

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 14

Artikel: Messung des natürlichen Luftwechsels in nichtklimatisierten Wohnräumen
Autor: Bargetzi, S.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73357>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Druckluftausrüstung

Lufterzeugung, Apparateanordnung

Zur Erzeugung der Druckluft dient ein Kompressor vom Typ 2A 320 ms der Firma BBC, welcher sich nur durch den seitlich angebauten Zwischenkühler von der normalisierten SBB-Ausführung 2A 320 m unterscheidet. Vom Kompressor gelangt die Druckluft über einen Ölabscheider in die beidseits am Brennstoftank montierten Hauptluftbehälter mit einem Fassungsvermögen von 2×500 Litern. Ein weiterer 200-Liter-Vorratsluftbehälter befindet sich am führerhausseitigen Ende des langen Vorbau über dem Hauptgenerator. Alle im folgenden erwähnten nicht ortsgebundenen pneumatischen Kleinapparate, wie Druckübersetzer, Ventile, Druckwächter, Absperrhähnen usw., sind übersichtlich und leicht austauschbar auf einer Apparatetafel der Firma TUBO (Olten) an der Stirnseite des kurzen Vorbau angeordnet (vgl. Bild 25). Die pneumatischen Hilfsapparate für den Dieselmotor befinden sich auf einer weiteren, kleineren Hilfsapparatetafel im Hilfsbetrieberraum.

Bremssysteme

Die von der Firma Bührle (Oerlikon) gelieferte *pneumatische Bremsausrüstung* umfasst folgende Bremssysteme:

- Automatische Bremse in normalisierter SBB-Ausführung mit einem G/P-Wechsel.
- Rangierbremse direkt- oder funkfernsteuert: Die direkte Bremskraftvorgabe erfolgt wie bei allen SBB-Diesellokomotiven mit dem Fahrhebel über ein kurvenscheibenenge-

steuertes Rangierbremsventil. Der Druckübersetzer vom Typ DBA 100 ist eine Neuentwicklung. Diesem können bei Funkfernsteuerung über drei EP-Ventile die Betriebsarten «Bremsen schwach», «Bremsen stark» und «Bremse gelöst» vorgegeben werden. Ein vierter EP-Ventil dient zum Auslösen der pneumatischen Rangierbremse. Es wird bei wirkender elektrischer Bremse, d.h. im Normalbetrieb bei Geschwindigkeiten über 8 km/h erregt.

- Federspeicher-Abstellbremse: Diese wird mit einem Hahn auf dem Führertisch betätigt. Mit zwei EP-Ventilen ist sichergestellt, dass die Abstellbremse auch bei nichtarbeitender Lokomotive (z.B. bei Schleppfahrten) mit Druckluft aus der Hauptleitung gelöst werden kann.
- Schleuderbremse: Jedem Drehgestell ist ein Schleuderbremssventil in normalisierter SBB-Ausführung zugeordnet. Um zu verhindern, dass die äußerst leichtgängige Lokomotive (fehlende Bürstenreibung bei Asynchron-Fahrmotoren) bei kleinen Gleisunebenheiten ins Rollen kommt, wird die Schleuderbremse im Stillstand automatisch dauernd betätigt.

Übrige pneumatische Apparate

Neben der Bremsausrüstung und den Hilfseinrichtungen für den Dieselmotor umfasst das Pneumatiksystem die üblichen Einrichtungen, wie Signalpfeife, Sander, Spurkranzschmierung, Scheibenwischer usw. An der Apparateleitung sind nur die drei Generator-Trennhüpfer sowie der Antrieb für die Bremswiderstand-Kaminklappen angeschlossen.

Fortsetzung folgt im nächsten Heft

Messung des natürlichen Luftwechsels in nichtklimatisierten Wohnräumen

Von S. Bargetzi, Eidg. Amt für Umweltschutz, Bern, P. Hartmann und I. Pfiffner, EMPA, Dübendorf

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit umschreibt die Bedeutung und Zielsetzung von Luftwechselmessungen. Es werden sodann Messverfahren, Messeinrichtung sowie die Versuchsdurchführung beschrieben und erste Ergebnisse von praktischen Untersuchungen in Wohnräumen während des Winters 1975/76 dargestellt und diskutiert. Die vorhandenen Ergebnisse zeigen, dass weitere, vertiefte und umfassendere Untersuchungen notwendig sind, um gültige Daten über die Wärmeverluste infolge Luftwechsel bei Gebäuden und Räumen unterschiedlicher Nutzung in Abhängigkeit von Baujahr und Bautyp zu ermitteln. Das laufende Forschungsprojekt wird von der Abteilung Bauphysik der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA) in Dübendorf im Auftrag und in Begleitung des Eidg. Amtes für Umweltschutz in Bern durchgeführt.

