

AIC (545)

#917

Separatdruck aus «Heizung und Lüftung», Jg. 48 (1981), Nr. 2, S. 17 . . . 21

**Lüftungswärmeverluste –
wie sind sie messtechnisch erfassbar?**

T. Baumgartner/P. Hartmann/H. Mühlebach

IBSA 81-01130

Lüftungswärmeverluste – wie sind sie messtechnisch erfassbar?

von Thomas Baumgartner, Ing. HTL; Peter Hartmann, Dr. Ing.; Hans Mühlebach, Arch. HTL; EMPA, Abteilung Bauphysik, 8600 Dübendorf

1. Einleitung

Es ist einleuchtend, dass infolge der bei Gebäuden verbesserten Wärmedämmung der Anteil der Lüftungswärmeverluste am Gesamtverlust immer mehr ansteigt. – Erst in den letzten Jahren haben sich Bauforschungs-Institute intensiver mit der entsprechenden Messtechnik befasst. Der vorliegende Aufsatz möchte einen Überblick über den Stand dieser Messtechnik vermitteln, wobei wir uns bewusst beschränken auf

- nichtklimatisierte, also beheizte Bauten,
- auf möglichst praxisbezogene Messmethoden,
- auf Messmethoden zur Erfassung von Durchströmungen der Gebäudehülle, des generellen Luftaustausches in Räumen, ohne auf Messmethoden für die Detail-Luftströmungen in Räumen oder auf das Lüftungsverhalten der Bewohner einzutreten.

Als Basis für die nachfolgenden Erläuterungen stehen zur Verfügung:

- die Ausführungen kompetenter Autoren aus aller Welt am 1. Seminar des «Air Infiltration Center» der Internationalen Energie-Agentur (6.–8. Oktober 1980 in Windsor),
- eine grössere Anzahl von spezifischen Publikationen (vgl. Literaturliste; Detailauskünfte könnten beim Air Infiltration Center eingeholt werden),
- messtechnische Erfahrungen, welche sich Mitarbeiter der Abteilung Bauphysik der EMPA in mehrjährigen Untersuchungen erworben haben.

Die nachfolgende Übersicht gliedert sich in Abschnitte über

- Erfassungsmethoden für lokale Luftströmungen durch die Gebäudehülle,
- Verfahren zur Ermittlung der Luftdurchlässigkeit,

- Verfahren zur Ermittlung des Luftwechsels in Räumen.

Hinsichtlich der technischen Fachausdrücke und Definitionen verweisen wir auf das Element-Heft Nr. 23 der schweizerischen Ziegelindustrie, Abschnitt 14. Ein umfangreiches vier-sprachiges Fachwörterbuch («Air-gloss») wird demnächst durch das IEA-Air-Infiltration-Center herausgegeben.

2. Erfassung lokaler Luftströmungen durch die Gebäudehülle

Der Nachweis von Luftdurchtrittsöffnungen an der Gebäudehülle ist mit unterschiedlich grossem Aufwand möglich, erfolgt aber bei allen Methoden mehr oder weniger qualitativ. Es lassen sich prinzipiell die folgenden Methoden unterscheiden:

- einfache optische Hilfsmittel (z.B. Rauchrohr),
- Thermographie (Infrarot-Photographie),

- Messgeräte der Luftgeschwindigkeit (z.B. Hitzdrahtanemometer),
- Akustische Messungen,

Die *Tabelle 1* stellt eine Übersicht über die verschiedenen Methoden und deren Anwendbarkeit dar.

Als einfachste Methode hat sich nach wie vor das aus der Untersuchung von Raumströmungen bekannte Rauchrohr bewährt. Es liefert eine gute qualitative Information über Luftdurchtrittsöffnungen an Einzelbauteilen oder der Gebäudehülle sowie der Luftgeschwindigkeit und deren Richtung.

Mit der Thermographie lassen sich, wie in *Abbildung 1* dargestellt, ebenfalls undichte Stellen auffinden. Es ist jedoch ein geübter Fachmann notwendig, um eine Unterscheidung von anderen bauphysikalischen Erscheinungen (z.B. Kältebrücken) vornehmen zu können.

