

Mechanische und manuelle Lüftung im Vergleich:

Raumluftqualität und Luftbewegung in Gebäuden

Bernhard Schwarz

Das Raumklima in einem Wohnhaus wird nicht nur durch den Wärmeschutz der Gebäudehülle bestimmt. Auch die Lüftung des Hauses hat einen großen Einfluß auf die Behaglichkeit in den eigenen vier Wänden. Zwei Größen spielen dabei eine entscheidende Rolle: die Raumluftqualität und die Luftbewegung im Innenraum. Eine ausreichende Belüftung des Hauses ohne spürbaren Luftzug in den Aufenthaltsräumen ist eine wichtige Voraussetzung für ein behagliches Raumklima.

Maßstab für die Raumluftqualität

Die Qualität der Raumluft wird durch die Emissionen im Innenraum bestimmt. Die Bewohner selbst, aber auch Baumaterialien, Einrichtungen, haustechnische Geräte, Textilien, Nahrungsmittel und Haushaltschemikalien geben ständig eine Vielzahl von Stoffen ab, welche die Raumluft belasten. Nur durch eine „Verdünnung“ mit Frischluft läßt sich die Raumluftqualität verbessern. Welche Frischluftzufuhr und welche Luftwechselraten dazu erforderlich sind, weiß man bereits seit einem Jahrhundert. Als Maßstab für die Luftqualität hat sich der Pettenkofer-Wert als Grenzkonzentration von CO_2 in der Raumluft von 1000 ppm^1 erwiesen. Geht man von einer mittleren CO_2 -Konzentration der Außenluft (350 ppm) aus, so ist eine Mindestfrischlufrate von etwa $20 \text{ m}^3/\text{h}$ erforderlich um die CO_2 -Abgabe eines anwesenden Menschen soweit zu verdünnen, daß der Grenzwert von 1000 ppm unterschritten wird. Nach

[1] atmet ein Mensch in Ruhe stündlich zwischen 15 und 20 Liter CO_2 aus. Bei mittelschwerer Arbeit kann die CO_2 -Emission bis auf 70 l/h steigen. Bezieht man die erforderliche Frischlufrate auf das Raumvolumen, so sind je nach Belegung Luftwechselzahlen zwischen $0,3 \text{ h}^{-1}$ und $1,0 \text{ h}^{-1}$ erforderlich, um eine lufthygienische Behaglichkeit zu erreichen. Eine Luftwechselzahl von $0,3 \text{ h}^{-1}$ wird in der Literatur z. B. [2] [3] allgemein als Mindestlüftung eines ständig bewohnten Hauses angesehen, um die Innenraumbelastungen aus Baustoffen, Möbeln etc. sowie die an Baustoffoberflächen gepufferten Geruchsstoffe abzuführen.

immer Unklarheiten. Es mangelt vor allem an Meßergebnissen, die unter baupraktischen Bedingungen gewonnen wurden. Das Projekt „Rosenheimer Haus“² bot die Gelegenheit, diese Fragen unter realen Praxisbedingungen näher zu untersuchen. Die Untersuchungen fanden in einem unbewohnten Einfamilienhaus in Holzbauart nach heutigen Standards statt.

Das Haus liegt im Randbereich eines Wohngebietes und ist in der Hauptwindrichtung West frei exponiert (Bild 1). Das Gebäude besitzt eine Wohnfläche von 140 m^2 (Bild 2) und ein Raumvolumen von 350 m^3 . Blower-Door-Messungen erbrachten

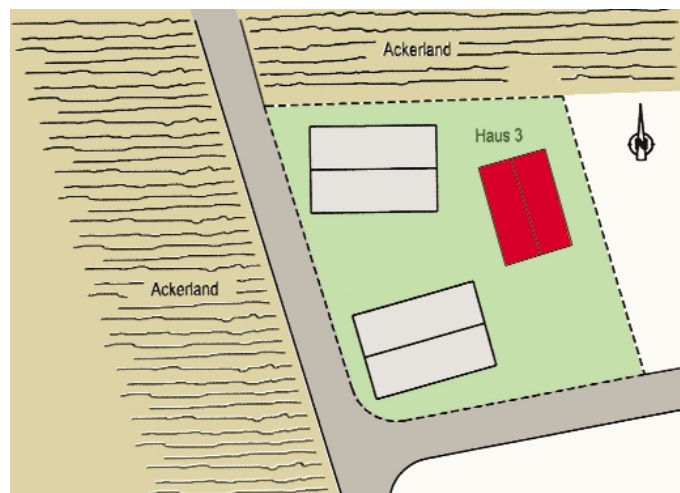


Bild 1: Lageplan des zweistöckigen Versuchshauses (Haus 3) am Stadtrand von Rosenheim

