AIRBASE ✓ AIC AIC 988 A120 1538

Bedeutung des Luftaustausches

Dr. P. Hartmann,
EMPA, Abt. Bauphysik, Dübendorf

1. Einleitung

Der Luftaustausch in Gebäuden zeigt Auswirkungen in drei Bereichen (vgl. auch [6], Übersicht, Berechnungsmethoden):
- Auf die Raumluftqualität, also auf den Bewohner
- auf die Baukonstruktion im Zusammenhang mit Feuchteaustauschvorgängen
- und schliesslich auf den Energiehaushalt des Gebäudes (auf den Heizenergiebedarf, allenfalls auf den Kühlenergiebedarf).

Die Vielfalt der Probleme, welche dabei entstehen können, sei anhand einiger Aufsatztitel dargestellt:
- «Richtig gelüftet ist halb gespart» [1]
- «Die Zukunft gehört der Luftheizung» (mit kontrollierter Lüftung) [2]
- «The tight building syndrome»
- «Die Perspektive, dass es in grösseren neuen Wohnbauten der Zukunft keine offenen Fenster mehr geben wird»
- «Superdämmung oder Wärmerückgewinnung»? [3]
- «Abdichten bringt Gefahren und Probleme» [4]
- «Probleme der Wohnungsbelüftung ungelöst?»
- «Fazit: überbelegte Räume.»

Wen sollte es erstaunen, wenn der Planer durch diese Schlagwork verunsichert ist; wen sollte es erstaunen, wenn sich Architekten und manche HLK-Planer in ihr Schneckenhaus zurückziehen, weil die Meinungen oft kontrovers sind.
Im Rahmen des Impulsprogramms Haustechnik, aber auch im Rahmen neuerer Planungsrichtlinien wird der Versuch unternommen, zunächst eine Klärung der Begriffe zu bringen, um die Voraussetzungen für ein konstruktives Gespräch unter Fachleuten zu schaffen.

2. Grundsätzliche Vorgänge, Begriffe

Ein Versuch zu einer Definition der *Zielsetzung* eines *optimalen Luftaustausches* in Gebäuden lautet:
Die Luftaustauschrate in einem bestimmten Raum soll so gross sein, dass die Raumluftqualität noch akzeptabel ist, dass keine das Bauwerk schädigende Feuchtigkeitserscheinungen auftreten und schliesslich der Lüftungswärmebedarf unter obigen Randbedingungen minimal ist.

Zur Kennzeichnung des Luftaustausches (vgl. [9]) spricht man entweder von einem (Aussen)-Luftwechsel [h^{-1}] (Der Aussenluftwechsel ist das Verhältnis zwischen dem einem Raum pro h zuströmenden Aussenluftvolumens und dem inneren Volumen V_R)

oder der (Aussen-)-Luftaustauschrate in [$m^3/h \times$ Person].

Einflussfaktoren auf den Luftaustausch in Gebäuden

«Treibende Kräfte» für den Luftaustausch in Gebäuden sind entweder Druckkräfte oder die Molekularbewegung der Luft. Die Druckkräfte entstehen sowohl als Folge der Windeinwirkungen als auch infolge thermischen Auftriebes bei einer Temperaturdifferenz zwischen Innenräumen und Umgebung. Vier grundsätzlich verschiedene Strömungsphänomene sind für den Luftaustausch verantwortlich:
- Durchströmungen der Räume, wenn Öffnungen vorhanden sind, die auf verschiedenen Druckniveaus stehen
- Pulsierende Strömungen bei einzelnen Öffnungen
- Luftaustausch durch Wirbelströmungen, verursacht durch Wind
- Diffusionsströmungen durch feinste Kanäle der Gebäudehülle.

Diese Vorgänge sind am besten anhand einiger Grafiken nachvollziehbar.
Die Abb. 1 zeigt, wie ein Gebäude vom Wind umströmt wird, wie sich infolge des natürlichen Windprofils eine Überdruckzone auf der angeströmten Fassade und eine Unterdruckzone auf der Leeseite einstellt (numerische Kennzeichnung der Verteilung durch sog. Druckbeiwerte). Etwas detaillierter sind in

