

Die Durchlüftung von Räumen durch Windangriff und der Wärmebedarf für die Lüftung

Von O. Krischer und H. Beck

1. Problemstellung

Die Kenntnis der Luftmenge, die durch Fenster und Türen durch ein Gebäude unter dem Einfluß des Windes strömt, ist nicht nur vom lüftungstechnischen Standpunkt aus von Interesse, sondern auch vom heiztechnischen und daher auch wirtschaftlichen Gesichtspunkt aus von großer Bedeutung.

In der Heizungstechnik muß der Wärmebedarf zur Aufwärmung der von außen in einen Raum einströmenden Kaltluft in bestimmter Weise berücksichtigt werden. Dadurch soll erreicht werden, daß in jedem Raum bis zu bestimmten tiefsten Außentemperaturen auch bei Windangriff auf das Gebäude die dem Zweck der Räume entsprechenden Behaglichkeitsverhältnisse für den Aufenthalt von Menschen einstellbar sind. Dieser Lüftungswärmeverlust verursacht nicht nur bei seiner Deckung Kosten, sondern wirkt sich auch wesentlich bei der Bemessung der Heizanlage und damit auf ihre Anschaffungskosten aus. Die Kenntnis der Durchlüftung von Räumen durch Windangriff und ihre Beeinflussbarkeit durch Dichtheit und Anordnung von Fenstern und Türen ist also mitbestimmend bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an verschiedenen Fensterbauarten, wie sie von Raiß und Simson [19]²⁾ vorgenommen wurden.

2. Einwände gegen die bisherige Berücksichtigung des Lüftungswärmeverlustes bei der Wärmebedarfsrechnung

Die Grundlage für die Bemessung der Heizungsanlage eines zentralbeheizten Gebäudes sind die "Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden" DIN 4701 [4]. Danach wird der Lüftungswärmeverlust für Normalfälle als pauschaler Windzuschlag auf den Transmissionsverlust eines jeden Raumes berücksichtigt. Dabei ist eine Staffelung nach der Gegend (normal - windreich) und der Lage des Gebäudes in Bezug auf andere (geschützt oder frei) für jeweils 4 verschiedene Raumtypen, die sich durch die Zahl der Außenwände und Anordnung

der Fenster unterscheiden, vorgenommen. Der Windzuschlag wird jedoch ohne Rücksicht auf die Fensterart (Dichtheit) und die Durchlüftungsverhältnisse im ganzen Gebäude erteilt. Ebenso ist unberücksichtigt, ob nach unbeheizten Räumen Transmissionsverluste auftreten oder nicht. Bei gleichen Durchlüftungsverhältnissen, also gleichen Lüftungswärmeverlusten, müßte bei zwei Räumen mit verschiedenen Transmissionsverlusten der Raum mit kleinerem Transmissionsverlust einen größeren Windzuschlag erhalten, als derjenige mit Wärmeverlusten auch nach Nebenräumen (Keller, Dach).

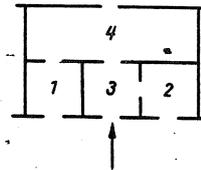


Bild 1. Grundriß einer Kleinstwohnung mit drei nebeneinanderliegenden Räumen mit verschiedener Anordnung der Innentüren

Betrachtet man die in Bild 1 dargestellte Kleinstwohnung, wie sie in sog. Laubenganghäusern zu finden ist, so muß offensichtlich der Lufteinfluß von außen in die Räume 1, 2 und 3 verschieden hoch sein, obwohl die Dichtheit der Öffnungen in den Außenwänden und in jeder Innenwand der Räume 1, 2 und 3 als gleich angenommen werden soll. Raum 2 wird den bei weitem kleinsten Kaltlufteinfluß erleiden, also auch den kleinsten Lüftungswärmeverlust, da aus ihm nur über den gleichzeitig angeblasenen Raum 3 Luft abströmen kann. Bei vorausgesetztem gleichen Transmissionswärmeverlust für die betrachteten Räume muß danach jeder Raum einen anderen Windzuschlag erhalten. Nach DIN 4701 sind jedoch die drei Räume als gleichartig zu betrachten. Neben diesen und weiteren Einwänden [10, 20] physikalischer Natur gehen andere von der Betrachtung der Rechenergebnisse bei Anwendung der DIN 4701 aus [6 bis 9]. Dabei werden Vorschläge gemacht, den Lüftungswärmeverlust ohne Berücksichtigung der konstruktiven Gegebenheiten eines Raumes und Gebäudes zu berücksichtigen. Man nimmt einen nach dem Raumvolumen gestaffelten Frischluftwechsel, etwa zwischen 0,5 bis 1,0 [m³/m³h] liegend, an, wie es in Frankreich, bei der Schweizer Bundesbahn und teilweise in Amerika üblich ist. Ob eine solche Betrachtung als die praktischen Verhältnisse genügend genau erfassend angesehen werden kann, bedarf zumindest eingehender Untersuchung.

¹⁾ Die ausführlichen Berechnungen des Luftdurchganges durch Gebäude auch für komplizierte Grundrisse bilden den Inhalt der von der TH Darmstadt genehmigten Dissertation des zweitgenannten Verfassers [18].

²⁾ Die in [] gesetzten Zahlen beziehen sich auf das Schrifttumsverzeichnis am Ende der Arbeit.

3. Aufgabenstellung für die Untersuchung des Luftdurchganges durch Gebäude und zur Berechnung des Lüftungswärmeverlustes

Die Berücksichtigung des Wärmeverlustes durch Kaltluftereinfall hat stets eine generelle Vergrößerung aller Heizflächen zur Folge. Bei Windstille wird also eine zentrale Warmwasserheizung mit verminderter Vorlauftemperatur betrieben werden. Dagegen wird durch die anderen nach DIN 4701 zu erteilenden Zuschläge eine Abstimmung der Heizflächen untereinander erreicht. Die Problematik der Berücksichtigung der Lüftungswärmeverluste geht schon daraus hervor, daß es bei Windangriff in einem Gebäude zugleich Räume gibt, die ein Höchstmaß des bei der herrschenden Windgeschwindigkeit möglichen Kaltluftereinfall erleiden, während andere überhaupt nicht durch Kaltluft beeinflusst werden. Sie werden vielmehr von einem Warmluftstrom von innen nach außen durchgezogen. Es muß also eine örtliche Regelung einsetzen, wenn man nicht die Vorlauftemperaturen aller Heizkörper einer bestimmten Himmelsrichtung durch Rücklaufbeimischung generell regelt. Aber eine solche Gruppenunterteilung ist nicht immer möglich und oft zu aufwendig.

Angesichts dieser Verhältnisse erscheint die Prüfung wichtig, ob es nicht möglich ist, unter Beachtung der physikalischen Gesichtspunkte folgende Fragen zu klären:

1. Gibt es einfache aus den Bauplänen entnehmbare Größen, - Anordnung von Fenstern und Türen bestimmter Dichtheit im Gebäude und Raum -, die den Luftdurchgang in prägnanter Weise beeinflussen?
2. Wie läßt sich der Lüftungswärmeverlust einfach berücksichtigen?
3. Lassen sich die physikalischen Gegebenheiten mit zumutbarem Zeitaufwand berücksichtigen?

4. Ausgangspunkte für eine Berechnung des Luftdurchganges durch Gebäude nach physikalischen Gesichtspunkten

4.1 Luftdurchgang durch Fugen von Fenstern und Türen

Untersuchungen von Reiher, Fraaß und Settele [11] an Fugenmodellen verschiedener Konstruktion ergaben für die stündlich bei einem Druckunterschied ΔP [kg/m²] durchströmende Luftmenge V_L [m³/h] die Beziehung

$$V_L = 1 \cdot a \cdot \Delta P^{2/3} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (1)$$

worin noch 1 die Fugenlänge in [m] und a [m³/m (mmWS)^{2/3}h] ein Durchlässigkeitskennwert pro Meter Fugenlänge des Fensters bedeuten. Man schreibt Gl. (1) zweckmäßig in folgender Form:

$$V_L = A \cdot \Delta P^{2/3} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (1a)$$

Der neueingeführte Beiwert $A = 1 \cdot a$ [m³/m (mmWS)^{2/3}h], die Luftdurchlässigkeit eines Fensters oder Tür, ist je nach Bauart verschieden. Er ist also ein Kennzeichen für die Dichtheit einer bestimmten Fensterbauart.

Auch neue Untersuchungen [12] an verschiedenen Fugenmodellen zeigen, daß der Exponent von ΔP zwischen 0,53 und 0,865 liegt; er ist um so kleiner, je größer die Spaltweite ist. Man kann daraus schließen, daß bei größeren Spaltweiten vorwiegend turbulente Strömung vorliegt.

Für ganze Fenster kann die obige Beziehung (1 bzw. 1a) nur angenähert gelten, da sich bei den verschiedenen Fenstertypen in verschiedener Weise laminare und turbulente Strömungen an den einzelnen Fugenquerschnitten ausbilden. Messungen von Eberle [13] und Sigwart [14] zeigen, daß auch bei ganzen Fenstern der Exponent von ΔP zwischen 0,5 und 1,0 liegt und lassen die Weiterarbeit mit dem Exponenten $2/3$ berechtigt erscheinen. Neueste Untersuchungen [21] bestätigen für Fenster mit Stahl- und Leichtmetallprofilrahmen in ausgezeichneter Weise die Berechtigung dieses Exponenten.

4.2 Die Druckverteilung am äußeren Umfang von vom Wind angeblasenen Gebäuden

Will man Aussagen über die Luftmengen, die unter dem Einfluß des Windes in einen Raum eintreten, machen, so ist dazu die Kenntnis Voraussetzung, welche Drücke sich außen am Gebäude unter der Wirkung des Windes einstellen.

Hierüber geben Messungen von Flachsbart [15] Aufschluß. Verschiedene Modelle wurden im Windkanal untersucht, von denen in Bild 2 zwei besonders interessierende, eins von rechteckigem (Modell 3 von Flachsbart) und eins von quadratischem Grundriß (Modell 4 von Flachsbart) wiedergegeben seien. Druckmessungen erfolgten in 6 Ebenen (s. Bild 2). Der Anblaswinkel wurde von 0 bis 90° geändert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Bild 3 in den Schnitten I bis VI dargestellt. Dabei deckt sich die Anordnung der Schnitte mit der der Druckmeßebenen in Bild 2. Aufgetragen ist für jeden Schnitt das Verhältnis P/P_{st} , wobei unter P der Über- oder Unterdruck an der betreffenden Stelle der Außenhaut des Gebäudes und unter P_{st} der Staudruck des Windes zu verstehen ist.

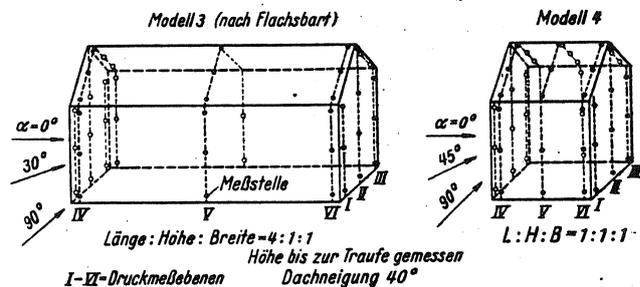


Bild 2. Modell 3 (links) und 4 (rechts) der von Flachsbart [15] untersuchten Gebäudemodelle mit Lage der Schnitte und Meßpunkte

Die Versuche ergaben, daß die Ergebnisse praktisch unabhängig von der Reynolds-Zahl sind, da die Modelle dem Wind Ablösestellen durch scharfe Kanten aufzwingen.

Für das Anblasen senkrecht zur Giebelseite kann man aus Bild 3 folgendes ersehen: An der angeblasenen Wand entsteht ein Überdruck von der Größenordnung des Staudruckes. An den Seiten, an denen der Wind vorbeistreicht, stellt sich ein Unterdruck ein, dessen Höhe von der Länge des Gebäudes abhängt und der beim Gebäude mit rechteckigem Grundriß in Windrichtung von etwa $0,5 \cdot P_{st}$ auf etwa $0,1 \cdot P_{st}$ an der Leeseite abnimmt. Bei Gebäuden mit quadratischem Grundriß kann man mit einem Unterdruck von etwa $0,5 \cdot P_{st}$ an allen nicht angeblasenen Seiten rechnen. Auch für Anblasen senkrecht zum First (Anblaswinkel 90°) wird an einigen Stellen der angeblasenen Seite der Staudruck erreicht. Der Unterdruck an den nicht angeblasenen Seiten liegt zwischen $0,5$ und $0,8 \cdot P_{st}$.

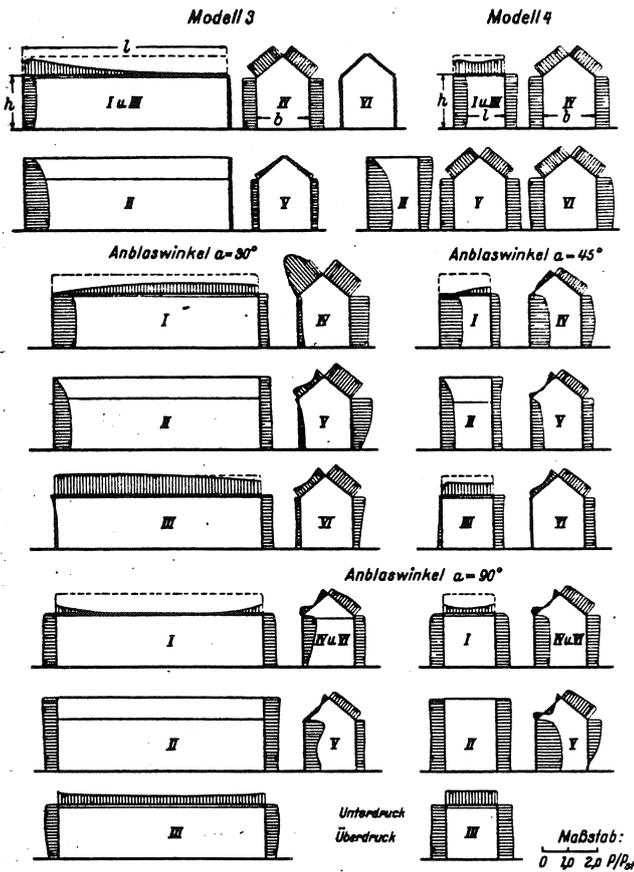


Bild 3. Druckverteilung am Modell 3 (links) und Modell 4 (rechts) bei verschiedener Anblasrichtung

Für schräges Anblasen liegen die auftretenden Drücke in derselben Größenordnung, wenn man von dem außerordentlich hohen Unterdruck an der vorderen Dachseite, der etwa $1,5 \cdot P_{st}$ beträgt, absieht.

Im ganzen gesehen ist zu bemerken, daß die Druckverteilung sowohl an der angeblasenen Seite, als auch an den nicht angeblasenen Seiten von der Höhe und Breite abhängt, so daß auch für Gebäude, die nur an einer Seite Öffnungen aufweisen, sonst aber dicht sind, mit einem spürbaren Luftwechsel zu rechnen ist.

5. Die Auswirkung der äußeren Druckverteilung auf den Luftdurchgang durch ein Gebäude ohne Innenwände

Es soll zunächst untersucht werden, wie sich die äußeren Gegebenheiten auf ein Gebäude ohne Innenwände auswirken, um dann weiter den Einfluß der Türen enthaltenden Innenwände herausstellen zu können.

5.1 Senkrecht Anblasen

Wie die Messungen von Flachsbart zeigen, sind die Drücke an den nicht angeblasenen Seiten wohl verschieden, aber doch in der Größenordnung ziemlich gleich, wenn man vom schrägen Anblasen absieht. Es wurden daher für den weiteren Verlauf der Untersuchung die Drücke auf der Luv-Seite und an den der Windrichtung parallelen Seiten des Gebäudes als gleich angenommen. An der angeblasenen Seite wurde bei senkrechtem Anblasen überall der Staudruck des Windes angenommen. Es ergibt sich also das in Bild 4 dargestellte idealisierte Druckprofil am Äußeren des Gebäudes.