Luftwechsel unter Praxisbedingungen

Es stellt sich die Frage, wie sich in der Praxis der immer weiter verbesserte Wärmeschutz und die verbesserte Gebäudedichtheit auf das Heiz- und Lüftungsverhalten eines Hauses auswirkt. Trotz vieler, einschlägiger Publikationen bestehen hier noch

für das Haus Werte zwischen $2,0 \text{ h}^{-1}$ und $2,5 \text{ h}^{-1}$. Für die Messung des natürlichen Luftwechsels unter realen, meteorologischen Randbedingungen wurde das Tracergas-Verfahren gemäß prEN ISO 12 569 angewandt.

² Die Untersuchungen wurden über die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V., München mit Förderung aus Mitteln des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau durchgeführt

¹ ppm bedeutet parts per million

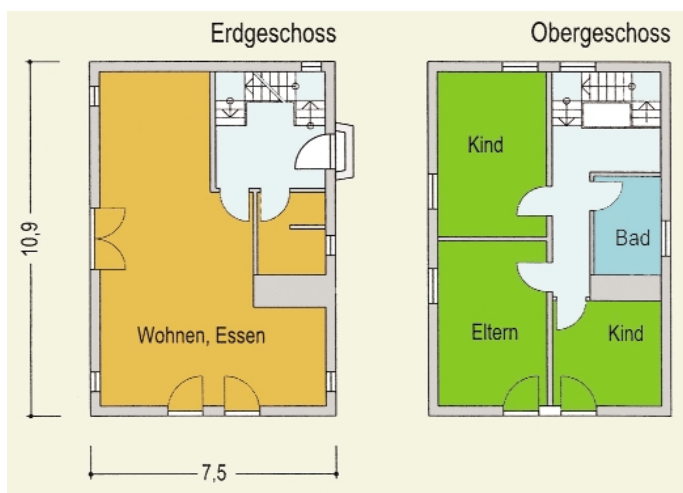


Bild 2:
Die Wohnfläche des Gebäudes beträgt ca. 140 m², das Raumvolumen ca. 350 m³. Im EG sind die Aufenthaltsräume und im OG die privaten Zimmer untergebracht

Das Verfahren beruht darauf, den Konzentrationsverlauf eines eingebrachten Spurengases (Tracergas SF₆) als Funktion der Zeit zu messen. Aus dem Konzentrationsabfall des Spurengases über der Zeit kann über die bekannten mathematischen Zusammenhänge die Luftwechselzahl errechnet werden. Parallel zu den Luftwechsellmessungen wurden an verschiedenen Stellen der Außenhülle die treibenden Druckdifferenzen erfaßt.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse dieser Messungen bei durchschnittlichen winterlichen Klimabedingungen am Standort.

Die Auflistung in Tabelle 1 vermittelt einen ersten, groben Überblick

über den natürlichen Luftwechsel im Wohnraum eines Fertighauses mit heute geforderter Winddichtheit ($n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$). Unter durchschnittlichen Winterbedingungen (Außenlufttemperaturen um den Gefrierpunkt und Windgeschwindigkeiten zwischen 1 m/s und 4 m/s) stellt sich bei geschlossenen Fenstern ein natürlicher Luftaustausch ein mit Luftwechselzahlen unter $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$. Dieser Wert liegt noch unter der geforderten Grundlüftung. Bei geschlossenen Fenstern reicht der sehr geringe, natürliche Luftwechsel nicht aus, um in einem bewohnten Haus auf Dauer hygienische Luftzustände sicherzustellen. Es zeigt sich aber auch, daß die Lüftung des Hauses auch ohne

großen apparativen Aufwand innerhalb weiter Grenzen verändert werden kann, z. B. durch das Kippen eines oder mehrerer Fenster oder alternativ durch das Öffnen von Lüftungsklappen. Die größte natürliche Lüftungswirkung kann durch eine Diagonallüftung des Raumes z. B. über zwei gekippte Fenster erzielt werden, die sich in gegenüberliegenden Wänden befinden. Die Spaltlüftung an einzelnen Fenstern hat nur einen untergeordneten Einfluß auf den Luftwechsel. Unter Spaltlüftung wird das Kippen eines Fensters um 10 mm bzw. 20 mm in horizontaler Richtung verstanden.