1. Einleitung

Rechnerische und statistische Untersuchungen [1] ergeben, dass der Energieverbrauch während der Heizperiode infolge hoher Luftwechsel in vielen Gebäuden gross sein kann. Während bei der Berechnung der gesamten Wärmeverluste in Gebäuden die Transmissionsverluste aufgrund von zuverlässigen bauphysikalischen Kenndaten verhältnismässig genau erfassbar sind, ist eine zutreffende Erfassung der Lüftungsverluste wegen der Unsicherheiten bezüglich der Luftwechselzahlen eher problematisch. Fundierte, unter praxisnahen Versuchsanordnungen und -bedingungen gewonnene Daten über effektive Luftwechsel sind nur sehr spärlich vorhanden. Diese können noch nicht als zuverlässige und allgemein anwendbare Grundlagen für heiztechnische und bauphysikalische Berechnungen betrachtet werden. Unter Berücksichtigung der wichtigsten konstruktiven, nutzungsbedingten und klimaabhängigen Einflussgrössen wurde demzufolge im Winter 1975/76

eine erste Reihe von Luftwechselmessungen durchgeführt. Dabei beschränkten sich die Untersuchungen aus sachlichen Gründen vorläufig auf Messungen in unbewohnten Räumen von neu erstellten Wohnbauten.

2. Definitionen und Begriffe

Zur allgemeinen Verständlichkeit werden nachfolgend einige Begriffe definiert. Diese dienen als Grundlage für die Darstellung der Bedeutung des Luftwechsels bezüglich des Energieverbrauchs und des Wohlbefindens der Bewohner eines Wohngebäudes. Mit der hier umschriebenen Arbeit wird jedoch nicht auf die hygienischen Aspekte des Luftwechsels eingetreten.

Der Begriff «Luftwechsel» bezieht sich auf das Verhältnis zwischen dem einem Raum in einer bestimmten Zeit zuströmenden Luftvolumen und dem gesamten Raumvolumen. Die daraus ermittelte sogenannte *Luftwechselzahl* (LWZ) hat die Einheit h^{-1} , nimmt Zahlenwerte zwischen 0,1 und 2... 5... an und kann mit der folgenden Beziehung dargestellt werden:

$$\text{Luftwechsel } n = \frac{V_L^*}{V_R} [\text{h}^{-1}]$$

Einen Luftwechsel entsteht einerseits, wenn zwischen zwei Räumen bzw. einem Raum und dessen Umgebung eine natürliche Druckdifferenz verhanden ist. Anderseits kann auch eine Überlagerung der natürlichen Druckdifferenz mit dem künstlich erzeugten Druckgefälle (z.B. durch Küchen-Abzugsgebläse) die Ursache eines Luftaustausches sein. Anstelle der Luftwechselzahl wird für viele Anwendungsfälle das stündlich auszutauschende Luftvolumen pro Person angegeben und auch empfohlen [2].

3. Begründung und Bedeutung der Forschungsarbeit

Die nachfolgend beschriebene Forschungsarbeit befasst sich ausschliesslich mit dem Problem des *natürlichen Luftwechsels in Wohnungen*, wobei die künstlichen Teilentlüftungen von Toiletten und Küchen miteinbezogen werden.

In Bild 1 sind – schematisch – die wichtigsten Stellen angegeben, bei welchen ein natürlicher Luftwechsel stattfinden kann. Es muss somit bei einer messtechnischen Erfassung des Luftwechsels während einer bestimmten Messzeit die Gesamtbilanz der bei einem Raum (umrandeter strichpunktierter Raum) zu- und wegströmenden Luftvolumina gebildet werden.

Als Strömungswägen sind grundsätzlich alle mehr oder weniger grossen Fugen oder Öffnungen der raumumschliessenden Flächen (Wände, Fenster, Türen, Decken- und Bodenöffnungen) möglich. Die Druckdifferenzen, welche die Strömungen verursachen, entstehen infolge der Windeinwirkung auf das Gebäude bzw. den Raum und können in verhältnismässig grossen Bereichen schwanken, ferner durch Temperaturdifferenzen zwischen der Aussen- und Innenluft eines Raumes. Windkräfte wirken meist bedeutend stärker auf die Luftwechsel ein als die Temperaturdifferenzen. Eine Ausnahme hiezu bilden höhere Gebäude, bei welchen sich je nach Konstruktion starke Kamineffekte ergeben können.

Der Begriff Luftwechsel wird hier und da mit jenem der *Luftdurchlässigkeit* von Bauteilen oder der gesamten Gebäudehülle verwechselt. In Bild 2 wird dargestellt, wie das bei verschiedenen konstant gehaltenen Druckdifferenzen ausströmende Luftvolumen ermittelt wird. Aufgrund solcher Messungen wird für Fenster der sogenannte *Fugendurchlasskoeffizient a* ermittelt.

