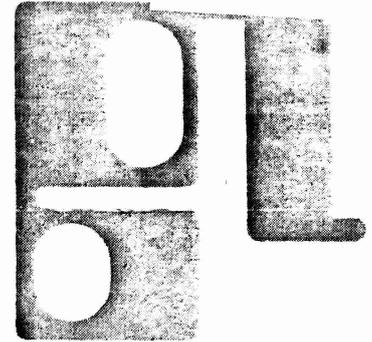


Gesundheits-Ingenieur

Zeitschrift für Hygiene, Gesundheitstechnik, Bauphysik



mit den Fachgebieten Heizungs- und Klimatechnik, Haustechnik, Wasser, Abwasser, Umweltschutz
In Verbindung mit dem Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin-Dahlem; Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, München; Institut für Bauphysik der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., Stuttgart und Holzkirchen, und der Gesundheitstechnischen Gesellschaft, Berlin
Herausgegeben von W. LIESE und K. W. USEMANN
unter Mitwirkung von F. Baum, H. Künzel, W. Niemitz, E. Sprenger

VERLAG R. OLDENBOURG, MÜNCHEN · 99. JAHRGANG 1978 HEFT 4 SEITE 81 – 116

Der Lüftungswärmebedarf von Gebäuden unter Wind- und Auftriebseinflüssen

Ein Vorschlag für den Entwurf 1978 der DIN 4701*

H. ESDORN und W. BRINKMANN

Mitteilung aus dem Hermann-Rietschel-Institut für Heizungs- und Klimatechnik der Technischen Universität Berlin

Es wird ein neues Berechnungsverfahren für den Lüftungswärmebedarf von Gebäuden vorgestellt, das dem Entwurf 1978 DIN 4701 „Wärmebedarfsrechnung von Gebäuden“ zugrunde gelegt ist. Es berücksichtigt im Gegensatz zu der bisherigen Berechnungsmethode nach DIN 4701 (Jan. 59) nicht nur Windeinflüsse, sondern auch die besonders in den unteren Bereichen hoher Gebäude häufig dominierenden Auftriebswirkungen.

Definition des Lüftungswärmebedarfs

Als Lüftungswärmebedarf eines Raumes wird der Wärmestrom zum Aufheizen des Luftmassenstromes von Zuström- auf Raumlufttemperatur bezeichnet, der aufgrund von Druckdifferenzen infolge der Wirkungen von Wind, thermischem Auftrieb oder raumlufttechnischen Anlagen über Undichtigkeiten in den Raum einströmt:

$$\dot{Q}_L = \sum_j [\dot{m}_{Lj} \cdot c_{pLm} \cdot (t_{LR} - t_{Lj})] \quad (1)$$

Mit
 \dot{m}_{Lj} Luftmassenstrom j
 c_{pLm} mittl. spez. Wärmekapazität der Luft bei konstantem Druck zwischen den Temperaturen t_{LR} und t_{Lj}

t_{LR} Raumlufttemperatur
 t_{Lj} Zuströmtemperatur j .

Dabei gilt

$$\dot{m}_{Lj} = \dot{V}_{Lj} \cdot \rho_{Lj} \quad (2)$$

Mit
 \dot{V}_{Lj} Luftvolumenstrom
 ρ_{Lj} Dichte der Luft bei der Temperatur t_{Lj} .

Beschränkt man sich auf Gebäude ohne raumlufttechnische Anlagen¹ und setzt man voraus, daß Luft, die aus dem Gebäude selbst in den betrachteten Raum einströmt, Raumlufttemperatur hat, so sind nur die aufgrund von Wind- und Auftriebsdrücken über die Außenhaut eindringenden Außen-

* Die Arbeit wurde durch den Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau gefördert (B II 5-800170-121).

¹ Nach DIN 1946 Teil 1 Entwurf (1977) kurz: RLT-Anlagen.

luftströme zu erwärmen. Dann ergibt sich für den Lüftungswärmebedarf:

$$\dot{Q}_{La} = \dot{m}_{La} \cdot c_{pLm} \cdot (t_{LR} - t_{La}) \quad (3)$$

Mit

\dot{m}_{La} Außenluftmassenstrom

t_{La} Außenlufttemperatur.

In den Gl. (1) bzw. (3) sind alle Größen mit Ausnahme der Luftmassenströme hinreichend genau bekannt. Unter den für Gl. (3) geltenden Einschränkungen kann man für den über Bauteilfugen einströmenden Außenluftvolumenstrom nach den bekannten vereinfachten Ansätzen für die Spaltströmung im Bereich der Bautechnik [1; 2; 3] schreiben:

$$\dot{V}_{La} = \sum_j (a \cdot L \cdot \Delta p^m)_j \quad (4)$$

Mit

a_j Fugendurchlaßkoeffizient des Bauteils j

L_j Fugengänge des Bauteils j

$\Delta p_j = (p_a - p_i)_j$ Überdruck außen gegenüber innen am Bauteil j

m Exponent.

Für den Exponenten sind strömungstheoretisch Werte zwischen 0,5 und 1,0 möglich. Für die hier anzunehmenden Spalthöhen und Druckdifferenzen kann bekanntermaßen ein Mittelwert von $m = 2/3$ eingesetzt werden.

Über Fugendurchlaßkoeffizienten liegen Messungen in großer Zahl vor (z.B. [2 bis 13]). Außerdem sind mittlere Rechenwerte in DIN 4701 (Jan. 1959) und neuerdings für Fenster und Fenstertüren auch obere Grenzwerte in DIN 18055 [15] bzw. Beiblatt zur DIN 4108 (Nov. 1975) und in einer Rechtsverordnung [16] zum Energieeinsparungsgesetz festgelegt.

Auf die am Bauteil wirksame Druckdifferenz wird weiter unten eingegangen. Sie ist von Wind- und Auftriebseinflüssen abhängig.

Bisheriges Berechnungsverfahren DIN 4701 (Jan. 1959)

Das bisherige Berechnungsverfahren nach DIN 4701 (Jan. 1959), das auf den Arbeiten von *Krischer* und *Beck* ([17 bis 21]) aufbaut, geht im Ansatz von den Gl. (3) und (4) aus, wobei für die wirksamen Druckdifferenzen nur Windwirkungen, und zwar unabhängig von der Gebäudehöhe, berücksichtigt werden. Für Hochhäuser werden im Anhang der Norm einige qualitative Hinweise gegeben.

Aufgrund von Windkanalmessungen von *Flachsbarth* [22] ging man von einer idealisierten Staudruckverteilung an einem Gebäude mit quadratischem Grundriß aus, die in *Bild 1* wiedergegeben ist. Mit den Bezeichnungen nach *Bild 2* ergibt sich damit bei einem senkrecht angeströmten Gebäude ohne Innenwiderstände für jede Öffnung auf der angeblasenen Seite

$$\dot{V}_{La} = A \left[\frac{(\sum N / \sum A)^{3/2}}{1 + (\sum N / \sum A)^{3/2}} \cdot \psi \cdot p_d \right]^{2/3} \quad (5)$$

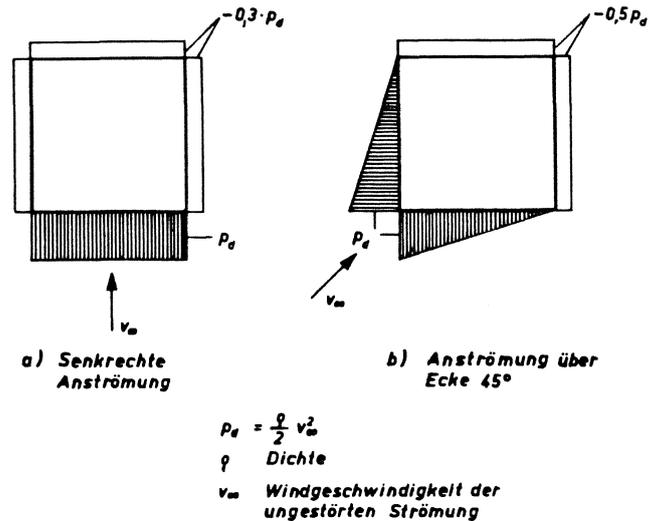


Bild 1. Angenommene Winddruckverteilung nach [18].

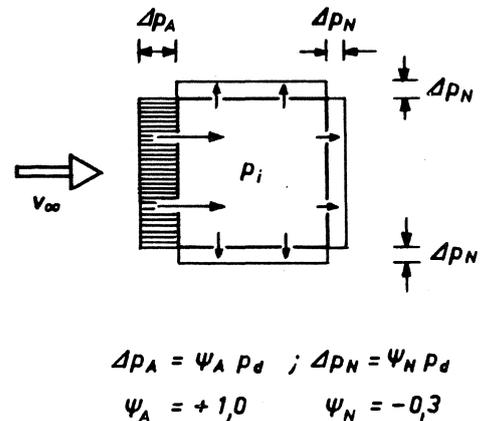


Bild 2. Bezeichnungen zu Gl. (5).

Mit

$A = a \cdot L$ für eine Öffnung der angeblasenen Seite (Luv)

$N = a \cdot L$ für eine Öffnung der nicht angeblasenen Seite (Lee)

$$\psi = \psi_A - \psi_N = 1,3$$

$$p_d = \frac{\rho}{2} v_{\infty}^2 \text{ Dynamischer Druck}$$

v_{∞} Windgeschwindigkeit der ungestörten Strömung.

Mit guter Näherung läßt sich dafür nach [18] schreiben:

$$\dot{V}_{La} \approx 1,2 \left[\frac{\sum N}{\sum A + \sum N} \right]_{\text{Haus}} (\psi \cdot p_d)^{2/3} \quad (6)$$

Für die schräge Anströmung nach *Bild 1 b)* wird in [18] eine ähnliche Beziehung angegeben. Man sieht an der Druckverteilung, daß im Mittel über die angeströmten Fassaden die Druckdifferenz $\psi_m \cdot p_d = (\psi_{Am} - \psi_N) \cdot p_d$ geringer ist als bei senkrechter Anströmung. Nur unmittelbar in der angeströmten Gebäudeecke steigt ψ auf den Wert 1,5 an, ist also ca. 15% größer als bei senkrechter Anströmung.

Bei senkrechter Anströmung ergibt sich nach den Gl. (3) und (6) damit der Lüftungswärmebedarf für das Gebäude ohne Innenwiderstände zu:

$$\dot{Q}_{La} = \sum (a \cdot L)_A \cdot \rho_{La} \cdot c_{pLm} \cdot 1,2 \left[\frac{\sum N}{\sum A + \sum N} \right]_{Haus} (1,3 \cdot p_d)^{2/3} \cdot (t_{LR} - t_{La}) \quad (7)$$

Vernachlässigt man die – im Vergleich mit den sonstigen Unsicherheiten geringen – Unterschiede zwischen dem Rechenwert der Norm-Innentemperatur t_i und der Raumlufttemperatur t_{LR} , gilt

$$\dot{Q}_{La} = \sum (a \cdot L)_A \cdot \rho_{La} \cdot c_{pLm} \cdot 1,2 \left[\frac{\sum N}{\sum A + \sum N} \right]_{Haus} (1,3 \cdot p_d)^{2/3} (t_i - t_a) \quad (8)$$

Mit

t_i Norm-Innentemperatur
 t_a Norm-Außentemperatur

oder

$$\dot{Q}_{La} = \sum (a \cdot L)_A \cdot H \cdot (t_i - t_a) \quad (9)$$

Mit der Hauskenngroße

$$H = \rho_{La} \cdot c_{pLm} \cdot 1,2 \left[\frac{\sum N}{\sum A + \sum N} \right]_{Haus} (1,3 \cdot p_d)^{2/3} \quad (10)$$

Diese ist von der Windgeschwindigkeit (p_d) und von dem Verhältnis der Durchlässigkeiten auf den nicht angeströmten Seiten $\sum N$ zu der Summe aller Durchlässigkeiten $\sum A + \sum N$ abhängig.

Das Durchlässigkeitsverhältnis in Gl. (11) gilt unter der Annahme ähnlicher Öffnungsverteilung auf allen Seiten abhängig von der Zahl der nicht angeströmten Seiten zu der angeströmten Seiten des Gebäudes. Hierin unterscheiden sich die Haustypen „Reihenhaus“ und „Einzelhaus“ nach Bild 3.

Für das Verhältnis $\sum N / (\sum A + \sum N)$ kann man für „Reihenhäuser“ etwa 0,4 ... 0,6 (Mittel 0,5) und für „Einzelhäuser“ etwa 0,6 ... 0,8 (Mittel 0,7) annehmen.

Damit ergeben sich abhängig von der Windgeschwindigkeit v_∞ mit $\rho_{La} \cdot c_{pLm} = 0,31 \text{ kcal/m}^3\text{K}$ in den bisherigen Einheiten der Norm die Hauskenngroßen nach Tab. 1 bzw. in der bekannten Staffelung nach Gegend und Lage des Gebäudes nach DIN 4701 (Jan. 59) die Werte nach Tab. 2.

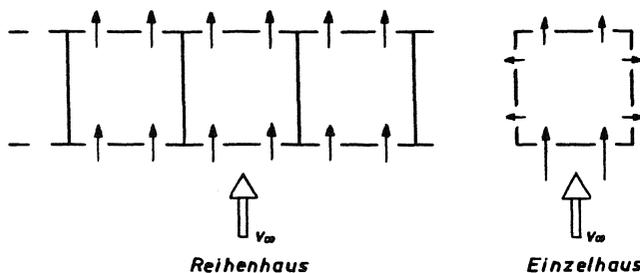


Bild 3. Haustypen nach [20].