Die folgenden Untersuchungen werden zeigen, inwieweit über motorisch bewegte Fenster, Schieber oder Klappen eine sensorgesteuerte Bedarfslüftung eines Raumes möglich ist. Entscheidend ist dabei, ob es gelingt, die eintretende Kaltluft so mit der Raumluft zu vermischen, daß keine Beeinträchtigung des Raumklimas auftritt. Bei der sensorgesteuerten Bedarfslüftung könnte der CO₂-Gehalt der Raumluft als Indikator für die Raumluftqualität dienen. Geeignete Sensoren zur Erfassung der Luftqualität (CO₂-Sensoren oder Mischgas-Sensoren) sowie geeignete Regelgeräte sind bereits auf dem Markt.

Raumluftqualität im Inneren des Gebäudes

Nähere Untersuchungen [4] im Versuchshaus sollten klären, welche Raumluftqualitäten sich in den einzelnen Räumen einstellen, abhängig von

- der Raumbelastung,
- dem Witterungsgeschehen,
- den verschiedenen Lüftungsmaßnahmen.

Die Anwesenheit von Personen im Versuchsgebäude konnte dadurch

Randbedingungen für den Luftaustausch	Luftwechselzahl unter mittleren, meteorologischen Bedingungen $n \text{ [h}^{-1}\text{]}$
alle Fenster geschlossen	0,04...0,15
zwei Fenster an einer Fassade mit Spaltlüftung (10 mm)	0,1...0,3
zwei Fenster an einer Fassade mit Spaltlüftung (20 mm)	0,1...0,4
ein Fenster auf der Lufseite gekippt	0,6...1,9
ein Fenster auf der Leeseite gekippt	0,4...1,1
zwei Fenster gekippt (Diagonallüftung)	1,0...5,0

Tabelle 1: Unter durchschnittlichen Klimabedingungen gemessene Luftwechselzahlen im Experimentierhaus

simuliert werden, daß nach einem vorgegebenen Nutzungsprofil in den einzelnen Räumen eine entsprechende Menge CO₂ freigesetzt wurde. Nach dem vorgegebenen Nutzungsmodell ist das Einfamilienhaus fiktiv durch eine vierköpfige Familie – zwei Erwachsene und zwei Kinder – bewohnt.

Dabei ging man davon aus, daß ein Elternteil von 8.00 bis 17.00 Uhr und die beiden Kinder von 8.00 bis 13.00 Uhr außer Haus waren.

Aus der Vielzahl von Messungen bei unterschiedlichen Außenklimabedingungen und bei Variation der Lüftungsstrategien wurde als Beispiel das Schlafzimmer der Eltern ausgewählt. Die Fläche des Raumes betrug 17 m², das Volumen 46 m³. Nach dem eingestellten CO₂-Profil ist in der Zeit von 22.00 bis 6.30 Uhr der CO₂-Eintrag konstant bei 28 l/h, entsprechend der simulierten Anwesenheit von zwei erwachsenen Personen in Ruhe. Das Fenster wurde während der Schlafenszeit zeitgesteuert vier mal jeweils für eine Stunde gekippt und anschließend wieder für eine Stunde geschlossen.

Auffällig war der sehr rasche Anstieg der CO₂-Konzentration zu Beginn der Belegung auf Werte weit über den empfohlenen Grenzwert von 1000 ppm und der – trotz intermittierender Lüftung – hohe Kohlendioxid-Pegel der Luft im Schlafräum.

Zum Vergleich und zur Überprüfung der Meßwerte wurde eine Praxismessung angeschlossen. Unter gleichen Randbedingungen und bei etwa gleichen Außenklimabedingungen übernachteten im gleichen Raum zwei erwachsene Personen.

Die Gegenüberstellung beider Messungen erbrachte eine gute Übereinstimmung der Simulation mit den realen Verhältnissen.

In einem weiteren Schritt konnten die Versuchsergebnisse verallgemeinert und in mathematischen Beziehungen dargestellt werden.

Über diese empirischen Formeln lassen sich für beliebige Lüftungsvarianten die Zeitverläufe der CO₂-

Konzentration in den Räumen des Einfamilienhauses berechnen.

