1547

AIC 996.

Luftwechsel und Luftleckage in Abhängigkeit der Einflussparameter

U. Steinemann

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit dem Luftaustausch in Gebäuden interessieren die Kenngrössen:

- Luftleckstrom
- Luftwechsel
- n_{L50}-Wert
- Flächendurchlasskoeffizient
- Fugendurchlasskoeffizient
- Äquivalente Leckfläche

1.1 Luftleckstrom $\dot{V}$ (Luftdurchlässigkeit)

Als Luftleckstrom bezeichnet man den bei einem bestimmten Differenzdruck durch ein Bauteil oder die ganze Gebäudehülle durchtretenden Luftstrom (Einheit = m^3/s oder m^3/h).
Bei Angaben des Luftleckstromes sind immer die dazugehörenden Randbedingungen zu beachten.

Der Luftleckstrom kann bei künstlich erzeugter Druckdifferenz über ein Bauteil oder die Gebäudehülle messtechnisch nach der Differenzdruckmethode bestimmt werden (Artikel von H. Mühlebach). Der Luftleckstrom bei einer bestimmten Druckdifferenz von x Pa wird dann als $\dot{V}_x$ bezeichnet.

1.2 Luftwechsel n_L

Der Luftwechsel gibt das Verhältnis an zwischen einem dem Raum pro Stunde zuströmenden Luftstrom und dem inneren Volumen des Raumes (Einheit = 1/h).
Für eine genaue Beschreibung des Luftwechsels sind immer weitere Angaben zu den Randbedingungen notwendig.
Bei den Luftwechsel-Angaben sind insbesondere zu unterscheiden:

- Natürlicher Luftwechsel, d. h. Luftwechsel unter dem Einfluss von Wind- und Thermikkräften, ohne Benutzereinfluss
- Luftwechsel mit Fensterlüftung
- erzwungener Luftwechsel mit mechanischer Lüftungsanlage
- massgebender Luftwechsel für bestimmte Fragenstellungen wie z. B. Heizungsdimensionierung, Energieverbrauch, unbewohnte Situation, Behaglichkeit bei starkem Wind.

Der Luftwechsel kann direkt gemessen werden mit Hilfe von verschiedenen Tracergas-Methoden (Artikel von H. Mühlebach). Damit solche Messungen aussagekräftig sind, sollen immer gleichzeitig auch die wichtigen Randbedingungen wie Windgeschwindigkeit, Betrieb von Lüftungsanlagen usw. erfasst werden.
Bei künstlich erzeugter Druckdifferenz kann auch mit der Differenzdruckmethode aus dem Luftleckstrom durch Division durch das Raumvolumen ein Luftwechsel berechnet werden.

1.3 n_{L50}-Wert

Zur Beurteilung der Luftdurchlass-Eigenschaften einer Gebäudehülle wird häufig der n_{L50}-Wert angegeben, welcher den Gesamtluftwechsel bei einer künstlich erzeugten stationären Druckdifferenz von 50 Pa über der Gebäude- bzw. Raumhülle angibt. Der n_{L50}-Wert wird aus Messungen nach der Differenzdruckmethode rechnerisch ermittelt (Einheit = 1/h).
Der n_{L50}-Wert kann messtechnisch relativ einfach bestimmt werden und ist gut geeignet zur Beschreibung der Luftdurchlässigkeit einer Gebäudehülle. Hingegen können genaue Aussagen über die zu erwartenden Luftwechsel unter natürlichen Bedingungen nur gemacht werden

aufgrund von weiteren Rechnungen und Erfahrungen mit Parallelmessungen. Siehe z. B. paper 13, Seite 13.9.
In besonderen Fällen wird auch der Luftwechsel bei einer andern Druckdifferenz angegeben, die Bezeichnung ist dann n_{Lx}.

1.4 Flächendurchlasskoeffizient a_A
Der Flächendurchlasskoeffizient gibt den Luftleckstrom in m^3/h an, welcher bei einer Druckdifferenz von 1 Pa eine 1 m^2 grosse Fläche des Bauteils oder der Fassade durchströmt
(Einheit = $m^3/h \cdot m^2 \cdot Pa^{2/3}$).