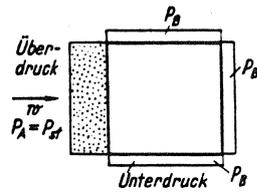


Bild 4. Idealisiertes Druckprofil am Äußeren eines Gebäudes beim senkrechten Anblasen

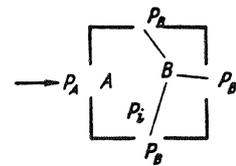


Bild 5. Erläuterung der hier verwandten Bezeichnungen

5.11 Druckverhältnisse für den Fall, daß an allen nicht angeblasenen Seiten des Gebäudes der gleiche Druck herrscht

Gemäß Bild 5 habe das Gebäude an allen vier Seiten Öffnungen, deren Durchlässigkeiten mit den Buchstaben A und B bezeichnet seien. Unter der Wirkung der äußeren Druckverteilung - Druck P_A vor der angeblasenen Öffnung A und Druck P_B vor den nicht angeblasenen Öffnungen mit der Durchlässigkeit B - stellt sich im Innern des Gebäudes ohne Innenwände ein ganz bestimmter Innendruck P_i ein, dessen Höhe außer von der Größe der Durchlässigkeiten A und B nur noch von der äußeren Druckverteilung abhängig ist. Der Druck P_i errechnet sich aus der Bedingung, daß gleiche Luftmengen ein- und ausströmen müssen. Dabei ist es zweckmäßig, für die Außendrucke folgenden Ansatz zu machen:

$$P_A = (1 - \alpha)P_{st} \text{ und } P_B = (1 - \beta)P_{st}. \quad (2)$$

Dabei sei nach dem oben gesagten $\alpha = 0$. Aus der Luftmengenbilanz ergibt sich mit Hilfe des Ansatzes nach Gl. (1a):

$$A(P_{st} - P_i)^{2/3} = B(P_i - P_B)^{2/3}.$$

Man erhält nach Division durch $(\beta \cdot P_{st})^{2/3}$ aufgelöst

$$\frac{P_{st} - P_i}{\beta \cdot P_{st}} = \frac{(B/A)^{3/2}}{1 + (B/A)^{3/2}} \quad (3)$$

Die Druckdifferenz $(P_{st} - P_i)$ zu beiden Seiten der angeblasenen Öffnung bezogen auf die größte Druckdifferenz $\beta \cdot P_{st}$ zwischen der angeblasenen und den nicht angeblasenen Seiten des Gebäudes, die sog. anteilige Druckdifferenz, ist also nur vom Verhältnis B/A , d. h. von dem Verhältnis der Summe der Durchlässigkeiten in den nicht angeblasenen Wänden zu derjenigen in der angeblasenen Wand abhängig. Die ausgezogene Kurve in Bild 6 zeigt den Zusammenhang. Jede grobe Durchlässigkeit in einer nicht angeblasenen Wand bedeutet also, daß die Druck-

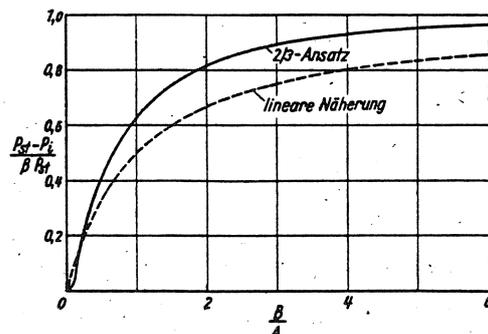


Bild 6. Anteilige Druckdifferenz zu beiden Seiten der angeblasenen Öffnung bei verschiedenen Verhältnissen B/A

differenz ($P_{st} - P_i$) nur wenig von der größten Druckdifferenz am Äußeren des Gebäudes abweicht. Der Druck im Innern des Gebäudes ist dann nur wenig vom Unterdruck an den nicht angeblasenen Seiten entfernt.

5.12 Die eintretenden Luftmengen beim senkrechten Anblasen eines Gebäudes ohne Innenwände

Die den Luftdurchgang durch eine Öffnung beschreibende Gl. (1 bzw. 1a) schreibt man zweckmäßig um zu

$$V_{L_A} = A \left[\frac{P_{st} - P_i}{\beta \cdot P_{st}} \right]^{2/3} \cdot (\beta \cdot P_{st})^{2/3} \quad (1b)$$

Mit Gl. (3) ergibt sich

$$V_{L_A} = A \left[\frac{(B/A)^{3/2}}{1 + (B/A)^{3/2}} \right]^{2/3} \cdot (\beta \cdot P_{st})^{2/3} \quad (4)$$

Es sei ferner die auf die Einheit der Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnung bezogene Luftmenge V_0 [m³/h] bei $\beta \cdot P_{st} = 1$ mmWS eingeführt. Man erhält dann

$$V_0 = \left[\frac{(B/A)^{3/2}}{1 + (B/A)^{3/2}} \right]^{2/3} = \left[\frac{\left(\frac{B}{A+B}\right)^{3/2}}{\left(1 - \frac{B}{A+B}\right)^{3/2} + \left(\frac{B}{A+B}\right)^{3/2}} \right]^{2/3} \quad (5)$$

Für Gl. (4) kann man dann einfach schreiben

$$V_{L_A} = A \cdot V_0 \cdot (\beta P_{st})^{2/3} \quad (6)$$

Dazu kann man die bezogene Luftmenge V_0 aus den Bildern 7 und 8 (ausgezogene Kurven) entnehmen. Man ersieht aus den Bildern, daß die eintretende Luftmenge um so größer ist, je mehr die nicht angeblasenen Öffnungen in ihrer Größe überwiegen.

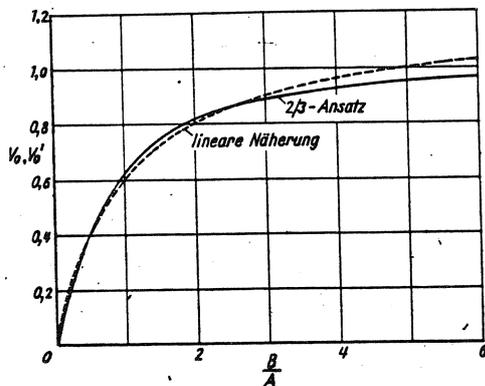


Bild 7. Auf die Einheit der Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnung bezogene Luftmenge V_0 bei verschiedenen Verhältnissen B/A

Für Reihenhäuser dürfte der Wert B/A in der Regel nicht weit von 1 entfernt sein, bzw. $\frac{B}{A+B} \sim 0,5$; dafür wird $V_0 = 0,63$. Bei freiliegenden Häusern liegt das Verhältnis B/A etwa zwischen 2 und 4, im Mittel bei etwa 3, $\frac{B}{A+B} \sim 0,75$, so daß für V_0 etwa der Wert 0,9 anzusetzen ist.

5.2 Schräges Anblasen

Für schräges Anblasen ist es nicht mehr möglich, den Druck vor den angeblasenen Öffnungen als unabhängig von der Lage dieser Öffnungen in der Wand anzunehmen. An der angeblasenen Ecke kann man

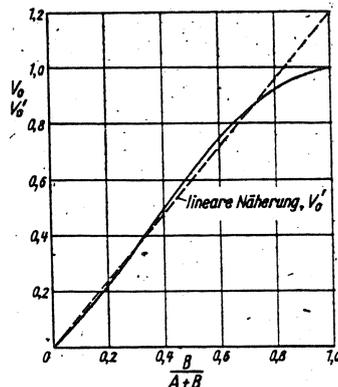


Bild 8. Auf die Einheit der Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnung bezogene Luftmenge V_0 bei verschiedenen Verhältnissen $B/(A+B)$

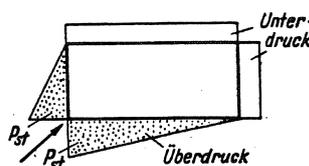


Bild 9. Idealisiertes Druckprofil am Äußeren eines Gebäudes beim schrägen Anblasen

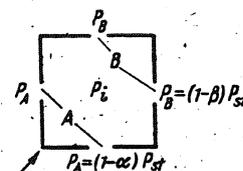


Bild 10. Erläuterung der verwendeten Bezeichnungen

den Staudruck des Windes ansetzen. Von der angeblasenen Ecke bis zu den folgenden Ecken fällt der Überdruck an der angeblasenen Wand etwa auf Null, während an allen nicht angeblasenen Außenwänden ein etwa konstanter Unterdruck angenommen werden kann. Bild 9 zeigt dieses so idealisierte Druckprofil an einem schräg angeblasenen Gebäude.

5.21 Druckverhältnisse beim schrägen Anblasen

Für den Fall, daß in den beiden angeblasenen Seiten die Fenster gleichen Abstand von der angeblasenen Ecke haben, Bild 10, läßt sich Gl. (3) in einer erweiterten Form verwenden:

$$\frac{P_A - P_i}{(\beta - \alpha) \cdot P_{st}} = \frac{(B/A)^{3/2}}{1 + (B/A)^{3/2}} \quad (3a)$$

Darin ist gem. Bild 10 P_A der Druck vor den Öffnungen in den angeblasenen Seiten. Er ist im allgemeinen kleiner als der Staudruck und beträgt bei symmetrischer Lage der angeblasenen Fenster zu den Ecken etwa $P_A = 0,5 \cdot P_{st}$, d.h. $\alpha = 0,5$.

Zur Bestimmung des Innendruckes läßt sich also sinngemäß Bild 6 verwenden.

5.22 Die eindringende Luftmenge beim schrägen Anblasen

Der Lufteinfluss in das Haus ohne Innenwände läßt sich dann leicht in Verbindung mit den Bildern 7 und 8 aus der erweiterten Gl. (6)

$$V_{L_A} = A V_0 \left[(\beta - \alpha) P_{st} \right]^{2/3} \quad (6a)$$

errechnen, wenn man sich alle Öffnungen in einer Wand konzentriert denkt.

6. Die Auswirkungen der äußeren Druckverteilung bei Gebäuden mit Innenwänden unter Berücksichtigung der Luftdurchlässigkeit und Anordnung der Innentüren

Zur Kennzeichnung des Einflusses der Innenwände mit mehr oder weniger großen Durchlässigkeiten (Türen) auf den Luftdurchgang sei der in [10] vorgeschlagene Verstärkungsfaktor v benutzt. Er ist definiert zu

$$v = \frac{V_L}{V_{L_0}} \quad (7)$$

worin V_L diejenige Luftmenge bedeutet, die bei 1 mmWS Druckdifferenz zwischen angeblasener Seite und nicht angeblasener Seite des Hauses durch eine betrachtete Öffnung einströmt, wenn Innenwände vorhanden sind. V_{L_0} ist die Luftmenge, die beim Nichtvorhandensein von Innenwänden einströmen würde.

6.1 Vereinfachung der Rechnung

Für jede Öffnung müßte man den Ansatz nach Gl. (1a) machen. Da jedoch das Rechnen mit dem Exponenten $2/3$ schon bei einfacheren Systemen sehr mühsam ist, werde folgende Vereinfachung gemacht:

Die Funktion

$$\left[\frac{P_{st} - P_i}{\beta P_{st}} \right]^{2/3} = x^{2/3} \quad (8)$$

wird im Bereich von 0 bis 1 durch eine lineare Funktion $a \cdot x$ ersetzt, wobei der Faktor a aus der Bedingung, daß die Fehlersumme im Bereich von $x = 0$ bis $x = 1$ gleich Null wird, den Wert 1,2 erhält. (Zur Bestimmung des Verstärkungsfaktors ist es bedeutungslos, ob man den Faktor nach der Fehlersumme oder der Fehlerquadratsumme bestimmt.)

An Stelle von Gl. (1b) schreibt man jetzt

$$V_L = A \cdot 1,2 \cdot \frac{P_{st} - P_i'}{\beta \cdot P_{st}} (\beta \cdot P_{st})^{2/3} \quad (1c)$$

Der Verstärkungsfaktor v ist dann gem. Definition errechenbar aus

$$v = \frac{P_{st} - P_{i'T}}{P_{st} - P_i'} \quad (7a)$$

wobei der Innendruck $P_{i'T}$ sich auf das Haus ohne Innenwände bezieht. Die Berechnung der in das wirkliche Haus mit Innenwänden eintretenden Luftmenge kann also durch Multiplikation der für das Haus ohne Innenwände gefundenen Luftmenge mit dem Verstärkungsfaktor erfolgen nach

$$V_L = v A V_0 (\beta P_{st})^{2/3} \quad (9)$$

Darin kann die Größe V_0 aus den Bildern 7 oder 8 entnommen oder nach Gl. (5) berechnet werden. Es wird zunächst nur zur Ermittlung des Verstärkungsfaktors v vom vereinfachenden linearen Ansatz Gebrauch gemacht.

Für die anteilige Druckdifferenz geht Gl. (3) über in

$$\frac{P_{st} - P_i'}{\beta P_{st}} = \frac{\frac{B}{A}}{1 + \frac{B}{A}} = \frac{B}{A + B} \quad (3b)$$

Diese Beziehung ist in Bild 6 als gestrichelte Kurve eingetragen. Die bezogene Luftmenge V_0 errechnet sich dann einfacher nach

$$V_0^* = 1,2 \cdot \frac{\frac{B}{A}}{1 + \frac{B}{A}} = 1,2 \cdot \frac{B}{A + B} \quad (5a)$$

Das Ergebnis dieser Näherungsrechnung findet man in den Bildern 7 und 8 als gestrichelte Kurven. Die Abweichung der Näherungswerte V_0' von den Werten V_0 aus dem Rechensatz mit dem Exponenten $2/3$ ist gering.

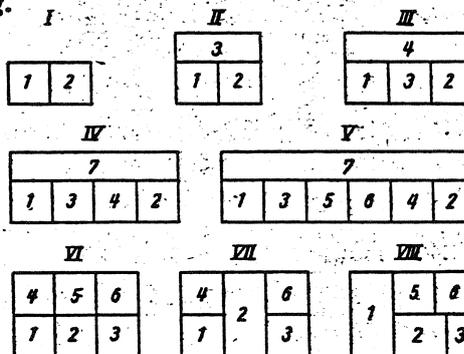


Bild 11. Grundrisse der untersuchten Gebäude (schematisch)

Mit Hilfe der linearen Näherungsrechnung werden nun 8 typische Gebäudegrundrisse, s. Bild 11, auf die Durchlüftung der einzelnen Räume unter Annahme verschiedener Größe und Anordnung der Durchlässigkeiten in den angeblasenen Seiten (ΣA), in den nicht angeblasenen Seiten (ΣB) und der Innentüren (ΣT) untersucht. Um für jeden Raum die ungünstigste Windrichtung, die den größten Kaltluft-einfall ergibt, zu ermitteln, erfolgte eine Durchrechnung für 8 verschiedene Anblasrichtungen a, b, c, ..., h über der ganzen Windrose, s. Bild 12.

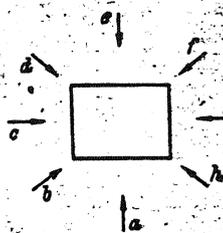


Bild 12. Bezeichnung der Anblasrichtung

6.2 Das aus nur zwei Räumen bestehende Haus, Gebäudtyp I

Der einfachste Fall, den man behandeln kann, um den Einfluß der Innenwände auf den Luftdurchgang durch ein Gebäude bei bestimmter Größe der Durchlässigkeiten (Fenster) in den Außenwänden festzustellen, sind zwei miteinander in Verbindung stehende Räume.

6.21 Senkrechtes Anblasen

Für senkrechtes Anblasen hat man zwei Fälle zu unterscheiden, einmal Anblasen derart, daß die Räume hintereinander liegen, zum anderen, daß die beiden Räume nebeneinander angeordnet sind.

6.211 Hintereinanderliegende Räume

Gemäß Bild 13 trennt eine Innenwand mit der Durchlässigkeit T zwei Räume 1 und 2 voneinander. Die Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnung des Raumes 1 habe den Wert A_1 , die Gesamtsumme der Durchlässigkeiten in seinen nicht angeblasenen

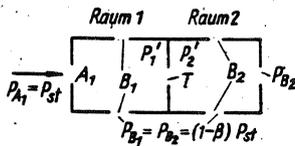


Bild 13. Anordnung und Bezeichnung der Öffnungen in zwei hintereinanderliegenden Räumen

Außenwänden sei B_1 . Die Durchlässigkeiten des Raumes 2, der keine angeblasenen Öffnungen hat, haben den Betrag B_2 . (Es sei erinnert, daß mit A und B stets nur Öffnungen in Außenwänden bezeichnet sind.)

Die Luftmengenbilanz für den Innendruck P_1' im Raum 1 führt zu folgender Beziehung:

$$\frac{P_{st} - P_1'}{\beta P_{st}} = \frac{B_1 + \frac{B_2 \cdot T}{B_2 + T}}{A_1 + B_1 + \frac{B_2 \cdot T}{B_2 + T}} \quad (10)$$

worin der Ausdruck $\frac{B_2 \cdot T}{B_2 + T}$ einen Ersatzwiderstand für die hintereinandergeschalteten Öffnungen T und B_2 bedeutet. Im Zähler von Gl. (10) steht also eine Größe, die kennzeichnend ist für die Abströmverhältnisse der Luft, während im Nenner nur noch ein Zusatzglied, daß die Einströmdurchlässigkeit beschreibt, dazukommt. Gl. (10) ist also dem Aufbau nach mit Gl. (3b) identisch.

Bedenkt man noch, daß Gl. (3b) für das Haus ohne Innenwände jetzt den Wert

$$\frac{P_{st} - P_1'}{\beta P_{st}} = \frac{B_1 + B_2}{A_1 + B_1 + B_2} = \frac{\sum B}{\sum A + \sum B}$$

annimmt, so erhält man nach einigen Umformungen für den Verstärkungsfaktor v :

$$v = \frac{1 - \frac{1}{1 + b_1 + \frac{t_1}{1 + t_1/b_2}}}{1 - \frac{1}{1 + b_1 + b_2}}$$

Darin ist zur Abkürzung geschrieben: $b_1 = B_1/A_1$, $b_2 = B_2/A_1$ und $t_1 = T/A_1$. Bild 14 zeigt den durch Gl. (11) gegebenen Zusammenhang für $T = 0$, d.h. bei einer Trennwand ohne Öffnung und für $T = A_1$, d.h. die Verbindungstür habe die gleiche Durchlässigkeit wie die angeblasene Öffnung. Für $T = \infty$ ist stets $v = 1$. Bei wirklichen Türen ist zu erwarten, daß die Durchlässigkeit, allein wegen des unteren Spaltes, etwa drei- bis fünfmal größer ist als die eines gewöhnlichen Fensters.