Unter der Annahme eines konstanten Luftwechsels von $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$, wurden für das Wohnzimmer und das Elternschlafzimmer bei vorgegebener Raumnutzung die Zeitverläufe der CO₂-Konzentration in der Raumluft berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, daß in beiden Fällen der Luftwechsel nicht ausreichte, um den geforderten Grenzwert von 1000 ppm zu unterschreiten. In der Raumluft des Schlafzimmers wurden unter diesen Randbedingungen Kohlendioxid-Konzentrationen bis zu 1600 ppm erreicht. Auch im Wohnraum lagen die Konzentrationen zeitweise weit über den zulässigen Werten.

Soll der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Raumluft auf Dauer unter 1000 ppm bleiben, so sind bei dem vorgegebenen CO₂-Eintrag deutlich höhere Luftwechsellzahlen erforderlich.

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, daß im Schlafräum während der Schlafenszeit ein Luftwechsel von annähernd $n = 1 \text{ h}^{-1}$ nötig ist. Im Wohnraum ist zeitweise sogar ein noch höherer Luftaustausch bis zu Werten von $n = 1,6 \text{ h}^{-1}$ erforderlich.

Sinnvolle Lüftungsmaßnahmen

Für eine Beurteilung einzelner Lüftungsstrategien ist nicht nur die erreichte Luftqualität im Wohnraum maßgebend. Auch die Höhe der Lüftungswärmeverluste wird bei steigenden Energiepreisen immer wichtiger. Außerdem muß auch die Energieeffizienz des jeweiligen Systems betrachtet werden. Die Leistungsaufnahme einer Lüftungsanlage sollte möglichst gering sein.

Freie Lüftung

Die freie Lüftung über Undichtheiten des Gebäudes oder über zeitweise geöffnete Fenster ist vom Wettergeschehen abhängig. Wie die Messungen zeigen, reicht die natürliche Lüftung nicht aus, um auf Dauer behagliche Luftzustände im Haus zu erreichen. Das Problem der Schlafzimmerlüftung ist mit einer freien Lüftung nicht zu lösen. Selbst mit aktiven Maßnahmen, wie sensorgesteuerten Fenstermotoren,

welche die Fenster in Abhängigkeit von der Luftqualität öffnen, ist bei bestimmten Wetterlagen keine ausreichende Belüftung des Raumes möglich. Zudem bietet die freie Lüftung keinerlei Möglichkeiten einer Wärmerückgewinnung aus der Abluft.

Zuluft-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

Lüftungsanlagen mit Zuluft- und Abluftkanalnetz stellen bei richtiger Auslegung und Einstellung eine gute Raumluftqualität sicher. Sie erlauben zudem eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft bis zu 90 % und mehr.

Moderne Anlagen, wie sie heute in Passivhäuser eingebaut werden, haben zudem eine hohe Energieeffizienz. Sie erreichen Jahresarbeitszahlen über 10, d. h. mit der heute verfügbaren Technik ist ein Verhältnis von rückgewonnener Energie zu Stromeinsatz von 10 : 1 erreichbar [5]. Derartige Anlagen haben jedoch ihren Preis. Sie stellen außerdem höchste Ansprüche an das Gebäude, an die verwendeten Komponenten, an die Einstellung der Luftströme und an die Wartung. Daher stehen viele Bauherren einer solchen High-Tech-Anlage noch skeptisch gegenüber.

Professor Dr. Bernhard Schwarz lehrt an der Fachhochschule Rosenheim

Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

Eine Abluftanlage mit angeschlossener Wärmepumpe stellt eine attraktive Systemalternative für den Holzhausbau dar. Das Funktionsprinzip dieser Anlage geht aus Bild 3 hervor. Über Absaugöffnungen in einem zentralen Installationsschacht wird die Abluft aus dem Gebäude abgesaugt und einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zugeführt. Die Wärmepumpe entzieht der Abluft die Wärme und nutzt sie für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung. Über Zuströmöffnungen in der Außenhülle des Gebäudes strömt Luft nach. Weil diese Zuluft unter Winterbedingungen sehr kalt

