

AIC Bol

1894



IEA-Forschungsprogramm: Rationelle Energieverwendung in Gebäuden und Siedlungen

Planungshilfsmittel zur Kontrolle des Luftaustausches in Gebäuden

Von Urs Steinemann, Zürich, und Peter Hartmann, Dübendorf

Planungshilfsmittel zur Kontrolle des Luftaustausches in Gebäuden

Von Urs Steinemann, Zürich, und Peter Hartmann, Dübendorf

Die verstärkte Wärmedämmung von Gebäuden und die verbesserte Dimensionierung der Heizanlagen im Rahmen des Energiesparens haben dazu geführt, dass der Luftaustausch in Gebäuden an Bedeutung gewonnen hat. Wohl sind - wie nachstehender Artikel zeigt - internationale und nationale Forschungsarbeiten im Gang. Viele Fragen der Praktiker sind aber noch unbeantwortet, so dass es dringend nötig ist, die Ergebnisse der Forschungsarbeiten in geeigneter Weise in die Praxis einfließen zu lassen.

Einleitung, Problemstellung

Es bedarf keiner langen Erläuterungen dafür, wie schwierig ein genaues Verständnis der *Luftaustauschvorgänge in einem vielkammrigen Gebäude* wirklich ist. Bild 1 zeigt die wesentlichen Einflussfaktoren in den Gruppen

- Äussere Bedingungen
- Gebäudeeigenschaften
- Lüftungssystem
- Bewohner.

Seit einigen Jahren hat deshalb eine intensivere Forschungstätigkeit in diesem Bereich eingesetzt, die auf internationaler Ebene vor allem durch Projekte der Internationalen Energieagentur (IEA) gefördert wird. Es sind dies die Vorhaben

- Air Infiltration Center (Projekt V) (Forschungsunterstützungszentrum; vgl. die periodischen Publikationen [3] und das erste wesentliche Handbuch [4]; weitere Informationen bei P. Hartmann, EMPA, 8600 Dübendorf)
- Benutzerverhalten in Zusammenhang mit Lüftung (Projekt VIII)
- Minimale Lüftungsraten (Projekt IX) (vgl. Bericht zu Phase I [5]; Auskünfte bei Prof. H. U. Wanner, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETHZ, Zentrum, 8092 Zürich)

Aber auch auf nationaler, schweizerischer Ebene sind einige Projekte in Angriff genommen worden, wie sie in Tab. 2 am Schluss des Artikels summarisch aufgelistet sind (vgl. auch [1], [2]). Es wird Aufgabe von späteren Artikeln oder auch des kommenden Statusseminars «Wärmeschutzforschung im Hochbau» (EMPA, Abt. 176 als Organisator; Termin 4./5. Oktober 1984) sein, darüber im Detail zu berichten.

Seit einigen Jahren ist in Deutschland ein grosses Vorhaben betreffend *Wohnungslüftung* im Gang (Projektleitung

Dr. Trepte, c/o Dornier GmbH, Friedrichshafen). Ein erster grösserer Resultatbericht wird demnächst erscheinen; bestimmt lassen sich manche Erkenntnisse auch auf schweizerische Verhältnisse übertragen.

Manche der genannten Forschungsergebnisse haben noch nicht in die Planungsunterlagen der Architekten und Haustechnikplaner übergeführt werden können. Allzuoft sind die Folgen eines ungeeigneten Luftaustausches in Gebäuden zutage getreten, wie sie nachfolgend schematisch dargestellt sind:

- Bei zu hohem Luftwechsel:
 - übermässiger Energieverbrauch (vgl. Bild 2, gemäss [7])
 - Zugerscheinungen, Komfortprobleme

Bei mittlerem Luftwechsel, aber örtlichen Leckstellen:

- Zugerscheinungen

Bei zu geringem Luftwechsel:

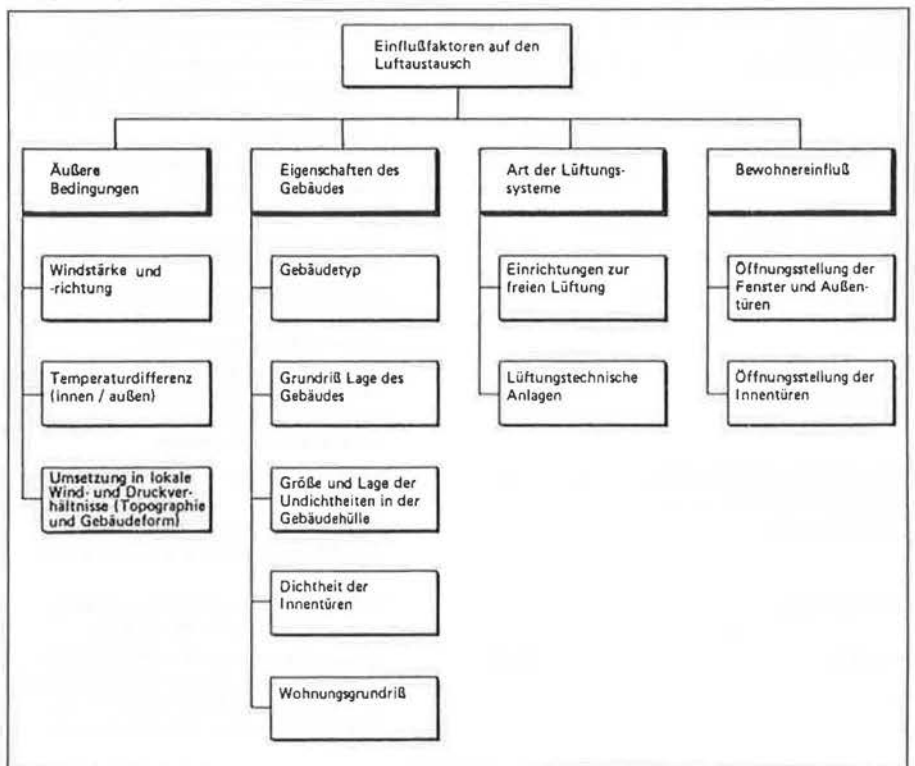
- Kondensatbildung an kältesten Stellen (max. zulässige r. F. bei Zweifachglas und $t_L = 20^\circ\text{C}$ etwa 70%)
- problematische Raumluftqualität (z.B. CO_2 , Geruch-, Radonprobleme)
- tödliche Gefahr bei Anwesenheit offener Feuerstätten.

Um einen ersten Schritt zur Überführung von Kenntnissen in das Bewusstsein der Planer und Gebäudeverantwortlichen der Kantone und Gemeinden zu tun, wurde am 3. April in Bern das Seminar mit gleichem Titel wie dieser Beitrag durchgeführt. Die nachfolgenden Abschnitte ergeben eine *Standortbestimmung über das heutige Wissen* und vermitteln Antworten auf immer wieder gestellte Fragen des Bauherrn und des Planers (Tagungsunterlage [6]).

Bedeutung der Lüftungsverluste für den Energieverbrauch

Der Energieverbrauch zur Deckung des *Lüftungswärmeleistungsbedarfs* nimmt proportional zu mit zunehmendem Aussenluftwechsel und zunehmender Temperaturdifferenz zwischen aussen und innen. Der Luftwechsel ist bei gegebener Drucksituation (Folge von Wind und Temperaturdifferenz) ab-

Bild 1. Einflussfaktoren auf den Luftaustausch in Gebäuden; für Gebäude mit freier Lüftung entfällt die Gruppe bezüglich lüftungstechnischer Anlagen



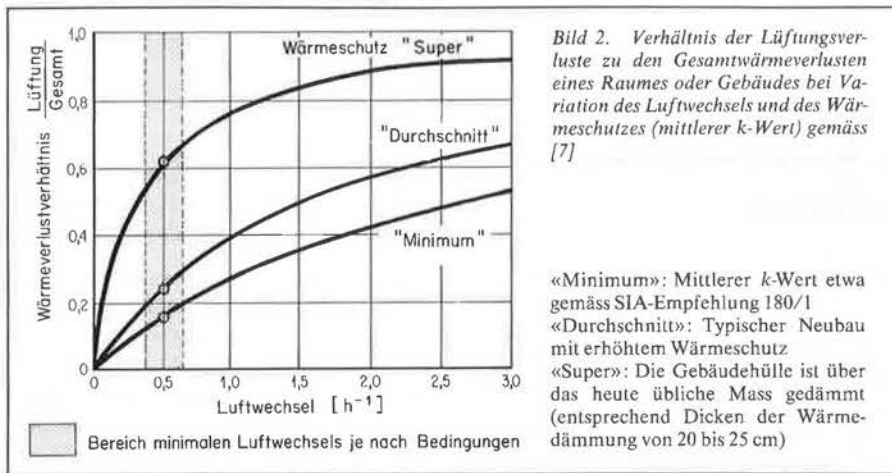


Bild 2. Verhältnis der Lüftungsverluste zu den Gesamtwärmeverlusten eines Raumes oder Gebäudes bei Variation des Luftwechsels und des Wärmeschutzes (mittlerer k -Wert) gemäss [7]

