

Raumluft- qualität und Lüftung

Zahlreiche Schadstoffe – nicht zuletzt das selbstproduzierte CO₂ – können die Innenraumluft belasten. Eine geeignete Lüftung ist darum zentral. Was aber ist vorteilhafter für ein wohliches Klima: eine mechanische Komfortlüftung oder das Lüften von Hand?

Paul Eggimann
Bauökologie
Hochbauamt (HBA) Kanton Zürich; Stab
Telefon 043 259 28 57
paul.eggimann@bd.zh.ch
www.hochbauamt.zh.ch



Auch in Minergiebauten können von Hand Fenster geöffnet werden, um zu lüften.
Im Bild: Minergie-P-Eco-Neubau des Kantons an der Stampfenbachstrasse.
Quelle: HBA

Ohne Luft existiert kein Leben. Sie ist ein wichtiges «Lebensmittel». Wie bei den anderen Lebensmitteln sollte man also auch bei der Luft auf eine gesunde Zufuhr achten. Die meisten Menschen halten sich heutzutage den Grossteil des Tages in Innenräumen auf. So ist auch der grösste Teil der Luft, die man atmet, Innenraumluft. Die Qualität dieser Luft ist somit zentral.

Aussenluftqualität

Stoffe aus zahlreichen Quellen belasten die Luft. Einige von ihnen haben bei genügend hoher Konzentration das Potenzial, Wohlbefinden oder gar die Gesundheit zu gefährden. Dank der natürlichen Durchmischung und der aus ihr folgenden Verdünnung werden in der Aussenluft auch bei grossen Schadstoffquellen in der Regel keine kritischen Konzentrationen erreicht. Bei bestimmten Wetterlagen oder übermässigen Schadstoffquellen kann es aber auch in der Aussenluft zu kritischen Schadstoffkonzentrationen kommen (Smog). Dabei stehen für die Aussenluft Feinstaub, Russ, Stickoxide, Ozon sowie Pollen als wichtigste Belastungen im Vordergrund.

Innenluftqualität

Die Innenluft wird durch zusätzliche Quellen belastet. Dies sind insbesondere Emissionen aus Baumaterialien wie Formaldehyd, VOC sowie verschiedenste Verbindungen aus der Bauchemie. Eine weitere Belastung entsteht durch Prozesse wie Heizen, Reinigen, Kochen oder Baden. Auf feuchten Ma-

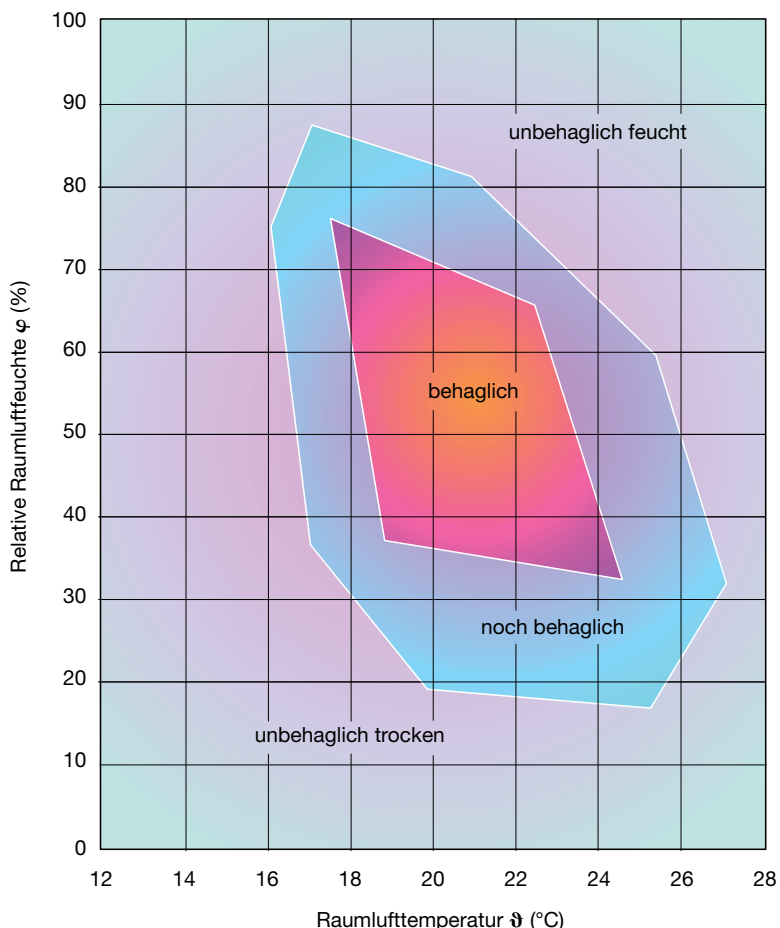
terialien kann Schimmelpilz entstehen (siehe Artikel «Schimmelpilz in Wohnräumen vermeiden» Seite 25). Nicht zuletzt trägt aber auch der Nutzer durch seine Stoffwechselprodukte zur Belastung bei. Wird dann auch noch geraucht, braucht die Innenluft definitiv eine Auffrischung.