Gut bewährt hat sich auch das Aufsuchen lokaler Luftströmungen (z.B. mittels Rauchrohr oder mittels Thermographie) bei konstanter, künstlich erzeugter Druckdifferenz über der

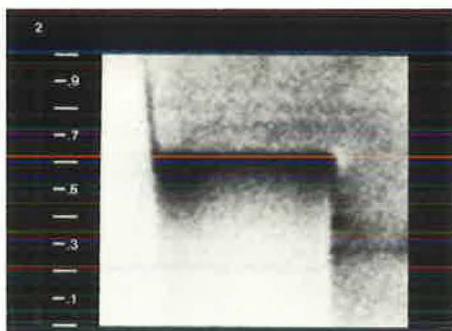


Abb. 1: Infrarot-Detailaufnahme an einem Gebäude in Leichtbauweise; bei genauer Kenntnis der konstruktiven Bedingungen sind Luftleckageeffekte zu erkennen. Sie zeichnen sich ab als zungenförmige Kaltflächen auf der Innenoberfläche.

Gebäudehülle. Die stabile Druckdifferenz erleichtert das Auffinden von «Lecks», da man so unabhängig von momentanen Klimabedingungen ist.

3. Luftdurchlässigkeits-Messungen

3.1. Stationäres Verfahren

Beim stationären Verfahren handelt es sich um die *Differenzdruck-Methode* im Über- oder Unterdruckbereich, welche ein gutes Erkennungsverfahren

bei Einzelbauteilen sowie bei der gesamten Gebäudehülle darstellt. Es wird angewendet für punktuelle Messungen an Fassadenflächen, für Bauteile und für Messungen an der gesamten Gebäudehülle. Eine gute Übersicht über die Messverfahren bieten die AIC-Konferenzbeiträge [38]–[44] sowie Kronvall in [20].

Die Messresultate vermitteln jedoch keinen direkten Zusammenhang mit den Strömungen bei realen Klimaverhältnissen am Gebäude.

Luftdurchlässigkeits-Messungen an Einzelbauteilen (Fenster, Türen) werden vor allem zur Qualitätskontrolle im Laborprüfstand («a-Wert Messung») durchgeführt. Eine Messung unter realen Einbauverhältnissen am Bau kann analog zur Labormessung ausgeführt werden.

Punktuelle Messungen an Fassadenelementen, wie sie Shaw in [44] beschreibt, dienen an Ort und Stelle zur Kontrolle von Bauteil-Verbindungen. Die Differenzdruckmessung an der gesamten Gebäudehülle (sog. Pressurization-Test) ist anhand von *Abbil-*

Methode	Notwendige Geräte	Messgröße	Anwendbarkeit durch:		Beurteilung der		Kosten
			Nicht-Fachmann	Spezialisten	Vorteile	Nachteile	
Einfache optische Hilfsmittel	– Rauchpatronen – Fäden usw.	Luftgeschwindigkeit (Strömung + Richtung)	X		– Einfache Anwendung – gute Zugänglichkeit	– nur qualitative Aussage	klein
Thermographie	Infrarot-Photoausrüstung mit spezieller Empfindlichkeit	Temperaturdifferenzen auf der Oberfläche		X	– Gute Übersicht über ganze Gebäudeteile	– nur qualitative Aussage – Abgrenzung zu Kältebrücken schwierig – min. Δt innen/aussen notwendig	sehr gross
Luftgeschw. Messgeräte	Anemometer (rotierend)	Luftgeschwindigkeit	(X)	X	– Einfache Anwendung	– min. 0,5 m/s Geschwindigkeit notwendig	klein
	Hitzdraht-Anemometer	Luftgeschwindigkeit	(X)	X	– Einfache Anwendung – Messung bis 0,05 m/s möglich	– Messeffekt ist temperatur- u. richtungsabhängig	
Akustische Messungen	Schallquelle + Empfänger	Schalldruck		X	– Einfache Anwendung – kein Δt oder Δp am Gebäude notwendig	– nur qualitative Aussage – Erfolg nur bei sehr undichten Gebäuden – gute Akustikkenntnisse notwendig	rel. klein

Tabelle 1: Messmethoden zur Bestimmung lokaler Luftströmungen

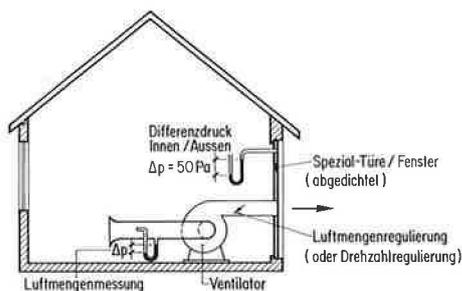


Abb. 2: Schematische Darstellung der Messeinrichtung beim Differenzdruck-Messverfahren.