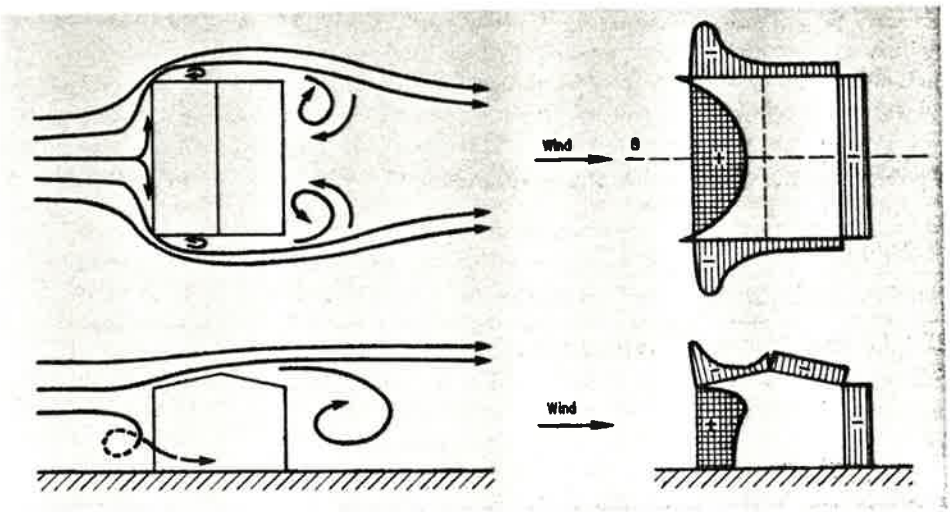

Abb. 1a Strömung um ein rechteckiges Haus mit Schrägdach; Windrichtung senkrecht zu Hauptachse

Abb. 1b Druckverteilungen auf den Fassaden des Gebäudes

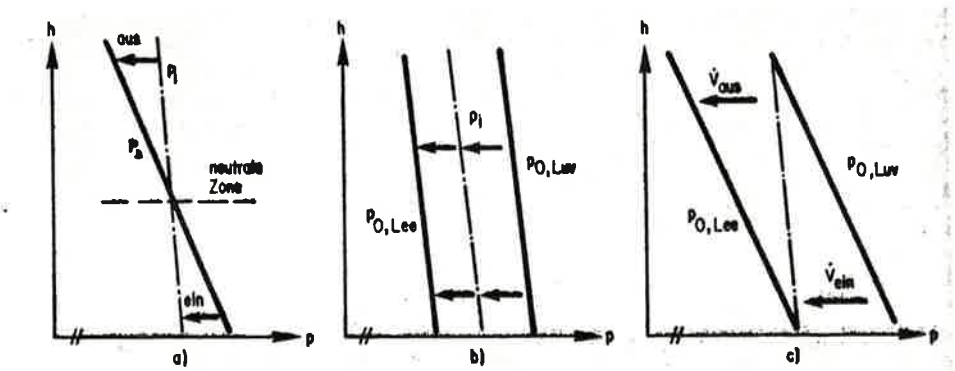

Abb. 2a – 2c Überlagerung des Einflusses von Wind und Auftrieb auf die Druckverteilung an einem Gebäude und die entsprechenden Strömungen durch das Gebäude (Schema gültig für Gesamtgebäude oder ein Stockwerk) a) Druckverteilung bei kalter Witterung («Kamineffekt») (engl. «Stackeffekt»)

b) Druckverteilung bei gleicher Temp. aussen und innen, aber zusätzlichem Winddruck; Annahme eines gleich grossen Überdrucks auf Luv- wie Unterdrucks auf Leeseite

c) Überlagerung der beiden Effekte, mit den typischen Strömungseffekten (Einströmung unten, Ausströmung oben)

Abb. 2 der Einfluss von Wind und Temperatur (Kamineffekt) überlagert.
Die nächste Stufe, eine Überlagerung von Wind, Temperatur und mechanischen Lüftungssystemen oder sogar von benutzerbedingten Fensteröffnungen, sei übersprungen, wohl aber auf deren komplexe Zusammenhänge hingewiesen.
Die Abb. 3 fasst die *wesentlichen Einflussfaktoren* nochmals schematisch zusammen, jene
- der äusseren Bedingungen (Klima, Umgebung),
- der Gebäudeeigenschaften,
- der allfälligen mechanischen Lüftungssysteme und
- der Bewohneraktivitäten.

Die *Lüftung in Gebäuden* kann mit verschiedenen *Methoden* durchgeführt werden (vgl. Abb. 4, Zusammenstellung, inkl. typische Luftwechsel)
Es ist zu unterscheiden zwischen den
- «freien Lüftungsmethoden» und
- der mechanischen («Zwangs»)-Lüftung

(Genaue Definitionen der Systeme/Methoden finden sich beispielsweise in DIN 1946, Teil 1)
Es sei mit aller Deutlichkeit darauf hingewiesen, dass in einem grossen Teil unserer schweizerischen Gebäude Mischformen der Lüftung vorliegen:
- Teilzonen mit geschlossenen Fenstern
- allenfalls noch Naturzugschächte oder heute oft mechanische Absauganlagen in innenliegenden Nassräumen (Bauvorschrift), und schliesslich
- Einzelräume mit (mehr oder weniger lange) offenstehenden Fenstern.

