuchtigkeit (befeuchten oder trocknen) und Reinheit (filtern oder austauschen) gebracht wird. Zur einwandfreien Wartung, Bedienung, Reinigung und Instandhaltung sind geschulte Fachkräfte erforderlich. Hausbesitzer von Mehrfamilienhäusern, Verwaltungsbauten oder gewerblich genutzten Gebäuden schließen in der Regel Verträge mit Wartungsfirmen ab. Eine mangelhafte Wartung kann hygienische Probleme wie Krankheitskeime (z. B. Bakterien wie Legionellen oder Viren) oder Schimmelpilze zur Folge haben.

Nicht unproblematisch kann aber auch die Verwendung von gechlortem Wasser oder die Desinfektion von Befeuchterwasser gegen Bakterien- und Pilzbefall mit Bioziden sein. Das verwendete Wasser sollte stets Trinkwasserqualität haben.

Das **Sick-Building-Syndrome (SBS)**, eine international bekannte und unter Medizinern und Klimatologen viel diskutierte Krankheitserscheinung, wird besonders auf Klimaanlage zurückgeführt.

Viele Großbauten wie Hochhäuser, Krankenhäuser, Büro- und Verwaltungsgebäude, Theater, Kino oder Fabrikhallen, aber auch Züge und andere Verkehrsmittel können aber trotz dieser Probleme auf Klimaanlage nicht verzichten.

Mit Klimaanlage geht die enge Bindung zwischen Raumklima und Bauweise verloren. Die Versuche, mit Technik wieder in Ordnung zu bringen, was hinsichtlich des klimagerechten Bauens vernachlässigt wurde, befriedigen kaum in ihrem Ergebnis.

Zunehmend gibt es auch für Großbauten vielversprechende Heiz- und Lüftungskonzepte, welche ohne klassische Klimaanlage auskommen. Ursachen dafür sind vor allem steigende Energiekosten sowie gesundheitliche Probleme der Nutzer. Zur Anwendung kommen neben anderen Maßnahmen z. B. Freie Lüftungssysteme oder Lüftungsanlagen ggf. in Kombination mit Flächenheiz- und Kühlsystemen in Wänden und Decken, wie z. B. die sog. Betonkernaktivierung. Hierzu ist allerdings eine enge Zusammenarbeit von engagierten Haustechnik-Ingenieur*innen sowie Architekt*innen bereits im Entwurfsstadium nötig.

sinngemäß: krankmachende
Gebäudeeinflüsse

Kurs 08 Heizung und Lüftung

Zusammenfassung - Lüftungsarten

Natürliche Lüftung oder auch Freie Lüftung

- Lüftung durch Undichtigkeiten
- Porenlüftung
- manuelle Fensterlüftung
- automatische Fensterlüftung (Fensterkippmotoren)
- Luftdurchlässe
- Schachtlüftung und Lüftungsöffnungen im Dach



Gebäude können dermaßen undicht sein (Fugen, Risse, Baumängel...), dass eine zusätzliche (unkontrollierbare) Lüftung durch Fenster o.ä. nicht oder nur selten erforderlich ist.

Die manuelle Fensterlüftung ist nur dann eine Option, wenn es sich um ein älteres Gebäude mit hohen Luftwechselzahlen aufgrund von Undichtigkeiten handelt oder die Bewohner/Nutzer sich umfassend zu diesem Thema informieren und bereit sind, regelmäßig und aktiv zu lüften.

Einfache oft auch nachträglich installierbare und gut funktionierende Optionen für einen definierbaren Luftwechsel sind die automatische Fensterlüftung, Luftdurchlässe in Kombination mit Abluftventilatoren bzw. in Kombination mit Schachtlüftung oder Lüftungsöffnungen im Dach.

Am meisten Komfort und zuverlässige Versorgung mit Frischluft bieten dezentrale oder zentrale Lüftungsanlagen (möglichst mit Wärmerückgewinnung).

Klimaanlagen in Gebäuden sollten aus mehreren Gründen vermieden werden.

In jedem Fall sollte mit Hilfe von CO₂-Messgeräten und eines Luftfeuchtemessgerätes die erforderliche Lüftung nach dem Motto „so viel wie nötig und so wenig wie möglich“ optimiert werden.

6. Baustoffe und Raumklima

Unter verschiedenen Zusammenhängen wurde in den vorstehenden Abschnitten bereits auf die klimatische Bedeutung der Baustoffe eingegangen. Es hat sich gezeigt, dass sie mehr oder weniger Einfluss auf fast alle Klimafaktoren haben:

- Temperatur von Luft und Oberflächen
- Luft- und Baufeuchtigkeit
- Luftbewegung
- Natürliche Lüftung durch Diffusion und Undichtigkeiten
- Luftionenkonzentration
- Geruch der Raumluft
- Bindung gasförmiger Schadstoffe
- Entwicklung von Schimmel, Insekten, Bakterien und Viren
- gesamte Raumatmosphäre und ihr Einfluss auf das Wohlbefinden der Bewohner

Die möglichen Einflüsse auf das Raumklima sind in den **25 Leitlinien der Baubiologie** zusammengefasst.