Abbildung 2 schematisch dargestellt. Es hat sich ein internationaler Vergleichsstandard herausgebildet, gemäss dem die Messung bei einem Unterdruck von 50 Pa erfolgt. Als Resultat wird der Volumenstrom pro m³ Raumvolumen in der Einheit Luftwechsel pro Stunde angegeben.

Für kleinere Gebäude hat Orr [23] ein handliches Messverfahren entwickelt, wie es auch bei uns gute Verwendung fände. Abbildung 3 zeigt eindrücklich eine Differenzdruckmessung an einem grossen Gebäude, wie sie von Tamura und Shaw [43] in Kanada angewendet wird.



Abb. 3: Ansicht des Gebläses und der Luftstrom-Messstrecke für die Differenzdruck-Messmethode, wie sie von Tamura und Shaw (NRC, Ottawa) für grosse Gebäude eingesetzt wird.

3.2. Instationäre Verfahren

Seit kurzer Zeit sind zwei instationäre Verfahren bekannt und von Card in [3] sowie in [32], Kap. 2, beschrieben worden.

- Druckwellen bestimmter Frequenz und Intensität werden in einem Raum erzeugt. Die gemessene Druckänderung ist ein Mass für die Dichtigkeit des Raumes.
- Druckabfall-Methode: Durch das rasche Ausströmenlassen von komprimierter Luft aus einem

Gefäss wird im Raum ein Druckstoss erzeugt. Der gemessene Druckabfall ist ein Mass für die Dichtigkeit des Raumes.

Da die Verfahren relativ neu sind, liegen noch keine Erfahrungen oder Vergleichsmessungen vor.

4. Luftwechsel-Messmethode

Im Gegensatz zu Kennwerten über die Luftdurchlässigkeit – ermittelt bei einem künstlichen Differenzdruck – stellen Luftwechselzahlen Kennwerte dar, die sich unter natürlichen Klimabedingungen einstellen. Die besondere Bedeutung der Luftwechselzahl liegt darin, dass sie sofort Aussagen über die vorliegenden Wärmeverluste zulässt und auch Anhaltspunkte über die lufthygienischen Bedingungen in einem bestimmten Raum liefert. In den letzten Jahren haben sich eindeutig die Tracergas-Messungen als wesentlichste Methoden durchgesetzt. Bei diesen Verfahren werden der Konzentrationsverlauf oder allenfalls die Einblasmenge eines bestimmten Tracergases (Spurengases) ermittelt. Diese Messgrößen erlauben eine relativ einfache Umrechnung auf die Luftwechselzahl (allenfalls auch grafisch). Die Messmethode eignet sich gut für Messungen in Einzelräumen, Wohneinheiten (Wohnungen, Einfamilienhäusern), weniger gut für komplexere Grossbauten (mit merklichen internen Strömungs-Widerständen). Für die erstgenannten beiden Gruppen liefert die Methode relativ genaue Messresultate, wenn die beweglichen Elemente der Gebäudehülle geschlossen sind (Fenster, Türen). Aber auch für Räume mit teilweise geöffneten Fenstern ergibt sie vernünftige Richtwerte.

Die Messmethode ist in einer Reihe von Publikationen beschrieben (detailliert in [16], ebenso in [18], [20] und [32], Abfall-Methode in div. Publikationen der EMPA).

Das Mess-System umfasst

- eine Einblas- und Verteileinrichtung für ein vernünftiges Tracergas (vgl. [20] oder [18])
- einen Gasanalysator, unter Umständen mit Regelfunktion;
- vorteilhafterweise ein System zur Ermittlung aller wichtigen Randbedingungen während der Messung.