Nebst den Luftdurchlässigkeiten von raumumschliessenden Bauteilen sind weitere Einflussfaktoren bestimmd für den Luftwechsel und können in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Bautechnische und bauphysikalische Eigenschaften des Gebäudes (z.B. Gebäudeform und -art, Grund- und Aufrissgestaltung, Fugendurchlässigkeit von gebäude- und raumumschliessenden Bauelementen), Eigenschaften des Heizungssystems und von möglichen künstlichen Teilentlüftungen
- Klimabedingungen wie: Lage, Temperaturen, Windgeschwindigkeiten und Windrichtung
- Verhalten der Benutzer (Wohngepflogenheiten, Raumbelegung und -benutzung, Lüften, Heizen, Betrieb von Einrichtungen und Geräten wie Lüftungsklappen, Küchenmaschinen).

Aus folgenden Gründen sind Kenntnisse der Luftwechselzahlen notwendig:

- Der Heizungsingenieur sollte bereits bei der Berechnung einer wirtschaftlich optimalen Heizungsanlage die Luftwechselmesswerte aus wissenschaftlich fundierten, empirisch bestätigten Untersuchungen entnehmen können.
- Der Architekt soll für die Planung die wichtigsten Einflussgrössen auf die Luftwechselzahl kennen, damit er bereits bei der Planung die Grund- und Aufrissgestaltung, Raumauslegung und Fassadengestaltung konform gestalten kann.
- Durch geeignete Wahl der Fenster (mit Lüftungsflügeln) und allenfalls notwendiger zusätzlicher Lüftungsöffnungen ist der Verbrennungsvorgang bei Geräten wie Gas-Kochherden, Gas-Warmwasserdurchlauferhitzern, Heizöfen aller Art zu gewährleisten.
- Infolge der Kenntnisse der erforderlichen Luftwechselzahl von Gebäuden und Räumen ist es möglich, die Lüftungsgewohnheiten der Benutzer besser zu beeinflussen.

Weshalb nimmt die Messung der Luftwechsel in den letzten Jahren an Bedeutung zu? Die sogenannte Energiekrise im Herbst 1973 wie auch das fortgeschrittene Umweltschutz-

V_R Raumvolumen

\dot{V} Luftströme bei einzelnen Komponenten der Raumhülle (1, 2, 3)

p Luftdruck

t Lufttemperatur

i Index für Rauminneres

a Index für Nebenräume bzw. Umgebung

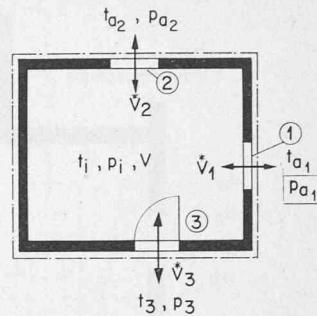


Bild 1. Darstellung einer Raumhülle mit den wesentlichen Öffnungen, bei welchen ein Luftaustausch mit der Umgebung auftreten kann

\dot{V} Volumenstrom

p Luftdruck (innen bzw. aussen)

Δp Differenzdruck über Prüf-element

A Fläche des Prüflementes

l Fugenlänge

F Anpresskräfte bei Rahmen

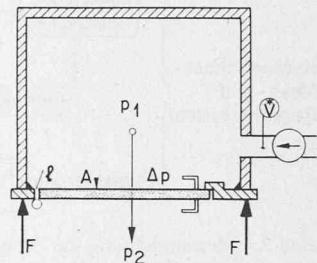


Bild 2. Methode zur Messung der Luftdurchlässigkeit eines Bauteils (Fenster, Türe, Wandabschnitt usw.) auf dem Prüfstand. Dieselbe Messmethode kann improvisiert auch am Bauwerk für Einzelkomponenten oder die ganze Gebäudehülle angewendet werden

denken führten zur Einsicht, dass künftig mit allen Energiequellen sparsamer umgegangen werden muss. Der Wille ist vielerorts heute bereits vorhanden, auf verschiedenen Gebieten der Energieeinsparung spezielle Anstrengungen zu unternehmen. Viele der Massnahmen und ihre Wirkungen sind bereits bekannt: die Leistung der Heizanlagen entsprechend zu minimalisieren, Gebäude und Räume gegen aussen besser zu isolieren und abzudichten – dies ist übrigens auch eine Bedingung für den Schallschutz –, die Raumtemperaturen auf ein gesundes Mass herabzusetzen und vieles andere mehr. Man geht beim Bund und in verschiedenen Kantonen der Schweiz intensiv daran, konkrete Wärmeschutzvorschriften vorzubereiten. Verschiedene Staaten haben bereits Wärmeschutzvorschriften [2, 3, 4] mit Angabe der maximalen Lüftungswärmeverluste oder des Frischluftvolumenbedarfs pro Person erlassen. Unseres Wissens beruhen dort genannte Luftwechselzahlen vorwiegend auf rein theoretischen Werten.