Die kleinsten Verstärkungsfaktoren kommen für $B_1/A_1 = 0$ in Frage, d.h. die einströmende Luft strömt nur über die Innentür ab. Ist z.B. im Raum 1 nur die angeblasene Öffnung außer der Tür vorhanden, im Raum 2 nur eine gleichgroße ($B_1/A_1 = 0$, $B_2/A_1 = 1$), so ist für $T/A_1 = 1$ der Verstärkungsfaktor $v = 0,67$. Es würden also nur 67% der in das Haus ohne Zwischenwände eintretenden Luftmenge einströmen.

6.212 Nebeneinanderliegende Räume

Zwei Räume 1 und 2 (s. Bild 15) mit den Durchlässigkeiten der angeblasenen Öffnungen A_1 und A_2 und den nicht angeblasenen Öffnungen B_1 und B_2 liegen in

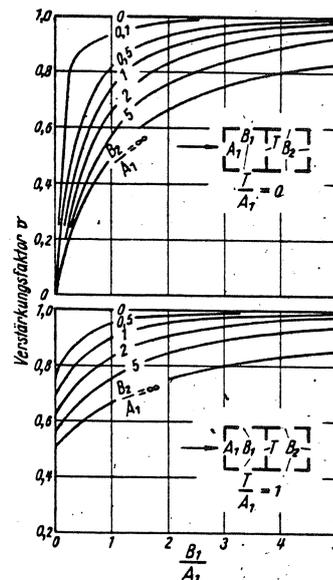


Bild 14. Einfluß der Durchlässigkeit der Außenöffnungen B_1/A_1 und B_2/A_1 , sowie der Innentür T/A_1 auf den Luftdurchgang bei hintereinanderliegenden Räumen

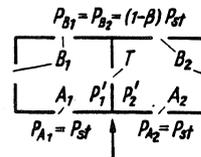


Bild 15. Anordnung und Bezeichnung der Öffnungen in zwei nebeneinander liegenden Räumen

der Windrichtung nebeneinander und seien durch eine Wand mit der Durchlässigkeit (Γ für) T getrennt.

Je nach Größe der Durchlässigkeiten A_1 , A_2 , B_1 und B_2 werden verschiedene Innendrucke sich in den beiden Räumen einstellen, die eine Strömung durch die Fugen der Tür von einem Raum in den anderen bewirken. Man kann hier einen Verstärkungsfaktor definieren

1. für jeden Raum einzeln: v_1 und v_2 ,
2. für beide Räume zusammen: v_{ges}

Der Ansatz, daß für jeden Raum die insges. zu- und abfließenden Luftmengen gleich sind, führt zu den folgenden Ergebnissen:

Für Raum 1:

$$v_1 = \frac{(1 + \frac{A_1 + A_2}{B_1 + B_2}) (\frac{B_1 + B_2}{A_2 + B_2} + \frac{B_1}{T})}{1 + \frac{A_1 + B_1}{T} + \frac{A_1 + B_1}{A_2 + B_2}} \quad (12)$$

für Raum 2:

$$v_2 = \frac{(1 + \frac{A_1 + A_2}{B_2 + B_2}) (\frac{B_1 + B_2}{A_1 + B_1} + \frac{B_2}{T})}{1 + \frac{A_2 + B_2}{T} + \frac{A_2 + B_2}{A_1 + B_1}} \quad (13)$$

Der für die insges. in die beiden Räume einströmende Luftmenge gültige Verstärkungsfaktor v_{ges} errechnet sich zu:

$$v_{ges} = \frac{v_1 + \frac{A_2}{A_1} v_2}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \quad (14)$$

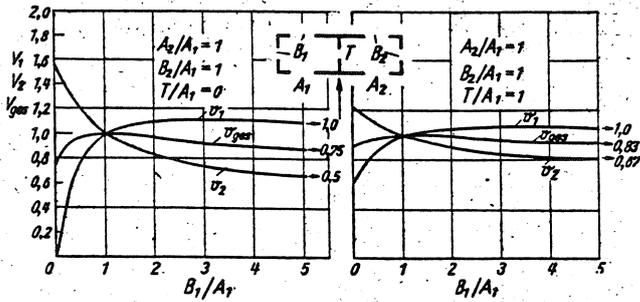


Bild 16. Einfluß der Durchlässigkeit der Außenöffnungen B_1/A_1 und B_2/A_1 , sowie der Innentür T/A_1 auf den Luftdurchgang bei zwei nebeneinander liegenden Räumen

Die in den Gl. (12) bis (14) angegebenen Verstärkungsfaktoren sind schon für das aus nur zwei Räumen bestehende Haus von vier Variablen, nämlich $A_2/A_1, B_1/A_1, B_2/A_1$ und T/A_1 abhängig. In Bild 16 sind die Ergebnisse der Gl. (12) bis (14) für $A_2/A_1 = 1, B_2/A_1 = 1$ bei $T/A_1 = 0$ und $T/A_1 = 1$ wiedergegeben. Man entnimmt aus dem Bilde, das die insges. in die beiden Räume einströmende Luftmenge unter den vorausgesetzten Durchlässigkeitsverhältnissen der Innentür nicht wesentlich kleiner ist als die ohne Trennwand in das Haus einströmende Luftmenge. In einem Extremfall soll der Raum 1 nur das angeblasene Fenster (A_1) besitzen, $B_1 = 0$, während der Raum 2 je ein Fenster in der angeblasenen und nicht angeblasenen Seite habe bei $A_2 = B_2 = A_1$. In Raum 1 könnte ohne Vorhandensein einer Innentür ($T = 0$) nichts einströmen, d.h. $v_1 = 0$, während für Raum 2 der Verstärkungsfaktor $v_2 = 1,5$ betrüge. Es würde also in Raum 2 eineinhalbmal soviel einströmen als bei überhaupt fehlender Innenwand, wenn also auch die durch A_1 einströmende Luft über B_2 abströme. Der Gesamtverstärkungsfaktor beträgt also 0,75. Ist jedoch eine Innentür von der gleichen Durchlässigkeit wie eines Fensters vorhanden, $T = A_1$, so würde für Raum 1 der Verstärkungsfaktor v_1 bereits 0,6 betragen, während in den Raum 2 über das Fenster noch etwa 120 % der ohne Zwischenwand einfallende Luftmenge einströmen würde. Insgesamt betrüge der Verstärkungsfaktor für beide Räume $v_{ges} = 0,9$. Aus Bild 16 läßt sich schließen, daß - wenigstens für das quer angeblasene Zweiraumbauwerk - bei normaler Durchlässigkeit der Innentür die insges. in das Gebäude einströmende Luftmenge nicht wesentlich kleiner ist als bei nicht vorhandenen Innenwänden.

6.22 Schräges Anblasen

Für schräges Anblasen war bisher angenommen worden, daß es erlaubt sei, die Öffnungen in den angeblasenen Seiten zusammenzufassen. Dies dürfte im allgemeinen nicht der Fall sein, da die Drücke vor den angeblasenen Öffnungen sehr voneinander verschieden sein können, je nach Abstand von den angeblasenen Ecken. Es ist nun möglich, zwar nur mit Hilfe der linearen Näherung, eine allgemein gültige Beziehung, für den Lufttritt bei schrägem Anblasen in Gebäude ohne Innenwände herzuleiten:

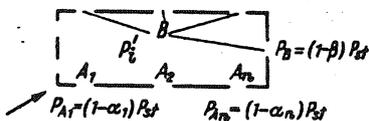


Bild 17. Erläuterung für den allgemeinsten Fall des schrägen Anblasens

Gemäß Bild 17 haben die Drücke vor den angeblasenen Öffnungen A_n den Wert $P_{A_n} = (1 - \alpha_n) P_{st}$, die Drücke vor den nicht angeblasenen Öffnungen mit der Gesamtdurchlässigkeit ΣB sei einheitlich $P_B = (1 - \beta) P_{st}$.

Bezieht man die Rechnung auf die größte am Gebäude wirksame Druckdifferenz zwischen angeblasenen und nicht angeblasenen Öffnungen, auf $(\beta - \alpha_1) P_{st}$, so lautet die Luftwechselbilanz:

$$V_L = 1,2 \frac{\sum A_n \cdot ((1 - \alpha_n) P_{st} - P_1')}{(\beta - \alpha_1) P_{st}} ((\beta - \alpha_1) P_{st})^{2/3} \quad (15a)$$

$$V_L = 1,2 \frac{\sum B \cdot (P_1' - (1 - \beta) P_{st})}{(\beta - \alpha_1) P_{st}} ((\beta - \alpha_1) P_{st})^{2/3} \quad (15b)$$

Man findet daraus für den Innendruck P_1' :

$$P_1' = P_{st} \frac{\sum A_n (1 - \alpha_n) + \Sigma B (1 - \beta)}{\Sigma A + \Sigma B} \quad (16)$$

Führt man ein $\Sigma A_n (1 - \alpha_n) = (1 - \alpha_m) \Sigma A_n$ mit

$$\alpha_m = \frac{\Sigma A_n \alpha_n}{\Sigma A_n} \quad (17)$$

so wird Gl. (16)

$$P_1' = P_{st} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_m \Sigma A + \beta \Sigma B}{\Sigma A + \Sigma B} \right) \quad (18)$$

Für die anteilige Druckdifferenz der der angeblasenen Ecke nächstgelegenen Öffnung A_1 findet man:

$$\frac{(1 - \alpha_1) P_{st} - P_1'}{(\beta - \alpha_1) P_{st}} = \frac{\alpha_m - \alpha_1}{\beta - \alpha_1} \cdot \frac{\Sigma A + \Sigma B}{\Sigma A + \Sigma B} \quad (19)$$

oder mit Gl. (17)

$$\frac{(1 - \alpha_1) P_{st} - P_1'}{(\beta - \alpha_1) P_{st}} = \frac{\sum (A_n \cdot \frac{\alpha_n - \alpha_1}{\beta - \alpha_1}) + \Sigma B}{\Sigma A + \Sigma B} \quad (20)$$

Noch etwas umgeformt wird Gl. (20) zu

$$\frac{(1 - \alpha_1) P_{st} - P_1'}{(\beta - \alpha_1) P_{st}} = 1 - \frac{\beta - \alpha_m}{\beta - \alpha_1} \left(1 - \frac{\Sigma B}{\Sigma A + \Sigma B} \right) \quad (21)$$

Gl. (21) hat den Vorteil, für alle Windrichtungen brauchbar zu sein, wenn man die entsprechenden Werte von α_m, α_1 und β einsetzt. Für senkrecht Anblasen wird $\alpha_m = \alpha_1 = 0$ und Gl. (21) geht über in Gl. (3b). In Bild 18 ist Gl. (21) mit dem Parameter $(\beta - \alpha_m)/(\beta - \alpha_1)$ dargestellt. Eingetragen ist auch das Ergebnis des Ansatzes mit dem Exponenten $2/3$ für $\alpha_m = \alpha_1 = 0$. Die Abweichungen der Näherungswerte von den der genauen Rechnung sind z. T. erheblich. Bild 19 enthält die bezogenen Luftmengen

$$V_0 = 1,2 \cdot \left(1 - \frac{\beta - \alpha_m}{\beta - \alpha_1} \left(1 - \frac{\Sigma B}{\Sigma A + \Sigma B} \right) \right) ((\beta - \alpha_1) P_{st})^{2/3} \quad (22)$$

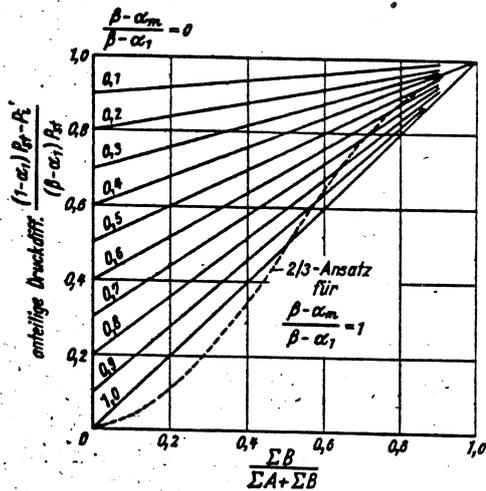


Bild 18. Anteilige Druckdifferenz für schräges Anblasen bei verschiedenen Verhältnissen $\Sigma B / (\Sigma A + \Sigma B)$ und $(\beta - \alpha_m) / (\beta - \alpha_1)$

für $(\beta - \alpha_1) P_{st} = 1$. In Bild 19 sind ebenfalls für $\alpha_m = \alpha_1 = 0$ die Werte des Rechenansatzes mit dem Exponenten $2/3$ als gestrichelte Linie eingetragen. Man sieht, daß die Abweichung der Näherungsrechnung von der genauen Rechnung im in Frage kommenden Bereich durchweg gering sind.

Diese hergeleiteten Beziehungen sollen jetzt für den Fall der zwei nebeneinanderliegenden Räume zur Durchrechnung herangezogen werden.

Gemäß Bild 20 sei der Druck vor der angeblasenen Öffnung A_{11} des Raumes 1 mit $P_{A_{11}}$ bezeichnet. Vor den Öffnungen A_{12} herrsche $P_{A_{12}}$, vor A_2 sei P_{A_2} wirksam. Auf der Außenseite der nicht angeblasenen Öffnungen B_1 und B_2 herrsche der Druck $P_{B_1} = P_{B_2} = P_B = (1 - \beta) P_{st}$. Setzt man noch $P_{A_{11}} = (1 - \alpha_{11}) P_{st}$, $P_{A_{12}} = (1 - \alpha_{12}) P_{st}$ und $P_{A_2} = (1 - \alpha_2) P_{st}$, so findet man für das Haus ohne Innenwände - $T = \infty$ - die folgenden Gleichungen für die anteiligen Druckdifferenzen, bezogen auf $(\beta - \alpha_{11}) P_{st}$:

$$\frac{P_{A_{11}} - P_1'}{(\beta - \alpha_{11}) P_{st}} = \frac{A_{12} \frac{\alpha_{12} - \alpha_{11}}{\beta - \alpha_{11}} + A_2 \frac{\alpha_2 - \alpha_{11}}{\beta - \alpha_{11}} + (B_1 + B_2) \frac{\beta - \alpha_{11}}{\beta - \alpha_{11}}}{\Sigma A + \Sigma B} \quad (23a)$$

$$\frac{P_{A_{12}} - P_1'}{(\beta - \alpha_{11}) P_{st}} = \frac{A_{11} \frac{\alpha_{11} - \alpha_{12}}{\beta - \alpha_{11}} + A_2 \frac{\alpha_2 - \alpha_{11}}{\beta - \alpha_{11}} + (B_1 + B_2) \frac{\beta - \alpha_{12}}{\beta - \alpha_{11}}}{\Sigma A + \Sigma B} \quad (23b)$$

$$\frac{P_{A_2} - P_1'}{(\beta - \alpha_{11}) P_{st}} = \frac{A_{11} \frac{\alpha_{11} - \alpha_2}{\beta - \alpha_{11}} + A_{12} \frac{\alpha_{12} - \alpha_2}{\beta - \alpha_{11}} + (B_1 + B_2) \frac{\beta - \alpha_2}{\beta - \alpha_{11}}}{\Sigma A + \Sigma B} \quad (23c)$$

Für das Haus mit Innenwänden findet man für die anteiligen Druckdifferenzen, wenn man noch als Gesamtdurchlässigkeit für den Raum 1 den Wert $D_1 = A_{11} + A_{12} + B_1 + T$ und für den Raum 2 den Wert $D_2 = A_2 + B_2 + T$ einführt, die folgenden Beziehungen:

$$\frac{P_{A_{11}} - P_1'}{(\beta - \alpha_{11}) P_{st}} = \frac{D_2 A_{11} \frac{\alpha_{12} - \alpha_{11}}{\beta - \alpha_{11}} + A_2 T \frac{\alpha_2 - \alpha_{11}}{\beta - \alpha_{11}} + (D_2 B_1 + B_2 T) \frac{\beta - \alpha_{11}}{\beta - \alpha_{11}}}{D_1 D_2 - T^2} \quad (24a)$$

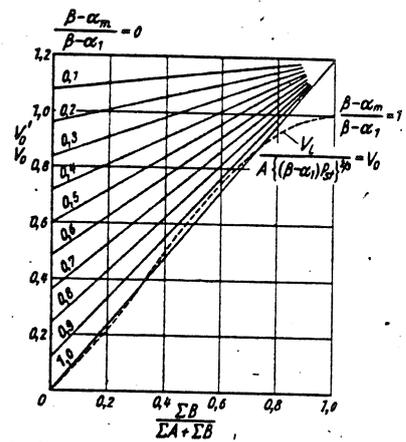


Bild 19. Auf die Durchlässigkeitseinheit der angeblasenen Öffnung bezogene Luftmenge V_0' bei schrägem Anblasen für verschiedene Verhältnisse $\Sigma B / (\Sigma A + \Sigma B)$ und $(\beta - \alpha_m) / (\beta - \alpha_1)$
Gültig für $(\beta - \alpha_1) P_{st} = 1$

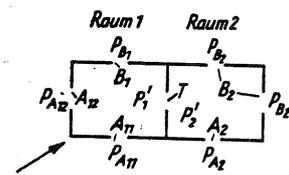


Bild 20. Erläuterung der verwandten Bezeichnungen für den allgemeinen Fall des schrägen Anblasens eines aus zwei Räumen bestehenden Gebäudes

$$\frac{P_{A_{12}} - P_1'}{(\beta - \alpha_{11}) P_{st}} = \frac{D_2 A_{11} \frac{\alpha_{11} - \alpha_{12}}{\beta - \alpha_{11}} + A_2 T \frac{\alpha_2 - \alpha_{12}}{\beta - \alpha_{11}} + (D_2 B_1 + B_2 T) \frac{\beta - \alpha_{12}}{\beta - \alpha_{11}}}{D_1 D_2 - T^2} \quad (24b)$$

$$\frac{P_{A_2} - P_1'}{(\beta - \alpha_{11}) P_{st}} = \frac{A_{11} T \frac{\alpha_{11} - \alpha_2}{\beta - \alpha_{11}} + A_{12} T \frac{\alpha_{12} - \alpha_2}{\beta - \alpha_{11}} + (D_1 B_2 + B_1 T) \frac{\beta - \alpha_{21}}{\beta - \alpha_{11}}}{D_1 D_2 - T^2} \quad (24c)$$

Man ist also in der Lage, die Verstärkungsfaktoren für das aus zwei Räumen bestehende Gebäude auch für das schräge Anblasen zu errechnen, indem man die Ergebnisse der Gl. (24) durch die der Gl. (23) dividiert.