Der Aufwand für die Beschaffung einer solchen Messeinrichtung liegt momentan zwischen 10 000 und 100 000 Fr.

Wir unterscheiden bei der Tracergas-Messung drei Varianten (vgl. die entsprechenden Gas-Konzentrations-Verläufe in Abbildung 4):

a) Die (Konzentrations)-Abfall-Messmethode:

Vorgängig der eigentlichen Messung wird der Raumluft eine bestimmte Tracergas-Menge beige-mischt (möglichst vollständige Durchmischung). Anschliessend wird der Konzentrationsverlauf («Abfallkurve») in Funktion der Zeit ermittelt.

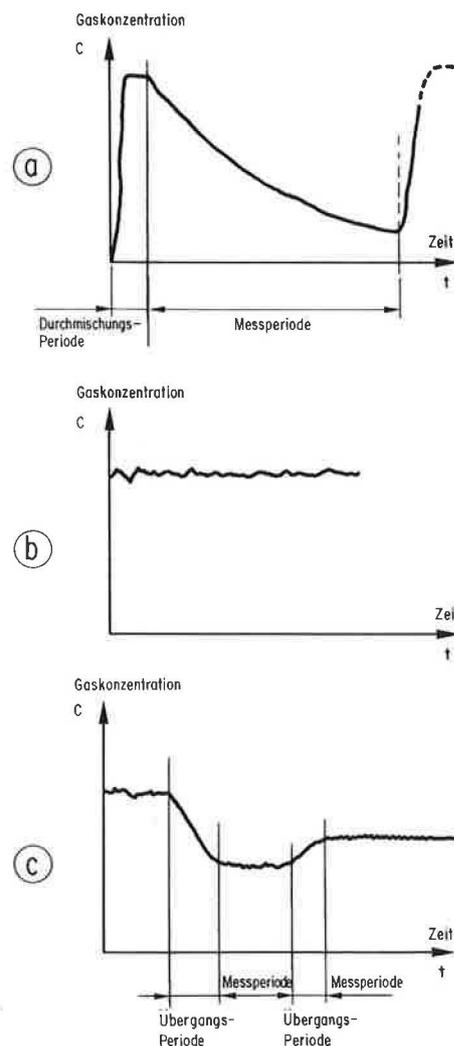


Abb. 4: Typische Tracergas-Konzentrationsverläufe bei 3 verschiedenen Luftwechsel-Messmethoden. a) Konzentrations-Abfall-Messmethode b) Methode mit (geregelter) konstanter Konzentration c) Methode mit konstanter Tracer-Einblasmenge

Es ist ein beinahe kontinuierlicher Betrieb der Messung möglich, einzig unterbrochen durch kurze Zumisintervalle.

b) Die Methode mit konstanter Tracergas-Konzentration (vgl. [1]): Sie erfordert eine geregelte Tracergas-Zufuhr, erlaubt aber einen kontinuierlichen Betrieb. Mit einem gewissen Zusatzaufwand (Einzeleinblasungen zu Räumen) sind die Luftwechselzahlen in einer Reihe von Räumen separat erfassbar.

c) Die Methode mit konstanter Einblasmenge:

Bei gleichbleibender Einblasmenge stellt sich in Funktion der Klimabedingungen ein Konzentrationsgleichgewicht ein, welches eine Bestimmung der Luftwechselzahl ermöglicht. Die Messungen können nicht vollständig kontinuierlich erfolgen, da die Übergangsphasen keine Auswertung erlauben.

Zusammenfassend soll auf

- die Erfahrungen mit den drei Tracergas-Methoden und auf
- die weitere Entwicklung der Messtechnik eingegangen werden.

Alle drei genannten Verfahren eignen sich grundsätzlich zur Ermittlung minimaler oder maximaler Luftwechselraten, welche im einen Fall hinsichtlich lufthygienischer Grenzzustände, im anderen Fall hinsichtlich Energieverbrauch und Kesseldimensionierung von Bedeutung sind. Ebenso lassen sich mittlere Luftwechselraten über längere Zeiträume bestimmen, doch sind die bisher genannten Verfahren hierzu etwas zu aufwendig konzipiert.