1.5 Fugendurchlasskoeffizient a
Bei Bauteilen mit definierten Fugen wie z. B. Fenster oder Türen wird der Luftleckstrom in m^3/h bei einer Druckdifferenz von 1 Pa für eine Fugenlänge von 1 m angegeben
(Einheit = $m^3/h \cdot m \cdot Pa^{2/3}$).
Es ist zu beachten, dass in diesem Wert eventuell auf dem Bau vorhandene Anschlussfugen z. B. beim Anschluss Fensterrahmen–Wand nicht enthalten sind.
Der Fugendurchlasskoeffizient von Fenstern und Türen wird heute routinemässig im Labor (z. B. bei der EMPA) unter festgelegten Bedingungen ermittelt. Es sind auch Messungen am Bau nach der Differenzdruckmethode möglich.

1.6 Äquivalente Leckfläche $A_{äq\ x}$
Die äquivalente Leckfläche gibt die Grösse eines einzigen Lecks an, durch welches bei einer Druckdifferenz von x Pa der gleiche Luftleckstrom fliesst wie durch die Summe der tatsächlich vorhandenen Leckstellen
(Einheit = m^2 oder cm^2).

Üblicherweise wird der Referenzdruck zu Δp_r = 4 Pa gewählt. Die äquivalente Leckfläche stellt eine sehr anschauliche Grösse für das Ausmass der vorhandenen Undichtheiten dar.
Es wird eine verlustfreie, turbulente Strömung durch das fiktive Einzelleck angenommen. Damit gilt:

$$A_{aeq\ x} = \dot{V}_x \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot x}} \quad [m^2]$$

$\dot{V}_x$ = Luftleckstrom [m^3/s] bei einer Referenz-Druckdifferenz von *x Pa*
ρ = Luftdichte [kg/m^3]
x = Referenz-Druckdifferenz [Pa]

2. Kenngrössen für Mehrfamilienhäuser

Luftwechsel

[paper 1] typischer mittlerer Luftwechsel über die Heizperiode für schweizerische Mehrfamilienhäuser $\bar{n}_L$ = 0,6 l/h

[1] mittlere Luftwechsel für Wohnbauten während der Heizsaison unter Einbezug des Bewohnereinflusses für schweizerische Verhältnisse gemäss Tab. 1. Der Einfluss der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bleibt infolge des Benutzereinflusses relativ gering: in Wohnungen mit dichter Hülle wird häufiger gelüftet.

Luftwechsel n [h^{-1}]				
Einzelhaus Attikawohnung Eckhaus		Gebäudehülle, Dichtheit der (Fenster + Wand + Dach)		MFH; mittl. Reihenhaus; MFH-Mittelteil
Windklasse	Exposition	eher dicht	eher undicht	Exposition
I oder II	eher geschützt	0,5 0,6	0,65 0,8	geschützt
	exponiert	0,65 0,8	0,8 1,0	exponiert
III oder IV	eher geschützt	0,65 0,8	0,8 1,0	geschützt
	exponiert	0,8 1,0	1,1 1,4	exponiert
Erhöhung des Luftwechsels n_i des betroffenen Raumes oder Gebäudeteiles i - bei Schächten, Cheminées 1,1 .... 1,4 n_i (untere Werte für ohnehin undichte Gebäudehülle, obere Werte für eher dichte Gebäudehülle) - bei hohen, offenen Räumen oder Raumgruppen mit eher undichter Dachkonstruktion ~ 1,3 n_i				
Keine wesentliche Erhöhung des mittleren Luftwechsels ist anzunehmen, falls in innenliegenden Nassräumen und Küchen Abluftanlagen mit einer zeitgemässen Regelung eingebaut sind.				

Tabelle 1

[2] Siedlung in Zürich nach Sanierung. Mittlerer Luftwechsel an mittleren Wintertagen
– ohne Benutzer $\bar{n}_L$ = 0,25 l/h
– mit Benutzer (Mittel von 100 Wohnungen) $\bar{n}_L$ = 0,38 l/h
In dichteren Gebäuden mit Abluftanlagen wird der Luftwechsel durch den Betrieb der Anlage dominiert.