6.23 Auswertung der Gleichungen für das Zweiraumbau

Da es neben der Kenntnis der Beeinflussbarkeit des Verstärkungsfaktors von Anordnung und Dichtigkeit aller Öffnungen im Gebäude auch noch auf die Ermittlung der ungünstigsten Anblasrichtung für einen Raum ankommt, wurde ein anderer Weg beschritten.

Für eine Reihe von Anordnungsmöglichkeiten von Fenstern und Türen wurden die in jeden Raum ein- und austretenden Luftmengen zunächst für das Haus ohne Innenwände, dann unter Berücksichtigung der Innenwände berechnet. Für beide Fälle wurde von der linearen Näherungsrechnung Gebrauch gemacht. Zur Ermittlung der ungünstigsten Windrichtung wurden 8 verschiedene Anblasrichtungen bei der Durchrechnung berücksichtigt, s. Bild 12. Dabei mußte beachtet werden, daß für senkrechtes Anblasen der Unterdruck an den nicht angeblasenen Seiten niedriger ist, $\beta = 1,3$ als bei schrägem Anblasen, wofür man aus den Flachsbartschen Messungen $\beta = 1,5$ setzen kann. Bild 21 zeigt die auch weiter stets benutzten Druckprofile am Äußeren der Gebäude.

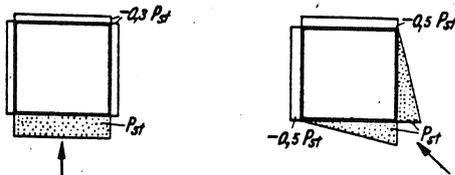


Bild 21. Bei den Zahlenrechnungen zugrunde gelegte Druckverteilung am Äußeren der Gebäude für senkrecht und schräges Anblasen entsprechend $P_{st} = 1$

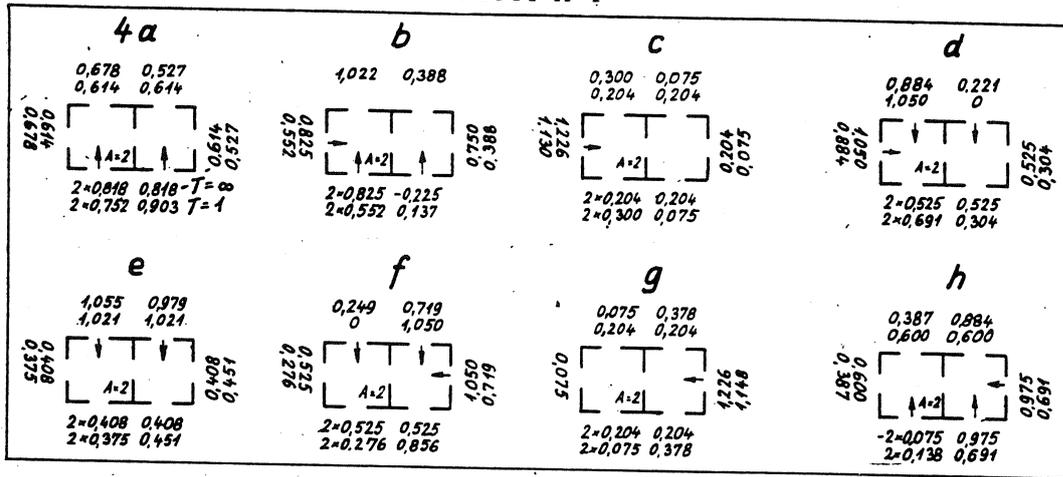
Für schräges Anblasen wurde in den meisten Fällen angenommen $\alpha_{11} = \alpha_{12} = 0$ und $\alpha_2 = 1$, d.h. auf die Fenster der angeblasenen Seiten wirkt bei dem

Raum, der die angeblasene Ecke enthält, der volle Staudruck, während für den davon entferntesten Raum das angeblasene Fenster als in derjenigen Ecke liegend angesehen wurde, für die der äußere Überdruck gleich Null ist.

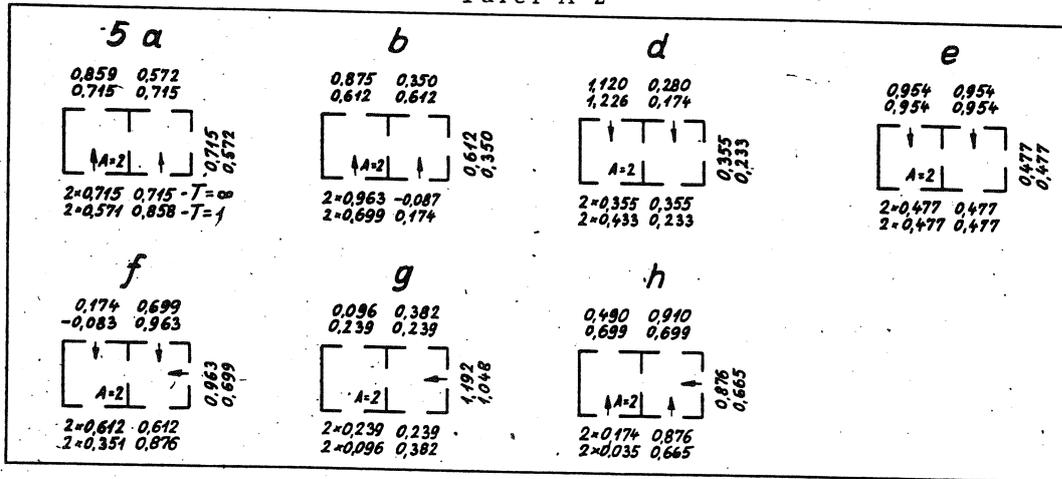
Eingetragen sind in den Tafeln A1 bis A3³⁾ die aus der linearen Rechnung gewonnenen ein- und aus-tretenden Luftmengen für $T = \infty$ und $T = 1$, für die Durchlässigkeitseinheit der Öffnungen ($A = 1, B = 1$)

³⁾ Aus Platzgründen konnte nur ein Teil der durchgerechneten Beispiele [18] wiedergegeben werden. Die eingetragenen Beispielsnummern sind mit den in [18] identisch.

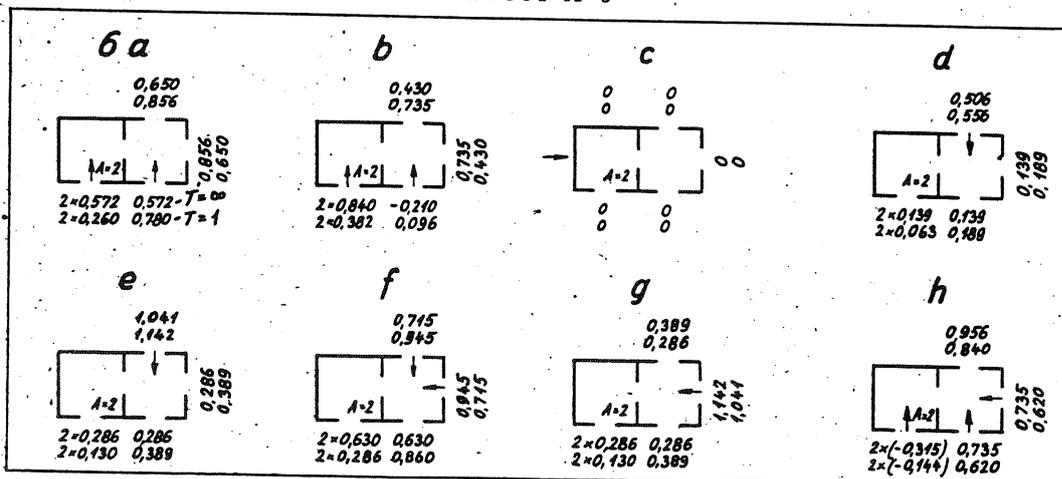
Tafel A 1



Tafel A 2



Tafel A 3



für $P_{st} = 1 \text{ mmWS}$. Dabei sind die für $T = \infty$ geltenden Luftmengen direkt an den Öffnungen, die für $T = 1$ geltenden darunter bzw. darüber eingetragen. Die in die Öffnungen eingetragenen Pfeile weisen auf die angeblasenen Öffnungen hin, durch die auch meist Luft in das Innere einströmt. Tritt durch eine angeblasene Öffnung aber Luft von innen nach außen (bei schrägem Anblasen möglich), so ist die betreffende Luftmenge mit negativem Vorzeichen eingetragen.

Es wurde auch geprüft, wie groß sich bei schrägem Anblasen die Luftmengen ergeben, wenn die Fenster in den Eckräumen nicht mehr extrem in den Ecken angeordnet sind, sondern jeweils in der Mitte der Wände. Für diesen Fall wurde hier angesetzt $\alpha_{11} = 0,25$, $\alpha_{12} = 0,5$ und $\alpha_2 = 0,75$. In Tafel A4 sind die Ergebnisse für diese Voraussetzungen für die Beispiele der Tafeln A1 bis A3 wiedergegeben, (Fensteranordnung in der Mitte der Wände ist stets durch Verdoppelung des Windrichtungsbuchstaben gekennzeichnet, in Tafel A4 heißt es z. B. 6 bb).

Aus den Tafeln A1 bis A4 kann man folgendes entnehmen: Die größten in einen Eckraum eintretenden Luftmengen ergeben sich sowohl bei $T = \infty$ als auch bei $T = 1$ fast durchweg beim schrägen Anblasen. Bei schrägem Anblasen sind die in einen Raum eintretenden Luftmengen größer als beim senkrechten Anblasen. Aus den in den Bildern eingetragenen Luftmengen für $T = 1$ und $T = \infty$ kann man durch Division den Verstärkungsfaktor bilden. Abgesehen von den Fällen, bei den der angeblasene Raum nur

angeblasene Außenöffnungen aufweist - gefangenes Zimmer -, liegt der Verstärkungsfaktor stets zwischen 0,7 und 1. Er ist dann gleich 1, wenn für die beiden nebeneinanderliegenden Räume, also Windanriff auf die Breitseite, das Verhältnis von angeblasener Öffnung zu nicht angeblasener Öffnung gleich ist (Vergl. 5e in Tafel A2). Handelt es sich um ein gefangenes Zimmer, d. h. Luft kann nur über Innentüren abströmen, so liegt der Verstärkungsfaktor bei etwa 0,4, s. Beispiel 6a und 6b, Tafel A3.

6.3 Luftdurchgang durch ein Gebäude, bestehend aus zwei nebeneinanderliegenden Räumen mit einem dahinterliegenden Raum (Gebäudetyp II)

Es sei jetzt ein Gebäude gem. Bild 22 betrachtet.

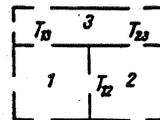
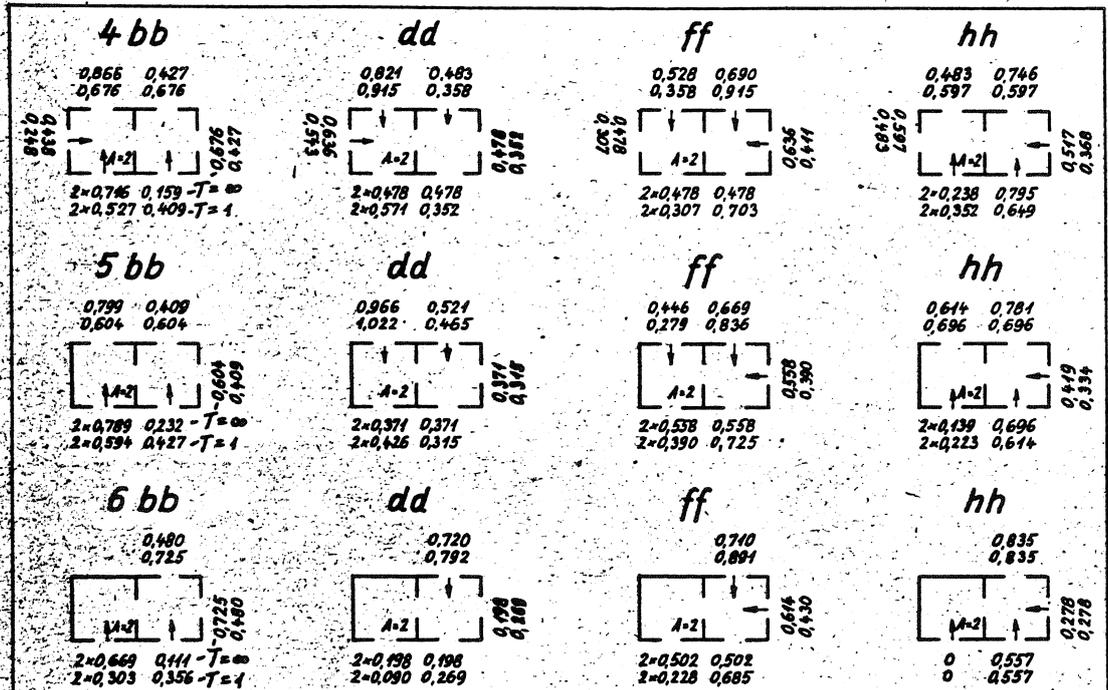


Bild 22. Schema eines Gebäudes bestehend aus zwei nebeneinanderliegenden Räumen und einem gemeinsam dahinter liegenden Raum

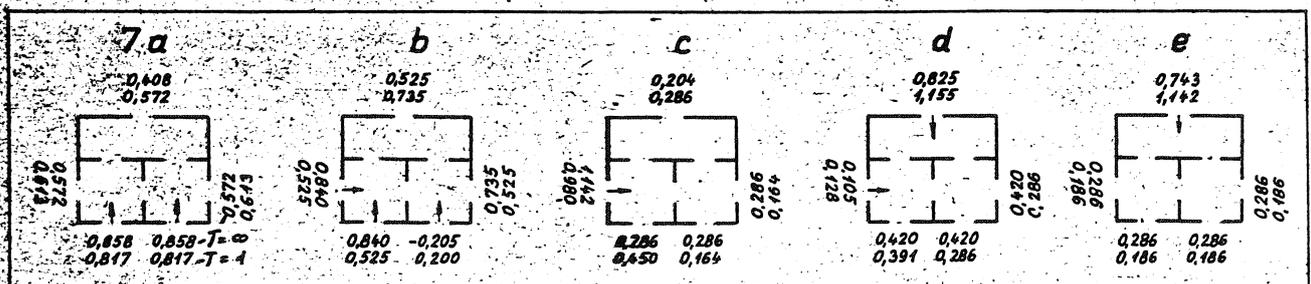
6.31 Der Innendruck in den Räumen 1, 2 und 3

Die Ausdrücke für die anteiligen Druckdifferenzen werden schon bei einem aus nur zwei Räumen bestehenden Gebäude so kompliziert, daß es bei Gebäuden mit noch mehr Räumen zweckmäßiger ist nicht mehr die anteiligen Druckdifferenzen als Unbekannte zu bestimmen, sondern die Drücke in den