Eine kleine Literaturstudie zeigt folgendes Bild: Es liegen bereits verschiedene gute Unterlagen über Teilespektre der Lüftungswärmeverluste vor; sie sind aber oft älteren Datums. Erst aufgrund der erwähnten Bedeutung des Energiesparens sind auf der ganzen Welt die entsprechenden Forschungstätigkeiten verstärkt worden. Zurzeit liegen jedoch auf europäischem Gebiet keine diesbezüglichen Ergebnisse vor, die auf die typischen schweizerischen Bauarten und -Konstruktionen übertragbar wären [5, 6 bis 21]. Es wird bewusst auf Hinweise von Publikationen über die Lufthygiene und der Wohnhygiene verzichtet, weil eine Gegenüberstellung mit den heute vorliegenden Erkenntnissen über den Luftwechsel noch zu früh wäre.

4. Zielsetzung der Forschungsarbeit

Ausgehend von der Tatsache, dass heute nur ungenügende Angaben über den effektiven Luftwechsel in Neu- und Alt-bauten unter Einfluss verschiedener Parameter vorhanden sind, drängten sich in zeitlicher Reihenfolge folgende Forschungsziele auf:

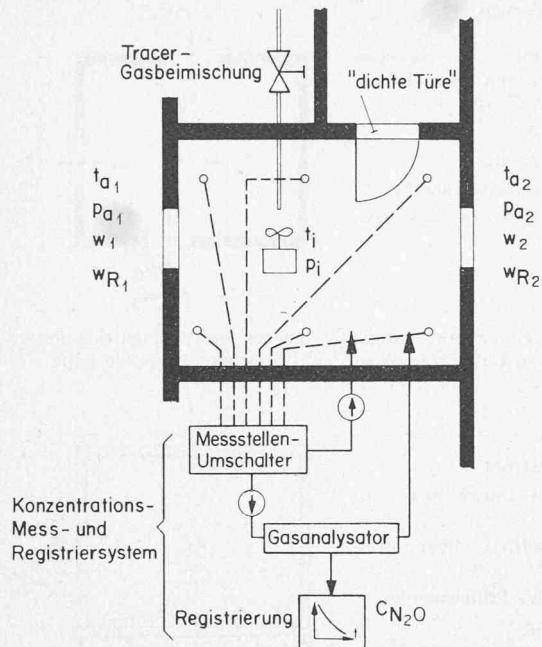


Bild 3. Messeinrichtung zur Bestimmung des Luftwechsels in einem unbewohnten Zimmer mit gegenüberliegend angeordneten Außenfenstern und gut dichter Tür

V_R Raumvolumen

$\overset{*}{V}$ Luftströme bei einzelnen Komponenten der Raumhülle (1, 2, 3)

p Luftdruck

t Lufttemperatur

i Index für Rauminneres
 a Index für Nebenräume bzw. Umgebung

w Windgeschwindigkeit
 w_R Windrichtung

- Gewinn einer detaillierten Übersicht über bestehende Unterlagen und laufende neue Entwicklungsprojekte durch eine systematische Literaturrecherche und durch den Aufbau von Kontakten zu ausländischen Forschungsinstituten
- Entwicklung einer Messeinrichtung und eines Messverfahrens für die Bestimmung des Luftwechsels, bei denen alle wesentlichen Einflussfaktoren miterfasst werden können
- Gewinn eines qualitativen Überblicks über die Bedeutung der verschiedenen Einflussparameter auf den Luftwechsel so:
 - der baukonstruktiven Parameter
 - der Klimaparameter, insbesondere Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Temperatur, sowie
 - der Benützereinflüsse durch bestimmte gestellte Einflussgrößen wie Türpositionen, Fensterpositionen usw.
- Ergänzung der Messungen durch verfeinerte Untersuchungen, um das ganze Spektrum möglicher Parameterkombinationen zu erfassen
- Überführung der Messresultate in verbesserte Berechnungsverfahren für die Lüftungsverluste.

Der Stand der Forschungsarbeiten hat heute bereits den Punkt d) erreicht. Für diese ersten Untersuchungen wurde ein ausführlicher Zwischenbericht erstellt. Dieser kann bei der Abteilung Bauphysik, EMPA, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, bezogen werden. Wie wichtig solche Forschungsarbeiten heute sind, zeigt das grosse Interesse einer Gruppe von ausländischen Forschern, welche im Rahmen der Internationalen Energie-Agentur (IEA) ein Rechenprogramm für den Energiebedarf von Gebäuden erstellt, sowie Publikationen verschiedener Autoren [21].