Frischlufversorgung

Die Norm SIA 382/1 fordert für typische Wohn- und Büroräume eine Frischluftzufuhr von mindestens 22 Kubikmeter pro Stunde und Person, damit die CO₂-Konzentration die noch akzeptierbare Konzentration von 1350 ppm nicht überschreitet. Wünschenswert ist jedoch eine CO₂-Konzentration um die 1000 ppm. Um diese zu erreichen, ist eine Frischluftzufuhr von rund 36 Kubikmeter pro Stunde und Person nötig, die untere Grenze für den notwendigen Luftwechsel.

Ist der Raum durch intensive Quellen anderer Schadstoffe belastet, ist ein entsprechend höherer Luftwechsel notwendig, um diese abzulüften und unbelastete Aussenluft in den Raum zu bringen. Im Maximalfall sind viele grosse Öffnungen vorhanden, so dass man fast Aussenluft atmet, als würde man sich im Freien aufhalten. Da auch Raumqualitäten wie Raumluftfeuchte sowie Temperatur durch die Frischluftzufuhr in die eine oder andere Richtung beeinflusst werden, liegt das Optimum zwischen diesen beiden Werten. Ausserdem kann es nicht die Lösung sein, Schadstoffkonzentrationen eines Innenraums durch übermässiges Lüf-

Bestimmung der Behaglichkeitszonen



Oben rechts in der Grafik ist es warm und feucht, unten links ist es kühl und trocken. Wirklich wohl fühlt sich der Mensch in einem mittleren Bereich der Feuchte und Temperatur. Quelle: HBA

Absolute und relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit bezeichnet den Feuchtegehalt der Luft in Relation zum maximal möglichen Gehalt (Sättigung). Sie wird in Prozent ausgedrückt, also z. B. 35 % rel.F.

Die absolute Feuchtigkeit bezeichnet den Wassergehalt in Relation zum Gewicht der Luft, also z.B. 5g Wasser auf 1 kg Luft, was mit 5g/kg abgekürzt wird.

Wird kalte Luft erwärmt, so ändert sich der absolute Gehalt nicht. Warme Luft kann aber mehr Feuchtigkeit aufnehmen, die Sättigungsgrenze nimmt also zu. Damit sinkt der relative Gehalt. So kann z. B. 0°C kalte Luft maximal 4g/kg Wasser enthalten (entspricht 100% rel.F. bei 0°C). Wird diese Luft auf 20°C erwärmt, enthält sie immer noch 4g/kg Wasser, aber die Sättigungsgrenze beträgt jetzt 15.4g/kg und die relative Feuchte damit nur noch $4/15.4 = 26\%$ rel. F. Erwärmte Luft weist deshalb ohne Befeuchtung immer eine vergleichsweise tiefe relative Feuchte auf.

ten tief zu halten. Stattdessen müssen die Emissionen aus Schadstoffquellen nach Möglichkeit eliminiert oder wenigstens massgeblich reduziert werden.

Thermische und hygrische Qualität

Neben der rein «chemischen» Qualität der Luft prägen Temperatur und relative Feuchte (hygrische Qualität) das menschliche Wohlbefinden im Raum massgeblich. Das Temperatur-Feuchte Diagramm (Grafik oben) zeigt, in welchen Bereichen sich Menschen wohlfühlen. Am behaglichsten ist es zwischen 35 Prozent und 70 Prozent relativer Feuchte bei Temperaturen von 19°C bis 24°C.

In der Graphik rechts werden die Zusammenhänge zwischen der Raumluftfeuchte und den menschlich-biologischen Wechselwirkungen aufgezeigt. So entwickeln sich zum Beispiel Pilze und Milben bei hoher Feuchte besser. Bei tiefer Feuchtigkeit werden dagegen Infektionen der Atmungsorgane begünstigt, da die Abwehrkraft trock-

ner Schleimhäute geringer ist als die feuchter Schleimhäute. Die geringsten biologischen Auswirkungen sind bei 40 bis 50 Prozent relativer Feuchte zu erwarten.