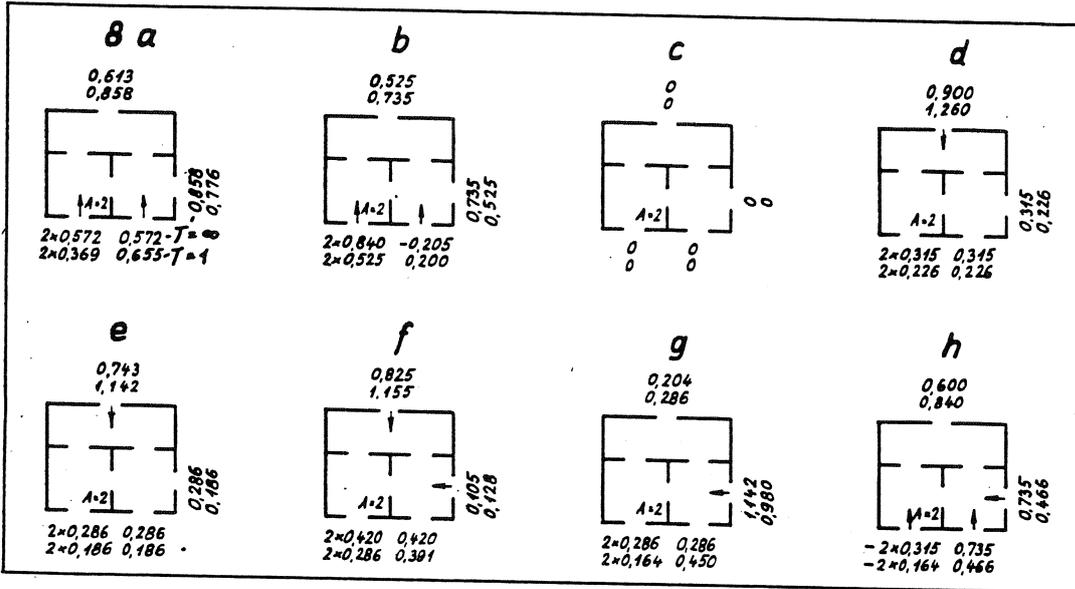
Tafel A 4



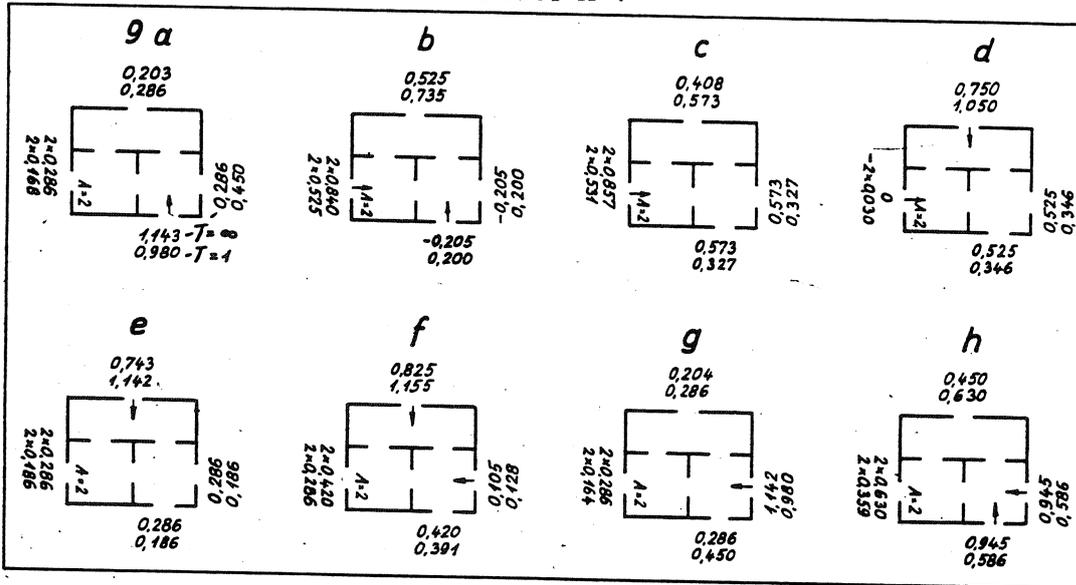
Tafel A 5



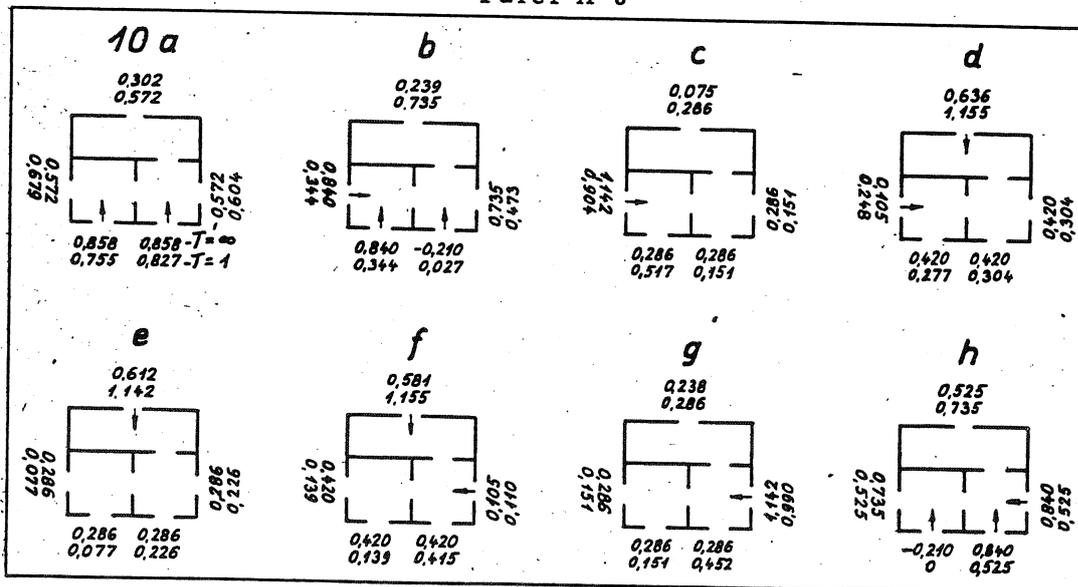
Tafel A 6



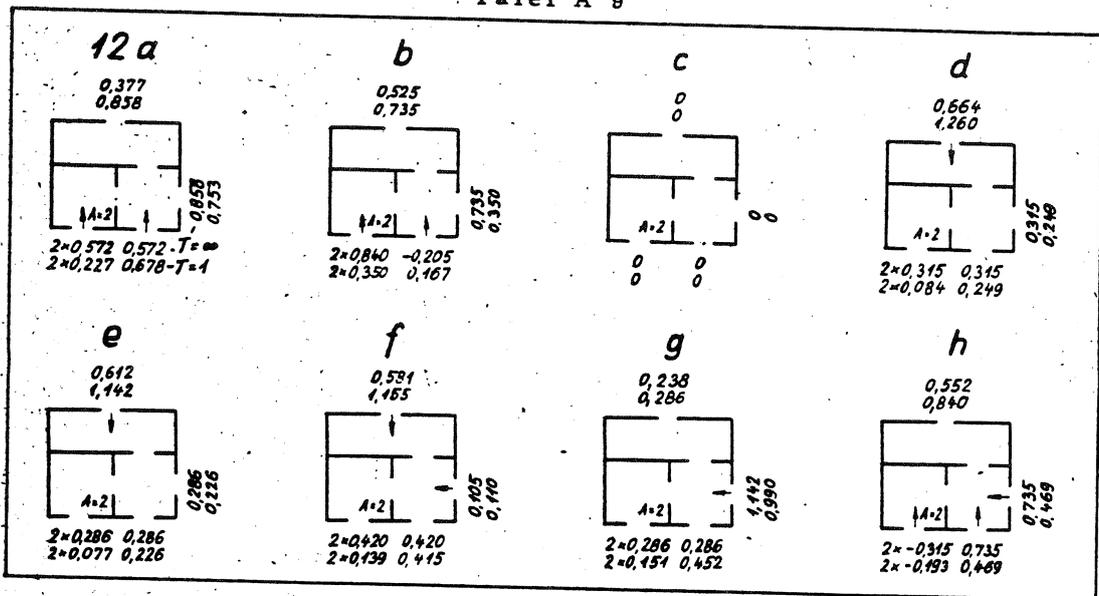
Tafel A 7



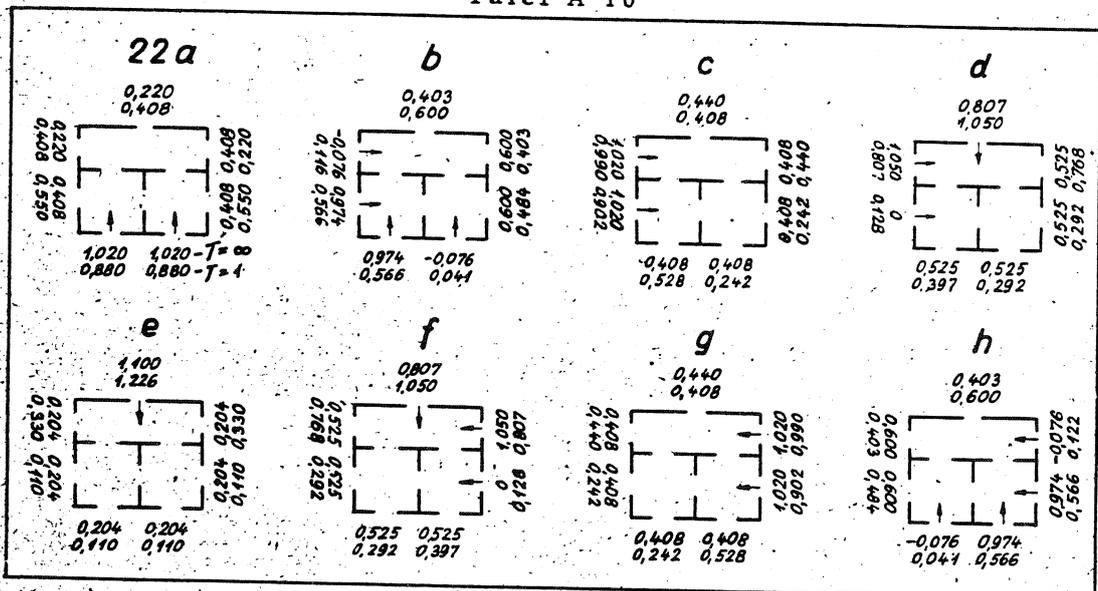
Tafel A 8



Tafel A 9



Tafel A 10



Räumen. Für den vorliegenden Fall sind also jetzt die Drücke P_1' im Raum 1, P_2' im Raum 2 und P_3' im Raum 3 zu bestimmen. Dies erfolgt wieder durch Ansetzen der Luftmengenbilanz für jeden Raum. Man erhält im vorliegenden Fall drei Gleichungen mit drei Unbekannten. Sind die Innendrucke bekannt, so kann man leicht die anteiligen Druckdifferenzen und die eintretenden Luftmengen nach Gl. (1c) berechnen.

Man findet für die Innendrucke in den Räumen 1, 2 und 3 die folgenden Ausdrücke:

$$P_1' = \frac{Z_1}{N}, P_2' = \frac{Z_2}{N}, P_3' = \frac{Z_3}{N} \quad (25)$$

Darin ist Z ein jeweils von den äußeren Gegebenheiten und Anordnung von Fenstern und Türen abhängiger Ausdruck, während der Nenner N nur von der Anordnung von Fenstern und Türen abhängig ist. Man findet für die Zähler:

Für Raum 1:

$$Z_1 = R_1 (D_2 D_3 - T_{23}^2) + R_2 (D_3 T_{12} + T_{13} T_{23}) + R_3 (D_2 T_{13} + T_{12} T_{23}) \quad (26a)$$

für Raum 2:

$$Z_2 = R_1 (D_3 T_{12} + T_{13} T_{23}) + R_2 (D_1 D_3 - T_{13}^2) + R_3 (D_1 T_{23} + T_{12} T_{13}) \quad (26b)$$

für Raum 3:

$$Z_3 = R_1 (D_2 T_{13} + T_{12} T_{23}) + R_2 (D_1 T_{23} + T_{12} T_{13}) + R_3 (D_1 D_2 - T_{12}^2) \quad (26c)$$

Der gemeinsame Nenner hat die Form:

$$N = D_1 D_2 D_3 - 2 (T_{12} T_{13} T_{23}) - D_1 T_{23}^2 - D_2 T_{13}^2 - D_3 T_{12}^2 \quad (26d)$$

In den Gl. (26) bedeutet D_m die Gesamtdurchlässigkeit eines Raumes m, d.h. die Summe der Durchlässigkeiten aller vorhandenen Fenster und Türen, wobei die Verbindungstüren T_{mn} zweier Räume m und n in der Durchlässigkeit des Raumes m (D_m) und in der Durchlässigkeit des Raumes n (D_n) einzusetzen sind. Die Faktoren R_m sind zu bilden aus:

$$R_m = \frac{A_m P_{A_m} + B_m P_{B_m}}{N} \quad (27)$$

Sie kennzeichnen also den Einfluß der äußeren Gegebenheiten, dessen Stärke also von der Durchlässigkeit A_m der angeblasenen und derjenigen der nicht angeblasenen Öffnungen B_m abhängig ist.

In den Tafeln A5 bis A10 sind die Ergebnisse der Rechnung für einige charakteristische Fälle, jeweils für $T = \infty$ und $T = 1$ eingetragen, wobei für schräges Anblasen wiederum angenommen wurde, daß die Fenster der Eckräume 1 und 2 in der Ecke liegen. Zur Erläuterung sei die zahlenmäßige Durchrechnung für ein Beispiel mit $T = 1$ wiedergegeben.

Für das Beispiel 7c in Tafel A5 hat man wie folgt zu rechnen, wenn jedes nicht gesondert gekennzeichnete Fenster die Durchlässigkeit 1 hat:

Aus der Raum- und Fensteranordnung entnimmt man $D_1 = 4$, $D_2 = 4$ und $D_3 = 3$. Damit wird gem. Gl. (26):

$$Z_1 = 11 R_1 + 4 R_2 + 5 R_3$$

$$Z_2 = 4 R_1 + 11 R_2 + 5 R_3$$

$$Z_3 = 5 R_1 + 5 R_2 + 15 R_3$$

Für den Nenner findet man: $N = 35$.

Damit errechnen sich die Innendrucke zu:

$$P_1' = 0,314 R_1 + 0,114 R_2 + 0,143 R_3$$

$$P_2' = 0,114 R_1 + 0,314 R_2 + 0,143 R_3$$

$$P_3' = 0,143 R_1 + 0,143 R_2 + 0,429 R_3$$

Die von den äußeren Gegebenheiten beeinflussten Faktoren R_m nehmen für den Fall des Beispiels 7c, senkrecht Anblasen, folgende Werte an:

$$R_1 = P_{st} - 0,3 P_{st} = 0,7 P_{st}$$

$$R_2 = -0,3 P_{st} - 0,3 P_{st} = -0,6 P_{st}$$

$$R_3 = -0,3 P_{st}$$

Damit findet man für die Innendrucke bei $P_{st} = 1 \text{ mmWS}$:

$$P_1' = 0,109 \text{ mmWS}$$

$$P_2' = -0,151 \text{ mmWS}$$

$$P_3' = -0,115 \text{ mmWS}$$

Für die Druckdifferenzen zwischen innen und außen findet man damit

für das angeblasene Fenster des Raumes 1:

$$P_{st} - P_1' = 0,891 \text{ mmWS}$$

für das nicht angeblasene Fenster:

$$P_1' - P_B = 0,409 \text{ mmWS}$$

für die Fenster von Raum 2:

$$P_2' - P_B = 0,149 \text{ mmWS}$$

und für die Fenster von Raum 3:

$$P_3' - P_B = 0,185 \text{ mmWS}$$

6.32 Die eintretenden Luftmengen

Die ein- und austretenden Luftmengen berechnen sich nach Gl. (1c) für senkrecht Anblasen zu

$$V_L' = 1,2 \cdot A \cdot \frac{\Delta P}{\beta P_{st}} (\beta P_{st})^{2/3} = 1,2 \cdot A \cdot \Delta P (\beta P_{st})^{-1/3}$$

Mit $\beta = 1,3$ und $P_{st} = 1 \text{ mmWS}$ ergibt sich schließlich

$$V_L' = 1,1 \cdot A \cdot \Delta P [m^3/h]$$

Die so errechneten Werte sind in Beispiel 7c in der zweiten Zeile eingetragen.

Durch die Tafeln A5 bis A10 wird ein Teil der Rechenergebnisse für verschiedene Anordnung und Durchlässigkeit von Fenstern und Türen wiedergegeben. Für die beiden nebeneinanderliegenden Räume ergibt sich beim schrägen Anblasen die größte eintretende Luftmenge im Bereich $T = \infty$ bis $T = 1$ auch dann, wenn im angeblasenen Raum Fenster nur in einer Außenwand enthalten sind.

6.4 Die weiteren Gebäudetypen

Das oben geschilderte Rechenverfahren wurde für die in Bild 11 skizzierten Gebäudetypen angewendet, wobei auch z.T. die Durchlässigkeit der Innentüren zu $T = 5$ neben $T = 1$ und $T = \infty$ angesetzt wurden um den Einfluß der Dichtheit der Innentüren auf den Luftdurchgang zu untersuchen⁴⁾.