«Minimum»: Mittlerer k -Wert etwa gemäss SIA-Empfehlung 180/1
 «Durchschnitt»: Typischer Neubau mit erhöhtem Wärmeschutz
 «Super»: Die Gebäudehülle ist über das heute übliche Mass gedämmt (entsprechend Dicken der Wärmedämmung von 20 bis 25 cm)

Tabelle 1. Begriffe zu Luftaustausch/Luftdurchlässigkeit (Auszug aus [1])

Begriff (d)	Symbol	Einheit	Erläuterung
Luftdurchlässigkeit ...			Luftdurchlass-Eigenschaft von Bauteil/Fassade (möglichst nicht mehr zu verwenden ist der Ausdruck Luftdichtheit)
Luftleckstrom (Luftstrom) durch ein Bauelement	\dot{V}	[m^3/h] oder [m^3/s]	Der bei einem bestimmten Differenzdruck durch das Bauelement durchtretende Luftstrom (bestimmten Zustandes)
Luftleckstrom (Luftstrom) durch die Hülle eines Gebäudes	\dot{V}	[m^3/h] oder [m^3/s]	Der bei einem bestimmten Differenzdruck durch die Gebäudehülle durchtretende Luftstrom (bestimmten Zustandes)
Flächendurchlasskoeffizient	a_A	[$m^3/h \cdot m^2 \cdot Pa^{2/3}$]	Der a_A -Wert stellt das Luftvolumen dar, welches pro h bei einem Differenzdruck von 1 Pa durch 1 m^2 Gebäudehüllen- bzw. Elementfläche strömt
Fugendurchlasskoeffizient (Fugendurchlässigkeit)	a	[$m^3/h \cdot m \cdot Pa^{2/3}$]	Der a -Wert stellt das Luftvolumen dar, welches pro h bei einem Differenzdruck von 1 Pa durch eine Fuge von 1 m Länge tritt
Aquivalente Leckfläche	A_{aeq}	[m^2] oder [cm^2]	Kenngrösse für die Luftdurchlässigkeit einer Gebäudehülle
Fugenleckage			Leckstrom durch definierte Fugen
Restleckage			Differenz zwischen Gesamt-Luftleckstrom und Fugenleckage («diffuse Leckage»)
Inneres Volumen vom Raum bzw. Gebäude	V_R	[m^3]	Luftvolumen von Räumen bzw. Gebäuden, zur Ermittlung des Luftwechsels
Aussenluftwechsel	$n_{L,a}(LW_a)$	[h^{-1}]	Der Aussenluftwechsel ist das Verhältnis zwischen dem einem Raum pro h zuströmenden Aussenluft-Volumen und dem inneren Volumen V_R
Gesamtluftwechsel	$n_{L,tot}(LW_{tot})$	[h^{-1}]	Totaler Luftwechsel eines bestimmten Raumes (mit Aussenluft, Umluft oder Luft aus Nebenräumen)
Örtlicher Luftwechsel	n_L	[h^{-1}]	Örtlicher Luftwechsel an einer bestimmten Stelle eines Raumes
Mittlerer Luftwechsel	\bar{n}_L	[h^{-1}]	Luftwechsel in einem bestimmten Raum unter der Annahme, dass die Luft im Raum völlig durchmischt ist
Natürlicher Luftwechsel (Luftaustausch)			Luftwechsel unter dem Einfluss von Wind- und Thermikkraften bei geschlossenen Fenstern und Türen und ggf. abgeschalteter Lüftungsanlage
Erzwungener (mechanischer) Luftwechsel (Luftaustausch)			Luftwechsel verursacht durch Lüftungsanlage
Fensterlüftung			Vom Benutzer beeinflusster Luftaustausch mittels teilweise geöffneten Fenstern
Freie Lüftung			Lüftung infolge natürlichen Luftaustausches und infolge Fensterlüftung
n_{L50} -Wert		[h^{-1}]	Gesamt-Luftwechsel bei einem stationären Differenzdruck von 50 Pa über der gesamten Gebäude(Raum-)hülle; Rechenwert, ermittelt aus Differenzdruckmethode

hängig von den vorhandenen Undichtheiten.

In Bild 2 ist der Anteil der Lüftungsverluste am gesamten Wärmeverlust eines Gebäudes dargestellt in Abhängigkeit der Haupteinflussfaktoren Wärmedämmung des Gebäudes (mittlerer k -Wert) und Aussenluftwechsel (Fassadendichtheit, Benutzerverhalten, ggf. Betrieb der Lüftungsanlage). Die Erfahrung lehrt, dass an kalten Tagen weniger häufig und wesentlich kürzer gelüftet wird als an wärmeren Tagen. Demzufolge wird der Energieverbrauch für Lüftungszwecke über die Heizperiode nahezu konstant gehalten. Das Benutzerverhalten kann stark beeinflusst werden durch individuelle Heizkostenabrechnung und durch ein knapp dimensioniertes und gut geregeltes Heizungssystem, welches nach längerer Fensterlüftung nur ein langsames Wiederansteigen der Raumlufttemperatur ermöglicht. Der Erfolg von blossen Benutzerinformationen ist meist beschränkt.