Tabelle 1. Hauskenngroßen abhängig von der Windgeschwindigkeit und vom Haustyp.

v_∞ m/s	p_d kp/m ²	Hauskenngroße H	
		Reihenhaus	Einzelhaus
4	1,12	0,24	0,34
6	2,52	0,41	0,58
8	4,47	0,60	0,84
10	7,0	0,82	1,13

Tabelle 2. Hauskenngroße H nach DIN 4701 (Jan. 59).

		Hauskenngroße H	
		Reihenhaus*	Einzelhaus
Normale Gegend	geschützte Lage	0,24	0,34
	freie Lage	0,41	0,58
	außergewöhnlich freie Lage	0,60	0,84
Windstarke Gegend	geschützte Lage	0,41	0,58
	freie Lage	0,60	0,84
	außergewöhnlich freie Lage	0,82	1,13

* Zu der Gruppe der Reihenhäuser gehören in diesem Zusammenhang alle Häuser mit mehreren Wohnungen oder abgetrennten Raumgruppen in einem Geschloß.

Die Innenwiderstände eines Gebäudes wurden nach [18] und entsprechend in der Norm durch einen empirischen Reduktionsfaktor R (Raumkenngroße) berücksichtigt:

$$R = \left[\frac{\sum N}{\sum A + \sum N} \right]_{Raum} \quad (11)$$

Mit

$\sum N = \sum (aL)_N$ für nicht angeströmte Fenster des Raumes sowie Innentüren

$\sum A = \sum (aL)_A$ für angeströmte Fenster.

Für Fenster unmittelbar in Raumecken wird schließlich entsprechend den oben erläuterten Druckverhältnissen ein „Eckfensterzuschlag“ $z_E = 1,2$ gemacht, so daß sich die in der bisherigen Fassung der Norm festgelegte Beziehung für den Lüftungswärmebedarf ergibt:

$$\dot{Q}_{La} = \sum_j (a \cdot L)_j \cdot H \cdot R \cdot z_E \cdot (t_i - t_a) \quad (12)$$

Grundlagen der natürlichen Durchströmung von Gebäuden

Winddruck

a) Äußere Winddruckverteilung an Gebäuden

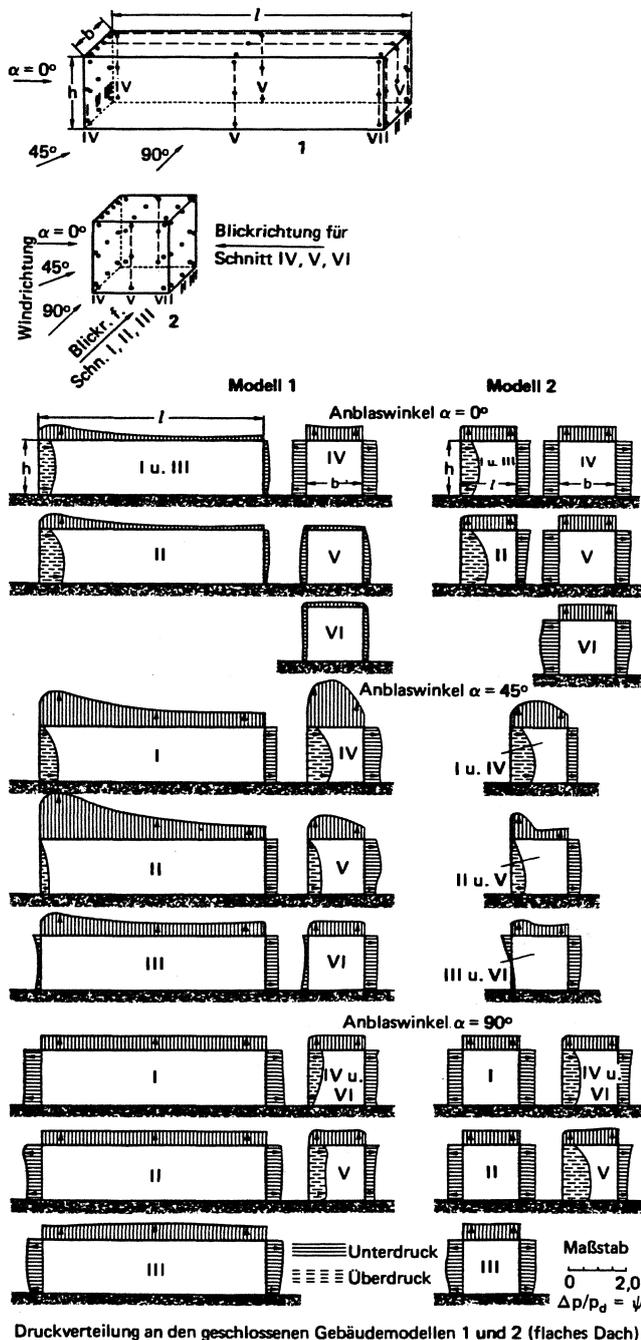
Die natürlichen Druckwirkungen, die eine Luftdurchströmung von Gebäuden bewirken, setzen sich aus Wind- und Auftriebswirkungen zusammen.

Bei Windanströmung bildet sich um das Gebäude ein statisches Differenzdruckfeld gegenüber dem statischen Druck der ungestörten Windströmung vor dem Hindernis aus, das im groben Überblick durch Überdrücke auf den angeströmten Fassaden und Unterdrücke auf den nicht bzw. nur parallel angeströmten Fassaden gekennzeichnet ist. Die Diffe-

renzdrücke sind dem dynamischen Druck der ungestörten Windströmung proportional und werden als Vielfache dieses Druckes dargestellt.

In der Literatur wird über Untersuchungen der Winddruckverteilung sowohl an wirklichen Gebäuden ([37], [49] bis [57]) als auch an Modellen im Windkanal ([22], [58] bis [66]) berichtet. Von den Verfassern dieses Beitrages wurden ebenfalls Messungen an drei Hochhäusern durchgeführt [43].

Die experimentellen Untersuchungen zeigen, daß es wegen der Vielzahl der natürlichen Störeinflüsse sehr problematisch ist, anhand dieser Arbeiten allgemeine Beziehungen für die Winddruckverteilung an Gebäuden abzuleiten. Es kommt hinzu, daß der Schwerpunkt der meisten experimentellen



Druckverteilung an den geschlossenen Gebäudemodellen 1 und 2 (flaches Dach).

Bild 4. Winddruckverteilung an Gebäudemodellen nach O. Flachsbarth [22].

Arbeiten in der Richtung der maximalen Windlastbestimmung für statische Fragen liegt.

Es scheint daher sinnvoller, für die Ermittlung der Winddruckverteilung an Gebäuden von Modellmessungen unter definierten, zeitlich konstanten und isolierten Versuchsbedingungen auszugehen und zusätzlich Erkenntnisse zu berücksichtigen, die bei Vergleichen zwischen Modell- und Originalmessungen gewonnen wurden.

Bild 4 gibt Meßergebnisse von Flachsbarth [22] wieder, auf denen z.B. die vereinfachten Druckverteilungen in Bild 1 basieren. Bild 5 zeigt entsprechende Meßdaten von Frimberger [45]. In Bild 6 sind für einen Gebäudeschnitt parallel zur Windrichtung die Meßwerte verschiedener Autoren für vergleichbare Fälle miteinander verglichen. Beim Vergleich ist zu beachten, daß die besonders auf der Luvseite nach unten abfallenden Werte von Hamilton [46], Hillmann [47] und Jackman [48] bei Ansteigen der Anströmgeschwindigkeit mit der Höhe ermittelt sind und sich auf den dynamischen Druck der ungestörten Strömung in Höhe der oberen Gebäudekante beziehen.

Unter Berücksichtigung der Feststellungen von Newberry und Mitarbeitern [52], wonach an wirklichen Gebäuden die Unterdrücke auf den nicht angeströmten Fassaden infolge der vorhandenen Durchlässigkeiten bis auf 50% der Werte bei Modellmessungen mit absolut dichten Flächen absinken können, stellen die von Krischer und Beck [18] zugrunde gelegten Druckverteilungen (s. Bild 1) auch nach dem heutigen Erkenntnisstand angemessene Näherungen dar. Da sich nach den bisherigen Ausführungen außerdem nur geringfügige Unterschiede für schräge und senkrechte Anströmung ergeben, wird hier mit Rücksicht auf die gebotene Begrenzung des späteren Berechnungsaufwandes und im Hinblick auf die dargestellte große Toleranzbreite aller Daten für die

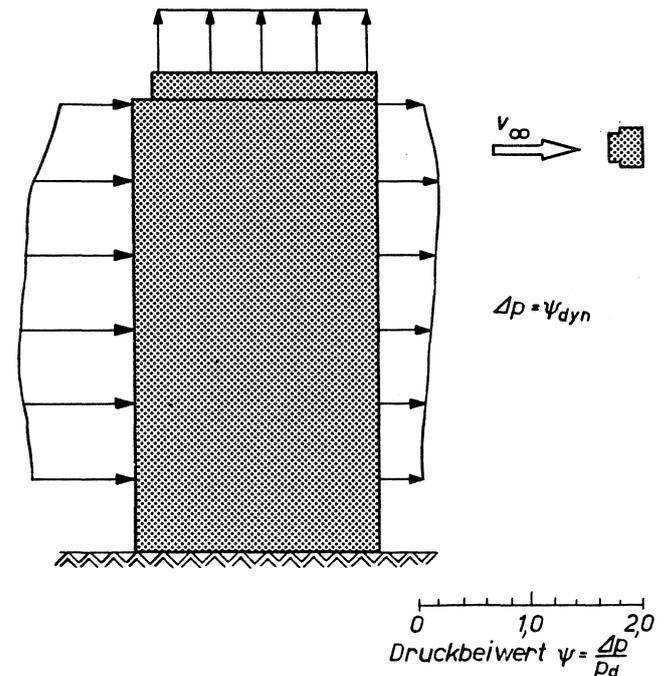


Bild 5. Im Windkanal ermittelte Druckbeiwerte für Dach sowie luv- und leeseitige Fassade eines Hochhausmodells bei höhenkonstanter Anströmgeschwindigkeit nach Frimberger [45].

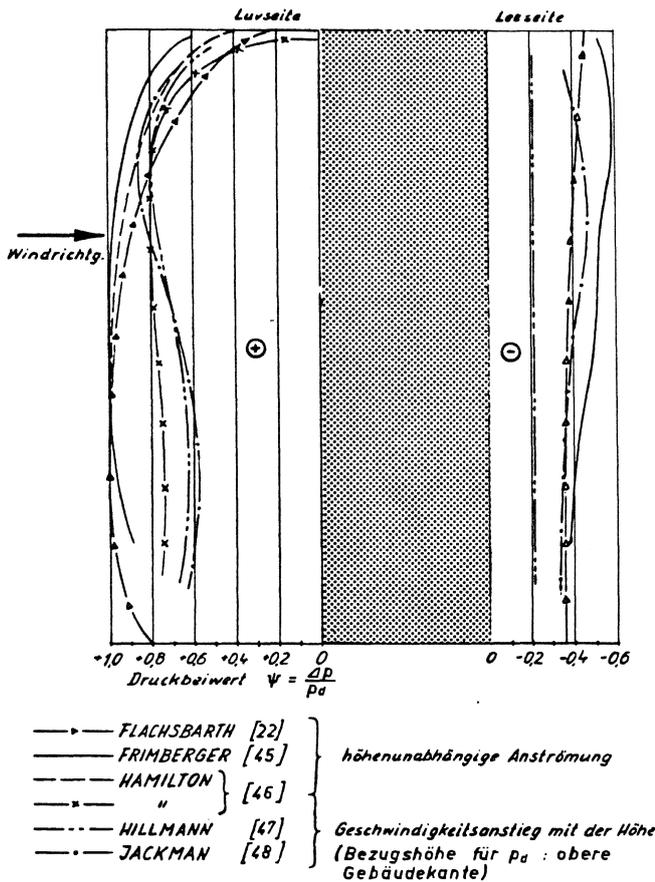


Bild 6. Luv- und leeseitige Druckbeiwerte nach Windkanaluntersuchungen verschiedener Forscher an einfach geformten Modellen. Anströmung über glatte wie auch angeraute Bodenplatte.

folgenden Ableitungen nur von senkrechter Anströmung mit den Druckbeiwerten

$$\psi_A = +1,0 \text{ für angeströmte Fassade}$$

$$\psi_N = -0,3 \text{ für nicht angeströmte Fassaden}$$

ausgegangen.

b) Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit und des Winddruckes

Die Windgeschwindigkeit über einer Landfläche von gleichmäßiger Rauigkeit nimmt als Folge der Bodenreibung mit der Höhe über Terrain stetig zu, wenn überlagerte Vertikalströmungen infolge thermischer Vorgänge (Sonneneinflüsse) ausgeschlossen werden.

Prandtl und Schlichting [33] haben für das Geschwindigkeitsfeld über einer ebenen rauhen Platte abgeleitet:

$$\frac{v_z}{v_*} = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{z}{z_r} \right) \quad (13)$$

Mit

v_z Geschwindigkeit an der Stelle z
 $v_* = \sqrt{u' \cdot w'}$ Schubspannungsgeschwindigkeit

u', w' turbulente Geschwindigkeitsschwankungen in vertikaler und horizontaler Richtung

$\overline{u' \cdot w'}$ zeitlicher Mittelwert des Produktes der Geschwindigkeitsschwankungen

- K Konstante
- z Abstand von der Platte
- z_r Rauigkeitshöhe.