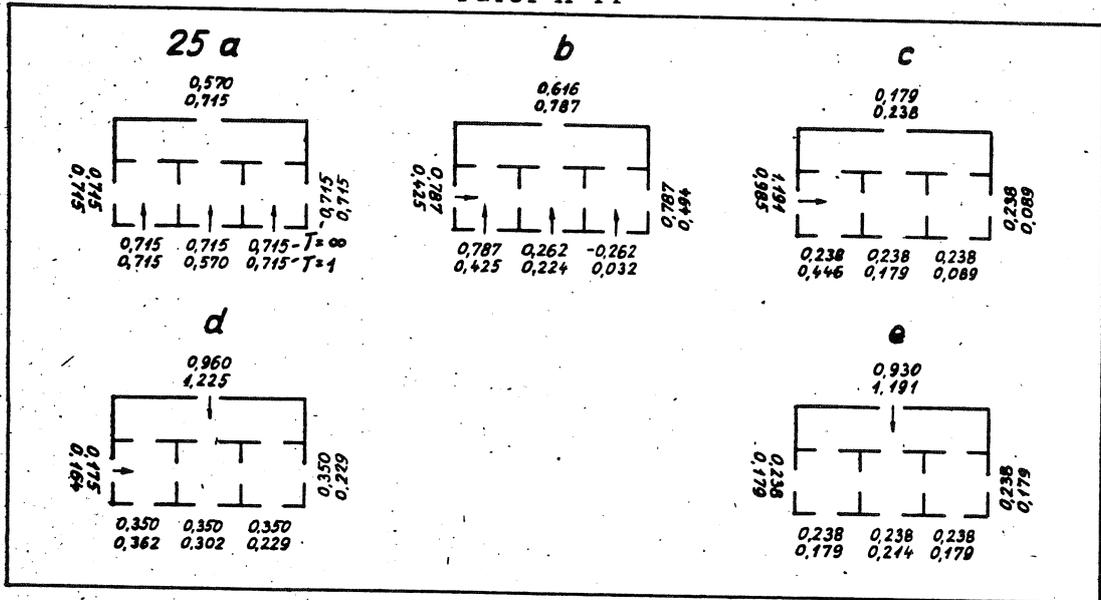
Während Gebäudetyp II nur Eckräume enthält, soll mit der Durchrechnung von Beispielen der Type III der einfachste Fall der Anordnung eines eingebauten Raumes behandelt werden. Dieser Grundriß entspricht der sog. Laubengangwohnung. Die Tafeln A11 bis A15 geben einen Ausschnitt aus den durchgerechneten Beispielen. Für den eingebauten Raum ergibt das senkrechte Anblasen immer den ungünstigsten Fall. Besonders interessant erscheint Beispiel 63a aus Tafel A15, das eine eingebaute Einspannerwohnung, für die das senkrechte Anblasen maßgebend ist, zeigt. Die ein- und austretenden Luftmengen sind hier für $T = \infty$, $T = 5$ und $T = 1$ eingetragen. Jeder der drei nebeneinanderliegenden Räume ist durch gleichgroße Fenster mit der Durchlässigkeit $A = 1$ gekennzeichnet, jedoch sind die Abströmverhältnisse für jeden der drei Räume verschieden. Für $T = \infty$ würde in jeden Raum die gleiche Luftmenge einströmen, während für $T < \infty$ die Luftmengen unterschiedlich groß sind. Sie ist für den gefangenen Raum, aus dem Luft nur über den mittleren Raum abströmen kann, am kleinsten und kann aus der in den Mittelraum eintretenden Einheitluftmenge ($A = 1$) durch Multiplikation mit dem Faktor $\frac{T}{A+T}$, der aus den Größen des gefangenen Raumes zu bilden ist, berechnet werden. Am größten ist die Luftmenge für den Raum, der nur eine Tür zum gemeinsamen Verbindungsraum hat.

Die Behandlung des Gebäudetypen IV und V, der zwei bzw. vier eingebaute Räume aufweist, erfolgte um den Einfluß der Zahl der eingebauten Räume nachzuweisen. In den Tafeln A17 und A18 sind zwei Beispiele für den Typ V mit 6 nebeneinanderliegenden und einem dahinterliegenden gemeinsamen Verbindungsraum wiedergegeben. Diese Anordnung dürfte für Büro- und Schulgebäude charakteristisch sein. Man kann hier für die eingebauten Räume folgendes entnehmen: Sind Türen mit der Dichtheit eines Fensters vorhanden, so strömt um so weniger Luft in die eingebauten Räume ein, je weiter sie von den Eckräumen entfernt sind. Die Unterschiede betragen in den angeführten Beispielen etwa 10% und werden um so kleiner, je dichter die Verbindungstür der Eckräume zum danebenliegenden Raum ist.

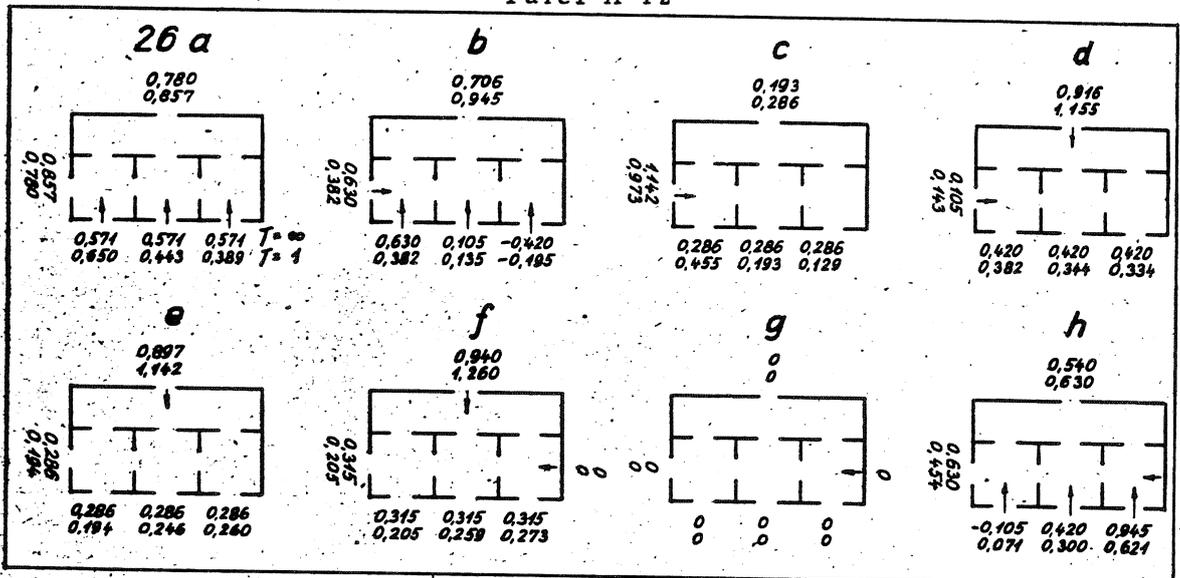
Mit dem Grundriß VI, Bild 11, wurde die erste zweibändige Raumanordnung bestehend aus drei nebeneinander- und drei dahinterliegenden Räumen durchgerechnet. Die Tafeln A19 bis A22 zeigen charakteristische Beispiele für die verschiedensten Fenster- und Türanordnungen. Für die eingebauten Räume ergibt das senkrechte Anblasen die größten

⁴⁾ Die umfangreichen Gleichungen zur Ermittlung der Innendrucke in den einzelnen Räumen sind in [18] zusammengestellt.

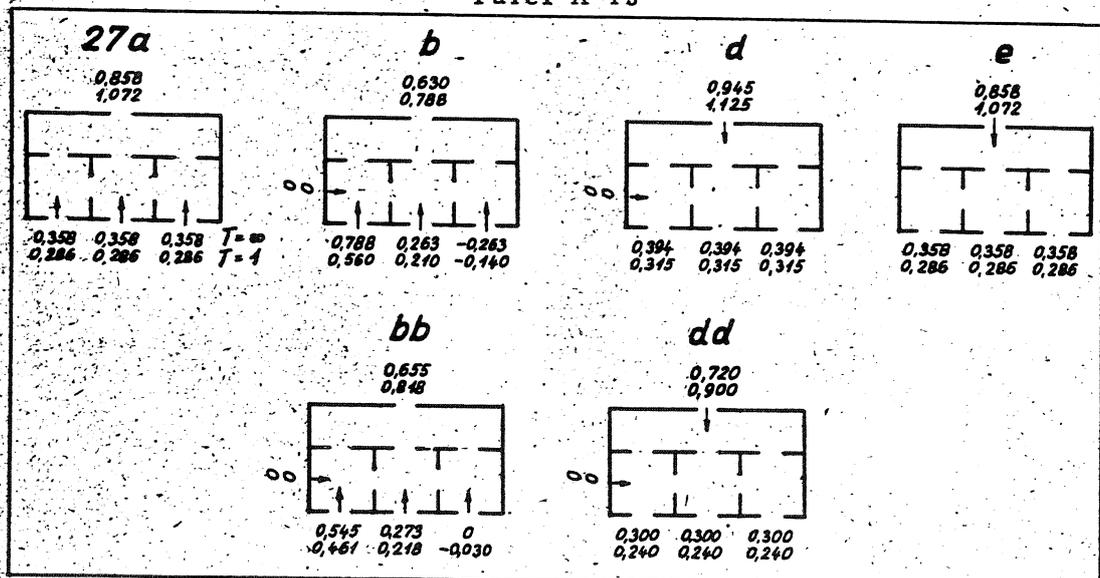
Tafel A 11



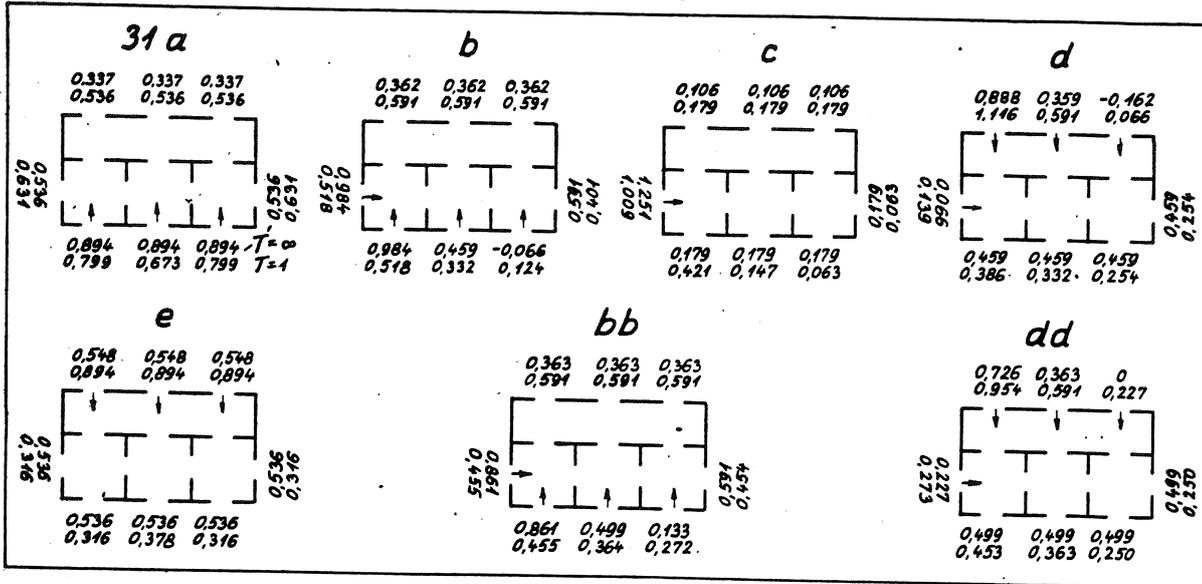
Tafel A 12



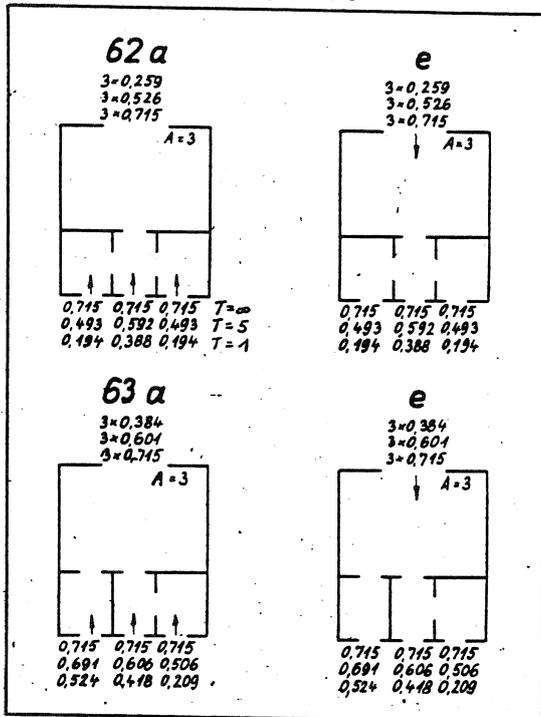
Tafel A 13



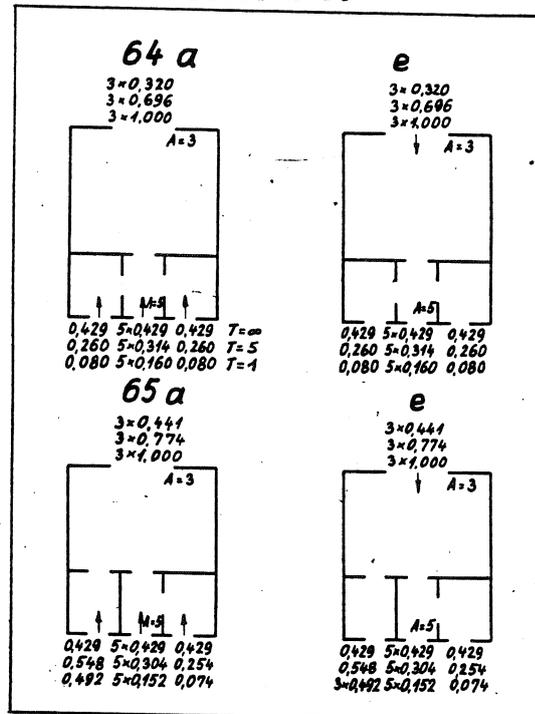
Tafel A 14



Tafel A 15



Tafel A 16

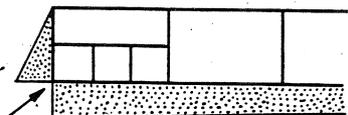


eintretenden Luftmengen. Bei den Eckräumen läßt sich nicht absolut genau sagen, ob das senkrechte oder schräge Anblasen maßgebend ist. Für $T = 1$ ist oft das senkrechte Anblasen der schärfere Fall, während bei $T = 5$ das schräge Anblasen meist die größeren eintretenden Luftmengen ergibt. Bei $T = 1$ sind jedoch die Abweichungen der insgesamt in einen Raum eintretenden Luftmengen beim senkrechten und schrägen Anblasen so klein, daß man im Interesse einer einheitlichen Betrachtungsweise für Eckräume das schräge Anblasen stets als ungünstigsten Fall ansehen darf.