Mit mechanischen Lüftungsanlagen kann bei dichter Gebäudehülle der gewünschte Luftwechsel immer erreicht werden, und er ist praktisch unabhängig von äusseren Einflüssen wie Wind und Auftrieb. Die Problematik des Benutzereinflusses besteht jedoch auch mit mechanischen Lüftungsanlagen, wenn die Fenster frei geöffnet werden können, was aus anderen Gründen sicher als wünschenswert erscheint. Die für diese Zusammenhänge wesentlichen Begriffe sind in Tabelle 1 dargestellt.

Die Zusammenhänge zwischen der Luftdichtheit der Gebäudehülle und dem sich einstellenden Luftwechsel wird anhand der folgenden Messresultate ersichtlich. Es handelt sich um Messungen in einer kleinen, relativ windgeschützten Wohnung einer Mehrfamilienhaussiedlung.

- $n_{L50} = 1,7$ 1/h, d. h. recht dichte Gebäudehülle
- $\bar{n}_L = 0,1-0,2$ 1/h ohne Benutzereinfluss, d. h. sehr tiefer Wert, welcher bei längerer Abwesenheit der Bewohner unter Umständen zu Problemen führen kann.
- $\bar{n}_L = ca. 0,4$ 1/h mit Benutzereinfluss, ein etwa vernünftiger Wert.
- $\bar{n}_L = 1,0$ 1/h mit Abluftanlage, ohne Benutzereinfluss. Dieser Wert muss als eindeutig zu hoch bezeichnet werden, zumal die Anlage nur während den Nachtstunden kurz abgeschaltet wird. Zu empfehlen wäre $\bar{n}_L = ca. 0,4$ 1/h mit mechanischer Abluftanlage.

Obige Resultate zeigen die weite Spanne der Luftwechsel in derselben Woh-

nung in Abhängigkeit von der Lüftungsmethode und verdeutlichen, wie wichtig die Kenntnis der Randbedingungen ist.

Generell gilt, dass eine gute globale Dichtheit der Gebäudehülle nicht allein die Gewähr dafür ist, dass keine *Zugserscheinungen* auftreten. Auch einzelne grössere Leckstellen können zu örtlichen Zugserscheinungen führen, die als unangenehm empfunden werden. Dies wird bestätigt durch die Erfahrung bei gleichartigen Häusern mit gleicher, relativ geringerer Gesamluftdurchlässigkeit: In jenen Häusern mit grossen örtlichen Undichtheiten entstehen störende Zugserscheinungen, bei gleichmässiger Verteilung der Undichtheiten wird der Komfort als gut beurteilt.

Minimaler/optimaler Luftwechsel

Es gilt, einen *Kompromiss* zu finden zwischen minimalem Energieverbrauch auf der einen Seite und Gewährleistung von Ansprüchen bezüglich Komfort, Lufthygiene, und Bauschadenfreiheit auf der andern Seite.

In einem Raum fallen im wesentlichen *Luftverunreinigungen* aus drei Quellengruppen an:

- Verunreinigungen, welche mit der Aussenluft eindringen
- Emissionen von Baumaterialien und Inneneinrichtungen
- Von den Bewohnern selber verursachte Emissionen

Aus heutiger Sicht ergeben sich folgende *Lösungsvorschläge*, um die Beeinträchtigung der Bewohner möglichst gering zu halten:

Zu a): Von aussen eindringende Verunreinigungen können durch geeignetes Lüftungsverhalten oder durch ein mechanisches Lüftungssystem mit Luftaufbereitung reduziert werden.

Zu b): Mit Vorschriften soll die Emission von schädlichen Stoffen aus Baumaterialien und Inneneinrichtungen reduziert werden. Weitere Arbeiten sind im Gange, um das Ausmass und die Gefährlichkeit von solchen Emissionen zu erfassen. Bei Neubauten empfiehlt sich evtl. ein stärkeres Lüften in der ersten Zeit.

Zu c): Die Emissionen der Bewohner können nicht reduziert werden und verlangen entsprechende Lüftungsraten.