Dass unter den genannten Umständen der *Luftaustausch* insbesondere wegen des Fehlens geeigneter billiger Messgeräte oder Indikatoren *«nicht im Griff»* ist, ist fast selbstverständlich. In welcher Grössenordnung dieser Luftwechsel in verschiedenen Gebäuden liegt, geht aus dem Beitrag von U. Steinemann und in summarischer Form auch aus Abb. 4 hervor.

3. Folgen eines unkontrollierten Luftaustausches

Die Folgen eines ungeeigneten Luftaustausches müssen wesentlich differenzierter betrachtet werden als dies üblicherweise geschieht; es bestehen folgende Zusammenhänge:

Bei zu hohem Luftwechsel
→ Übermässiger Energieverbrauch (vgl. Abb. 5)
→ Zugerscheinungen, Komfortprobleme

Bei mittlerem Luftwechsel, aber örtlichen Leckstellen
→ Zugerscheinungen

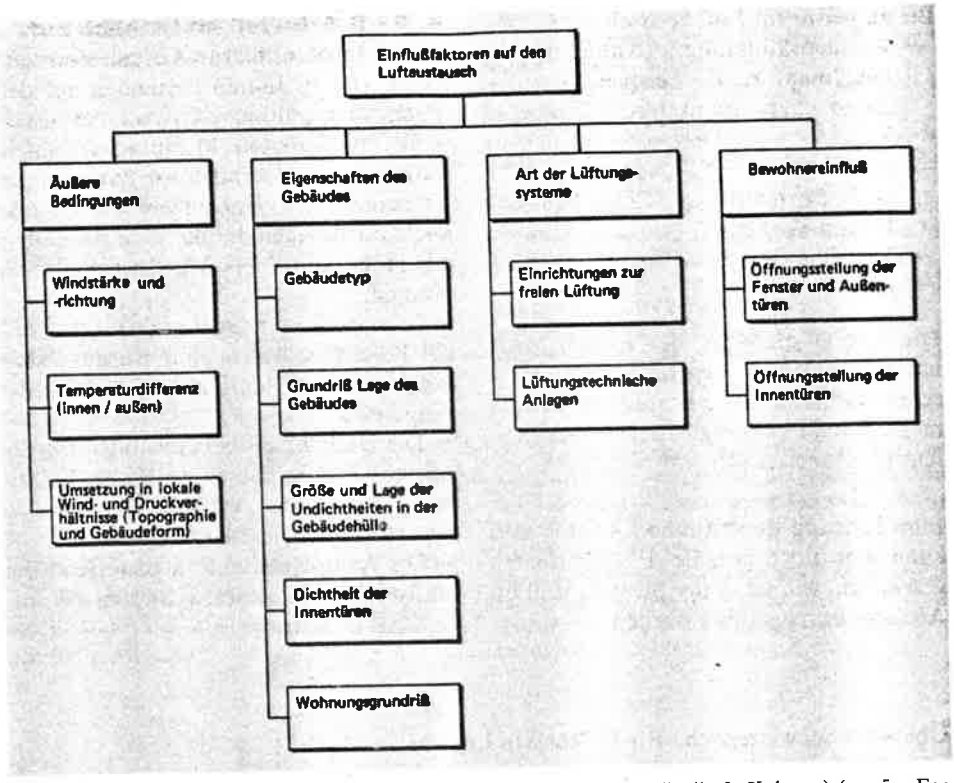

Abb. 3 Einflussfaktoren auf den Luftaustausch (für freie Lüftung entfällt die 3. Kolonne) (gemäss Forschungsplan Wohnungslüftung, Dornier, Friedrichshafen, 1980)

Lüftungsmethode	*Luftwechsel* (abhängig von Faktoren gemäss Abb. 3) (h^{-1})
Freie Lüftung Natürliche Lüftung (Luftaustausch bei geschlossenen Fenstern)	0,05 bis 1,0 (sehr undichte Bauten über 1,0)
Schachtlüftung (Naturzugschacht, kaum mehr in Neubauten) (analog sind Räume mit mehr oder weniger dichtem Cheminée)	gewisse Erhöhung der obigen Werte: etwa 0,2 bis 1,2 (und höher)
Fensterlüftung («Stosslüftung» oder allenfalls längerfristig offene Fenster)	0,3 bis 0,5 (leichte Öffnung, geschlossener Laden) bis 30–50 (Querlüftung)
Mechanische Lüftung (Lüftungstechnische Anlagen) (Mechanische) Entlüftung (Absaugsystem) (Mechanische) Be- und Entlüftung	Luftwechsel gemäss Anlageplanung und Betrieb; in Wohnbauten typisch 0,5