Aus dem Gebäudetyp VI ist der Grundriß VII (Bild 11) entstanden, der durch einen eingebauten Raum mit gegenüberliegenden Fenstern gekennzeichnet ist. Aus den Tafeln A 23 bis A 26 ersieht man die Verteilung der einströmenden Luft bei verschiedenen Windrichtungen und verschiedener Dichtigkeit der

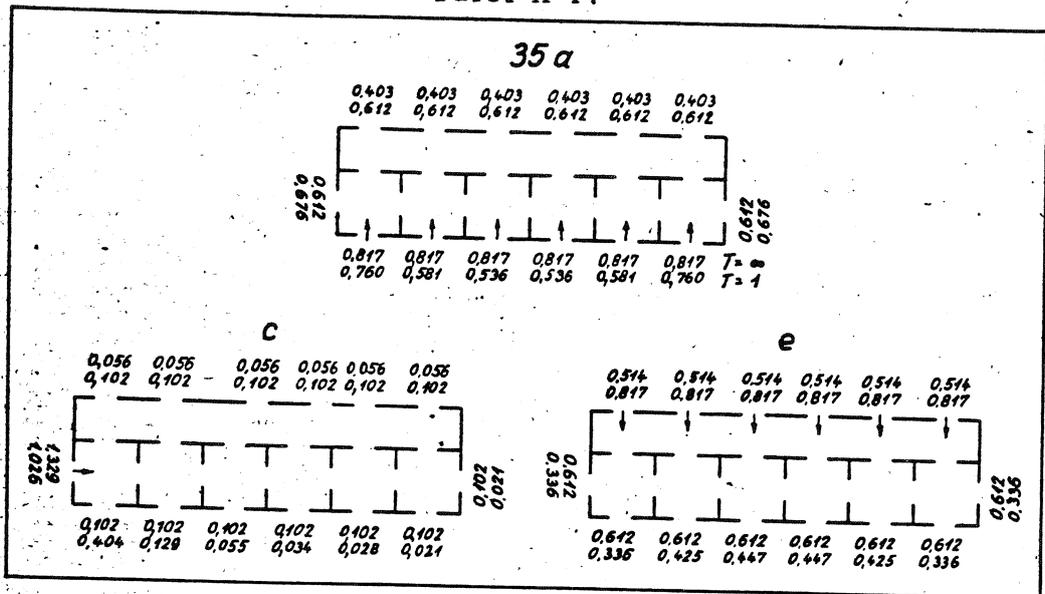
Innentüren. Auffällig ist, daß für den Raum mit gegenüberliegenden Fenstern die Luftmenge im Bereich der Durchlässigkeit der Innentüren von $T = 1$ bis $T = 5$ nicht wesentlich kleiner ist als für den Fall $T = \infty$. Interessant ist auch ein Vergleich

Bild 23
Druckverteilung beim schrägen Anblasen eines Reihenhauses

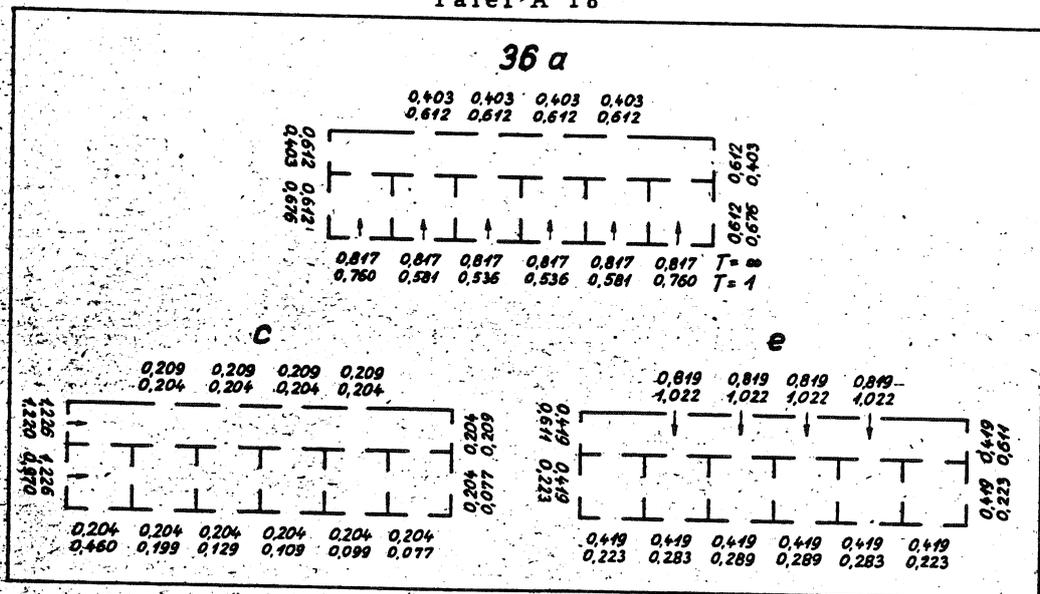


von Beispiel 44a, Bild 23, mit Beispiel 37a, Bild 19, in Bezug auf den eingebauten Raum bei gleicher Anordnung der Fenster. Bei $T = 1$ tritt in jeden der eingebauten Räume des Beispiels 37 etwa 25% weniger Luft ein als für den Fall des Raumes mit gegenüberliegenden Fenstern nach Beispiel 44. Für $T = 5$ beträgt der Unterschied nur noch etwa 10%.

Tafel A 17



Tafel A 18



Die Tafeln A 27 bis A 31 geben die Rechenergebnisse für Gebäudetyp VIII wieder. Dieser Grundriß ist der praktische Fall eines Einfamilienhauses. Es soll hier zugleich die Windanfälligkeit eines Raumes mit drei Außenwänden untersucht werden. Für diesen Raum ergibt die Rechnung, daß das senkrechte Anblasen auf die Wand, die die größte Undichtigkeit enthält, maßgebend ist, wenn Fenster in drei Außenwänden vorhanden sind. Bei Fenstern in nur zwei gegenüberliegenden Außenwänden ist das schräge Anblasen als ungünstigster Fall anzusetzen. Die anderen Räume verhalten sich wie bei den übrigen Grundrißtypen.

Für Eckräume hat die Rechnung bei den als freistehend angenommenen Gebäuden gezeigt, daß das schräge Anblasen stets der ungünstigste Fall ist. Es muß noch geprüft werden, ob dies auch für einen Eckraum einer Eckwohnung eines Reihenhauses der Fall ist. Geht man dazu von der Druckverteilung am Äußeren des Gebäudes aus, so ersieht man aus Bild 23, das für schräges Anblasen die äußeren

Überdrücke an der Längsfront für die Eckwohnung nicht sehr verschieden vom Staudruck sein können. Wie eine Durchrechnung [18] für zwei Grundrisse der Typen II und VI zeigte, kann man auch hier für die Eckräume mit zwei aneinanderstoßenden Außenwänden das schräge Anblasen als maßgebend betrachten, wenn man von sehr dichten Innentüren ($T = 1$) absieht.

7. Abschätzen des Verstärkungsfaktors aus den Raumeigenschaften, Einführung der Raumkenngröße

Nur für ein aus zwei Räumen bestehendes Gebäude ist es möglich, in einigermaßen übersichtlicher Weise den Verstärkungsfaktor v auszudrücken. Bei den praktisch möglichen Raumanordnungen wird der geschlossene Ausdruck für den Verstärkungsfaktor jedoch so verwickelt, daß er nicht mehr zu übersehen ist.

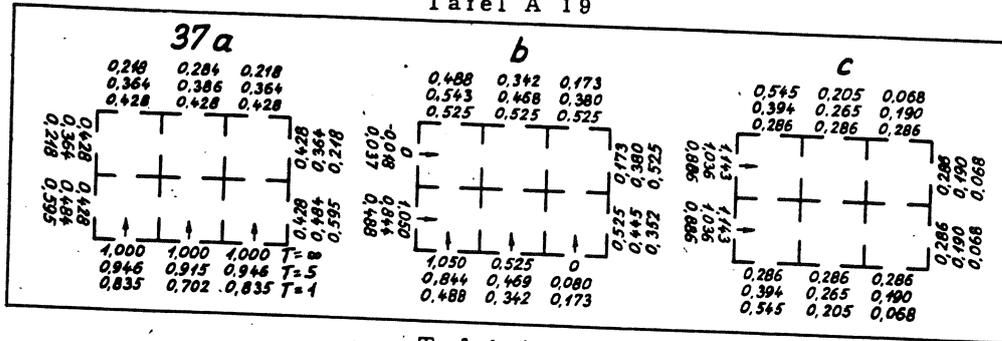
Für die durchgerechneten Zahlenbeispiele der verschiedensten Raumanordnungen läßt sich der Verstärkungsfaktor aus der Definitionsgleichung bilden:

$$v = \frac{V_L'}{V_{L_0}'} \quad (7)$$

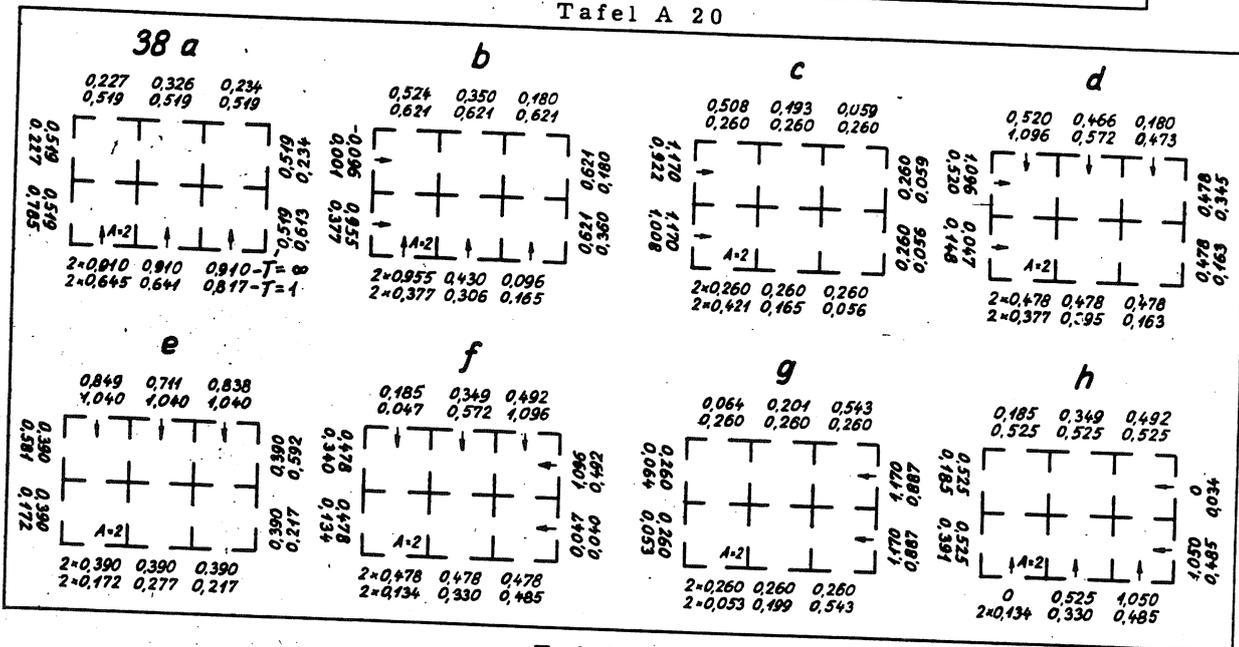
worin V_L' die in einen betrachteten Raum einströmende Luftmenge bei Vorhandensein von Innentüren und V_{L_0}' diejenige ist, wenn alle Innentüren unendlich durchlässig sind.

Es soll nun geprüft werden, ob es möglich ist, lediglich aus der Anordnung von Fenstern und Türen in einem Raum und der Größe der Durchlässigkeiten Aussagen über den Verstärkungsfaktor v zu machen. In den Zahlentafeln 1 bis 6 ist der nach Gl. (7) berechnete Verstärkungsfaktor für alle in [18] durchgerechneten, nur z.T. hier wiedergegebenen, Zahlenbeispiele eingetragen. Lediglich die Grundrißtypen I und II wurden nicht berücksichtigt, da sie keinerlei praktische Bedeutung haben. Zur Kennzeichnung ist die Art des Gebäudetypes sowie die laufende