Bei der *Festlegung des notwendigen Luftwechsels* bzw. bei der Wahl des Lüftungssystems sind die zu erwartenden Emissionen aus den Quellengruppen

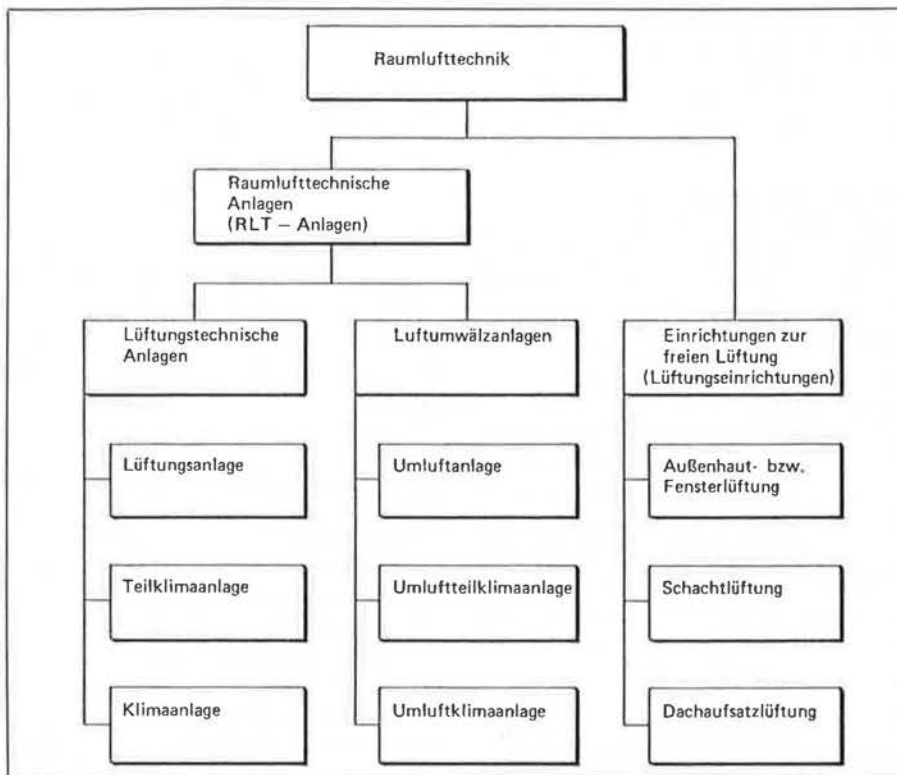


Bild 3. Gliederung der Lüftungssysteme gemäss DIN 1946, Teil 1

Bild 4. Für die Schweiz typischer Grundriss von Wohnungen in Mehrfamilienhaus. Abluftabsaugung in den Sanitärräumen, evtl. in der Küche; Fensterlüftung

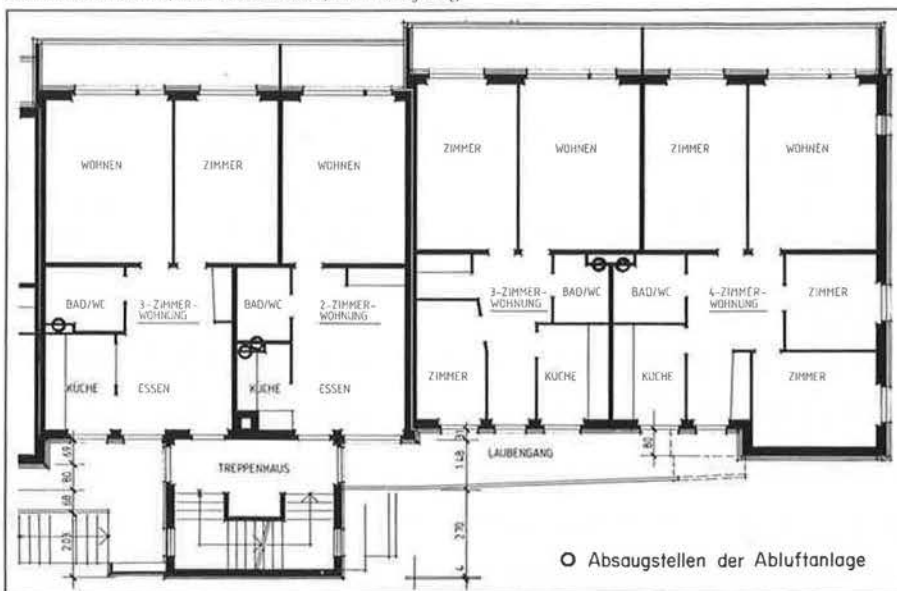
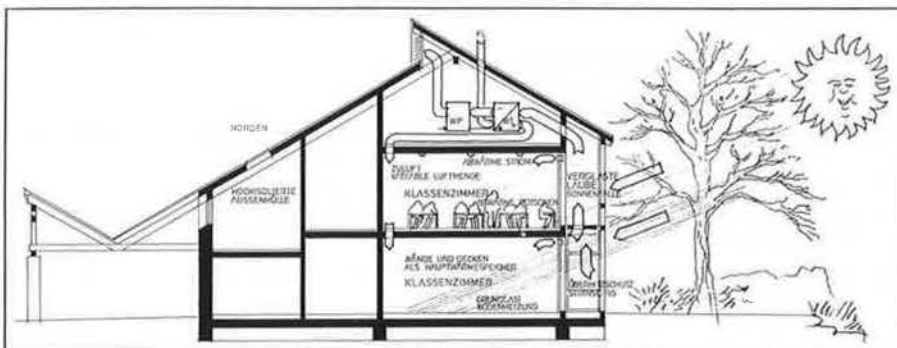