[3] Bei der Berechnung des Wärmeleistungsbedarfes wird immer ein Luftwechsel pro Raum zugrundegelegt von mindestens $\bar{n}_L$ = 0,3 l/h
(nur kurzfristig zutreffender Auslegungszustand)

[4] Kleinwohnung in MFH-Siedlung in Gattikon (Beschreibung unten, korrespondierender n_{L50} = 1,8 l/h)
– gemessener mittlerer Luftwechsel ohne Abluftanlage und ohne Benutzereinfluss $\bar{n}_L$ = 0,1–0,2 l/h
– zu erwartender Wert mit Benutzereinfluss $\bar{n}_L$ = ca. 0,4 l/h
– gemessener Wert mit Abluftanlage, ohne Benutzereinfluss $\bar{n}_L$ = ca. 1,0 l/h

n_{L50}-Wert

[4] – MFH in Zürich, 15jährig, Holzfenster ohne Dichtung, Beton-Fassadenelemente und Betondecken.
Je nach Wohnung n_{L50} = 2,5–7,0 l/h
– MFH-Siedlung in Gattikon, 10jährig, Holzfenster ohne Dichtungen, Zweischalenmauerwerk mit Betondecken
Je nach Wohnung n_{L50} = 1,6–2,9 l/h

[5] – Normwert in Schweden für MFH mit Lüftungsanlage n_{L50} < 3 l/h
– Typische Messwerte bei neuen MFH in Schweden oder Kanada n_{L50} = 2–3 l/h

3. Kenngrössen für Einfamilienhäuser

Luftwechsel

[paper 1] typischer mittlerer Luftwechsel über die Heizperiode für schweizerische EFH $\bar{n}_L$ = 0,4 l/h

[1] Tabelle 1 (siehe Abschnitt 2)

[3] Bei der Berechnung des Wärmeleistungsbedarfes wird immer ein Luftwechsel pro Raum zugrundegelegt von mindestens $\bar{n}_L$ = 0,3 l/h
(nur kurzfristig zutreffender Auslegungszustand)

n_{L50}-Wert

[6] 8 neue EFH, Massivbau oder Mischung aus Massiv- und Leichtbau, ausgebaute Dachräume; Differenzdruckmessung nach Beanstandungen
n_{L50} = 1,1–4,6 l/h
Mittel = 2,35 l/h

[5] Typische Messwerte bei neuen EFH in Schweden oder Kanada
n_{L50} = 2–3 l/h
Messwerte bei sehr dicht gebauten EFH (Leichtbauweise) in Kanada oder Schweden, mit Lüftungsanlage
n_{L50} = 0,5–1,0 l/h
Typisches schweizerisches EFH neuerer Konstruktion in Leichtbauweise
n_{L50} = 2–3 l/h

[paper 11] Werte von EFH in USA
«sehr dicht» n_{L50} = 5 l/h
«sehr undicht» n_{L50} > 20 l/h

4. Kenngrössen für Bürogebäude

Luftwechsel

[paper 1] typischer mittlerer Luftwechsel über die Heizperiode für schweizerische Bürogebäude $\bar{n}_L$ = 0,8 l/h

[7] kleineres modernes Bürogebäude in der Schweiz. Luftwechsel mit Benutzereinfluss $\bar{n}_L$ = 0,4 l/h

n_{L50}-Wert

[paper 10] Untersuchung im Zusammenhang mit der Sanierung eines Bürogebäudes in Oslo. 14stöckiges Gebäude, Baujahr 1971
Gesamte Bodenfläche = 7400 m^2
beheiztes Raumvolumen = 24 200 m^3, 1729 m^3 pro Geschoss.

Decken- und Tragkonstruktion in Beton. Wände mit Betonelementen in Sandwich-Konstruktion. Fenster mit Doppelverglasung.

– vor Sanierung: $n_{L50} = 6{,}3$ l/h
(8,6 bei Über-, 4,0 bei Unterdruck)

– nach Sanierung: $n_{L50} = 3{,}0$ l/h
(bei Über- und Unterdruck)

Das Hauptproblem waren massive Spälte zwischen den Wandelementen aus Beton und unter den Fensterbrettern.

[paper 11] Untersuchung an 8 Bürogebäuden in den USA
$n_{L50} = 0{,}7$–$2{,}2$ l/h

[7] kleineres modernes Bürogebäude in der Schweiz $n_{L50} = 1{,}8$ l/h

5. Kenngrössen für Industriebauten

n_{L50}-Wert

[paper 6] Messungen von 3 Bauten (mechanischer Betrieb, Einkaufszentrum, Tennishalle) mit Bodenfläche 4000–6500 m² und Raumvolumen 32 000–61 000 m³. $n_{L50} = 0{,}6$–$1{,}5$ l/h

6. Kenngrössen für Einzelelemente

[3] Rechenwerte für die Fugendurchlässigkeit a_F (Fugendurchlasskoeffizienten) von Fenstern und Türen, wie sie bei der Berechnung des Wärmeleistungsbedarfes verwendet werden und als Garantiewerte gefordert sind.