Bezogen auf die Geschwindigkeit in einer Bezugshöhe z_0 läßt sich für Gl. (13) schreiben:

$$\frac{v_z}{v_{z_0}} = \frac{\ln \left(\frac{z}{z_r} \right)}{\ln \left(\frac{z_0}{z_r} \right)} \quad (14)$$

In der Gebäudeaerodynamik üblicher ist wegen der besseren mathematischen Handhabbarkeit ein Potenzansatz, der auf Arbeiten zur Strömung in Rohren und über glatten Platten ([23] bis [31]) zurückgeht:

$$\frac{v_z}{v_{z_0}} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \quad (15)$$

Hierin ist der Exponent $1/\kappa$ von der auf Grenzschichtdicke bezogenen Reynoldszahl abhängig, d.h. im wesentlichen von der Rauigkeitshöhe und der Geschwindigkeit, die die Grenzschichtdicke bestimmen.

In den Tab. 3 und 4 sind κ -Werte für verschiedene typische Oberflächen angegeben. Man sieht, daß für städtische Bebauungen ein Bereich von $2,2 < \kappa < 4,0$ anzusetzen ist.

Zu den behandelten Einflußfaktoren kommen weitere hinzu, die das vertikale Windprofil wesentlich beeinflussen:

- thermische Schichtung der Luft,
- Einfluß vorgelagerter Bebauungen.

Tabelle 3. Kennzeichnende Werte des Potenzansatzes Gl. (15) für das Windprofil über „natürlichen“ Flächen nach Davenport [34].

Meßort	Staat	Höchster Meßpunkt	κ
<i>freie Wasserflächen</i>			
Kaspisches Meer	UdSSR	55 m	10,0
Irische See	Großbritannien	150 m	9,1
Masned-Sund	Dänemark	60 m	9,1
<i>freie Ebenen, annähernd „meteorologische“ Flächen</i>			
Cardington	Großbritannien	100 m	5,9
		45 m	7,7
Dallas	USA	270 m	7,7
Ann Arbor	USA	75 m	7,1
Suffield	Australien	300 m	6,3
Leafield	Großbritannien	180 m	5,9
Sale	Australien	150 m	5,6
Lopik	Niederlande	110 m	5,6
Honshu	Japan	150 m	5,3 (7,1)
London, Ontario	Kanada	150 m	5,0
<i>bewaldetes oder hügeliges Gelände</i>			
Savannah River	USA	240 m	5,9
Clovis, New Mex.	USA	35 m	5,0
Orkney-Inseln		33 m	5,0
Quickborn	Deutschland	65 m	4,6
Brookhaven	USA	120 m	2,9 ... 3,9
Farnborough	Großbritannien	550 m	2,9

Tabelle 4. Kennzeichnende Werte des Potenzansatzes Gl. (15) für das Windprofil über Stadtgebieten nach Davenport [34].

Stadt	Höchster Meßpunkt	κ	Quelle	Bemerkungen
Paris	305 m	2,22	Eiffel 1900 [35]	Eiffelturm, Mittel aus 3 Stürmen
Leningrad	150 m	2,44	Ariel/Kliuchnikova 1960 [36]	Turm-Messungen
New York	380 m	2,56	Rathbun 1940 [37]	Empire State Building
Kopenhagen	75 m	2,63	Jensen 1958 [38]	Turm-Messungen
London, Grb.	185 m	2,78	Shellard 1967 [39]	Sendeturm: Mittelwerte
London, Kanada	40 m	2,78	Davenport 1960 [40]	Sendeturm in einem Vorort
Kiew	180 m	2,86	Ariel/Kliuchnikova 1960 [36]	Turm-Messungen
Tokio	60 m	2,94	Shiotani/Tamamoto [41]	Meßort nahe Königspalast
Tokio	250 m	3,03	Soma 1964 [42]	Vorstadt-Turm, bei Taifunen
Montreal	300 m	3,57	Davenport 1960 [40]	Turm im Botan. Garten über Mt. Royal
St. Louis	140 m	4,00	Davenport 1960 [40]	Fernsehturm

Den Einfluß der thermischen Schichtung auf den Exponenten der Gl. (15) zeigen Bild 7 und Tab. 5.

Vorgelagerte Gebäude können durch Kontraktionsvorgänge in unübersehbarer Weise zu örtlichen Spitzenwerten der Windgeschwindigkeit führen.

Die Betrachtungen über die Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit zeigen, daß der einfache Potenzansatz nach Gl. (15) in Anbetracht der möglichen Störeinflüsse in der Genauigkeit voll ausreichend ist und daß für den Exponenten die Oberflächenbeschaffenheit berücksichtigt werden muß. Für städtische Bebauungen wird hier ein Mittelwert von $\kappa = 3$ gewählt.

Die Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit bedeutet eine entsprechende Abhängigkeit für den dynamischen Druck:

$$\frac{(p_d)_z}{(p_d)_{z_0}} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^{\frac{2}{\kappa}} \quad (16)$$

und damit näherungsweise eine analoge Höhenabhängigkeit der gesamten äußeren Winddruck-Verteilung am Gebäude.

Für den statischen Druck vor der angeströmten Fassade in der Höhe z gilt danach:

$$p_{sA}(z) = p_{s\infty}(z) + \psi_A \frac{\rho}{2} v_{\infty}^2(z) \quad (17)$$

$$= p_{s\infty}(z_0) - \gamma(z - z_0) + \psi_A \cdot \frac{\rho}{2} v_{\infty}^2(z_0) \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^{\frac{2}{\kappa}}$$

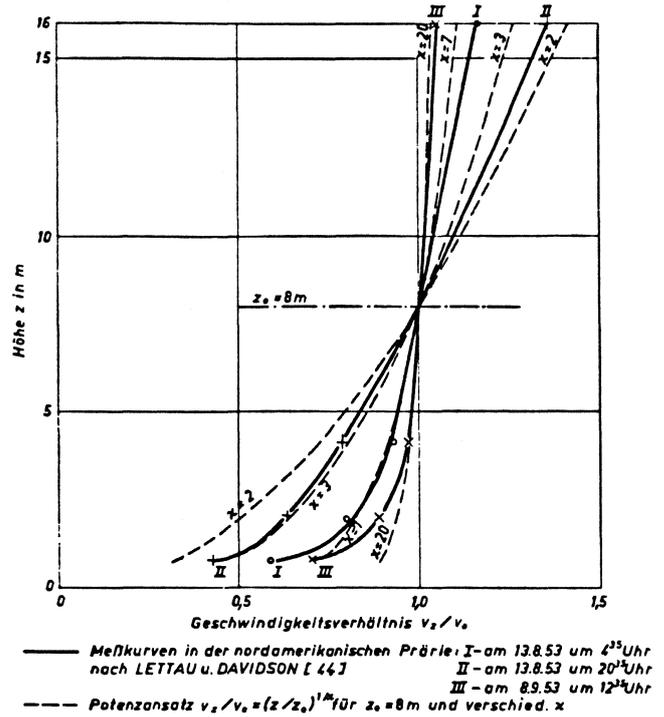


Bild 7. Vergleich von Windgeschwindigkeitsmeßwerten mit dem Potenzansatz Gl. (15) für verschiedene thermische Schichtung. I fast neutral, II extrem stabil, III extrem labil

und für die nicht angeströmten Fassaden

$$p_{sN}(z) = p_{s\infty}(z_0) - \gamma(z - z_0) + \psi_N \cdot \frac{\rho}{2} v_{\infty}^2(z_0) \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^{\frac{2}{\kappa}} \quad (18)$$

Auftriebsdrücke

In Gebäuden, in denen die Innentemperatur von der Außentemperatur verschieden ist, treten als Folge der Wichteunterschiede zwischen außen und innen Differenzdrücke auf. Für ein Gebäude vom Typ eines durchgehenden Schachtes gemäß Bild 8 gilt für den statischen Druck in der Höhe z , wenn in der Höhe z_n Außen- und Innendruck gleich sind:

$$p_{a(z)} = p_{(z_n)} - \gamma_a(z - z_n) \quad (19)$$

$$p_{i(z)} = p_{(z_n)} - \gamma_i(z - z_n). \quad (20)$$

Oder für den Differenzdruck:

$$\Delta p_{th} = p_{i(z)} - p_{a(z)} = (\gamma_a - \gamma_i)(z - z_n). \quad (21)$$

Tabelle 5. Einfluß der Temperaturschichtung auf das Windgeschwindigkeitsprofil nach Gl. (15).

Kurve Nr.	Lufttemperatur in der Höhe $z = 0,5$ m	Lufttemperatur in der Höhe $z = 16$ m	Art der Schichtung	Wertebereich für κ aus Bild 7
I	19,4 °C	20,9 °C	fast neutral	$\kappa = 4,5 \dots 7,0$
II	22,5 °C	27,1 °C	extrem stabil	$\kappa = 2,25 \dots 3,5$
III	29,5 °C	26,6 °C	extrem labil	$\kappa = 5,5 \dots 20,0$

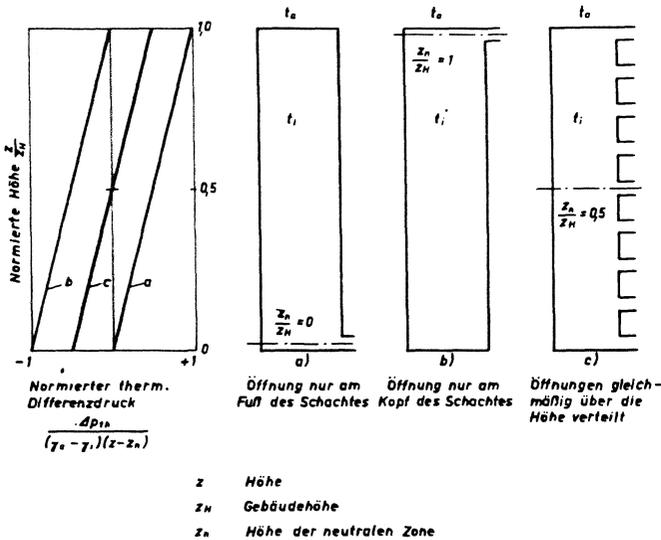


Bild 8. Thermischer Differenzdruck nach Gl. (21) in einem senkrechten Schacht bei verschiedener Öffnungsverteilung für $\gamma_a > \gamma_i$. Voraussetzung: Kein Druckverlust der vertikalen Schachtströmung.

Mit

p statischer Druck

γ Wichte

z Höhe

Indices:

a außen

i innen

z Höhe

n Bezugswert (neutrale Zone).

Die Höhe z_n wird als „neutrale Zone“ bezeichnet, da hier voraussetzungsgemäß $p_i(z) = p_a(z) = p(z_n)$ ist.

Gl. (21) zeigt, daß der Höhengradient des thermischen Dif-

ferenzdruckes $\frac{\partial (\Delta p_{th})}{\partial z} = (\gamma_a - \gamma_i)$ nur von der Wichtedifferenz und damit nach

$$(\gamma_a - \gamma_i) = \gamma_a \left(1 - \frac{T_a}{T_i} \right), \quad (22)$$

mit

T absolute Temperatur

nur von den Temperaturen außen und innen abhängt, während die Lage der neutralen Zone, wie Bild 8 ausweist, durch die Verteilung der Öffnungen über die Höhe bestimmt wird.

Für die Druckverteilung in einem realen Mehrgeschoß-Gebäude ist neben der Höhenverteilung der Fassadendurchlässigkeiten auch die Summe der Durchlässigkeiten zwischen durchgehenden vertikalen Schächten (Aufzugs-, Treppenhaus- oder Abwurfschächten u.ä.) und den Geschossen von Einfluß.

Bild 9 zeigt ein Gebäude, das durch Geschosßdecken vertikal unterteilt ist und in dem alle vertikal durchgehenden Schächte in einem Schacht konzentriert gedacht sind. Bei gleichmäßiger Höhenverteilung der Durchlässigkeiten ergeben sich zwei Grenzfälle für die thermische Druckverteilung:

Grenzfall a: Schachttyp-Gebäude

$$\frac{\delta_a}{\delta_s} = \frac{\int_0^{z_H} \Sigma (a \cdot L)_{az} \cdot dz}{\int_0^{z_H} \Sigma (a \cdot L)_{Sz} dz} \rightarrow 0 \quad (23)$$

Grenzfall b: Geschosßtyp-Gebäude

$$\frac{\delta_a}{\delta_s} = \frac{\int_0^{z_H} \Sigma (a \cdot L)_{az} dz}{\int_0^{z_H} \Sigma (a \cdot L)_{Sz} dz} \rightarrow \infty \quad (24)$$

Mit Indices:

a Außen / Geschosß

S Geschosß / Schacht.

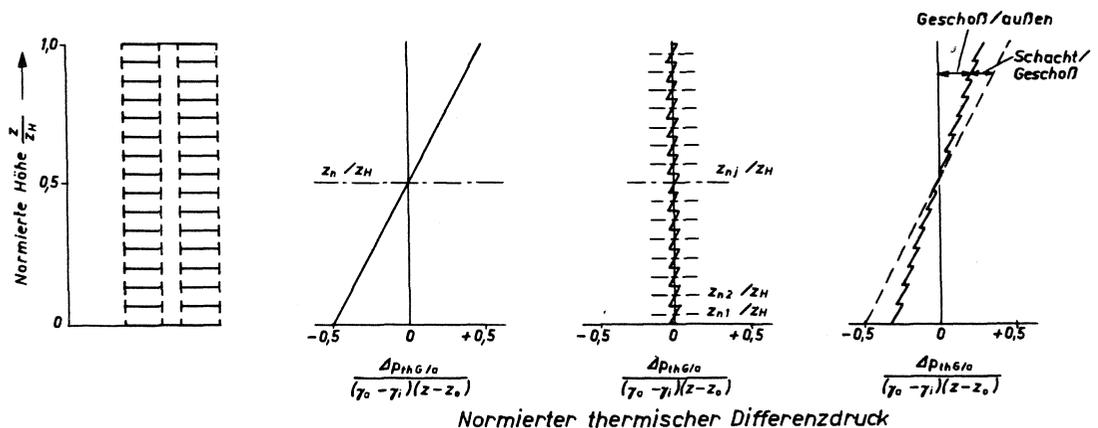


Bild 9. Thermischer Differenzdruck in Abhängigkeit von der Höhe für zwei Grenzfälle von Gebäuden und im Normalgebäude bei $\gamma_a > \gamma_i$. Voraussetzung: Kein Druckverlust in der vertikalen Schachtströmung.