Bild 5. Schulhaus Gumpenwiese in Dielsdorf (Architekt Rolf Lüthi, Regensdorf; Haustechnikplanung Bruno Wick, dipl. Ing. ETH, Widen).

Zu erkennen sind die kontrollierte Bedarfslüftung, die konsequente Durchführung einer guten Wärmedämmung, der erhöhte Gewinn von Sonnenenergie dank der verglasten Veranda und schliesslich die Abwärmernutzung und die Wärmepumpe.



pen a) bis c) zu berücksichtigen. Unterstützende Forschungsarbeiten erfolgen auf nationaler (vgl. Tabelle 2) und auf internationaler Ebene (IEA-Projekt AIC und IEA-Projekt «minimale Lüftungsraten»).

Für den *Wohnungsbau* werden aus heutiger Sicht etwa folgende optimale Frischluftstraten pro Person empfohlen (Details vgl. [5]): 10–20 m³/h · Person für Räume ohne Raucher, 20–30 m³/h · Person für Räume mit Rauchern.

Diese Empfehlung ergibt bei Wohnbauten einen Luftwechsel von 0,2–0,3 1/h. Bei sehr dichten schweizerischen Bauten werden heute bei geschlossenen Fenstern mittlere Luftwechsel unter 0,1 1/h gemessen. Ohne zusätzliche mechanische Lüftungsanlagen kann dies bereits zu Problemen führen.

Heizungsanlagen werden heute auf einen Aussenluftwechsel von mindestens 0,3 1/h dimensioniert.

Natürliche (freie)/mechanische Lüftung

Als Überblick über die *verschiedenen Lüftungssysteme* ist nachfolgend die

schematische Gliederung gemäss DIN 1946 Teil 1 gegeben (Bild 3).

Im *Wohnungsbau in der Schweiz* sind heute vorwiegend Gebäude ohne Lüftungseinrichtung oder nur mit Abluftanlagen für geschlossene Sanitäräume anzutreffen (Bild 4). Lösungen mit geführter Zu- und Abluft, was den Einsatz einer Wärmerückgewinnung ermöglicht, stellen heute und in naher Zukunft eher eine Ausnahme dar.

Bei *Gebäuden mit mechanischer Lüftung* ist immer eine *gute Fassadendichtheit* anzustreben, d. h. $n_{L50} = \text{ca. } 1 \text{ 1/h}$, damit die mechanische Lüftung den Luftaustausch eindeutig dominiert und damit bei geführter Zu- und Abluft eine möglichst weitgehende Wärmerückgewinnung möglich ist. Es bestehen Bestrebungen, einen angepassten Luftaustausch zu erreichen, indem die Frischluftstraten aufgrund von Messungen der CO₂-Konzentration, Feuchte o. ä. geregelt werden.

Bei *Gebäuden ohne mechanische Lüftung* gilt es, eine *angepasste Fassadendichtheit* zu erreichen, welche auch bei Schwachwindlagen und Abwesenheit der Bewohner einen noch genügenden Luftwechsel über etwa 0,2 1/h gewährleistet, bei grösseren Windgeschwindig-

keiten aber nicht zu Zugerscheinungen führt. Diese Forderung lässt erkennen, dass für gewisse Situationen wie hohe oder stark windexponierte Gebäude eine Lösung ohne mechanische Lüftung problematisch sein kann.

Längerfristig sind Wege zu einer verbesserten Kontrolle des Luftaustausches anzustreben, sei es durch eine mit Indikatoren unterstützte Fensterlüftung oder mechanische Lüftungen mit Wärmerückgewinnung bei Neubauten (Bild 5).