5. Messverfahren, Messeinrichtung und Auswertung

Aufgrund einer eingehenden Literaturstudie [22, 23] und gestützt auf eigene Labor-Testversuche wurde das sogenannte *Tracer-Gas-Verfahren*, auch Spuren-Gas-Verfahren genannt, ausgewählt. Bei diesem Verfahren wird der Raumluft bis zum Beginn der Messungen eine bestimmte Menge dieses Tracer-Gases zugeführt und möglichst rasch und gut vermischt. Die Abnahme der Tracer-Gas-Konzentration kann nun gemessen, registriert und als Luftwechselzahl ausgewertet werden. Die Auswertung der gemessenen Konzentrationsverläufe erfolgt unter der Annahme, dass während der Messungen die Einflussparameter konstant bleiben oder sich in bestimmten und bekannten Grenzen halten. Die Darstellung auf einfach-logarithmischem Papier erwies sich wegen des exponentiellen Verlaufs als geeignet.

Für die Durchführung der Messungen ergaben sich somit insbesondere Probleme der Wahl eines geeigneten Testgases, der Absorptionseigenschaften der Messobjekte und der Messeinrichtung. Der *Aufbau der Messeinrichtungen* ist in Bild 3 schematisch dargestellt. Die Messeinrichtung wurde so angeordnet, dass Störungen der bestehenden Luftströmungsverhältnisse im Raum vermieden und eine genaue Erfassung der Gaskonzentrationen möglich wird.

Das Testgas wurde nach folgenden Kriterien ausgewählt und sollte nachgenannte Eigenschaften aufweisen:

- möglichst genaue Messbarkeit des Gases bei geringstmöglicher Konzentration
- möglichst geringe Querempfindlichkeit, d.h. geringe Einflüsse der in der Luft vorhandenen Gase auf die Messung
- billig und verfügbar
- von Wänden und Raumgegenständen möglichst nicht absorbierbar, es darf diese nicht beschädigen, hohe chemische Stabilität
- ungiftig und nicht explosiv
- ähnliche Dichte wie Luft, in der Atmosphäre möglichst nicht vorhanden.

Aus einer Reihe von Testgasen wurde Lachgas (N_2O) ausgewählt, da dessen Eigenschaften den vorstehenden Anforderungen am besten entsprechen. Von einem Einsatz radioaktiver Gase, z.B. Krypton-85 [25], wurde aus Sicherheitsgründen (Strahlenschutzverordnung) abgesehen.

Der gewählte *Messvorgang* und die Messeinrichtung gemäss Bild 3 funktionieren folgendermassen:

Über eine Rohrzuleitung wird zuerst eine genau bestimmte Menge Tracer-Gas in den Raum eingeblasen und mit einem Ventilator mit der Raumluft durchmischt; dieser Vorgang dauert einige Minuten. Anschliessend wird die Gaszufuhr und der Ventilator abgestellt. An sechs bestimmten und im Raum gut verteilten Stellen werden über Plastikrohre kontinuierlich sehr kleine Mengen des Luft-Gas-Gemisches abgesaugt. Von diesen sechs Leitungen wird jeweils abwechselnd eine Leitung über den Analysator umgeschaltet, und der entsprechende Messwert wird registriert. Die Umschaltung auf die jeweilige Leitung erfolgt wegen der Dynamik des Analysators im Fünf-Minuten-Rhythmus.

Parallel hiezu werden Luftdruckdifferenz, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperaturen innen und aussen sowie Witterungsverhältnisse laufend erfasst und registriert. Die Daten der Baukonstruktionen werden schriftlich festgehalten.

Aufgrund umfangreicher *Messvorgversuche* konnte dieses *Messverfahren* verifiziert werden. Dabei wurden folgende zusätzliche Prüfungen miteinbezogen:

- Messungen über die Absorptionseigenschaften der Gaszuleitungen bzw. -ableitungen sowie über Leckage-Einflüsse oder -Möglichkeiten
- Messungen des Absorptionsgrades von gebräuchlichen Baumaterialien für Lachgas

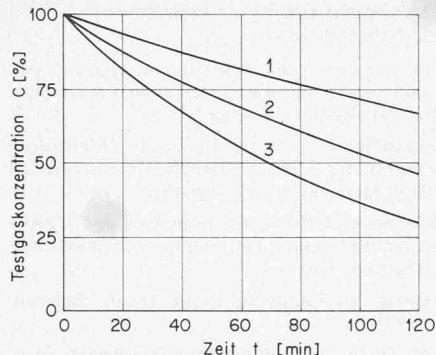


Bild 4. Luftwechselmess-Resultate für gleiche Räume bei ähnlichen Klimabedingungen. Die Räume unterscheiden sich lediglich in der Fensteranzahl und -anordnung. Die Resultate sind nur als Richtwerte zu betrachten, da die Verhältnisse zwischen Fugenlänge und Raumvolumen nicht genau gleich waren

- 1 Fenster in einer Fassade $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$
 2 Fenster in zwei gegenüberliegenden Fassaden
 3 Fenster in drei Fassaden $n = 0,6 \text{ h}^{-1}$
 Windgeschwindigkeit $1 \div 3 \text{ m/s}$
 Temperaturdifferenz innen – aussen rund 15°C