Abb. 4 Lüftungsmethoden und dabei resultierende typische Luftwechsel

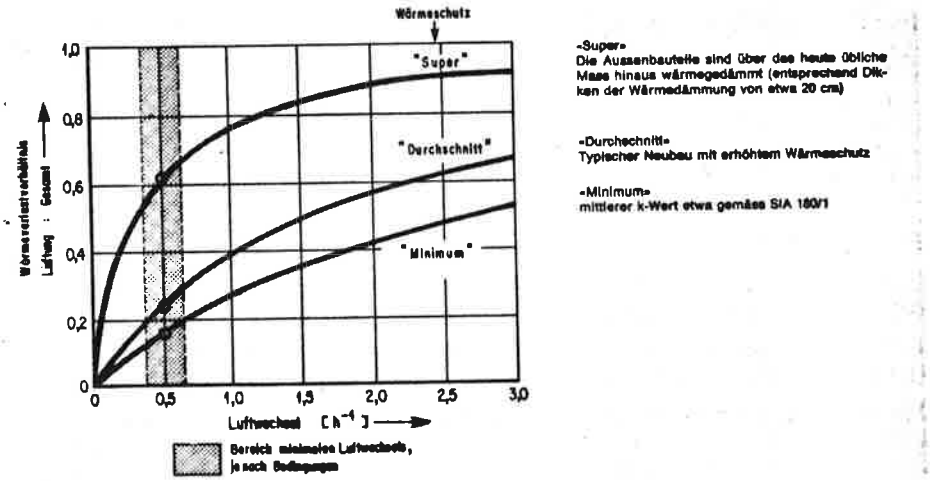

Abb. 5 Verhältnis zwischen Lüftungswärmeverlusten und Gesamtwärmeverlusten eines Raumes oder Gebäudes bei verschieden starker Lüftung und unterschiedlichem Wärmeschutz (mittlerem k-Wert) gemäss [3]

Bei zu geringem Luftwechsel
- → Kondensatbildung an kältesten Stellen (max. r. F. beispielsweise bei Zweifachglas und t_L = 20°C ist etwa 70%)
- → problematische Raumluftqualität, (z. B. Formaldehyd-, CO_2-, Geruch-, Radon-Probleme)
- → Tödliche Gefahr bei Anwesenheit offener Feuerstätten.

Die Energiesparwelle der letzten Jahre hat bei fehlender Beachtung von kritischen Grenzwerten alle obigen Phänomene gezeigt («Energieverluste bekämpfen: ja, aber . . .» [4]).

Eine Klärung der Situation konnte und kann nur über gezielte F+E-Arbeiten geschehen, wie sie in der Schweiz und im Ausland durchgeführt werden.

4. F+E-Arbeiten im Hinblick auf einen kontrollierten Luftaustausch

Noch vor 10 Jahren bestanden auf dem Fachgebiet minimale Grundkenntnisse:
- Bei publizierten «Luftwechselzahlen» war kaum zu erkennen, ob darin ein Benutzereinfluss einbezogen war oder nicht; auch lagen die Werte in zweifelhafter Höhe von 1 bis 3 Luftwechseln pro Stunde;
- Messeinrichtungen für den Luftwechsel bestanden kaum und wurden höchstens bei belüfteten/klimatisierten Bauten eingesetzt;
- Die Undichtheit bei Gebäuden wurden ausschliesslich den Fenstern zugeschoben.

Wo stehen wir heute (vgl. [8]):
- Die Ausgangssituation betreffend den Luftwechsel in unseren Bauten (Wohnbauten) ist klarer;
- Messmethoden, Messgeräte für Luf durchlässigkeit und Luftwechsel sind e probt;
- Erste Richtwerte für minimale Luf wechselraten sind erarbeitet;
- Schliesslich sind erste System-Untersu chungen und Lüftungs-Systemvergleich im Gang.

Von einigen dieser Arbeiten wird i nachfolgenden Aufsätzen berichtet, di rekt anschliessend von der Forschungs unterstützung durch das AIC (Lüftungs forschungs-Unterstützungs-Zentrum/ «Air Infiltration Centre» der Internatio nalen Energieagentur).