Schnitt in Höhe z

$$\delta = \frac{1}{z_n} \int_0^{z_H} (aL)_z dz$$

a) Schachttyp-Gebäude $\frac{\delta_a}{\delta_s} \rightarrow 0$

b) Geschosßtyp-Gebäude $\frac{\delta_a}{\delta_s} \rightarrow \infty$

c) reales Gebäude $0 < \frac{\delta_a}{\delta_s} < \infty$

In einem Gebäude vom *Schachttyp* wirken sich thermische Druckkräfte extrem stark aus. Bei gleichmäßiger Höhenverteilung der Durchlässigkeiten in der Fassaden- und in der Schachtebene liegt die neutrale Zone in halber Gebäudehöhe. In der oberen Gebäudehälfte herrscht in den Geschossen gegenüber außen Überdruck, in der unteren Unterdruck.

In einem Gebäude vom *Geschoßtyp* dagegen treten – geringe – thermische Druckkräfte nur innerhalb jeden Geschosses auf. Jedes Geschoss hat im Flächenschwerpunkt seiner Durchlässigkeiten eine eigene neutrale Zone.

Für reale Gebäude des Grundrisses nach *Bild 9* stellt sich unter den genannten Randbedingungen eine thermische Druckverteilung gemäß *Fall c* ein. Weitere Grundrißunterteilungen, ungleichmäßige Durchlässigkeitsverteilung über die Höhe, separate Schächte unterschiedlicher Durchlässigkeit u.a.m. erfordern die Aufstellung von Massenbilanzen unter Berücksichtigung aller Strömungswege im gesamten Gebäude. Der erforderliche Berechnungsaufwand ist für Zwecke der Wärmebedarfsrechnung nicht vertretbar. Die weiteren Betrachtungen werden daher auf die beiden Grenzfälle des Schachttyp- und des Geschoßtyp-Gebäudes beschränkt, die die Ermittlung des ungünstigsten Falles für den Lüftungswärmebedarf ermöglichen.

Druckverteilung unter Wind- und Auftriebseinflüssen

Sind gleichzeitig Wind- und Auftriebskräfte wirksam, ergeben sich die statischen Drücke nach den Gl. (17) bis (20) für die angeströmte Seite zu:

$$P_{saA}(z) = P_{s\infty}(z_0) - \gamma_a \cdot (z - z_0) + \psi_A \frac{\rho_a}{2} v_{\infty}^2(z_0) \left(\frac{z}{z_0}\right)^{\frac{2}{k}} \quad (25)$$

und für die nicht angeströmte zu:

$$P_{saN}(z) = P_{s\infty}(z_0) - \gamma_a \cdot (z - z_0) + \psi_N \frac{\rho_a}{2} v_{\infty}^2(z_0) \left(\frac{z}{z_0}\right)^{\frac{2}{k}} \quad (26)$$

Für den statischen Innendruck in der Höhe z gilt für ein *Schachttyp-Gebäude* (*Bild 9*):

$$P_{si}(z) = P_{si}(z_{nA}) - \gamma_i (z - z_{nA}) \quad (27)$$

mit

$$P_{si}(z_{nA}) = P_{sa}(z_{nA}) \quad (28)$$

Darin bedeutet:

z_{nA} Höhe der neutralen Zone bezogen auf die angeströmte Seite.

Bezogen auf die nicht angeströmte Seite gilt analog:

$$P_{si}(z) = P_{si}(z_{nN}) - \gamma_i (z - z_{nN}) \quad (29)$$

mit

$$P_{si}(z_{nN}) = P_{sa}(z_{nN}) \quad (30)$$

Da der statische Außendruck am Gebäude bei Windanströmung für die verschiedenen Fassaden unterschiedlich ist –

unter den getroffenen Einschränkungen hier für die angeströmte Seite A und die nicht angeströmten Seiten N – ergeben sich beim Schachttyp-Gebäude zwei neutrale Zonen, wobei die für die Seite A niedriger liegt als für den gleichen Fall ohne Windeinfluß und für die Seiten N höher. Bei hohen Windgeschwindigkeiten bzw. geringen Gebäudehöhen kann sie für die Seite A rechnerisch unter dem Nullniveau ($z < 0$) liegen.

Die Höhen z_{nA} bzw. z_{nN} ergeben sich aus der Luftmassenbilanz für das gesamte Gebäude, nach der die Summe aller ein- und ausströmenden Luftmassen Null sein muß (s. folgenden Abschnitt).

Für ein *Geschoßtyp-Gebäude* sind bei der zulässigen Annahme aller Durchlässigkeiten in der Mittelebene der Geschosse thermische Druckwirkungen ohne Einfluß auf die Durchströmung, so daß die Einführung neutraler Zonen nicht sinnvoll ist. Die Innendrucke ergeben sich aus den Massenstrombilanzen ohne Berücksichtigung thermischer Drücke (s. folgenden Abschnitt).

Massenstrombilanzen für zwei Grenzfälle von Gebäudetypen

a) Schachttypgebäude

Für das Gesamtgebäude müssen die Summen der ein- und ausströmenden Luftmassen Null sein:

$$\sum_H \dot{m}_{ZU} + \sum_H \dot{m}_{AB} = 0 \quad (31)$$

oder:

$$\begin{aligned} & \frac{A_H}{z_{nA}} \rho_a \int_0^{z_{nA}} (P_{saA} - P_{si})_z^m dz + \\ & + \frac{N_H}{z_{nN}} \rho_a \int_0^{z_{nN}} (P_{saN} - P_{si})_z^m dz + \\ & + \frac{A_H}{z_H - z_{nA}} \rho_i \int_{z_{nA}}^{z_H} (P_{saA} - P_{si})_z^m dz + \\ & + \frac{N_H}{z_H - z_{nN}} \rho_i \int_{z_{nN}}^{z_H} (P_{saN} - P_{si})_z^m dz = 0. \end{aligned} \quad (32)$$

Darin bedeuten:

$A_H = \sum_H (aL)_A$ Durchlässigkeit der gesamten angeströmten Fassade

$N_H = \sum_H (aL)_N$ Durchlässigkeit der gesamten nicht angeströmten Fassaden.

Die Integrale in den Grenzen von 0 bis z_{nA} bzw. z_{nN} kennzeichnen dabei die einströmenden Anteile \dot{m}_{ZU} , die mit den Grenzen z_{nA} bzw. z_{nN} bis z_H die ausströmenden \dot{m}_{AB} .

Mit den Gl. (25), (26), (27), (29) erhält man:

$$\sum_H \dot{m}_{ZU} = \frac{A_H}{z_{nA}} \cdot \rho_a \cdot \int_0^{z_{nA}} \left\{ \psi_A \frac{\rho_a}{2} v_{\infty}^2(z_0) \left[\left(\frac{z}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{z_{nA}}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} \right] - (\gamma_a - \gamma_i)(z - z_{nA}) \right\} dz + \frac{N_H}{z_{nN}} \rho_a \int_0^{z_{nN}} \left\{ \psi_N \frac{\rho_a}{2} v_{\infty}^2(z_0) \cdot \left[\left(\frac{z}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{z_{nN}}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} \right] - (\gamma_a - \gamma_i)(z - z_{nN}) \right\} dz \quad (33)$$

mit z_0 Bezugshöhe für die Windgeschwindigkeit $v_{\infty}(z_0)$ und

$$\sum_H \dot{m}_{AB} = \frac{A_H}{z_H - z_{nA}} \rho_i \cdot \int_{z_{nA}}^{z_H} \left\{ \psi_A \frac{\rho_a}{2} v_{\infty}^2(z_0) \left[\left(\frac{z}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{z_{nA}}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} \right] - (\gamma_a - \gamma_i)(z - z_{nA}) \right\} dz + \frac{N_H}{z_H - z_{nN}} \rho_i \cdot \int_{z_{nN}}^{z_H} \left\{ \psi_N \frac{\rho_a}{2} v_{\infty}^2(z_0) \left[\left(\frac{z}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{z_{nN}}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} \right] - (\gamma_a - \gamma_i)(z - z_{nN}) \right\} dz \quad (34)$$

Die Koordinaten der neutralen Zonen z_{nA} und z_{nN} ergeben sich aus den Gl. (32) bzw. (33) und (34) sowie aus den Gl. (28) und (30).

Bild 10a zeigt die Differenzdruckverteilung und Bild 10b die Massenstromverteilung für ein Schachttypgebäude nach Bild 9 mit gleichmäßiger Durchlässigkeitsverteilung über alle Fassaden, d.h. für $A_H : A_N = 1 : 3$ (quadratisches Einzelhaus) bei Windgeschwindigkeiten von $v_{\infty}(z_0) = 2$ m/s, 4 m/s und 6 m/s. Sonstige Voraussetzungen:

- $z_H = 100$ m
- $t_i = 20$ °C
- $t_a = -14$ °C
- $\psi_A = +1,0$
- $\psi_N = -0,3$
- $\kappa = 3$
- $m = 2/3$
- $z_0 = 10$ m

Man entnimmt Bild 10b, daß in den unteren Gebäudeteilen infolge der thermischen Drücke Luft auch von den nicht angeströmten Seiten in das Gebäude eindringen kann.

In Bild 11a und 11b sind die entsprechenden Differenzdruck- und Massenstromverteilungen für ein unendlich langes Reihenhause mit $A_H : A_N = 1 : 1$ dargestellt.

b) Geschoßtyp-Gebäude

Da kein Austausch in der Vertikalen erfolgt, gilt für jedes Geschoß mit der mittleren Höhe \bar{z} über Erdgleiche:

$$\dot{m}_{ZU}(\bar{z}) + \dot{m}_{AB}(\bar{z}) = 0 \quad (35)$$

oder

$$A_G \cdot \rho_a \left\{ p_{s_{\infty}(z_0)} + \psi_A \frac{\rho_a}{2} v_{\infty}^2(z_0) \left(\frac{\bar{z}}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - p_{si} \right\}^m + N_G \cdot \rho_i \left\{ p_{s_{\infty}(z_0)} + \psi_N \frac{\rho_a}{2} v_{\infty}^2(z_0) \left(\frac{\bar{z}}{z_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - p_{si} \right\}^m = 0 \quad (36)$$

und daraus mit $\frac{A_G}{N_G} = \frac{A_H}{N_H}$ gemäß Voraussetzung

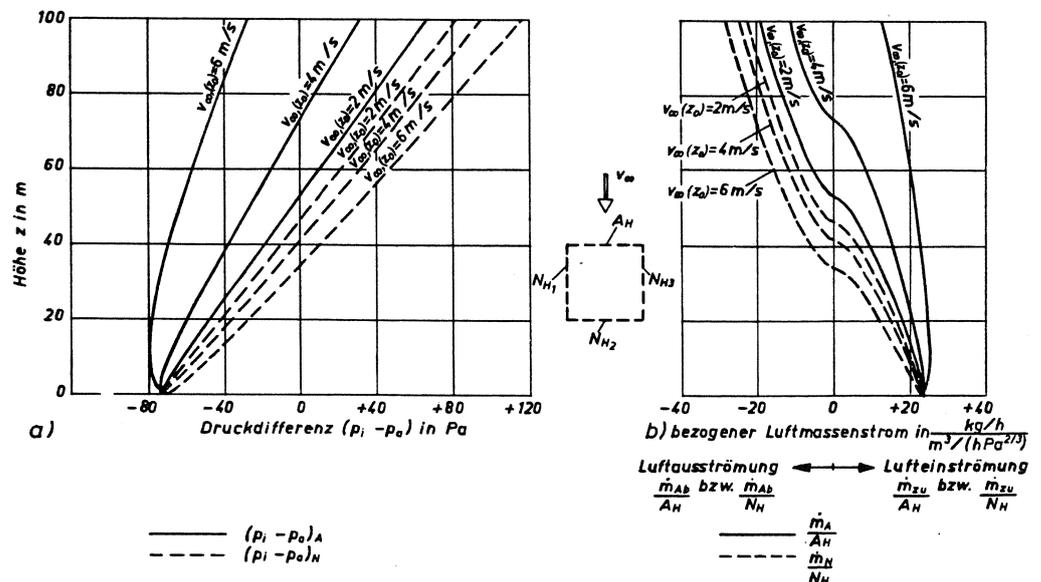


Bild 10. Differenzdrücke und bezogene Luftmassenströme infolge Wind und Auftrieb in einem 100 m hohen Schachttyp-Gebäude bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten ($A_H : N_H = 1 : 3$; quadratisches Einzelhaus). Außentemperatur $t_a = -14$ °C; Innentemperatur $t_i = +20$ °C.