Ein Randproblem im Hinblick auf genaue Messresultate, eine allfällige Absorption von Tracergas durch Baustoffe, hat sich mit den am häufigsten gebrauchten Gasen SF₆ (vor allem in den USA verwendet, in minimalster Konzentration messbar) und N₂O als unwesentlich erwiesen. – Das Problem der vollständigen Durchmischung des Luft-Gasgemisches, lässt sich mit Methode a) am ehesten lösen, da dort allenfalls die Mischzeiten erhöht und auch mechanische «Mischer» eingesetzt werden können.

Gesamthaft gesehen scheint die Konzentrations-Abfallmethode für übliche

Anwendungen die zuverlässigsten Resultate zu liefern. Auch ist dabei der gerätetechnische Aufwand kleiner als bei Methode b). Der gesamte Messfehler kann im Bereich von 5–10% gehalten werden (grössere Werte bei kleinen Luftwechselzahlen). Da die Randbedingungen nie ganz stabil sind und die Lüftungsverluste nur einen Teil der Gesamtverluste ausmachen, ist diese Fehlergrenze genügend tief. Die Entwicklung der Messtechnik führt in drei Richtungen:

- Komplexe Methoden zur verfeinerten Erfassung der Gesamtzusammenhänge, etwa durch eine Erweiterung der Methode b) mittels einer Einzelblasung je Raum, je mit verschiedenen Testgasen. Dadurch sind nicht nur die Luftwechselzahlen der einzelnen Räume, sondern auch die internen Austauschströmungen erkennbar;
- Detailverbesserungen an bestehenden Methoden, etwa durch die Automatisierung der früher von Hand gesteuerten Mess- und Auswerte-Abläufe (vgl. [5], [35], [36], [37]; *Abbildung 5*);
- vereinfachte, billige Messmethoden: es drängt sich hinsichtlich der Kontrolle von Neubauten, aber auch bei der Planung von Sanierungen («Energy Audit») auf, vereinfachte, billige Methoden zu entwickeln. Es zeichnen sich Methoden ab, die Richtwerte vermitteln, ohne dass, zumindest auf der Baustelle, Gasanalytoren verwendet werden müssen.

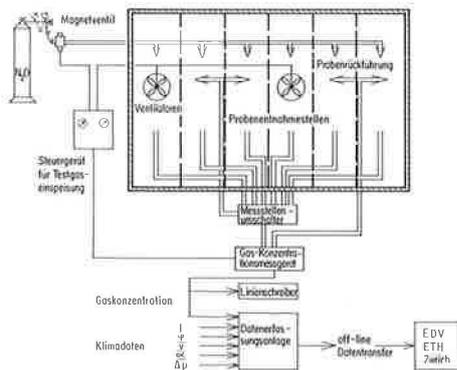


Abb. 5: Schema der Messeinrichtung für automatische Konzentrationsabfall-Messungen, wie sie von der EMPA eingesetzt wird. Neben den eigentlichen Luftwechsel-Messdaten werden alle notwendigen Randbedingungen (Druck, Temperatur, Wind usw.) miterfasst.

5. Zusammenfassung

Es besteht ein grosses Interesse, die Detailzusammenhänge hinsichtlich der Lüftungswärmeverluste zu erfassen und zu verstehen. Die Einflüsse:

- der Klimabedingungen,
- der konstruktiven Parameter und
- des Verhaltens der Bewohner

müssen noch besser erfasst werden. Die Zusammenhänge sind wesentlich komplexer als etwa bei den Transmissionsverlusten (vgl. z.B. [32] und [38]).

Es ist in den letzten Jahren gelungen, nicht nur qualitative, sondern auch quantitative Messverfahren zu finden, um die Durchströmung der Gebäudehülle, den Luftaustausch durch interne Trennwände und schliesslich den dadurch bewirkten Luftaustausch in den Räumen zu ermitteln.

An wesentlichen Methoden möchten wir hervorheben:

- für die Beurteilung von Einzel-Leckstellen das Infrarot-Verfahren, gekoppelt mit einem künstlichen Differenzdruck,
- für Luftdurchlässigkeitsmessungen ein analoges Differenzdruckverfahren, wie es für Bauteile seit Jahren im Labor Verwendung findet,
- für die Bestimmung des Luftwechsels einzelne oder allenfalls kontinuierliche Tracergas-Messungen.