Eine *Frage* muss aber heute *noch offe* bleiben; jene nach einem optimalen Lüf tungssystem; etwa für Wohnbauten. Wie offen diese Frage ist, zeigt ein Zita aus der BRD [7]:

Übersicht schweizerische F+E-Projekte Luftaustausch 1984

Titel/Arbeit	*Sachbearbeiter*	*Projektmittel*
Erarbeitung eines Forschungsplanes Wärmeschutz inkl. Luftaustausch (für BEW, Bern)	Basler & Hofmann Ing.-Büro, Zürich	mittel
Benutzerverhalten, Lüftung	Vezin, HBT, ETH Zürich	mittel
Beteiligung Air Infiltration Centre der IEA; zusätzliche Spezialarbeiten: - Berechnungsmodell - Übersetzung von Dokumenten - Seminar	EMPA Dübendorf P. Hartmann	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-geregelte Lüftung in Räumen	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, 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, Ingenieurbüros und EPFL, Lausanne	mittel/gross
Demonstrationsvorhaben Schulhaus	B. Wick, Widen	mittel/gross
Energieeffizientes Bürohaus (vgl. freie/mechanische Lüftung)	Sulzer, Winterthur	mittel/gross
Luftwechselmessungen bei typischen industriellen Fassaden (Konstant-Konzentrationsmessung)	EPFL, GRES Lausanne	mittel
Messmethode Luftaustausch im Zusammenhang mit dem «Energy Audit Prozedere»	Dr. Weinmann, Echallens	klein
Leistungskenndaten von Wärmerückgewinnungsgeräten	ZTL Horw Prof. W. Geiger	mittel/gross

Prof. Ehm erläutert die deutsche Wärmeschutzverordnung (gültig ab 1.1.84) und erklärt:

«Bei Ersteinbau oder Ersatz von Fenstern sind Doppel- oder Isolierverglasungen erforderlich, für die aber *keine* Dichtheitsanforderungen (mehr) gestellt werden.»

Wird die Zukunft bei einer kontrollierten mechanischen Lüftung liegen, die dann wieder hohe Dichtheit der Fassade und Fenster erfordert, oder neu entwickelten Lüftungssystemen, welche über Regel- oder Führungsgrössen die anfänglich genannten Zielsetzungen erfüllen (CO_2-, Feuchteregelung; Wind als Führungsgrösse usw.)?

In der Schweiz laufen im Moment etwa 15 kleinere und grössere Arbeiten, die sich

- um die Lufthygienefragen,
- um die Erhebung der Luftaustausch-

Situation (und Verbesserungsmethoden),
- um Fragen der Messtechnik,
- um neuartige Lüftungssysteme und deren Komponenten
- und schliesslich um Berechnungsmethoden kümmern.

Die Projektthemen, entsprechende Sachbearbeiter bzw. Auskunftspersonen und eine Abschätzung des Aufwandes sind in der nachfolgenden Tabelle zu finden.

Es ist wesentlich, die Resultate dieser Arbeiten in die Praxis umzusetzen, aber auch weitere Arbeiten in koordinierter Form in Angriff zu nehmen, um schliesslich geeignete Planungsunterlagen und hinsichtlich Luftaustausch befriedigende Bauten zu besitzen.

Literatur

[1] Heidi Blattmann: Richtig gelüftet ist halb gespart; Tages-Anzeiger, Zürich 1980.

[2] Dr. W. Moog: Die Zukunft gehört der Luftheizung; CCI Nr. 5/1983, S. 29.

[3] Prof. Karl Gertis und Hans Ehrhorn: Superwärmedämmung oder Wärmerückgewinnung? Bauphysik Nr. 2/1981, S. 50 ff.

[4] Ernst Haltiner: Abdichten bringt Gefahren und Probleme; Schweizerische Spenglermeister- und Installateur-Zeitung, Nr. 6/1980, S. 177 ff.

[5] K. Wegner: Fazit: überbelegte Räume; Sanitär- und Heizungstechnik, Nr. 12/1983.

[6] Ralph Sagelsdorff: Element 23, Kapitel 14 «Lüftung von Gebäuden», Schweiz. Ziegelindustrie, Zürich, 2. Auflage 1984.

[7] Prof. Herbert Ehm: Neufassung der Wärmeschutzverordnung; wksb, Jan. 1984, S. 1 ff.

[8] Peter Hartmann, Thomas Baumgartner, Hans Mühlebach: Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit dem Ziel einer kontrollierten Lüftung, Tagungsbericht Statusseminar Wärmeschutz im Hochbau, EMPA, Okt. 1982.

[9] Impulsprogramm Haustechnik, Arbeitsgruppe Messungen am Bau (P. Hartmann/U. Steinmann): Begriffe zu Luftaustausch/Luftdurchlässigkeit, 1983 (erhältlich bei EMPA, Abt. Bauphysik).