Geeignete Konstruktion von Bauteilen

Im Zusammenhang mit der Luftdurchlässigkeit zeigen Erfahrungen der letzten Jahre, dass vor allem die *Anschlüsse Dach/Wand* problematisch sind. Leckagen an jener Stelle führen nicht nur zeitweise zu Zugerscheinungen, sondern können auch Feuchtigkeitsprobleme in der Dachkonstruktion zur Folge haben. Häufig sind auch *ältere Rolladenkastenkonstruktionen* undicht, ebenso Anschlüsse bei Fensterbrettern und Fugen bei Leichtbauelementen.

Im Handbuch des AIC [4] sind einige *Ausführungsvorschläge* aufgezeigt, welche sich in der Praxis bewährt haben. Eine Übersetzung der für die Schweiz interessierenden Teile des Handbuchs ist auf Anfang 1985 geplant.

Bedeutung der Lüftungsverluste für die Heizungsdimensionierung

Nach der Empfehlung SIA 384/2 «Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden» werden *Heizflächen* heute auf einen Aussenluftwechsel von mindestens 0,3 1/h dimensioniert. Die eigentliche Berechnung der Lüftungsverluste erfolgt heute noch mit Rechenwerten für die Fugendurchlässigkeit von Fenstern, Türen und Rolladenkästen unter Berücksichtigung von vorhandenen Lüftungs- und Cheminéeanlagen.

Im Berechnungsschema nach der SIA 384/2 ist eine Berücksichtigung der *globalen Fassadendichtheit* vorgesehen. Wenn entsprechende Angaben bekannt sind, sollen sie berücksichtigt werden.

Überprüfungsmöglichkeiten

In der Empfehlung SIA 384/2 «Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden» sind die Bedingungen für die Einhaltung der garantierten Raumlufttemperaturen

Tabelle 2. Übersicht schweizerische F+E-Projekte Luftaustausch 1984

Titel/Arbeit	Institution, Büro	Projektmittel
Erarbeitung eines Forschungsplanes Wärmeschutz, inkl. Luftaustausch	Basler & Hofmann, Ing. Büro, Zürich	klein/mittel
Benutzerverhalten, Lüftung	Vezin, HBF, ETH Zürich	mittel
Beteiligung Air Infiltration Centre der IEA; zusätzliche Spezialarbeiten: - Berechnungsmodell - Übersetzung von Dokumenten - Seminar	EMPA, Dübendorf (P. Hartmann)	mittel/gross
Beteiligung IEA-Vorhaben «Minimale Lüftungsraten»	Prof. H.U. Wanner/ Dr. Schlatter, ETH Zürich	mittel
Radon Istzustand/Sanierung in CH-Gebäuden (pendent)	EIR, Würenlingen; Prof. H.U. Wanner, ETH Zürich	gross
CO ₂ -geregelt Lüftung in Versammlungsräumen	Prof. H.U. Wanner, ETH Zürich	mittel
Luftwechsel, Luftfeuchtigkeit, Einfluss auf Kondensation bei Wärmebrücken	ibe, Bern, und EMPA	mittel
Dichtheit und Luftwechsel in typischen MFH	Schindler Haerter AG, Zürich	mittel/gross
Luftdurchlässigkeit von Leichtbauten, neue konstruktive Lösungen	EMPA, Holzabteilung, Dübendorf	mittel
Impulsprogramm Haustechnik - Ordner «Messungen am Bau» - Messregeln für Luftdurchlässigkeit Luftwechsel - Dynamische Luftdurchlässigkeitsmessung - Fallbeispiele Luftdurchlässigkeit/Luftwechsel von EFH - Luftaustausch-Planungshilfsmittel (Sanierung)	EMPA, Ing.-Büros und EPFL, Lausanne	mittel/gross
Demonstrationsvorhaben Schulhaus	B. Wick, Widen, Arch. Lüthi	mittel/gross
Energiegünstiges Bürohaus (vgl. freie/mech. Lüftung)	Sulzer, Winterthur	mittel/gross
Luftwechsellmessungen bei typischen industriellen Fassaden (Konstant-Konzentrationsmessung)	EPFL, GRES, Lausanne	mittel
Messmethode Luftaustausch im Zusammenhang mit dem «Energy-Audit-Prozedere»	Dr. Weinmann, Echallens	klein
Leistungskennndaten von Wärmerückgewinnungsgeräten	ZTL Horw, Prof. W. Geiger	mittel/gross

detailliert angegeben, und es wird auch auf die Verantwortlichkeiten der Beteiligten eingegangen. Es soll vermieden werden, dass unnötig hohe Lüftungsverluste durch verstärktes Heizen kompensiert werden.