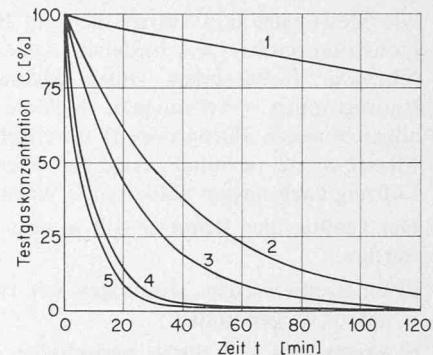


Bild 5. Einfluss von Fensterstellung und Rolladenstellung auf den Luftwechsel eines Schlafzimmers bei «geschlossener» Tür, bei etwa gleichen Windverhältnissen, bei einer leicht schrägen Windanströmung des einzigen, doppelverglasten Holzfensters, Fassadenstellung SSW

- 1 Fenster zu $n \approx 0,15 \text{ h}^{-1}$
 2 Fenster 10 cm offen, Rolladen geschlossen $n \approx 1,5 \text{ h}^{-1}$
 3 Fenster 10 cm offen $n \approx 2,5 \text{ h}^{-1}$
 4 Fenster 45° offen $n \approx 6,0 \text{ h}^{-1}$
 5 Fenster ganz offen $n \approx 7,5 \text{ h}^{-1}$
 Windgeschwindigkeit $1 \div 3 \text{ m/s}$
 Temperaturdifferenz innen – aussen rund $13 \div 17^\circ\text{C}$

- Untersuchungen des Einflusses der Gasabsaugorte auf die Messergebnisse, insbesondere bezüglich der Luftsichtung und «Totzonen» im Raum
- Mehrfachmessungen bei gleichen Bedingungen
- Parallelversuche an demselben Objekt mit einem unabhängigen System der Eidg. Technischen Hochschule Zürich, und zwar:
 - einerseits mit dem gleichen Testgas
 - anderseits mit N_2O und CO zusammen als Tracer-Gas, wobei die eine Messanlage die Konzentration des N_2O , die andere Messanlage des CO erfasste.
- Versuche über die Dynamik des Messsystems; dabei wurde festgestellt, dass ein rascherer Umschaltrhythmus bei den gewählten geringen Absaugmengen zu ganz falschen Resultaten führt.

6. Erste praktische Untersuchungen und Ergebnisse

Im Winter 1975/76 sind folgende Arbeiten durchgeführt worden:

- Voruntersuchungen zur Eichung der Messeinrichtung und des Messverfahrens
- Luftwechselmessungen in Einzelräumen, zum Teil mit zusätzlicher Messung des a -Wertes der Fenster
- Luftwechselmessungen in Raumgruppen bzw. Wohnungen
- Messungen der Einflüsse von Windstärke, Windrichtung und künstlichen Zusatzentlüftungen
- Erste Messungen zur Erfassung der Benutzereinflüsse, Luftwechsel in Räumen in Abhängigkeit von Fenster- und Türpositionen, Luftwechsel in Wohnungen in Funktion bestimmter zeitlicher Lüftungsabläufe.

Aufgrund der Messergebnisse wird nun versucht, eine Beurteilung vorzunehmen. Es zeigt sich, dass bereits einige Tendenzen deutlich hervorgehoben werden können:

- Die Ergebnisse beim gewählten Verfahren sind reproduzierbar; der entsprechende Streubereich beträgt lediglich einige wenige Prozente.
- In neuen Wohnbauten (keine Wohnhochhäuser) mit DV-Holzfenstern, ohne zusätzliche Abdichtungen und nur an einer Fassadenfront angeordnet, sind bei mässigem Wind Luftwechselzahlen in der Größenordnung von $0,1$ bis $0,3 \text{ h}^{-1}$ ermittelt worden. Dieser Sachverhalt wird in der Literatur

[11] bestätigt. Diese Werte liegen zahlenmäßig weit unter üblichen Rechenwerten.

- Messungen in älteren Bauten mit entsprechenden Fenstern ergaben Werte für die Luftwechselzahl von $n = 0,5$ bis $1,0 \text{ h}^{-1}$.
- Die Unterschiede zwischen gleichartig angeordneten Räumen mit Fenstern in einer, zwei oder sogar drei Fassaden eines Gebäudes sind grösser, als man rechnerisch bisher angenommen hat (vgl. Bild 4).
- Der Einfluss der Fensterposition – und im kleineren Massen auch der Rolladen- und Türpositionen – auf den Luftwechsel eines Raumes ist sehr gross und wird in Bild 5 dargestellt. Diese dargestellten Messwerte können jedoch nicht direkt für die Berechnung der Lüftungsverluste herangezogen werden, da durch diese Messung allein noch nicht festgestellt ist, welcher Luftmengenanteil ins Freie, welcher in Nachbarräume abfließt. Beim offenen Fenster ist die Erhöhung der Luftwechselzahl von etwa $n = 0,15$ auf $n = 7,5 \text{ h}^{-1}$, d. h. um etwa das 50fache, recht eindrücklich.
- Der Einfluss der Alterung von Fenstern, Fensterdichtungen usw. auf den Luftwechsel ist praktisch unbekannt und bedarf noch einer näheren Untersuchung.
- Der Einfluss der Benutzer, wie auch durch den Betrieb von künstlichen Teilentlüftungen, ist gross. Eine einfache Überschlagsrechnung mit Werten von Bild 5 zeigt, dass durch das Benutzerverhalten (Lüften) die Luftwechselzahlen eines Raumes gegenüber denjenigen bei geschlossenen Fenstern ganz wesentlich erhöht werden. Messfehler im Bereich von einigen wenigen Prozenten bei Messungen von unbewohnten Räumen fallen daher praktisch nicht ins Gewicht.