Für das Wohlbefinden ist nur die relative Luftfeuchtigkeit und nicht der absolute Feuchtegehalt der Luft entscheidend (siehe Kasten links). Enthält die Luft ausserdem viel Staub, wird sie bei gleichem Feuchtegehalt als trockener wahrgenommen als Luft ohne Staub.

Optimale Lüftung

Die optimal Lüftung bringt so viel (kühle oder heisse, trockene oder feuchte) Aussenluft in den Raum wie nötig und so wenig wie möglich. Die minimale Luftmenge ist durch die Hygieneanforderungen bestimmt: Die maximale Luftmenge ist durch die thermischen und hygrischen Komfortanforderungen festgelegt. Die Strategie im Winter ist dabei eine völlig andere als die Strategie im Sommer.

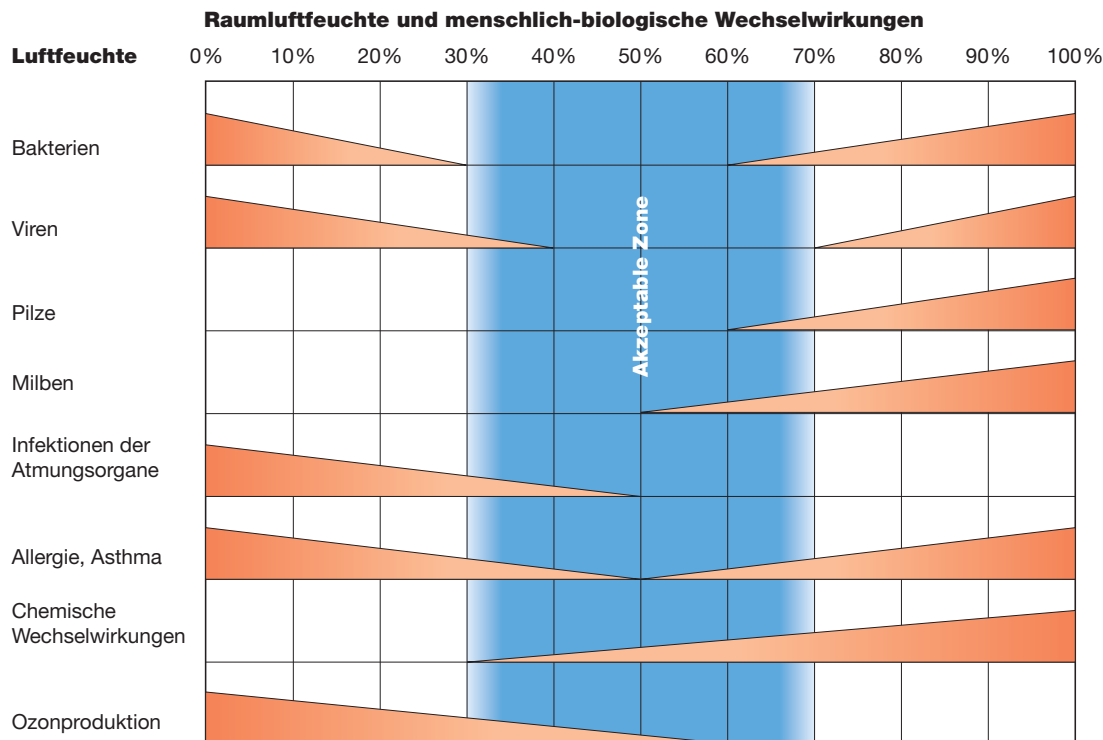
Lüften im Winter

Die Aussenluft ist deutlich kälter als die Innenluft. Sie muss deshalb erwärmt werden. Kalte Luft kann aber nur wenig Feuchtigkeit aufnehmen (siehe Kasten). Bei Aussentemperaturen unter dem Gefrierpunkt und Raumtemperaturen um die 20°C kann erwärmte Aussenluft eine maximale relative Feuchte von unter 25 Prozent erreichen. Die Luftwechselrate sollte deshalb bis an die hygienische Untergrenze reduziert werden, damit die im Raum durch Nutzer oder andere Quellen produzierte Feuchte nicht zu schnell abgelüftet wird.