Luftausströmung \leftarrow \rightarrow Lufteinströmung

$\frac{\dot{m}_{AB}}{A_H}$ bzw. $\frac{\dot{m}_{AB}}{N_H}$ $\frac{\dot{m}_A}{A_H}$ $\frac{\dot{m}_N}{N_H}$

$\frac{\dot{m}_{ZU}}{A_H}$ bzw. $\frac{\dot{m}_{ZU}}{N_H}$ $\frac{\dot{m}_A}{A_H}$ $\frac{\dot{m}_N}{N_H}$

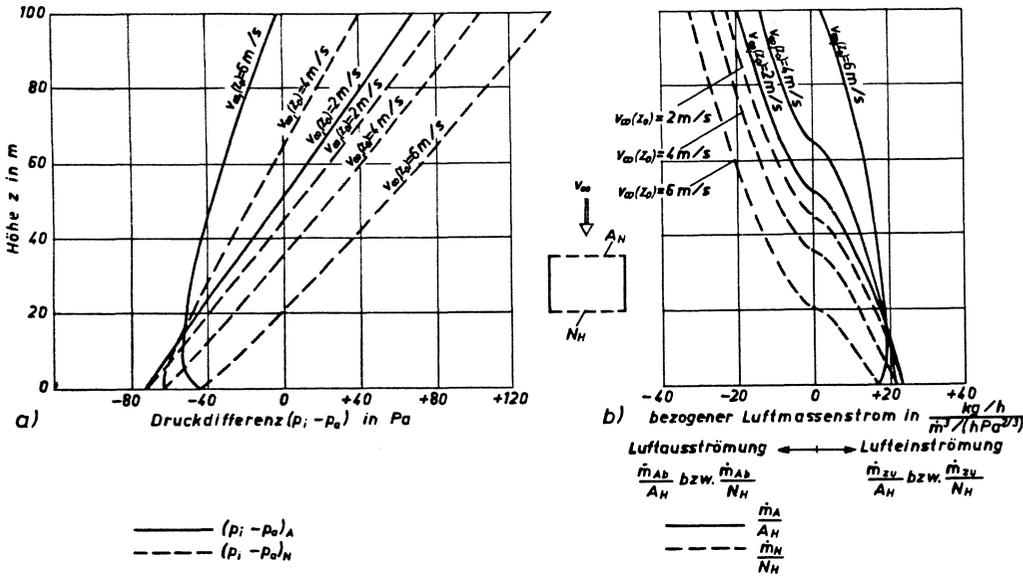


Bild 11. Differenzdrücke und bezogene Luftmassenströme infolge Wind und Auftrieb in einem 100 m hohen Schachttyp-Gebäude bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten ($A_H:N_H = 1:1$; unendliches Reihnhaus). Außentemperatur $t_a = -14^\circ\text{C}$; Innentemperatur $t_i = +20^\circ\text{C}$.

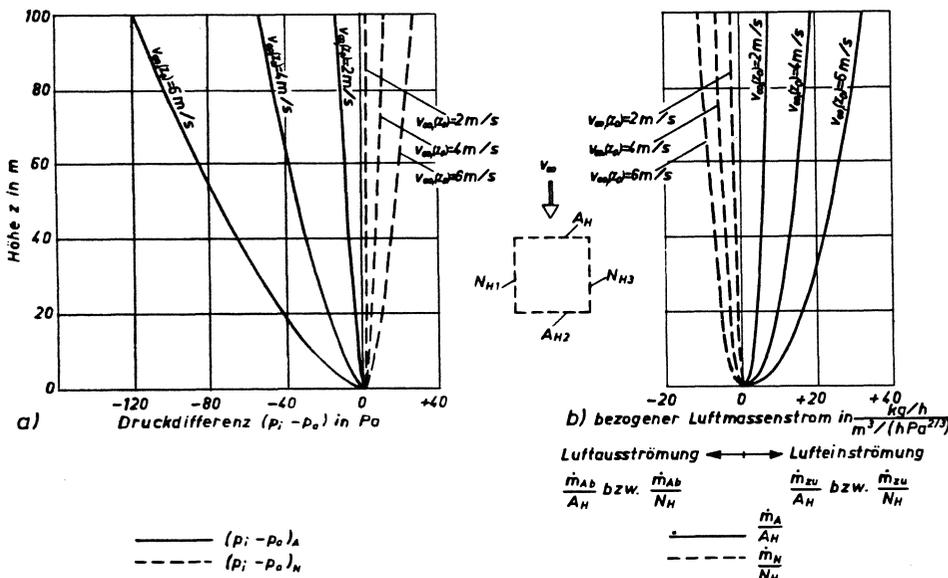


Bild 12. Differenzdrücke und bezogene Luftmassenströme infolge Wind und Auftrieb in einem 100 m hohen Geschößtyp-Gebäude bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten ($A_H:N_H = 1:3$; quadratisches Einzelhaus). Außentemperatur $t_a = -14^\circ\text{C}$; Innentemperatur $t_i = +20^\circ\text{C}$.

$$p_{si} = p_{s\infty}(z_0) + \frac{\rho_a}{2} v_{\infty}^2(z_0) \left(\frac{z}{z_0}\right)^{\frac{2}{K}} \quad (37)$$

$$\psi_A \frac{\left(\frac{A_H}{N_H} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_i}\right)^{\frac{1}{m}} + \psi_N}{\left(\frac{A_H}{N_H} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_i}\right)^{\frac{1}{m}} + 1}$$

Bild 12a zeigt die Differenzdruckverteilung und Bild 12b die Massenstromverteilung für ein Geschößtyp-Gebäude nach Bild 9 mit gleichmäßiger Durchlässigkeitsverteilung über alle Fassaden, d.h. für $A_H : A_N = 1 : 3$ (quadratisches Einzelhaus) bei Windgeschwindigkeiten von $v_{\infty}(z_0) = 2 \text{ m/s}$, 4 m/s und 6 m/s . Sonstige Voraussetzungen wie für Bild 10.

In Bild 13a und 13b sind die entsprechenden Differenzdrücke und Massenstromverteilungen für ein unendlich langes Reihnhaus mit $A_H : A_N = 1:1$ dargestellt.

Lüftungwärmebedarf bei Wind- und Auftriebseinflüssen

Schachttyp-Gebäude

Nach Gl. (3) ergibt sich der Lüftungwärmebedarf aus dem in das Gebäude eindringenden Außenluftmassenstrom \dot{m}_{La} zu:

$$\dot{Q}_{La} = \dot{m}_{La} \cdot c_{pLm} (t_{LR} - t_{La}).$$

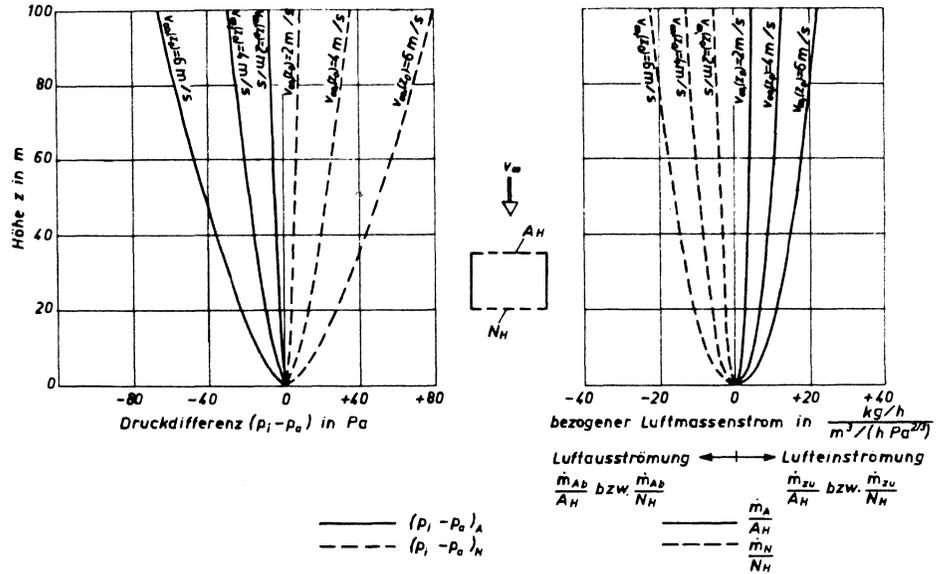
Unterteilt man den Außenluftstrom $\sum \dot{m}_{ZU}$ nach Gl. (33) in einen Anteil $\dot{m}_{ZU,A}$ der über die angeströmte Seite A, und in einen Anteil $\dot{m}_{ZU,N}$, der über die nicht angeströmten Seiten N eindringt, gilt für die Höhe z:

$$\dot{Q}_{La(z)} = (\dot{m}_{ZU,A} + \dot{m}_{ZU,N})_z \cdot c_{pLm} \cdot (t_i - t_a). \quad (38)$$

Mit einer Definition analog Gl. (9) erhält man daraus eine Hauskenngröße für die angeströmte Seite:

$$H_{SA(z)} = \frac{\dot{m}_{ZU,A(z)} \cdot c_{pLm}}{A_H} \quad (39)$$

Bild 13. Differenzdrücke und bezogene Luftmassenströme infolge Wind und Auftrieb in einem 100 m hohen Geschoßtyp-Gebäude bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten ($A_H:N_H = 1$; unendliches Reihenhäuser). Außentemperatur $t_a = -14^\circ\text{C}$; Innentemperatur $t_i = +20^\circ\text{C}$.



und für die nicht angeströmte Seite:

$$H_{SN(z)} = \frac{\dot{m}_{ZU,N(z)} \cdot c_{pLm}}{N_H} \quad (40)$$

Bis auf den Faktor c_{pLm} entsprechen diese Hauskenngrößen den bezogenen Luftmassenströmen in den Bildern 10² und 11² für $\dot{m} > 0$ (\dot{m}_{ZU}).

Damit läßt sich der Lüftungswärmebedarf eines Schachttyp-Gebäudes bei Wind- und Auftriebswirkungen für einen Raum in der Höhe z allgemein beschreiben durch:

$$\dot{Q}_{La(z)} = \{ \Sigma(a \cdot L)_A H_{SA} + \Sigma(a \cdot L)_N \cdot H_{SN} \}_z \cdot r \cdot (t_i - t_a) \quad (41)$$

Mit

- $\Sigma(aL)_A$ Durchlässigkeit der angeströmten Seiten des Raumes
- $\Sigma(aL)_N$ Durchlässigkeit der nicht angeströmten Seiten des Raumes
- r Raumkenngröße nach Gl. (11)³.

Für die Hauskenngrößen gilt nach Gl. (33) und mit

$$(\gamma_a - \gamma_i) = g \cdot \rho_a \left(1 - \frac{T_a}{T_i} \right) :$$

$$H_{SA(z)} = c_{pLm} \cdot \rho_a \left\{ \psi_A \frac{\rho_a}{z} v_\infty^2(z_0) \cdot \left[\left(\frac{z}{z_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{z_{nA}}{z_0} \right)^{\frac{2}{k}} \right] - g \cdot \rho_a \left(1 - \frac{T_a}{T_i} \right) (z - z_{nA}) \right\}^m \quad (42)$$

und

$$H_{SN(z)} = c_{pLm} \cdot \rho_a \left\{ \psi_N \frac{\rho_a}{2} v_\infty^2(z_0) \cdot \left[\left(\frac{z}{z_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{z_{nN}}{z_0} \right)^{\frac{2}{k}} \right] - g \cdot \rho_a \left(1 - \frac{T_a}{T_i} \right) (z - z_{nN}) \right\}^m \quad (43)$$

Mit

- g Fallbeschleunigung
- T absolute Temperatur.

Geschoßtyp-Gebäude

Bei diesem Gebäudetyp ist (s.o.) nur Einströmung auf der angeströmten Seite möglich, so daß die Hauskenngröße H_N stets Null ist.

Aus den Gl. (36), (37) und (39) sowie mit $\rho_a/\rho_i = T_i/T_a$ ergibt sich für ein Geschoßtyp-Gebäude:

$$H_{GA}(\bar{z}) = c_{pLm} \cdot \rho_a \left\{ \frac{\rho_a}{2} v_\infty^2(z_0) \left(\frac{\bar{z}}{z_0} \right)^{\frac{2}{k}} \cdot \frac{\psi_A - \psi_N}{\left(\frac{A_H}{N_H} \cdot \frac{T_i}{T_a} \right)^{\frac{1}{m}} + 1} \right\} \quad (44)$$

mit

\bar{z} mittlere Höhe des betrachteten Geschosses über Erdgleiche.

Maximal möglicher Lüftungswärmebedarf für reale Gebäude

a) Berechnungsansätze

Wegen der großen Vielfalt denkbarer strömungstechnischer innerer Unterteilungen von Gebäuden ist es mit einem — auch angesichts der Unsicherheit der Einzelrechengrößen — vertretbaren Rechenaufwand nicht möglich, die Durchströmungsverhältnisse eines Gebäudes zum Zwecke der Berechnung des Lüftungswärmebedarfs rechnerisch korrekt zu erfassen. Selbst die Zuordnung zu einem der beiden abgeleiteten Grenzfälle für die Durchströmung (Schachttyp-Gebäude oder Geschoßtyp-Gebäude) erfordert einen solchen Umfang von Überschlagsrechnungen bzw. eine solche Erfahrung speziell in diesen Fragen, daß dieses Verfahren weder vom Zeit-

² Dort jedoch für Gebrauch mit quadratischem Grundriß ($A_H : N_H = 1 : 3$).

³ Hier r statt R wegen der Schreibweise im Entwurf 1978 der DIN 4701.

aufwand noch von den Anforderungen an den Projektanten her vertretbar erscheint.

Es ist daher zweckmäßig, jeweils alternativ den Lüftungswärmebedarf unter der Annahme eines Schachttyp-Gebäudes und eines Geschoßtyp-Gebäudes zu ermitteln und den größeren Wert als Norm-Lüftungswärmebedarf einzusetzen.