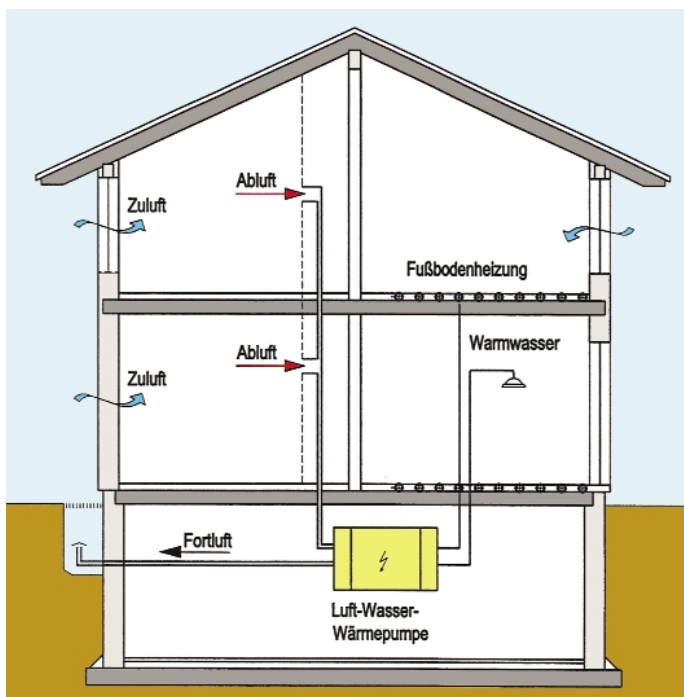


Bild 3: Funktionsprinzip einer Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (vereinfachte Darstellung). Über ein Kanalsystem im zentralen Installationskern wird Luft aus dem Gebäude abgesaugt und einer Wärmepumpe zugeführt. Die Zuluft strömt über beheizte Zuluft-elemente in den Raum ein

Zugluft im Wohnhaus

Im Zusammenhang mit Lüftungsanlagen taucht immer wieder das Problem der Zugluft in belüfteten Räumen auf. Zum einen sind es die Luftströmungen, die aus Zuluftöffnungen austreten. Durch Wahl geeigneter Auslaßventile oder -gitter sind diese Luftströme jedoch leicht zu beherrschen. Zum anderen können unter der Wirkung von Unterdrücken im Rauminneren Luftströmungen an Fehlstellen in der Gebäudehülle auftreten (z. B. an einer nicht abgedichteten Steckdose). Aus bauphysikalischen Gründen wird man immer bestrebt sein, bei Lüftungsanlagen im Gebäudeinneren einen Unterdruck zu erzeugen, damit auf keinen Fall warme, feuchtebeladene Luft in das Innere der Baukonstruktion eindringt und hier zu den gefährdeten Tauwasserniederschlägen führt. □

sein kann, ist aus raumklimatischen Gründen eine Vorwärmung erforderlich. Das kann über beheizte Zuluft-elemente erfolgen, die beispielsweise im Bereich der Fensterbrüstungen untergebracht sind. Diese Systeme können mit einer motorischen Klap-pensteuerung ausgestattet werden, über die eine definierte (auch sensor-gesteuerte) Lüftung einzelner Räume möglich wird. Erste Entwicklungen in dieser Richtung laufen bereits, und geeignete Abluftwärmepumpen sind bereits auf dem Markt.

Bei einer derartigen Abluftanlage ist eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft in der Größenordnung von

80 % zu erreichen. Die erzielbaren Jahresarbeitszahlen liegen jedoch im Vergleich zu den Zuluft-/Abluft-anlagen niedriger. Hier zeichnen sich jedoch neue Entwicklungen ab, die Jahresarbeitszahlen bis zu 4 erwarten lassen. Eine Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung stellt eine kosten-günstige Alternative für den Wohnbau dar. Vorteilhaft wirkt sich bei einer solchen Anlage aus, daß sie kompakt aufgebaut ist und als „Black Box“ komplett in einen vorgefertigten Installationsschacht integriert werden kann. Die aufwendige Verlegung von Luftkanalsystemen wird in vielen Fällen überflüssig.

Literatur

- [1] VDI 4300, Blatt 7, Vorentwurf (Juni 1999)
- [2] Gunnarsen, L. und Bro, C.: Adaption and Ventilation Requirements. Indoor Air, Toronto (1990), Band 1
- [3] Schwab, R. und Mayer, E.: Fanger contra VDI?, CCI 10/1996
- [4] Ladenbauer, M.: Entwicklung eines Konzeptes zur bedarfsgesteuerten Lüftung eines Niedrigenergiehauses. Diplomarbeit an der FH Rosenheim (2000)
- [5] Werner, J.: Wärmerückgewinnung und Stromeffizienz bei Passivhauslüftungsanlagen. Protokollband (1998)
- [6] DIN 1946, Teil 2. Raumlufttechnik. Gesundheitstechnische Anforderungen VDI-Lüftungsregeln (1994)