Auch bei diesen geringen Luftwechseln lassen sich bei tiefen Aussentemperaturen kaum Feuchten über 30 Prozent relativer Feuchte erreichen. Eine aktive Befeuchtung ist energieintensiv (Verdunstung) oder hygienisch kritisch (Zerstäuber-Geräte). Je nach Bausubstanz schlägt sich die zusätzliche Feuchte auch an kalten Oberflächen nieder (siehe Artikel «Schimmelpilz in Wohnräumen vermeiden», Seite 25). Sie wird deshalb in der Regel nur für besonders kritische Nutzungen, wie z. B. Operationssäle, durchgeführt.

Lüften im Sommer

Im Sommer ist nicht die Feuchte der kritische Aspekt, sondern die Temperatur. Während eines heissen Tages sollte möglichst wenig heisse Luft in das Gebäude gebracht werden. In den kühleren Nächten führt dagegen ein intensiver Luftwechsel zu einer Nachtauskühlung des Gebäudes. Je



Verschiedenste Faktoren tragen in der Raumluft zum Wohlbefinden bei. Gegenüberstellung der hygienischen Wirkungsänderungen in Abhängigkeit der relativen Raumluftfeuchte. Entwicklung biologischer Organismen und Wechselwirkungen mit menschlichen Organen und der Umgebung.
Quelle: Scofield und Sterling ASHRAE-Journal 34

nach Speichermasse und den Möglichkeiten, diese zu aktivieren, kann so auch ohne aktive Kühlung über den Tag eine angenehme Raumtemperatur erreicht werden. Unbedingt vermieden werden sollte ein massiver Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung. Geschlossene Storen sind deshalb an sonnigen Tagen ein absolutes Muss!

Die Möglichkeiten mit Luft zu kühlen sind beschränkt. Die Wärmekapazität von Luft ist sehr viel geringer als z. B. die von Wasser. Es kann pro Kubikmeter Luft bei gleicher Temperaturdifferenz viel weniger Wärme (bzw. Kälte) transportiert werden als mit einem Kubikmeter Wasser. Entsprechend muss die zugeführte Luft sehr kalt sein, um einen messbaren Effekt zu erreichen. Dieses Phänomen ist allen vertraut, die schon einmal im Süden eine Klimaanlage erlebt haben. Sind deshalb im Raum besondere Wärmequellen vorhanden, z.B. eine dichte Belegung im Klassenzimmer oder Geräte mit grosser Abwärme wie Serveranlagen, so ist eine Kühlung notwendig und nicht nur eine Lüftung.

Vergleich Fensterlüftung und mechanische Lüftung

Die oben aufgeführten Tatsachen gelten unabhängig vom Weg, über den die Luft in den Raum kommt. Pointiert könnte man sagen, dass es der Luft rein physikalisch egal ist, ob sie über

ein Fenster oder über einen Ventilator und einen Luftkanal in den Raum kommt. In der Wahrnehmung der Nutzer besteht aber ein sehr grosser Unterschied (siehe Artikel «Komfortlüftung – nur eine halbe Lösung», Seite 21). Sowohl die Fensterlüftung als auch die mechanische Lüftung haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile.

Steuerung

Der wohl grösste Vorteil der Fensterlüftung ist, dass sie von einem Menschen aktiv bedient wird. Damit wird bedarfsgerecht dann so viel gelüftet, wie gerade gebraucht wird. Sollte eine mechanische Lüftung eine ähnlich gute Steuerung erreichen, ist ein grosser Aufwand an Mess- und Regeltechnik notwendig. Während also nach einer Sitzung im Ein-Personen-Büro über das Fenster einfach gelüftet werden kann, muss eine mechanische Lüftung zuerst einmal merken, dass plötzlich mehr Personen als die ursprünglich geplanten anwesend sind, und dann auch noch die Möglichkeit haben, den Luftstrom zu vergrössern. Ein so grosser technischer Aufwand lohnt sich sicher für Hörsäle, aber kaum als Standard für Bürolüftungen.

Allerdings hat die «Handsteuerung» auch einen gravierenden Nachteil. Während nämlich die «Steuerung» schläft, wird die Luft im Schlafzimmer

immer dicker und schlechter. Hier ist wiederum die mechanische Lüftung im Vorteil, die die Schlafenden über die ganze Nacht mit so viel Luft versorgt, wie nötig ist.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die mechanische Lüftung oft auf eine angenommene Belegung bzw. Nutzung ausgelegt ist. Ändert sich diese Nutzung häufig, so kann die mechanische Lüftung diese Änderungen nur mit grossem technischem Aufwand nachvollziehen. Dagegen arbeitet die Lüftung 24 Stunden an 365 Tagen im Jahr gemäss Programm. Optimal ist somit die Kombination von mechanischer Lüftung mit Fenstern, die man öffnen kann. So hat der Nutzer die Flexibilität, das Lüftungsregime auf andere Nutzungen anzupassen.