Die Abschätzung des ungünstigeren Falles wird erleichtert, wenn man die höhenabhängigen Hauskenngrößen durch eine Standard-Hauskenngröße, die auf eine festgelegte Höhe bezogen ist, und durch Höhenkorrekturfaktoren ϵ darstellt:

Für die Bezugshöhe bietet sich 10 m an, da die Windgeschwindigkeitsangaben der Wetterämter in der Regel auf diese Höhe bezogen sind. Als Gebäudetyp für die Standard-Hauskenngröße wird das Geschoßtyp-Gebäude gewählt, da dieses für niedrige Gebäude den Grenzfall darstellt und außerdem dem seitherigen Rechnungsgang nach DIN 4701 (Jan. 59) entspricht (nur Windeinfluß).

Damit ergeben sich für:

Schachttyp-Gebäude

$$H_{SA(z)} = H_{G10} \cdot \epsilon_{SA} \quad (45)$$

$$H_{SN(z)} = H_{G10} \cdot \epsilon_{SN} \quad (46)$$

mit

$H_{G10} = H_{GA}$ für ein Geschoßtyp-Gebäude bezogen auf die Höhe $z = z_0 = 10$ m nach Gl. (44).

Geschoßtyp-Gebäude

$$H_{GA(z)} = H_{G10} \cdot \epsilon_{GA} \quad (47)$$

$$H_{GN(z)} = H_{G10} \cdot \epsilon_{GN} = 0; \quad \epsilon_{GN} = 0 \quad (48)$$

Für den Lüftungswärmebedarf gilt damit:

Schachttyp-Gebäude

$$\dot{Q}_{LS} = [\epsilon_{SA} \sum_j (a \cdot L)_{Aj} + \epsilon_{SN} \sum_j (a \cdot L)_{Nj}] \cdot H_{G10} \cdot r (t_i - t_a). \quad (49)$$

Analog den einleitenden Ausführungen dieses Aufsatzes über die geringen Unterschiede zwischen senkrechter Anströmung nur einer Fassade und gleichzeitiger Schräganströmung zweier aneinanderstoßender Fassaden können ein oder zwei aneinanderstoßende Außenflächen wie bei der seitherigen Berechnung nach DIN 4701 (Jan. 1959) als angeströmt gerechnet werden. Für sehr hohe Gebäude kann insbesondere bei niedrigen Windgeschwindigkeiten der größte Lüftungswärmebedarf \dot{Q}_{LS} auftreten, wenn nur eine Seite als angeströmt gerechnet wird (überwiegender Auftriebsinfluß).

Für Gebäude bis 10 m Höhe werden zweckmäßig keine Auftriebsinflüsse berücksichtigt. Danach wird für $0 \leq z_H \leq 10$ m:

$$\dot{Q}_{LS} = 0.$$

Geschoßtyp-Gebäude

$$\dot{Q}_{LG} = \epsilon_{GA} \sum_j (a \cdot L)_{Aj} \cdot H_{G10} \cdot r (t_i - t_a). \quad (50)$$

Für Höhen bis 10 m wird zweckmäßig mit $\epsilon_{GA} = 1$ gerechnet, da die rechnerische Geschwindigkeitsabnahme für $z < 10$ m in üblichen Bebauungen nicht als real angesehen werden kann.

Damit wird für $0 \leq z_H \leq 10$ m:

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{LG} = \sum_j (a \cdot L)_{Aj} \cdot H_{G10} \cdot r (t_i - t_a). \quad (51)$$

Als Norm-Lüftungswärmebedarf \dot{Q}_{LN} für natürlich durchströmte Gebäude (ohne RLT-Anlagen) gilt:

$$\text{Wenn } \dot{Q}_{LS} > \dot{Q}_{LG}: \quad \dot{Q}_{LN} = \dot{Q}_{LS} \quad \text{nach Gl. (49)}$$

$$\text{Wenn } \dot{Q}_{LS} < \dot{Q}_{LG}: \quad \dot{Q}_{LN} = \dot{Q}_{LG} \quad \text{nach Gl. (50)}$$

b) Zahlenwerte

1. Allgemeines

Für die Bestimmung der Standard-Hauskenngrößen H_{G10} und der Höhenkorrekturfaktoren ϵ_{GA} , ϵ_{SA} , ϵ_{SN} sind Zahlenwerte für folgende Parameter festzulegen:

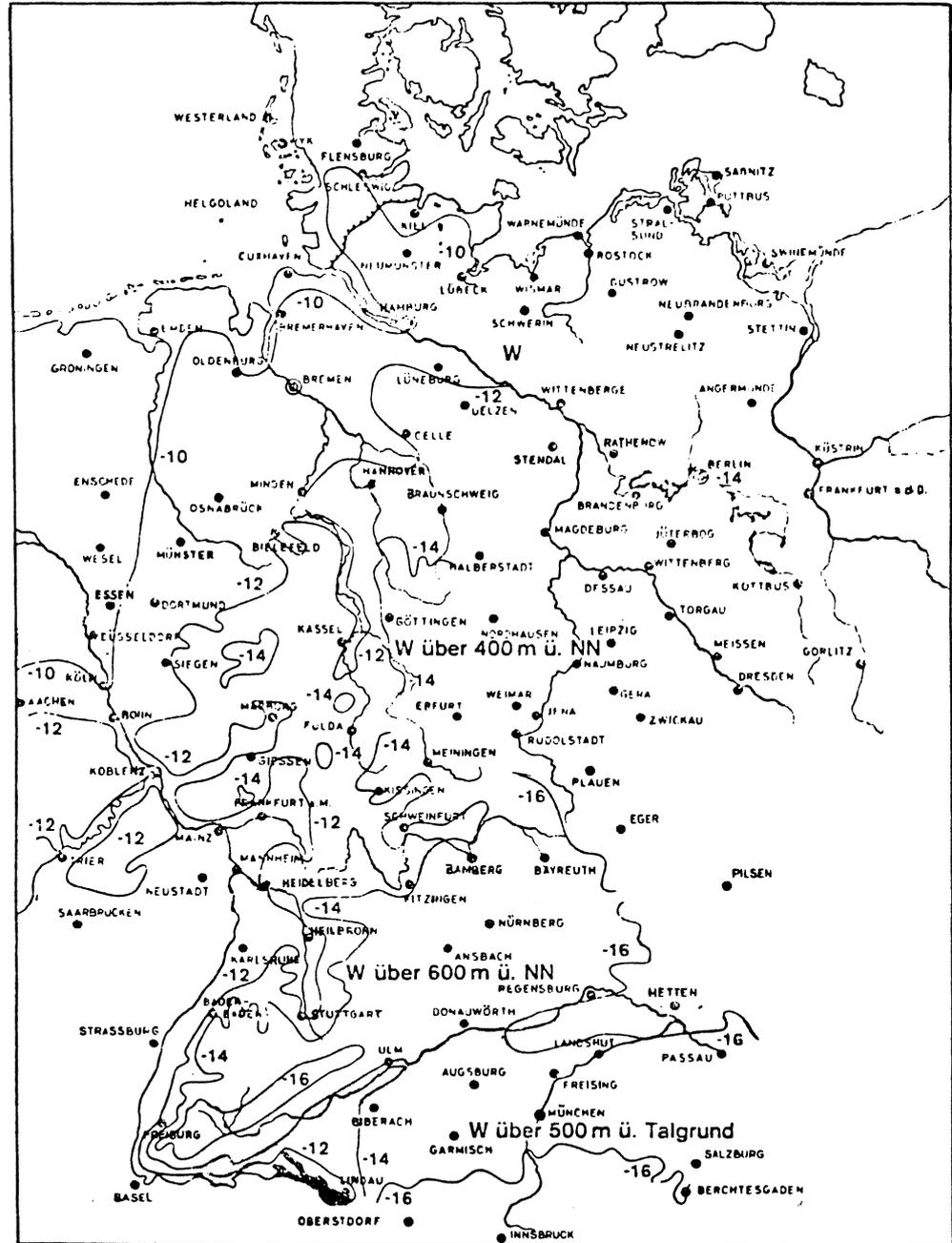
$v_{\infty(z_0)}$	Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe
A_H/N_H	Verhältnis der Durchlässigkeiten der angeströmten zu den nicht angeströmten Seiten
t_i	Innenlufttemperatur = Norm-Innentemperatur
t_a	Außenlufttemperatur = Norm-Außentemperatur
c_{pLm}	mittl. spez. Wärmekapazität der Luft zwischen t_i und t_a
ρ_a	Dichte der Luft bei t_a
ψ_A	Druckbeiwert der angeströmten Seite eines Gebäudes
ψ_N	Druckbeiwert der nicht angeströmten Seite eines Gebäudes
κ	Exponent in Gl. (15)

2. Windgeschwindigkeiten

Der Berechnung der Hauskenngrößen wurden bei der Neufassung von DIN 4701 (Entwurf 1978) Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit ($v_{\infty(z_0)}$) zugrundegelegt, die in dem Zeitraum von 1951 bis 1970 an den jeweiligen Orten einmal im Jahr an den beiden kältesten Tagen beobachtet wurden. Es wird unterschieden zwischen „windschwachen Gegenden“, denen eine Windgeschwindigkeit von 2 m/s als gerundeter Rechenwert zugrunde gelegt wird, und „windstarken Gegenden“, bei denen dieser Wert 4 m/s beträgt. Wie die Isothermenkarte des Normenentwurfs (Bild 14) ausweist, gilt als „windstark“ das gesamte Gebiet von Norddeutschland bis zum Rande der Mittelgebirge. Weiter nach Süden verschieben sich die „windstarken“ Bereiche in zu den Alpen hin ansteigende Höhenlagen. Die Höhenangaben für die Windzonenzuordnung in der Isothermenkarte beziehen sich auf NN mit Ausnahme des Alpengebietes. Dort sind die Höhen auf die jeweiligen Talsohlen bezogen, da hier dieser Bezug meteorologisch sinnvoller ist.

Die obengenannten, auf den meteorologischen Ermittlung-

Bild 14. Isothermenkarte für DIN 4701 (Entwurf 1978). Tiefstes Zweitagemittel der Lufttemperatur in °C (10 x in 20 Jahren), Zeitraum: 1951 bis 1970. Aufgestellt vom Deutschen Wetterdienst, Zentralamt Offenbach/Main.



gen beruhenden Werte für die Windgeschwindigkeiten sind für Gebäude mit „normaler Lage“ zugrunde gelegt. Dabei ist davon ausgegangen, daß die zugehörigen Wetterstationen normal gelegen sind. Für „freie Lage“ sind die in den Hauskenngrößen berücksichtigten Windgeschwindigkeiten um 2 m/s höher angesetzt.

3. Durchlässigkeitsverhältnis

Nach dem Verhältnis der Durchlässigkeiten A_H für die angeströmte Seite zu den Durchlässigkeiten N_H für die nicht angeströmten Seiten kann man analog der bisherigen Fassung von DIN 4701 (Jan. 59) zwei Grundrißtypen unterscheiden, die in *Bild 15* näher erläutert sind:

Grundrißtyp I (Einzelhaustyp) $A_H : N_H = 1 : 2,33$

Grundrißtyp II (Reihenhaustyp) $A_H : N_H = 1 : 1.$

4. Sonstige Parameter

Folgende sonstige Zahlenwerte sind den Hauskenngrößen und Höhenkorrekturfaktoren zugrunde gelegt:

$$t_i = +20 \text{ °C}$$

$$t_a = -14 \text{ °C (Bereich nach DIN 4701 Entw. 1978: } t_a = -18; -16; -14; -12; -10 \text{ °C)}$$

$$c_{pLm} = 1,00 \text{ kJ/kgK}$$

$$\rho_a = 1,36 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 3$$

$$\psi_A = +1,0 \text{ (für Gebäude mit quadratischem und rechteckigem Grundriß nach Bild 4)}$$

$$\psi_N = -0,3$$

$$m = 2/3.$$

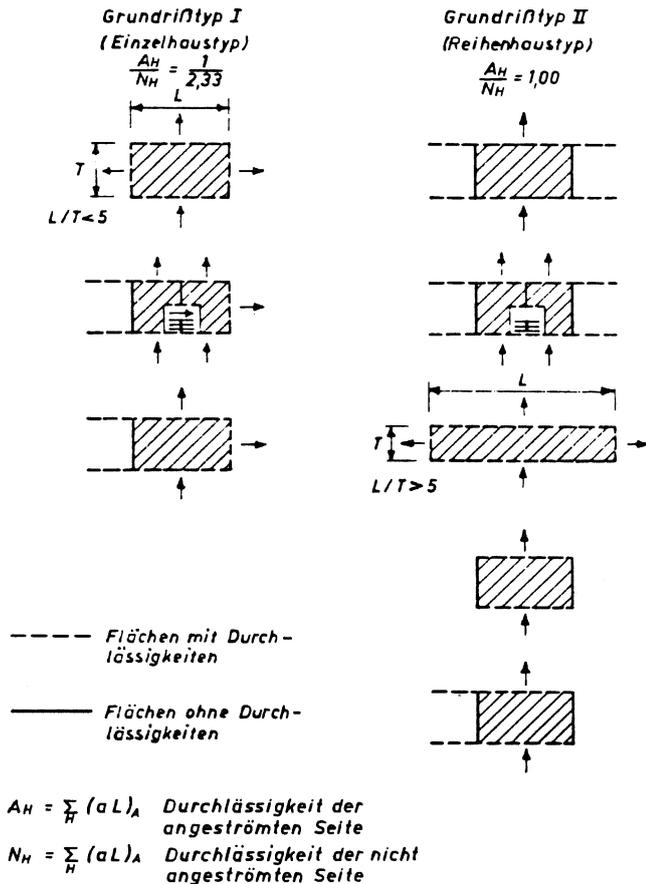


Bild 15. Zuordnung von Durchlässigkeitsverhältnissen A_H/N_H zu Grundrissstypen.