Es ist uns bewusst, dass die gesamten Lüftungsverluste in grossem Mass durch die von Benützern geöffneten Fenster und Türen beeinflusst werden, sodass auch Untersuchungen über deren Verhalten bedeutungsvoll sind (vgl. EMPA-Bericht 39400 b). Insbesondere für Grenzzustände hinsichtlich von Bauschäden (Kondensationsbildung) oder der Lufthygiene (z.B. Schadstoffkonzentration bei nächtlich geschlossenen Schlafzimmern) sind die hier beschriebenen Verfahren richtungweisend.

Literatur

- [1] Alexander, D. K., (et. al.): Theoretical and Experimental Studies of Heat Loss Due to Ventilation. British Gas, London (1979).
- [2] Bahnfleth, D. R., (et. al.): Measurement of Infiltration in Two Residences. ASHRAE Trans. 63, 453–476 (1957).
- [3] Card, W. H., (et. al.): Infrasonic Measurement of Building Air Leaks. ASTM, ASHRAE-DOE symposium on Air Change Rate Measurements, NBS, Gaithersburg, Md. (13. März 1978).

- [4] Coblentz, C. W., und Achenbach, R. P.: Design and Performance of a Portable Infiltration Meter. ASHRAE Trans. 69, 358–365 (1963).
- [5] Condon, P. E., (et. al.): An Automated Controlled-Flow Air Infiltration Measurement System. LBL, Berkeley (1978)
- [6] Doeffinger, R. C.: Air Exchange Measurements Using a Tracer Gas Technique. Master Thesis, The Pennsylvania State University (1976).
- [7] Dick, J. B.: Measurement of Ventilation Using Tracer Gas Technique. Building Research Station, Garston (1948).
- [8] Dick, J. B.: Measurement of Ventilation Using Tracer Gas Technique. Heating, Piping and Air Cond., 131–137 (Mai 1950).
- [9] Dumont, R. S., (et. al.): Comparative Air-Tightness Levels in Housing for Six Different Locations in North America and Sweden. NRC, DBR, Ottawa (1980).
- [10] Eadie, G. G.: Radioactivity in Construction Material, A Literature Review and Bibliography. EPA Tech Note ORP/LV 75-1.
- [11] Esdorn, H.: Entwicklung einer akustischen Messmethode zur Ermittlung der Luftdurchlässigkeit von Bauelementen im eingebauten Zustand. Bericht des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn (1977).
- [12] Götting, K., (et. al.): Die Technik der Luftwechselfestimmung mit radioaktivem Krypton-85 und ihre Anwendung auf Untersuchungen in Ställen, Gesundheits-Ing. Heft 1 (1972).
- [13] Harrjee, D. T., und Grot, R. A.: Automated Air Infiltration Measurements and Implications for Energy Conservation. Proceedings of the International Conference on Energy Use and Management, Tucson, Oct. 24–28. 1, 457–464 (1977).
- [14] Harrjee, D. T., (et. al.): Automated Instrumentation for Air Infiltration in Buildings, Princeton, (1975).
- [15] Hill, J. E., und Kusuda, T.: Dynamic Characteristics of Air Infiltration. ASHRAE Trans. 81 (1), 168–185 (1975).
- [16] Hitchen, E. R., und Wilson, C. B.: A Review of Experimental Techniques for the Investigation of Natural Ventilation in Buildings. Building Science 2, 59–82 (1967).
- [17] Howard, J. S.: Ventilation Measurements in Houses and the Influence of Wall Ventilators. Building Science 1, 252–257 (1966).
- [18] Hunt, C. M.: Air Infiltration: A Review of Some Existing Measurement Techniques and Data. ASTM, ASHRAE, DOE Symposium on Air Change Measurement, Gaithersburg, Md. (13. März 1980).
- [19] Keast, D. N., Hsien-Sheng Pej: The Use of Sound to Locate Infiltration Openings in Buildings. ASHRAE Trans. (1980).
- [20] Kronvall, J.: Airtightness – Measurements and Measurement methods. Swedish Council for Building Research, Stockholm (1980).
- [21] Marley, W. G.: The Measurement of the Rate of Air Change. J. Inst. Heating & Ventilating, Aug. 2, 499 (1935).
- [22] Moeller, D. W., und Underhill, D. W.: Final Report on the Study of the Effects of Building Materials on Population Dose Equivalents. Harvard School of Public Health.
- [23] Orr, H. W., und Figley, D. A.: An Exhaust Fan Apparatus for Assessing the Air Leakage Characteristics of Houses. National Research Council, Ottawa (1980).
- [24] Petersen, B., Axen, B.: Thermography, Testing of Thermal Insulation and Airtightness of Buildings. Swedish Council for Building Research, Stockholm (1980).
- [25] Schwarz, B., und Holz, D.: Die Fenster-sonde – Ein neues Messgerät zur Güteprüfung im Fensterbau. IEA Seminar, Paris (1978).
- [26] Sepsy, C. F., (et. al.): EPRI Final Report. Chapter 9, Air Infiltration. Ohio State University, Columbus.
- [27] Siviour, J. B., Mould, A. E.: A Tracer Gas Method for the Continuous Monitoring of Ventilation Rates. Symposium in Holzkirchen, München (29.–30. Sept. 1977).
- [28] Stewart, M. B., (et. al.): Analysis of Infiltration by Tracer Gas Technique, Pressurization Tests and Infrared Scans. ASHRAE Trans. (1979).
- [29] Tamura, G. T.: Measurement of Air Leakage Characteristics of House Enclosures. ASHRAE Trans. 81 (1), 202–211 (1975).
- [30] Tamura, G. T., und Wilson, A. G.: Pressure Differences for a Nine-Story Building as a Result of Chimney Effect and Ventilation System Operation. ASHRAE Trans. 73 (II), 180–189 (1967).
- [31] Warren, P.: Ventilation and Heat Recovery. Energy Research and Buildings, BRE News 34.
- [32] Ross, H., und Hartmann, P. (Editors): Air Infiltration in Building, Draft IEA – Programm-Plan, US-Department of Energy, DOE/CS-0099 D, (250p), (1979).