7. Ausblick auf weitere Untersuchungen

Die beschriebenen Messungen des Winters 1975/76 legten nahe, die Versuche unter Einbezug der nachfolgend genannten Modifikationen weiterzuführen:

- Zur Erfassung der Windeinflüsse sind Messeinrichtungen nicht nur auf dem Hausdach, sondern auch vor der Außenfassade zu installieren.
- Die Messeinrichtung muss so erweitert werden, dass eine Differenzdruckmessung über allen wesentlichen Öffnungen der Raum- bzw. Gebäudehülle möglich ist.

– Die Messungen sind auszuweiten auf Bauten verschiedener Konstruktionsart, verschiedenen Alters und verschiedener Nutzung. Insbesonders sollen Messungen über ganzen Raumgruppen (Wohnungen, kleinere Einfamilienhäuser, abgeschlossene Bürogruppen) durchgeführt werden. Diese Messresultate vermitteln Angaben über die effektiv infolge Lüftung nach aussen abfließende Wärmemenge.

– Der Einfluss der Benutzer soll in zwei Teilschritten erfasst werden:

- a) Einerseits werden Messungen mit typisiertem Lüftungsablauf vorgenommen;
- b) Andererseits soll durch periodische Fotoaufnahmen der Fassaden – beim selben Gebäude – und mittels einer nachfolgenden statistischen Auswertung der Fotos das typische «Lüftungsverhalten» der Benutzer bestimmt werden.

Eine gemeinsame rechnerische Auswertung der Versuche a) und b) verspricht aufschlussreiche Resultate.

– Eine Überführung der Resultate in geeignete allgemeine Berechnungsverfahren wird erst in einer weiteren Untersuchungsphase möglich sein. Für Spezialfälle liegt aber bereits ein approximatives Verfahren vor, welches die abgeschlossenen und bekannten Verfahren (Literaturverzeichnis) und die Ergebnisse dieser vorliegenden Arbeit einbezieht.

8. Schlussfolgerungen

Bereits aufgrund der bis heute durch empirische Untersuchungen gewonnenen Resultate können folgende zum Teil allgemeine Regeln bestätigt werden.

Bezüglich des Luftwechsels kann Wärmeenergie eingespart werden durch:

- geeignete Grund- und Aufrissgestaltung und richtige Anordnung von Fenstern eines Gebäudes bezüglich der Klimaeinflüsse
- Verbesserung der baulichen Konstruktionen bei Alt- und Neubauten, insbesondere bezüglich Fenster und Fenstertüren usw.
- kurzfristiges (wenige Minuten) intensives Lüften der Räume (vollständig genügend, um die Raumluft zu erneuern)
- zeitliche Beschränkung des Betriebs von künstlichen Teillüftungen in gefangenen Räumen wie Küchen oder Bad/WC.

Literaturverzeichnis

Allgemeines

- [1] *EMPA* (Nr. 18050/2): Brennstoffersparnis von Wohn- und Geschäftsbauten durch bauliche Massnahmen (23. Juli 1973).
- [2] *Statens Planverk*: Regulations on Energy Conservation in New Buildings, The National Swedish Board of Physical Planning and Building, Report (8. Oktober 1976).
- [3] *Frankreich*: Verordnung zur Energieeinsparung, Höchstwärmeverluste für Wohnungen (10. April 1974 und 12. März 1976).
- [4] *Finnland*: Vorschrift über Wärmedämmung in Bauten (1. Juli 1976).

Veröffentlichungen betreffend der Luftdurchlässigkeit von Bauteilen

- [5] *W. Caemmerer*: Das Fenster als wärmetechnisches Bauelement, *HLH* 17, Nr. 4 (1966).
- [6] *RBS*: Die Klassifizierung von Fenstern, Bericht des Institutes für Fenstertechnik in Rosenheim, im Auftrag des Bundesministeriums, Rosenheim (1974).
- [7] *EMPA*: Untersuchungen über Wärmedurchgang und Luftdurchlässigkeit von Fenstern, Forschungsbericht, durchgeführt im Auftrag der FKW, Dübendorf (1969).
- [8] *G.T. Tamura*: Measurements of air-leakage-characteristics of house-enclosures, Paper for ASHRAE-Meeting (Jan. 1975).