5. Hauskenngrößen und Höhenkorrekturfaktoren

Mit den oben festgelegten Zahlenwerten ergeben sich die in Tab. 6 aufgeführten Standard-Hauskenngrößen sowie die Höhenkorrekturfaktoren in Tab. 7 für Grundrissstyp I und in Tab. 8 für Grundrissstyp II.

Man ersieht aus den Tabellen für die Höhenkorrekturfaktoren, daß in den unteren Bereichen hoher Gebäude der Auftriebseinfluß immer entscheidend ist, wenn man gleichzeitig bedenkt, daß hier die Einströmung über alle Gebäudefassaden erfolgen kann. Es ist daher unerlässlich, diese Einflüsse bei der Bestimmung des Lüftungswärmebedarfs mit zu berücksichtigen. Außerdem tritt der Teil des Lüftungswärmebedarfs, der nur auf Auftriebseinflüsse zurückgeht, ständig auf, d.h. über sehr viel längere Zeiten als der auf Windeinflüssen beruhende Anteil. Dieses ist u.a. für die Ermittlung des Jahreswärmebedarfs von Bedeutung.

c) Mindest-Lüftungswärmebedarf

Mit Rücksicht auf heute vielfach verwendete Fenster mit sehr niedrigen Fugendurchlaßkoeffizienten (elastische Dichtungen u.ä.) ist im Entwurf 1978 DIN 4701 ein Mindest-Lüftungswärmebedarf festgelegt, der eine ausreichende Heizleistung für einen hygienisch notwendigen Mindestluftwechsel sicherstellen soll. Er basiert rechnerisch auf einem 0,5 fa-

Tabelle 6. Standard-Hauskenngröße HG10.

Gegend	Lage des Gebäudes	Standard-Hauskenngröße HG10 $Wh(Pa)^{2/3}/m^3 K$		Zugrundeliegende Windgeschwindigkeiten m/s
		Grundrissstyp I ¹	Grundrissstyp II ²	
Wind-schwache Gegend	normale Lage	0,72	0,52	2
	freie Lage	1,82	1,31	4
Wind-starke Gegend	normale Lage	1,82	1,31	4
	freie Lage	3,13	2,24	6

¹ Einzelhaustyp.
² Reihenhaustyp.

chen stündlichen Außenluftwechsel. Bei üblicher Personenbelegung der Räume wird durch die Wärmeabgabe der Personen jedoch ein effektiver Außenluftwechsel von ca. $0,7 m^3/m^3 h$ abgedeckt.

Es gilt:

$$\dot{Q}_{Lmin} = \beta_{min} \cdot V_R \cdot c_{pLm} \cdot \rho_i \cdot (t_i - t_a) \quad (52)$$

Mit

β_{min} Mindestaußenluftwechsel

V_R Raumvolumen

c_{pLm} mittl. spez. Wärmekapazität der Luft zwischen t_i und t_a

ρ_i Dichte der Raumluft⁴

Mit $\beta_{min} = 0,5 \frac{m^3}{m^3h}$ und V_R in m^3 folgt:

$$\dot{Q}_{Lmin} = 0,17 \cdot V_R \cdot (t_i - t_a) \text{ in W.} \quad (53)$$

\dot{Q}_{Lmin} gilt als Norm-Lüftungswärmebedarf, wenn der Lüftungswärmebedarf nach Gl. (49) bzw. Gl. (50) niedriger ist. Dieses ist für niedrige Gebäude mit üblicher Fensterverteilung wegen der heute geforderten geringen Fugendurchlaß-Koeffizienten häufig der Fall.

Zusammenfassung

Das Verfahren zur Ermittlung des Lüftungswärmebedarfes im Entwurf der Neufassung der DIN 4701 geht formal von einem ähnlichen Aufbau aus wie das bisher gebräuchliche in DIN 4701, Jan. 1959. Die neu eingeführten Standard-Hauskenngrößen berücksichtigen nur Windeinflüsse in der Bezugshöhe von 10 m und sind wie bisher unterschiedlich für zwei verschiedene Grundrissstypen (Einzelhaustyp, Reihenhaustyp). Der Anstieg der Windgeschwindigkeit mit der Höhe

⁴ Luftwechsel bezogen auf Raumtemperatur.

(Fortsetzung von Seite 94)

und die ebenfalls höhenabhängigen Auftriebseinflüsse werden in Höhenkorrekturfaktoren erfaßt, die außer für die genannten Grundrißtypen auch für zwei Grenzfälle von Gebäudetypen (Schachttyp-Gebäude, Geschoßtyp-Gebäude) unterschiedlich sind. Für das Schachttypgebäude sind unter bestimmten Bedingungen auch für die nicht angeströmten Fassaden Höhenkorrekturfaktoren $\epsilon_{SN} > 0$ zu berücksichtigen, die niedrigere Zahlenwerte als die für die angeströmten Fassaden ϵ_{SA} haben.

Die Verschiedenheit der Einflüsse erfordert in manchen Fällen eine alternative Rechnung für mehrere Fälle, wobei der größte Lüftungswärmebedarf als Normlüftungswärmebedarf gilt.

Die Windgeschwindigkeiten für die Standard-Hauskenngrößen sind aufgrund neuen Datenmaterials des Deutschen Wetterdienstes auf 2; 4; 6 m/s herabgesetzt gegenüber denen

der bisherigen Fassung DIN 4701 (Jan. 59) von 4; 6; 8; 10 m/s.

Die bisherige Kategorie „geschützte Lage“ wurde mit Rücksicht auf den breiten Schwankungsbereich innerhalb dichter Bebauungen (örtliche Spitzen) nicht beibehalten.

Im Entwurf 1978 DIN 4701 ist außerdem ein Mindestlüftungswärmebedarf eingeführt, der einem 0,5fachen stündlichen Raumlufturnwechsel entspricht. Er stellt die untere Grenze des Norm-Lüftungswärmebedarfs dar.

Literatur

- [1] DIN 4108; Wärmeschutz im Hochbau (Nov. 1969).
- [2] Raisch, E.: Die Wärme- und Luftdurchlässigkeit von Fenstern verschiedener Konstruktion. Gesundh.-Ing. 45 (1922), S. 99-105.
- [3] Reiher, H., Fraaß, K. u. E. Settele: Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. 1. Teilbericht. Wärmewirtsch. Nachr. 6 (1932/33) S. 42-52 u. S. 55-59.

Tabelle 7. Standard-Hauskenngrößen H_{G10} und Höhenkorrekturfaktoren ϵ_{GA} , ϵ_{SA} , ϵ_{SN} für Grundrißtyp I (Einzelhaustyp).

Gegend	Lage	Standard-Hauskenngröße H_{G10} in $Wh \cdot Pa^{2/3} / m^3 \cdot K$	Gebäudehöhe in m	ϵ	Höhe z über Terrain in m																			
					ϵ_{GA}																			
					0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
wind-schwach	normal	0,72	100	ϵ_{SA}	1,0		1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7			
			ϵ_{SN}	9,4	8,8	8,1	7,5	6,8	6,1	5,3	4,5	3,6	2,6	1,4	0									
			ϵ_{SA}	9,1	8,5	7,8	7,0	6,2	5,4	4,5	3,5	2,4	0,76	0										
			ϵ_{SN}	8,2	7,5	6,7	6,0	5,3	4,5	3,6	2,6	1,3	0											
			ϵ_{SA}	7,9	7,1	6,4	5,6	4,7	3,7	2,5	1,1	0												
			ϵ_{SN}	6,8	6,0	5,2	4,4	3,5	2,5	1,2	0													
	80	ϵ_{SA}	6,5	5,7	4,8	3,8	2,7	1,3	0															
	ϵ_{SN}	5,3	4,4	3,4	2,4	1,1	0																	
	60	ϵ_{SA}	4,9	4,0	2,9	1,6	0																	
	ϵ_{SN}	3,5	2,4	0,86	0	0																		
	40	ϵ_{SA}	3,1	1,8	0																			
	ϵ_{SN}	1,0	0																					
20	ϵ_{SA}	3,9	3,7	3,4	3,2	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5	1,2	0,81	0,33	0							
ϵ_{SN}	3,4	3,2	2,9	2,5	2,2	1,8	1,4	0,88	0,11	0														
80	ϵ_{SA}	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	1,9	1,6	1,3	0,99	0,60	0										
ϵ_{SN}	2,9	2,6	2,3	1,9	1,5	1,0	0,42	0																
60	ϵ_{SA}	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7	1,4	1,1	0,78	0,32	0												
ϵ_{SN}	2,4	2,0	1,7	1,2	0,66	0																		
40	ϵ_{SA}	2,4	2,0	1,7	1,5	1,2	0,89	0,50	0															
ϵ_{SN}	1,7	1,4	0,89	0,04	0																			
20	ϵ_{SA}	1,8	1,4	0,90	0,58	0,37	0																	
ϵ_{SN}	0,99	0,40	0																					
10	ϵ_{SA}	1,0	0																					
ϵ_{SN}	0	0																						
wind-stark	normal	1,82	100	ϵ_{SA}	3,9	3,7	3,4	3,2	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5	1,2	0,81	0,33	0				
			ϵ_{SN}	3,4	3,2	2,9	2,5	2,2	1,8	1,4	0,88	0,11	0											
			ϵ_{SA}	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	1,9	1,6	1,3	0,99	0,60	0								
			ϵ_{SN}	2,9	2,6	2,3	1,9	1,5	1,0	0,42	0													
			ϵ_{SA}	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7	1,4	1,1	0,78	0,32	0										
			ϵ_{SN}	2,4	2,0	1,7	1,2	0,66	0															
	80	ϵ_{SA}	2,4	2,0	1,7	1,5	1,2	0,89	0,50	0														
	ϵ_{SN}	1,7	1,4	0,89	0,04	0																		
	60	ϵ_{SA}	1,8	1,4	0,90	0,58	0,37	0																
	ϵ_{SN}	0,99	0,40	0																				
	40	ϵ_{SA}	1,0	0																				
	ϵ_{SN}	0	0																					
frei	3,13	100	ϵ_{SA}	2,4	2,3	2,1		2,0		1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	0,99	0				
		ϵ_{SN}	1,8	1,6	1,5	1,2	0,95	0,65	0,25	0														
		ϵ_{SA}	2,2	2,0	1,9		1,8		1,7		1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0						
		ϵ_{SN}	1,5	1,3	1,1	0,85	0,52	0																
		ϵ_{SA}	1,9	1,8	1,6		1,5		1,4		1,3	1,2	1,1	0										
		ϵ_{SN}	1,2	0,99	0,76	0,39	0																	
80	ϵ_{SA}	1,6	1,5	1,3		1,2		1,1		0														
ϵ_{SN}	0,84	0,58	0,24	0																				
60	ϵ_{SA}	1,4	1,2	0,98	0,97	0,95	0																	
ϵ_{SN}	0,43	0																						
40	ϵ_{SA}	1,0	0																					
ϵ_{SN}	0	0																						

Tabelle 8. Standard-Hauskenngrößen H_{G10} und Höhenkorrekturfaktoren ϵ_{GA} , ϵ_{SA} , ϵ_{SN} für Grundrißtyp II (Reihenhaustyp).

Gegend	Lage	Standard-Hauskenngröße H_{G10} in $Wh \cdot P_a^{2/3} / m^3 \cdot K$	Gebäudehöhe in m	Höhe z über Terrain in m																							
				ϵ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
					ϵ_{GA}	1,0			1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7				
wind-schwach	normal	0,52	100	ϵ_{SA}	13	12	11	10	9,2	8,2	7,2	6,0	4,7	3,2	4,3										0		
			ϵ_{SN}	13	12	11	9,5	8,4	7,3	6,0	4,5	2,8															
			ϵ_{SA}	11	10	9,1	8,2	7,1	6,0	4,7	3,2	1,2															0
			ϵ_{SN}	11	9,7	8,6	7,5	6,2	4,8	3,2	0,78																
			ϵ_{SA}	9,3	8,2	7,0	5,9	4,6	3,2	1,1																	0
			ϵ_{SN}	8,8	7,7	6,5	5,1	3,5	1,3																		
	80	ϵ_{SA}	7,2	6,0	4,5	3,1	1,0																		0		
	ϵ_{SN}	6,7	5,3	3,8	1,8																						
	60	ϵ_{SA}	4,8	3,2	0,86	0																			0		
	ϵ_{SN}	4,1	2,3		0																						
	40	ϵ_{SA}	1,0																						0		
	ϵ_{SN}	0																									
	20	ϵ_{SA}	5,1	4,7	4,3	4,1	3,9	3,6	3,3	3,0	2,6	2,3	1,9	1,4	0,89										0		
	ϵ_{SN}	4,4	4,0	3,6	3,1	2,5	2,0	1,3	0,22																		
	80	ϵ_{SA}	4,4	4,0	3,6	3,4	3,1	2,8	2,5	2,1	1,7	1,2	0,66												0		
	ϵ_{SN}	3,7	3,3	2,8	2,2	1,6	0,77																				
	60	ϵ_{SA}	3,8	3,3	2,9	2,6	2,3	1,9	1,5	1,0	0,37														0		
	ϵ_{SN}	3,0	2,5	1,9	1,2																						
40	ϵ_{SA}	3,0	2,5	2,0	1,7	1,3	0,75																	0			
ϵ_{SN}	2,1	1,5	0,74																								
20	ϵ_{SA}	2,2	1,6	0,93	0,37	0																		0			
ϵ_{SN}	1,1		0																								
10	ϵ_{SA}	1,0																						0			
ϵ_{SN}	0																										
wind-stark	normal	1,31	100	ϵ_{SA}	5,1	4,7	4,3	4,1	3,9	3,6	3,3	3,0	2,6	2,3	1,9	1,4	0,89							0			
			ϵ_{SN}	4,4	4,0	3,6	3,1	2,5	2,0	1,3	0,22															0	
			ϵ_{SA}	4,4	4,0	3,6	3,4	3,1	2,8	2,5	2,1	1,7	1,2	0,66												0	
			ϵ_{SN}	3,7	3,3	2,8	2,2	1,6	0,77																		
			ϵ_{SA}	3,8	3,3	2,9	2,6	2,3	1,9	1,5	1,0	0,37														0	
			ϵ_{SN}	3,0	2,5	1,9	1,2																				
	80	ϵ_{SA}	3,0	2,5	2,0	1,7	1,3	0,75																0			
	ϵ_{SN}	2,1	1,5	0,74																							
	60	ϵ_{SA}	2,2	1,6	0,93	0,37	0																	0			
	ϵ_{SN}	1,1		0																							
	40	ϵ_{SA}	1,0																					0			
	ϵ_{SN}	0																									
	20	ϵ_{SA}	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	0,97	0,79	0,58	0,48							
	ϵ_{SN}	1,9	1,6	1,3	0,83	0,18																					
	80	ϵ_{SA}	2,5	2,3		2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1	0,99	0,82	0,61										
	ϵ_{SN}	1,5	1,2	0,80	0,07																						
	60	ϵ_{SA}	2,2	2,0		1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	0,98	0,82													
	ϵ_{SN}	1,1	0,67	0,06																							
40	ϵ_{SA}	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1																				
ϵ_{SN}	0,58																										
20	ϵ_{SA}	1,6	1,3	0,95	0,94	0,92																					
ϵ_{SN}			0																								
10	ϵ_{SA}	1,0																									
ϵ_{SN}	0																										