Energetische Aspekte

Bei älteren Bauten dringt über die undichte Hülle genügend Frischluft in ein Gebäude. Neue Bauten dagegen sind luftdichter gebaut. Die Lüftung ersetzt also diesen Luftaustausch durch die undichte Hülle. Dabei spart die mechanische Lüftung Wärmeenergie, indem sie der Abluft über einen Wärmetauscher Wärme entzieht und diese an die Zuluft abgibt. Allerdings verbraucht sie dazu wertvollen Strom. Mit diesem Strom könnte, z.B. über eine Wärmepumpe, je nach Effizienz auch der Wär-

Vor- und Nachteile von mechanischer bzw. manueller Lüftung

	Mechanisch	Manuell
Energie	+	+ Nutzerverhalten!
Raumluftfeuchte	- Steuerung / Auslegung	-
Schadstoffe	++	+
Staub	++	-
Keime	+	+
CO ₂ -Konzentration	++	-
Gerüche	++	+

Während die mechanische Lüftung zu gleichmässigem Luftaustausch führt, findet der Luftwechsel der manuellen Lüftung reaktiv statt und richtet sich stark nach dem Nutzerverhalten. Weitere Erläuterungen im Text: ++ = sehr vorteilhaft, -- = nachteilig.
Quelle: HBA

meverlust durch eine Fensterlüftung gedeckt werden. Eine Lüftung bringt also bei neuen Bauten energetisch nur geringe Vorteile. Allerdings kann eine mechanische Lüftung abgestellt werden, das können Verluste über die undichte Hülle nicht.

Hygienische und gesundheitliche Aspekte

Insbesondere in Wohnbauten und Schulbauten ist die Luft mit einer mechanischen Lüftung deutlich besser. In Wohnbauten wird nicht gelüftet während geschlafen wird, und in Schulbauten sind die Belegungsdichten im Klassenzimmer so gross, dass die vorhandene Luft schnell verbraucht ist. Entsprechend wäre ein Lüften schon während des Unterrichts notwendig. Die mechanische Lüftung stellt hier sicher, dass die CO₂-Konzentration in einem Rahmen bleibt, der konzentriertes Arbeiten ermöglicht. Auch allfällig vorhandene Belastungen der Innenluft werden konsequent abgelüftet. Die mechanische Lüftung hat ausserdem den Vorteil, dass Schadstoffe in der Aussenluft herausgefiltert werden können. Günstig ist dies an belasteten Lagen oder bei Pollenflug.

Thermischer und hygrischer Komfort

Eine Lüftung allein, kann ein Gebäude nicht kühlen. Auch eine Klimaanlage kann einen fehlenden oder falsch angewandten Sonnenschutz nicht ersetzen. Eine wirklich effiziente Kühlung erfolgt deshalb in der Regel nicht über die Lüftung.

Gelüftete nicht befeuchtete Räume sind im Winter trocken, unabhängig von der Art der Lüftung. Wird mit der Fensterlüftung viel weniger gelüftet, als hygienisch notwendig, so steigt zwar der Feuchtegehalt, aber auch die

CO₂-Konzentration und die Belastung mit Gerüchen und Schadstoffen. Hohe Raumtemperaturen verschärfen das Problem zusätzlich, da bei steigender Temperatur die Sättigungsgrenze steigt und damit die relative Luftfeuchte abnimmt (siehe Kasten Seite 28).

Probleme mit der Raumluftfeuchte bei mechanisch belüfteten Bauten dagegen haben ihre Ursache meist in einem zu hohen Luftwechsel, z.B. wenn für zwei Personen gelüftet wird, aber nur eine Person anwesend ist. Hier ist die Luftmenge anzupassen.

Minergie und Lüftung

Minergie fordert für alle Neubauten ausser Lagern und Industriebauten sowie für die meisten Umbauten eine Komfortlüftung. Wie oben erwähnt, geschieht dies nicht primär aus energetischen Gründen, sondern aus Gründen der hygienischen und gesunden Raumluft. Keine Minergie-Forderung ist, dass die Fenster nicht geöffnet werden können.



Optimal ist die Kombination von mechanischer Lüftung mit Fenstern, die man öffnen kann.
Quelle: HBA