Ein wohltuendes und gesunderhaltendes Raumklima gehört zu den wichtigsten Themen der Baubiologie. Im ganzheitlichen Sinne der Baubiologie greifen viele Anforderungen ineinander; die Beachtung von Einzelaspekten führt meist nicht zum gewünschten Erfolg. Dieser Kurs soll einen **ersten Überblick** vermitteln. Weiterführende Details zu allen Anforderungen werden in den folgenden Kursen erläutert.

Baubio-logisch:

Generell, also auch zum Thema Raumklima, sollte man als Baubiologin oder Baubiologe stets die Bedürfnisse des einzelnen Menschen beachten. Was für die/den eine/n gut ist, kann für andere nicht (ausreichend) gut sein. Die Bedürfnisse können selbst innerhalb einer Familie, einer Wohngemeinschaft oder am Arbeitsplatz unter Kolleg*innen sehr unterschiedlich sein. Durch gezielte Beratung und Ausführung sollten gute Raumklimaverhältnisse für alle erreicht werden. Nicht zuletzt ist dies ein wichtiger Beitrag für eine gute zwischenmenschliche Atmosphäre.



Fragen zur Lernkontrolle

1. Was versteht man unter dem Begriff „Sick-Building-Syndrome“?
2. Welche Klima-Faktoren wirken sich auf das Raumklima aus?
3. Wie wird das Raumklima von außen beeinflusst?
4. Nennen Sie einige Beispiele, wie sich das Bioklima bzw. Raumklima positiv bzw. negativ auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen auswirken kann!
5. Welche natürlichen Baustoffe stehen dem Menschen für den Hausbau zur Verfügung?
6. Wie viel Wärme gibt der menschliche Körper pro Stunde durchschnittlich ab (in Watt)?
7. Welche Oberflächentemperaturen sind für Wohnräume anzustreben?
8. Welche Materialien eignen sich für fußwarme Böden?
9. Warum sind gut wärmedämmende Fenster für das Raumklima wichtig?
10. Welche Raumlufttemperaturen sind optimal?
11. Wie reagiert der Mensch auf zu warme oder zu kalte Raumtemperaturen?
12. Wie wirkt sich Zugluft auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen aus?
13. Was versteht man unter relativer Luftfeuchtigkeit und absoluter Luftfeuchtigkeit?
14. Welche Raumluftfeuchte gilt als optimal?
15. Warum kann trockene Raumluft zu Gesundheitsbeschwerden führen?
16. Welche Auswirkungen hat zu hohe Luftfeuchtigkeit auf das Wohlbefinden?
17. Was beeinflusst die Raumluftfeuchte?
18. Welche negativen Folgen können Wandfeuchte und Schimmel haben?
19. Was sind die Ursachen für Feuchteprobleme mit Schimmelbefall?
20. Was können Bewohner tun, um Feuchteprobleme zu reduzieren (Nutzerverhalten)?
21. Was kann/muss baulich getan werden, um Feuchteprobleme zu reduzieren?
22. Nach energetischen Sanierungen von Altbauwohnungen treten häufig Feuchte- und Schimmelschäden auf. Was sind die möglichen Ursachen?
23. Welche Forderungen werden in der Baubiologie an eine gesundheitlich optimale Heizung gestellt?
24. Welche Heizungsarten können besonders empfohlen werden?
25. Warum ist eine ständige Frischluftversorgung für den Organismus lebenswichtig?
26. Wie hoch sollte der max. CO₂-Gehalt in Innenräumen sein?
27. Welche Lüftungsarten gibt es (jeweils mit kritischer Beurteilung)?
28. Beschreiben Sie das aus gesundheitlichen Gründen empfehlenswerte Lüftungsszenario für einen weitgehend luftdichten Neubau ohne Lüftungsanlage zu den verschiedenen Jahreszeiten!
29. Was versteht man unter kontrollierter Lüftung?
30. Was sind mögliche Vor- und Nachteile von Lüftungsanlagen?
31. Welche Lüftungsart favorisieren Sie für Ihre Wohnung/Ihr Haus und warum?

32. Wie wird in Ihrer Wohnung/in Ihrem Haus und an Ihrem Arbeitsplatz gelüftet? Welche Verbesserungen (Nutzerverhalten, Lüftungsart, technische Maßnahmen...) schlagen Sie jeweils vor?
33. Welche gesundheitlichen Probleme können durch Klimaanlage verursacht werden?
34. Welche Anforderungen sind an wohnklimatisch günstige Baustoffe zu stellen?