- [4] Raisch, E.: Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionsteilen. Gesundh.-Ing. 51 (1928), S. 481-489.
- [5] Eberle, Ch.: Versuche über die Luftdurchlässigkeit und den Wärmeverlust von Fenstern. Gesundh.-Ing. 51 (1928), S. 566-570.
- [6] Settele, E.: Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. Wärmewirtsch. Nachr. 6 (1932/33), S. 111-116.
- [7] Cammerer, J. S. u. F. X. Hirschbold: Der Einfluß der Fensterbauart auf den Luftdurchgang. Gesundh.-Ing. 61 (1938), S. 393-399.
- [8] Sigwart, K.: Luftdurchlässigkeit von Holz- und Stahlfenstern. Gesundh.-Ing. 55 (1932), S. 515-517.
- [9] Dürr, H. R.: Die Luft- und Wärmedurchlässigkeit neuzeitlicher Stahlfensterbauweisen. Gesundh.-Ing. 64 (1941), S. 135-142.
- [10] Esdorn, H.: Luftdurchlässigkeit der Fenster und Druckverteilung im Gebäude. In: Das Hochhaus der BASF-Planung, Ausföhrung, Erfahrungen. J. Hoffmann, Stuttgart 1958, S. 161-170.
- [11] Schüle, W.: Luftdurchlässigkeit von Fenstern. Gesundh.-Ing. 82 (1961), S. 181-184.
- [12] Ders.: Untersuchungen über die Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. Gesundh.-Ing. 83 (1962), S. 153-162.
- [13] Zuilen, D. van u. E. van Gunst: Wärmebedarf unter besonderer Berücksichtigung der Luftdurchlässigkeit von Fenstern. Gesundh.-Ing. 79 (1958), S. 353-363.
- [14] DIN 4701; Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden (Jan. 1959).
- [15] DIN 18055; Fenster; Fugendurchlässigkeit.
- [16] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung) vom 11.8.77. BGBl. I (56) v. 17.8.77.
- [17] Krischer, O.: Die Druckverhältnisse in Häusern unter dem Einfluß des Windes und der Lüftungsempfindlichkeit von Räumen. Heiz.-Lüftg.-Haustechn. 2 (1951), S. 37-42.
- [18] Krischer, O. u. H. Beck: Die Durchlüftung von Räumen durch Windangriff und der Wärmebedarf für die Lüftung. VDI-Berichte 18 (1957), S. 29-59.
- [19] Krischer, O.: Wärmebedarf von Häusern für Transmission und Selbstlüftung. VDI-Berichte 21 (1957), S. 5-14.

- [20] Ders.: Neufassung der DIN 4701 – wesentliche Änderungen und ihre Begründung. *Gesundh.-Ing.* 79 (1958), S. 376-384.
- [21] Ders.: Neuerungen bei der Wärmebedarfsrechnung DIN 4701. *Heizg.-Lüftg.-Haustechn.* 10 (1959), S. 57-62.
- [22] *Flachsbarth, O.*: Winddruck auf geschlossene und offene Gebäude. Ergebnisse der AVA Göttingen, IV. Lieferung (1932), S. 128-138.
- [23] *Blasius, H.*: Das Ähnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten. *Forsch. Arb. Ing.-Wes.* 131 (1913).
- [24] *Prandtl, L.*: Über den Reibungswiderstand strömender Luft. *Ergebn. AVA Göttingen, III.* Lieferung 1-5 (1927).
- [25] *Nikuradse, J.*: Gesetzmäßigkeit der turbulenten Strömung in glatten Rohren. *Forsch. Arb. Ing.-Wes.* 356 (1932).
- [26] *v. Karman, Th.*: Mechanische Ähnlichkeit und Turbulenz. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl.* 58 (1930).
- [27] *Nikuradse, J.*: Strömungsgesetze in rauhen Rohren. *Forsch. Arb. Ing.-Wes.* 361 (1933).
- [28] *Schlichting, H.*: Experimentelle Untersuchungen zum Rauigkeitsproblem. *Ing.-Arch.* 7 (1936), S. 1-34.
- [29] *Wiegardt, K.*: Über die turbulente Strömung im Rohr und längs der Platte. *ZAMM* 24 (1944), S. 294.
- [30] *Schulz-Grunow, F.*: Neues Widerstandsgesetz für glatte Platten. *Luftf.-forsch.* 17 (1940), S. 239.
- [31] *Paeschke, W.*: Experimentelle Untersuchungen zum Rauigkeits- und Stabilitätsproblem in der bodennahen Luftschicht. *Beitr. Phys. d. freien Atm.* 24 (1937), S. 163.
- [32] Wind effects on buildings and structures: Vol. I u. II. *Proceed. of the Internat. Res. Seminar, Ottawa/Can.*, 11-15 Sept. 1967. Hrsg. National Res. Council of Canada. Univ. of Toronto Press 1968.
- [33] *Prandtl, L. u. H. Schlichting*: Das Widerstandsgesetz rauher Platten. *Werft, Reederei, Hafen* (1934), S. 1-4.
- [34] *Davenport, A. G.*: The dependence of wind loads on meteorological parameters. In: [32], Vol. I, S. 19-83.
- [35] *Eiffel, G.*: Travaux Scientifiques exécutés a la tour de trois centre mètres. L. Maretheux, Paris 1900.
- [36] *Ariel, N. A. u. L. A. Kluchnikova*: Wind über einer Stadt (russ. Orig.). In: *A. I. Valikova*: Trudy vypusk 94 (1960), S. 29-32.
- [37] *Rathbun, J. Ch.*: Wind forces on a tall building. *ASCE-Transact.* 105 (1940), S. 1-41.
- [38] *Jensen, M.*: The model-law for phenomena in natural wind. *Ingenioren, Internat. Ed.* 2, Kopenhagen 1958, S. 121-128.
- [39] *Shellard, H. C.*: Results of some recent special measurements in the United Kingdom relevant to wind loading problems. In [32], Vol. I, S. 515-534.
- [40] *Davenport, A. G.*: A rationale for the determination of basic design wind velocities. *ASCE-Proceed.* 86 (1960), S. 39-68.
- [41] *Shiotani, M. u. E. Yamamoto*: Atmospheric turbulence over a large city, 2. Report. *Zit. in* [34].
- [42] *Soma, S.*: The properties of atmospheric turbulence in high winds. *Journ. Met. Soc. Japan* 42 (1964), S. 372-381.
- [43] *Esdorn, H. u. W. Brinkmann*: Lüftungswärmeverluste und Druckverteilung in Wohnhochhäusern unter dem Einfluß von Wind- und Auftriebskräften. Forschungsarbeit im Auftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau – B II 5 – 80 01 70 – 121 – (1976).
- [44] *Lettau, H. u. B. Davidson*: Exploring the atmosphere's first mile. Vol. I. u. II. Pergamon Press. London/New York/Paris 1957.
- [45] *Frimberger, R.*: Einfluß der durch Wind hervorgerufenen Gebäudedrucke auf Lüftungsanlagen. Vortrag vor der Gesundheits-techn. Gesellschaft Berlin am 29.11.1969.
- [46] *Hamilton, G. F.*: Effect of velocity distribution on wind loads on walls and low buildings. *Univ. Toronto Techn. Pap.* 6205 (1962).
- [47] *Hillmann, W.*: Die Bestimmung von Schornsteinhöhen im Hinblick auf die Luftreinhaltung – Aerodynamische Versuche an Hochbaumodellen unter Berücksichtigung der Umgebungsbebauung – VDI-Fortschr.-Ber. 7 (1969), Nr. 14.
- [48] *Jackman, P. J.*: A study of the Natural Ventilation of Tall Office Buildings. *IHVE-Journ.* 38 (1970), S. 103-118.
- [49] *Newberry, C. W.*: The measurement of wind pressures on tall buildings. *Proceed. of the Internat. Conf. on Buildings and Structures, Nat. Phys. Lab.*, 26 - 28 Jun. 1963, Vol. I, London 1963, S. 113-149.
- [50] *Newberry, C. W., Eaton, K. J. u. J. R. Mayne*: The nature of gust loading on tall buildings and structures. *Proceed. of the Int. Res. Sem. on Wind effects on buildings and structures, Ottawa, Sept. 1967.* Univ. of Toronto Press. Toronto/Canada 1968, S. 399-428.
- [51] Dies.: Wind loading of a tall building in an urban environment – a comparison of full scale and wind tunnel tests. *Sympos. on wind effects on buildings and structures. Loughborough Univ. of Techn.*, Apr. 1968. *Build. Res. Stn. Current Pap.* 59 (1968).
- [52] Dies.: Wind loading on tall buildings-further results from Royex House. *Build. Res. Stn. Current Pap.* 29 (1973).
- [53] *Eaton, K. J. u. J. R. Mayne*: Instrumentation and analysis of full scale wind pressure measurements. *Build. Res. Stn. Current Pap.* 1 (1968).
- [54] Dies.: Full scale wind pressure measurements. *BUILD intern.*, Sept. 1969, S. 20-24.
- [55] *Dalgliesh, W. A., Wright, W. u. W. R. Schriever*: Wind Pressure Measurements on a Full-Scale High-Rise Office Building. In: [32], Vol. I, S. 167-200.
- [56] *Joubert, P. N., Stevens, L. K., Good, M. C., Hoffmann, E. R. u. A. E. Perry*: The Drag of Bluff Bodies Immersed in a Turbulent Boundary Layer. In: [32], Vol. I, S. 297-336.
- [57] *Koten, H. van*: Wind measurements of high buildings in the Netherlands. In: [32], Vol. I, S. 685-704.
- [58] *Irminger, J.*: Experiments in wind pressure. *ICE-Proceed.* 118 (1893/94), S. 468-483.
- [59] *Eiffel, G.*: Neue Untersuchungen über den Luftwiderstand und den Flug, ausgeführt im Laboratorium in Auteuil. *Dtsche. Ausgabe.* 1. u. 2. Lieferung. 1914.
- [60] *Gran Olsson, R.*: Die ersten Modellversuche über Winddruck auf Bauwerke. *Der Bauing.* 16 (1935), S. 508-509.
- [61] *Sylvester, H. M. T.*: Wind pressure distribution on sharp-edged bodies. *The struct. Res. Lab. Roy. Techn. Coll.*, Rep. No. 8, Kopenhagen 1936.
- [62] *Harris, C. L.*: Influence of neighbouring structures on the wind pressure on tall buildings. *Bureau of Standards Journ. of Res.* 12 (1934), S. 103-118.
- [63] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment: Recherches sur les effets du vent dans les Groupes d'Habitation. *Cahier* 210. Paris 1955.
- [64] *Chien, N., Feng, Y., Wang, H. u. T. Liao*: Wind tunnel studies of pressure distribution on elementary building forms. *Iowa Inst. of Hydr. Res. State Univ. of Iowa* (1951).
- [65] *Howe, J. W.*: Wind pressure on elementary building forms evaluated by model tests. *ASCE-Journ.* 22 (1952), S. 42-48.
- [66] *Lusch, G.*: Windkanaluntersuchungen an Gebäuden von rechteckigem Grundriß mit Flach- und Satteldächern. In: *Windkräfte an Bauwerken. Ber. a.d. Bauforsch.* 41 (1964), S. 25-49.

Anshr. d. Verf.: o.Prof. Dr.-Ing. H. Esdorn, gf. Direktor des Hermann-Rietschel-Instituts für Heizungs- und Klimatechnik der TU Berlin, Marchstr. 4, 1000 Berlin 10. Dipl.-Ing. W. Brinkmann, Bundesbaudirektion Berlin, Fasanenstr. 87, 1000 Berlin 12.