Proceedings of 1st Air Infiltration Center Conference, Windsor, 6.–8. 10. 1980, enthaltend folgende Beiträge:

- [33] Sherman, M., (et. al.): Air Infiltration Measurement Techniques.
- [34] Etherige, D. W.: Experimental Techniques for Ventilation Research.
- [35] Kumar, R., (et. al.): An Automated Air Infiltration Measuring System Using SF₆ Tracer Gas in Constant Concentration and Decay Methods.
- [36] Hartmann, P., Mühlebach, H.: Automatic Measurements of Air Change Rates (Decay-Method) in a Small Residential Building without any Forced-Air-Heating System.
- [37] Grot, R. A., Hunt, C. M.: Tracer Gas Automated Equipment Designed for Complex Building Studies.
- [38] de Gids, W. F.: Improvement of the Pressurization Test Method for Measuring the Air Leakage of Buildings.
- [39] Nylund, P. O.: The Application of Reciprocity in Tightness Testing.
- [40] Nylund, P. O.: Tightness and its Testing in Single and Terraced Houses.
- [41] Shaw, C. Y., Sander, D. M.: Air Leakage Measurements of the Exterior Walls of Tall Buildings.
- [42] Tamura, G. T., Shaw, C. Y.: Studies on Exterior Wall Air Tightness and Air Infiltration of Tall Buildings.
- [43] Shaw, C. Y., Jones, L.: Air Tightness and Air Infiltration of School Buildings.
- [44] Shaw, C. Y.: Methods for Conducting Small-Scale Pressurization Tests and Air Leakage Data of Multi Storey Apartment Buildings.
- [45] Warren, P. R., Webb, B. S.: The Relationship between Tracer Gas and Pressurization Techniques with regard to the Natural Ventilation of Dwellings.
- [46] Sherman, M.: Measurement of Infiltration using Fan Pressurization and Weather Data.
- [47] Robertson, P., Cockroft, J.: The Measurement of Rapidly Fluctuating Air Flows.
- [48] Huber, G., Wanner, H. U.: Evaluation of the Indoor Air Quality as a Criterion for Minimum Ventilation Rates.