Veröffentlichungen über Messungen des effektiven Luftwechsels, bzw. entsprechende laufende Forschungsarbeiten

- [9] *IBS*: Zusammenhang zwischen der Fugendurchlässigkeit von Fenstern und dem Luftwechsel im Raum, laufende Forschungsarbeit des Instituts für Bauphysik in Stuttgart.
- [10] *NRC, DBR*: «Luftwechselmessungen» an Gebäuden (Messungen mit Tracer-Gas und eigentliche Luftdurchlässigkeitsmessungen an ausgeführten Gebäuden), laufende Forschungsarbeit, Ottawa.
- [11] *H. Esdorn* und *W. Brinkmann*: Lüftungswärmeverluste und Druckverteilung in Wohnhochhäusern unter dem Einfluss von Wind- und Auftriebskräften, TU Berlin (1976).
- [12] *HUD*: Residential energy consumption, single family housing, Bericht, Washington (1973).
- [13] *Ch.M. Hunt* und *D.M. Burch*: Air infiltration measurements in a, four-bedroom-townhouse, using SF₆ as a tracer-gas, National Bureau of Standards, Gaithersburg, USA (1974).
- [14] *J.B. Dick*: Experimental studies in natural ventilation of house, *JHVE* (17. Dec. 1949).
- [15] *EC*: Einfluss der Lüftungsgewohnheiten der Bewohner auf die Gesamtenergieverluste eines Gebäudes, laufende Forschungsarbeit des Electricity Council in Grossbritannien, Hinweis in *HPAC*, Nr. 5 (1976).

Berechnungsverfahren für Luftwechselzahlen und entsprechende Lüftungswärmeverluste, fundiert auf Messungen

- [16] *O. Krischer* und *H. Beck*: Die Durchlüftung von Räumen durch Windangriff und der Wärmebedarf für die Lüftung, *VDI-Bericht*, Bd. 18, Düsseldorf (1975) (Grundlagen zu DIN 4701).
- [17] *ASHRAE*: Handbook of fundamentals, Chapter 19, Infiltration and natural ventilation.
- [18] *G.T. Tamura*: Predicting air leakage for building design, *NRCC*, 14747, Ottawa (1974).
- [19] *R.R. Laschober* und *J.H. Healy*: Statistical analyses of air leakage, in split-level-residences, Paper for ASHRAE-Meeting in Cleveland, May (1964).
- [20] *P.J. Jackmann*: Heat loss in buildings as a result of infiltration, *B.S.E.*, Vol. 42 (April 1974).
- [21] *Honma Hiroshi*: Ventilation of dwellings, *Diss. TU Stockholm* (1975).

Messverfahren Luftwechsel

- [22] *M. von Pettenkofer*: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden, München (1958).
- [23] *H.J. Russenberger*: Keimgehalt der Raumluft in Abhängigkeit der Belegung und des Luftwechsels, *Diss. ETHZ*, Zürich (1976).

Adressen der Verfasser: *Simon Bargetzi*, Chef der Sektion Planungsfragen und Bauwesen, Eidg. Amt für Umweltschutz, Bern; *Dr. Peter Hartmann*, dipl. Ing., *EMPA*, Abteilung Bauphysik, Dübendorf, *Ignaz Pfifner*, Ing.-Tech. *HTL*, *EMPA*, Abteilung Bauphysik, Dübendorf.

Wettbewerbe

In dieser Ausgabe befinden sich die folgenden Wettbewerbe ausnahmsweise auf der zweiten grünen Seite (G 50): **Berufsschule Bilach**, Ergebnis, **Truppenlager Glaubenberg**, Ergebnis **Design-Wettbewerb Bahnhofmobilier**, Ankündigung.

Herausgegeben von der Verlags-AG der akademischen technischen Vereine Aktionäre sind ausschliesslich folgende Vereine: **SIA** Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein · **GEP** Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidg. Techn. Hochschule Zürich · **A3** Association amicale des anciens élèves de l'Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne · **BSA** Bund Schweizer Architekten · **ASIC** Schweizerische Vereinigung beratender Ingenieure Nachdruck von Bild und Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Redaktion: *K. Meyer, B. Odermatt*; 8021 Zürich-Giesshübel, Staffelstrasse 12, Telefon 01 / 36 55 36, Postcheck 80-6110

Briefpostadresse: **Schweizerische Bauzeitung**, Postfach 630, 8021 Zürich

Anzeigenverwaltung: **IVA AG** für internationale Werbung, 8035 Zürich, Beckenhofstrasse 16, Telefon 01 / 26 97 40, Postcheck 80-32735