Konstruktion des Fensters bzw. der Wohnungs- oder Haustüre	a_F [m³/h · m · Pa^2/3]
– älteres Fenster mit Holzrahmen ohne Dichtung – ältere Holztüre ohne Dichtung	0,6
– Fenster mit Holz- oder kombiniertem Metall/Holz-Rahmen, mit Dichtung (Beanspruchungsgruppe A, SIA 180/1) – Türe mit Dichtung	0,3
– Fenster mit Metall-, Kunststoff- oder Holzrahmen mit besonderer Dichtung (Beanspruchungsgruppen B–D, SIA 180/1) – Türe mit besonderer Dichtung (Spezialausführung)	0,2

Tabelle 2

(Labormessungen an neuen Fenstern mit Dichtungen geben meist a_F-Werte unter 0,1 m³/h · m · Pa^2/3.)

[3] Rechenwerte für die Luftdurchlässigkeiten von Rolladenkästen

a) Luftdurchlässigkeit des Kastens

Typ	Ausführung	a_K [m³/h · m · Pa^2/3]
Innenliegend mit vertikalem Servicedeckel	sorgfältige Abdichtung keine Abdichtung	0,015 0,10
Integriert mit horizontalem Servicedeckel	sorgfältige Abdichtung keine Abdichtung	0,03 0,15

Bei aussenliegendem Rolladenkasten wird dessen Luftdurchlässigkeit vernachlässigt.

b) Luftdurchlässigkeit der Durchführung

Typ	Ausführung	a_D [m³/h · Pa^2/3]
Gurte	eher dicht eher undicht	0,08 0,20
Kurbel	dichte Kunststoffplatte Metallplatte	0,045 0,19

Tabelle 3

[paper 16] Zusammenstellung von äquivalenten Leckflächen für eine grosse Zahl von verschiedenen Komponenten. Die Angaben beziehen sich auf einen Referenzdruck von 4 Pa, d. h. Kenngrösse = A_{aeq4}. Unter Annahme einer Luftdichte von $\rho = 1{,}1$ kg/m³ gilt:

$$\dot{V}_4\,[\mathrm{m^3/s}] = 2{,}7 \cdot \frac{A_{aeq\,4}\,[\mathrm{cm^2}]}{10\,000}$$

Und damit unter der üblichen Annahme einer Potenzfunktion mit einem Exponenten von ⅔ für die Spaltströmung:

$$\dot{V}_{50}\,[\mathrm{m^3/s}] = 14{,}5 \cdot \frac{A_{aeq\,4}\,[\mathrm{cm^2}]}{10\,000}$$

Literaturverzeichnis

Mit «paper» bezeichnete Literaturstellen beziehen sich auf den Bericht über das 4. AIC-Seminar in Elm vom 25.–28. September 1983.

[1] Bundesamt für Konjunkturfragen. Handbuch Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen. 5. Auflage, April 1983.

[2] P. Hartmann, A. Müller: Luftwechsel und Lüftungsverhalten. Schweizerische Bauzeitung Nr. 12/84.

[3] Empfehlung SIA 384/2. Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden. Ausgabe 1982.

[4] U. Steinmann, A. Haerter: Experimentelle Untersuchung der Undichtheiten an bestehenden Wohnbauten typischer Bauart. Laufendes NEFF-Forschungsprojekt.

[5] R. Sagelsdorff: Element 23, Wärmeschutz im Hochbau. Schweizerische Ziegelindustrie.

[6] J.-M. Chuard: Differenzdruckmessungen an 8 neuen EFH nach Beanstandungen. Tel. Mitteilung vom 13. 3. 84.

[7] EMPA: Luftaustausch-Messungen an einem kleineren, modernen Bürogebäude. Interne Mitteilungen 1983.

SWISS BAU 85

5.–10. Februar 1985

SWISSBAU-SONDERNUMMER 1. FEBRUAR 1985

Sonderteil Standbesprechungen bis 20. Dezember 1984

Insertionsaufträge bis 20. Dezember 1984

Die Insertionsbedingungen gibt Ihnen gerne bekannt:

Frau E. Schmid, Schweizerische Blätter für Heizung und Lüftung
Olgastrasse 6, Postfach, 8024 Zürich
Telefon 01/251 95 69