Die *Überprüfung der Gebäudedichtheit* von Wohnbauten kann z. B. mit Messungen nach der Differenzdruckmethode (vgl. [2]) relativ einfach erfolgen, ebenfalls bei Grossbauten mit leistungsfähiger Betriebslüftung. Aufwendiger sind solche Messungen in Grossbauten ohne Lüftungsanlage. Klare Verhältnisse werden geschaffen, wenn die zu erreichende Gebäudedichtheit bereits im Planungsstadium durch Festlegung eines Bereiches für die Kennwerte beschrieben wird.

Aussagen über die *tatsächlichen Luftwechsel* sind nur mit Tracergasmessungen oder ähnlichen Verfahren möglich. Bei Gebäuden mit dominierender mechanischer Lüftung genügt eine Kurzzeitmessung, andernfalls soll die Messperiode einige Tage betragen, und die gleichzeitig herrschenden Randbedingungen (Windgeschwindigkeit, evtl. -richtung, Aussen- und Innentemperatur) sind ebenfalls zu erfassen.

Ausblick

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass in den letzten Jahren so viele Forschungsergebnisse bekannt geworden sind, dass wir eine geeignete

Messtechnik aufbauen konnten und somit der Luftaustausch-Istzustand in unseren Bauten besser bekannt ist. Andererseits ist aber auch das Verständnis für die Luftaustauschvorgänge beim praxisbezogenen Planer noch relativ klein, sind erst wenige unterstützende Planungshilfsmittel vorhanden, geschweige denn zutreffende, richtungweisende Bauvorschriften.

Wir stehen also in vielen Belangen an einem Anfang. Glücklicherweise besteht ein gutes Einvernehmen zwischen Fachverbänden, Behörden, Forschungsinstituten, so dass die Aufbauarbeit im Hinblick auf eine *Kontrolle des Luftaustausches* mit vereinten Kräften angepackt werden kann. Die Arbeiten könnten sich etwa folgendermassen gliedern:

- Festlegung der Grenzbedingungen, wie sie in Räumen bestimmter Nutzung einzuhalten sind;
- Aufbereitung weiterer Grundlagen zu Lufthygieneanforderungen, Berechnungsmethoden, Strömungsvorgängen bei Gebäuden usw.;
- Konzeptstudie über die Wahl einer optimalen Lüftungsmethode für bestimmte Räume;
- Erprobung der in der Konzeptstudie ermittelten optimalen Systeme an Typbauten;
- Übertragung der Erkenntnisse bezüglich günstiger Lüftungsmethode in geeignete Planungsrichtlinien und entsprechende konstruktive Lösungen.

Vorteilhafterweise sollten diese Arbeiten im Rahmen eines *koordinierten Forschungsplanes* ablaufen, der mit entsprechenden Mitteln finanziell zu unterstützen ist. Erfreulicherweise hat das Bundesamt für Energiewirtschaft bereits einen ersten Auftrag dazu erteilt.

Literatur

- [1] Arbeitsgruppe «Messungen am Bau»/Impulsprogramm Haustechnik: Begriffe zu Luftaustausch/Luftdurchlässigkeit; erhältlich bei Empa, Abt. Bauphysik, Dübendorf, 1984
- [2] Arbeitsgruppe «Messungen am Bau»/Impulsprogramm Haustechnik: Entwurf zu Richtlinie zur Durchführung von Luftdurchlässigkeitsmessungen am Bau mit der Differenzdruckmethode. Erhältlich bei EMPA, Abt. Bauphysik, 1984
- [3] Air Infiltration Centre: Air Infiltration Review (AIR); Informationsbulletin, 4× jährlich bei AIC, Old Bracknell Lane West, Bracknell UK. (Bezug bei EMPA, Abt. Bauphysik)
- [4] AIC: Air Infiltration Control in Housings; Bracknell UK, 1983. (Bezug bei EMPA, Abt. Bauphysik)
- [5] IEA Projekt IX «Minimum Ventilation Rates»: Schlussbericht Phase I: Dornier, Friedrichshafen, 1984. (Zur Einsicht bei EMPA, Abt. Bauphysik)
- [6] Diverse Autoren: «Planungshilfsmittel zur Kontrolle des Luftaustausches in Gebäuden.» Seminarunterlagen zum Seminar vom 3. April 1984 in Bern. EMPA, Abt. Bauphysik, 1984
- [7] Gertis, K.; Ehrhorn, H.: «Superwärmedämmung oder Wärmerückgewinnung?» Bauphysik, Nr. 2/1981, S. 50 ff.

Adressen der Verfasser: U. Steinemann, Ing. HTL, c/o Schindler Haerter AG, Stockerstr. 12, 8002 Zürich, und Dr. P. Hartmann, c/o EMPA, Abt. Bauphysik, Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf.