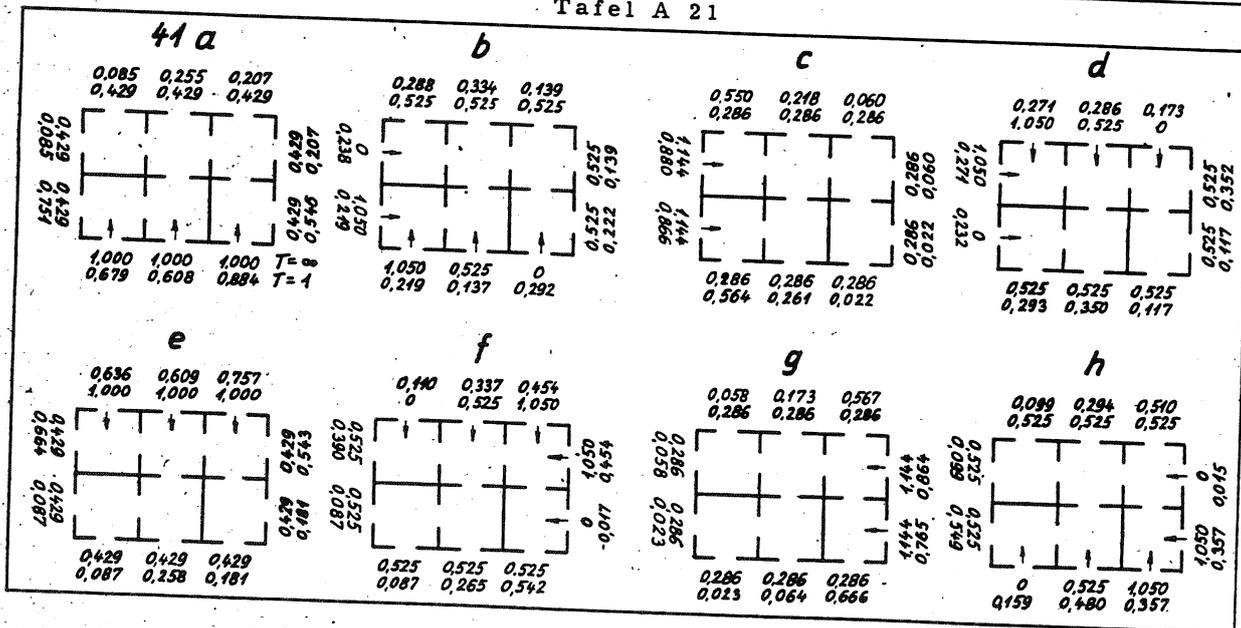
Tafel A 19



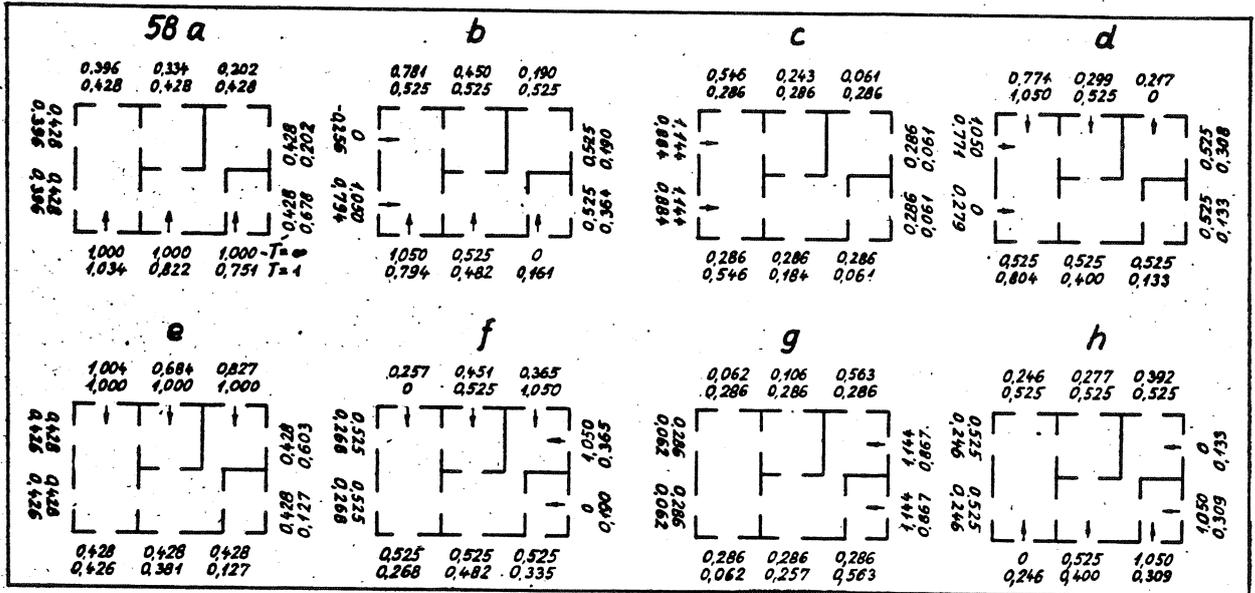
Tafel A 20



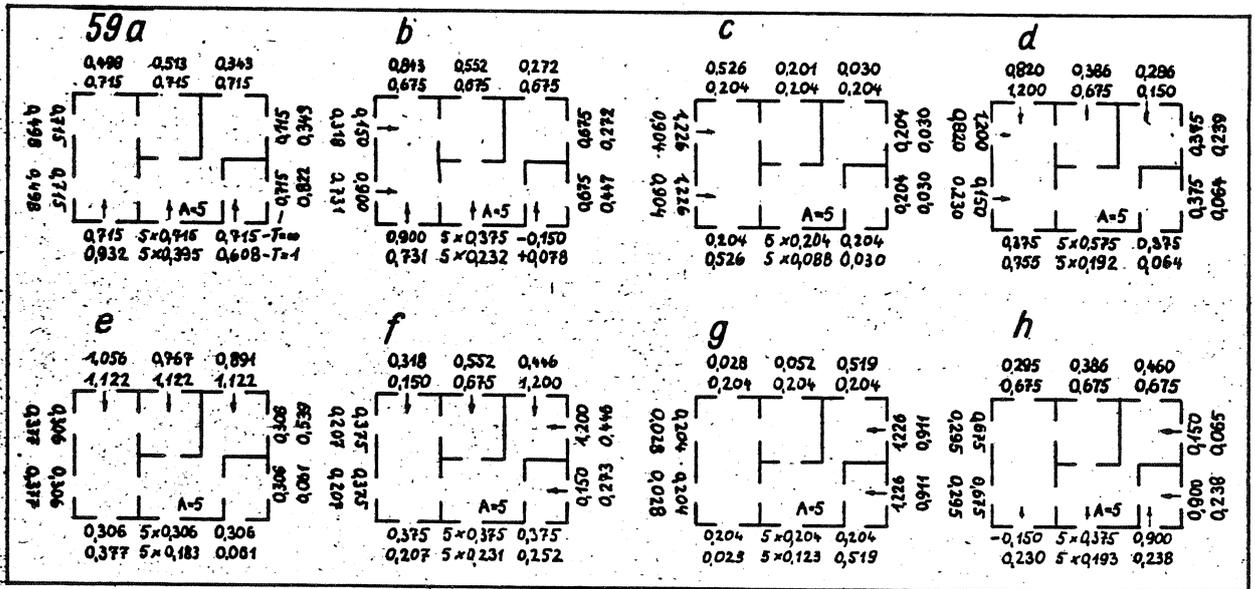
Tafel A 21



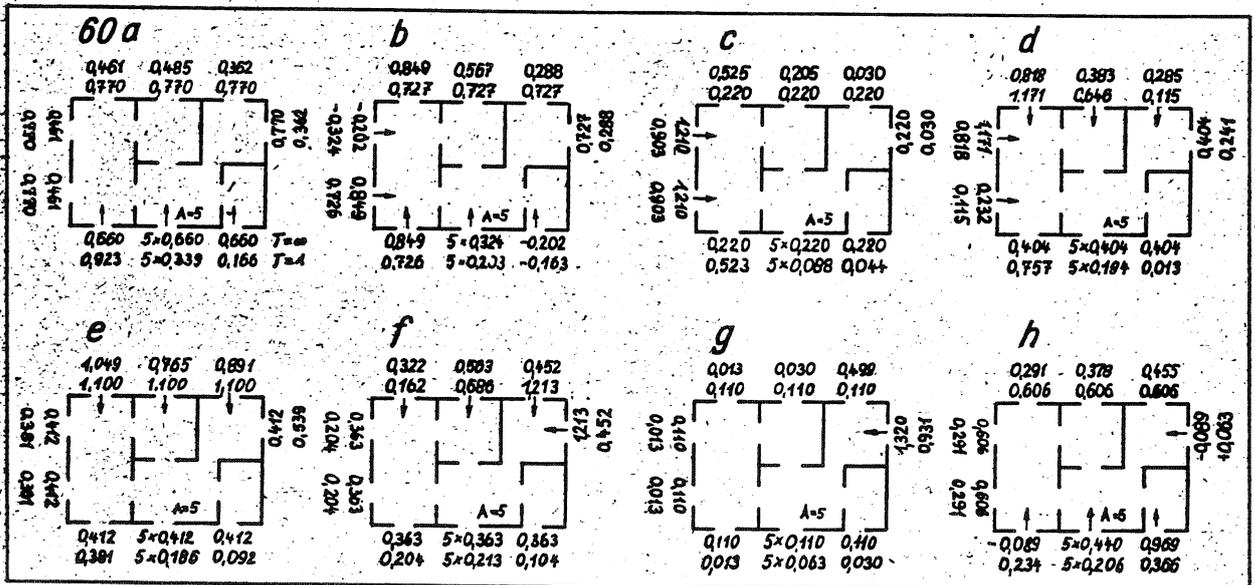
Tafel A 28



Tafel A 28

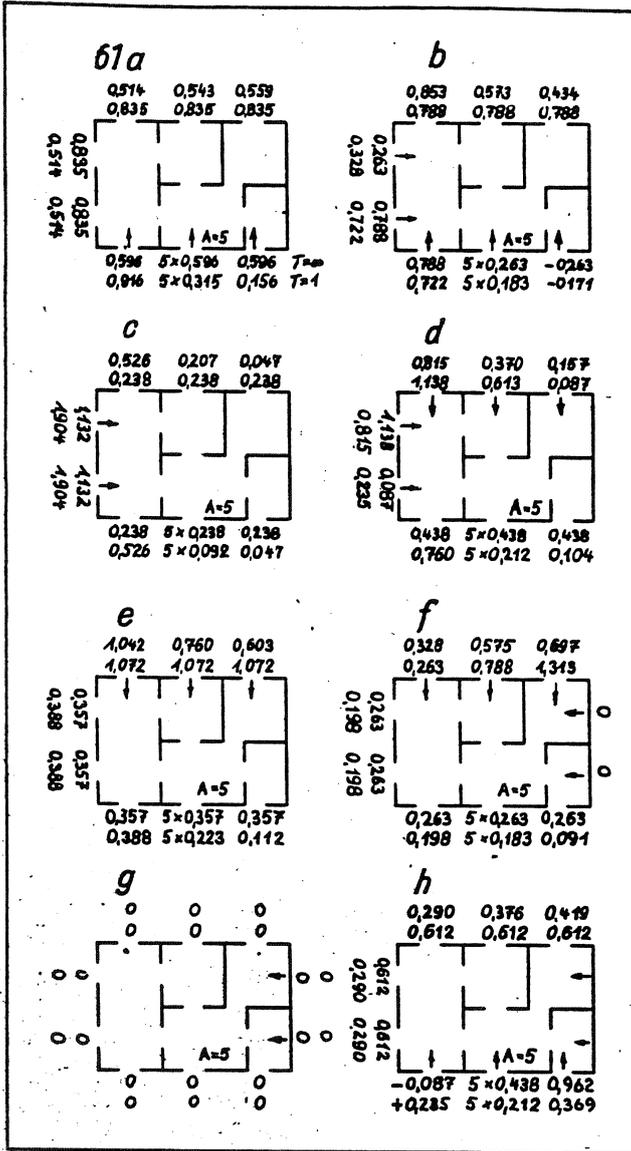


Tafel A 30



Tafel A 31

Zahlentafel 1. Verstärkungsfaktoren und Raumkenngrößen für eingebaute Räume mit Fenstern in einer Außenwand; senkrecht Anblasen



kann. Der mit Hilfe von Gl. (28) errechnete Näherungswert des Verstärkungsfaktors v sei deshalb in der Folge als Raumkenngröße R bezeichnet.

Bild 24 gibt den Verlauf der Raumkenngröße über $\frac{\sum T + \sum N}{\sum A}$ wieder, nach der Beziehung

$$R = \frac{\frac{\sum T + \sum N}{\sum A}}{1 + \frac{\sum T + \sum N}{\sum A}} \quad (29)$$

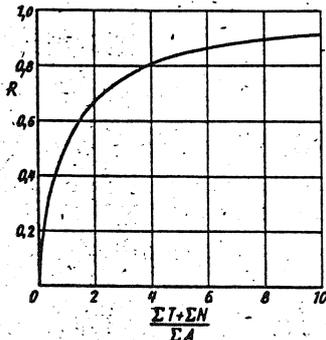


Bild 24. Abhängigkeit der Raumkenngröße von der Durchlässigkeit der Innen- und Außenöffnungen des betrachteten Raumes

Gebäudetyp und Beispiel-Nr.	Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnungen des Raumes	Durchlässigkeit aller Öffnungen des Raumes	Errechneter Verstärkungsfaktor	Näherung: Raumkenngröße	Verhältnis von Raumkenngröße zu Verstärkungsfaktor
	ΣA	D	v	R	R/v
III					
25a	1	4	0,798	0,750	0,940
26a	1	4	0,775	0,750	0,968
27a	1	4	0,799	0,750	0,940
28a	1	2	0,588	0,500	0,851
29a	1	2	0,626	0,500	0,796
31a	1	4	0,754	0,750	0,995
IV					
33a	1	4	0,715	0,750	1,048
V					
35a	1	4	0,711	0,750	1,055
35a	1	4	0,656	0,750	1,144
VI					
37a	1	4	0,702	0,750	1,069
37a	1	17	0,915	0,938	1,025
38a	1	4	0,705	0,750	1,063
38e	1	4	0,695	0,750	1,080
39a	1	3	0,648	0,666	1,028
39e	1	4	0,695	0,750	1,080
40a	1	4	0,673	0,750	1,116
41a	1	3	0,608	0,666	1,096
41e	1	4	0,609	0,750	1,230
42a	1	4	0,645	0,750	1,163
43a	1	2	0,555	0,500	0,910
43e	1	4	0,685	0,750	1,094
VIII					
56a	1	4	0,742	0,750	1,011
57a	1	5	0,842	0,800	0,951
57e	1	4	0,738	0,750	1,015
58a	1	5	0,822	0,800	0,975
58e	1	3	0,684	0,666	0,975
59a	5	9	0,527	0,445	0,845
59e	1	3	0,684	0,666	0,975
60a	5	9	0,513	0,445	0,870
60e	1	3	0,695	0,666	0,960
61a	5	9	0,528	0,445	0,844
61e	1	3	0,707	0,666	0,941

Zahlentafel 2 Verstärkungsfaktoren und Raumkenngrößen für Eckräume mit Fenstern in zwei aneinanderstoßenden Wänden, schräges Anblasen

Gebäudetyp und Beispiel-Nr.	Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnungen des Raumes	Durchlässigkeit aller Öffnungen des Raumes	Errechner Verstärkungsfaktor	Näherung: Raumkenngröße	Verhältnis von Raumkenngröße zu Verstärkungsfaktor
	ΣA	D	v	R	R/v
III					
25b	2	4	0,540	0,500	0,925
26b	2	4	0,606	0,500	0,825
28b	2	3	0,402	0,333	0,830
29b	2	3	0,470	0,333	0,707
31b	2	4	0,527	0,500	0,964
32b	2	4	0,519	0,500	0,963
IV					
33b	2	4	0,496	0,500	1,008
34b	2	4	0,437	0,500	1,170
VI					
37b	2	4	0,465	0,500	1,076
37b	2	12	0,803	0,834	1,040
38b	3	5	0,394	0,400	1,015
38d	2	4	0,475	0,500	1,052
38f	2	4	0,449	0,500	1,114
38h	2	4	0,462	0,500	1,082
39b	2	3	0,339	0,333	0,985
39d	2	4	0,457	0,500	1,095
39f	2	4	0,457	0,500	1,095
39h	2	4	0,427	0,500	1,182
40b	2	3	0,264	0,333	1,260
40f	2	4	0,464	0,500	1,078
41b	2	3	0,209	0,333	1,595
41d	2	3	0,258	0,333	1,290
41f	2	4	0,432	0,500	1,160
41h	2	3	0,341	0,333	0,976
42b	2	3	0,258	0,333	1,290
43b	2	3	0,334	0,333	0,996
43d	2	4	0,451	0,500	1,109
VII					
44b	2	4	0,500	0,500	1,000
44b	2	12	0,820	0,833	1,014
45b	2	3	0,328	0,333	1,014
45d	2	4	0,500	0,500	1,000
45f	2	4	0,476	0,500	1,050

Zahlentafel 3 Verstärkungsfaktoren und Raumkenngrößen für Eckräume mit Fenstern in zwei aneinanderstoßenden Wänden, schräges Anblasen

Gebäudetyp und Beispiel-Nr.	Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnungen des Raumes	Durchlässigkeit aller Öffnungen des Raumes	Errechner Verstärkungsfaktor	Näherung: Raumkenngröße	Verhältnis von Raumkenngröße zu Verstärkungsfaktor
	ΣA	D	v	R	R/v
VII					
45h	2	4	0,485	0,500	1,030
46b	2	3	0,334	0,333	0,996
46f	2	4	0,500	0,500	1,000
47b	2	3	0,333	0,333	1,000
48b	2	3	0,310	0,333	1,074
48b	2	7	0,677	0,715	1,056
48d	2	3	0,308	0,333	1,080
48d	2	7	0,685	0,715	1,042
48f	2	3	0,328	0,333	1,014
48f	2	7	0,667	0,715	1,070
48h	2	4	0,500	0,500	1,000
48h	2	12	0,812	0,833	1,026
49d	2	4	0,517	0,500	0,996
49d	2	12	0,828	0,833	1,005
49f	2	4	0,500	0,500	1,000
49h	2	4	0,514	0,500	0,974
49h	2	12	0,826	0,833	1,006
50d	2	4	0,518	0,500	0,965
50d	2	12	0,831	0,833	1,002
51d	2	3	0,315	0,333	1,058
51d	2	7	0,687	0,715	1,040
51f	2	3	0,328	0,333	1,014
51f	2	7	0,668	0,715	1,070
51h	2	4	0,514	0,500	0,974
51h	2	12	0,824	0,833	1,011
52f	2	3	0,358	0,333	0,926
52f	2	7	0,692	0,715	1,035
53b	2	4	0,496	0,500	1,007
53d	2	4	0,506	0,500	0,988
54d	2	4	0,523	0,500	0,956
54f	2	4	0,505	0,500	0,990
54h	2	4	0,515	0,500	0,971
VIII					
56f	2	4	0,469	0,500	1,067
57f	2	5	0,581	0,600	1,032
57h	2	4	0,471	0,500	1,061
58f	2	3	0,348	0,333	0,957

Zahlentafel 4. Verstärkungsfaktoren und Raumkenngrößen für Eckräume mit Fenstern in einem Außenraum, schräges Anblasen

Gebäudetyp und Beispiel-Nr.	Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnungen des Raumes	Durchlässigkeit aller Öffnungen des Raumes	Errechneter Verstärkungsfaktor	Näherung: Raumkenngröße	Verhältnis von Raumkenngröße zu Verstärkungsfaktor
	ΣA	D	v	R	R/v
III					
26h	1	3	0,660	0,666	1,010
27b	1	3	0,711	0,666	0,936
29h	1	2	0,538	0,500	0,930
30b	1	2	0,600	0,500	0,833
VII					
49b	2	4	0,500	0,500	1,000
49b	2	12	0,822	0,833	1,014
50b	2	4	0,514	0,500	0,974
50b	2	12	0,827	0,833	1,006
51b	2	3	0,310	0,333	1,074
51b	2	7	0,676	0,714	1,055
52b	2	3	0,316	0,333	1,054
52b	2	7	0,683	0,714	1,046
52d	2	3	0,315	0,333	1,054
52d	2	7	0,686	0,714	1,040
52f	2	3	0,356	0,333	0,936
52f	2	7	0,694	0,714	1,030
52h	2	4	0,516	0,500	0,968
52h	2	12	0,824	0,833	1,010
54b	2	4	0,495	0,500	1,010
55b	2	4	0,511	0,500	0,980
VIII					
60h	1	2	0,378	0,500	1,320
61f	1	2	0,531	0,500	0,941
61h	1	2	0,383	0,500	1,305

8. Die für den Luftdurchgang maßgebende Windrichtung

Aus den Rechenergebnissen für eine große Zahl von Raumanordnungen bei Variation der Anordnung von Fenstern und Türen in den Räumen kann man folgendes entnehmen:

1. Für alle eingebauten Räume mit Fenstern in einer Außenwand oder mit Fenstern in gegenüberliegenden Außenwänden ergibt stets das senkrechte Anblasen den größten Kaltluftzufuß.
2. Sind Fenster in zwei aneinanderstoßenden Außenwänden eines Eckraumes vorhanden, so ist der gesamte Luftdurchgang durch diesen Raum meist beim schrägen Anblasen am größten. Die je

Zahlentafel 5. Verstärkungsfaktoren und Raumkenngrößen für Räume mit gegenüberliegenden Fenstern, senkrecht Anblasen

Gebäudetyp und Beispiel-Nr.	Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnungen des Raumes	Durchlässigkeit aller Öffnungen des Raumes	Errechneter Verstärkungsfaktor	Näherung: Raumkenngröße	Verhältnis von Raumkenngröße zu Verstärkungsfaktor
	ΣA	D	v	R	R/v
VI					
44a	1	6	0,920	0,833	0,905
44a	1	222	0,980	0,954	0,973
45a	1	5	0,930	0,800	0,861
46a	1	6	0,920	0,833	0,905
47a	1	6	0,920	0,833	0,905
48a	1	5	0,865	0,800	0,926
48e	1	5	0,930	0,800	0,861
48a	1	17	0,950	0,941	0,991
48e	1	17	0,986	0,941	0,955
49a	1	6	0,960	0,833	0,870
49a	1	22	0,988	0,954	0,966
49e	1	6	0,920	0,833	0,905
49e	1	22	0,980	0,954	0,973
51e	1	5	0,930	0,800	0,861
51e	1	17	0,986	0,941	0,955
53a	5	10	0,694	0,500	0,721
54a	5	10	0,725	0,500	0,690
55a	5	10	0,758	0,500	0,659

Durchlässigkeitseinheit der angeblasenen Öffnungen in den Eckraum beim schrägen Anblasen eintretende Luftmenge weicht jedoch nicht wesentlich von derjenigen ab, die sich beim senkrechten Auftreffen des Windes ergeben würde.

Durch einen Eckraum mit je einem Fenster in beiden aneinanderstoßenden Eckwänden strömt also, wenn der Wind auf der Ecke steht, doppelt soviel wie durch ein senkrecht angeblasenes Fenster. Je näher die Fenster an der Ecke des Raumes liegen, um so größer ist der Luftzufuß, weil unmittelbar an der Ecke der Staudruck am größten ist. Jedoch ist dieser Lageneinfluß praktisch nur bei nicht sehr ausgedehnten Häusern von Wichtigkeit. Bei Anordnung der Fenster an der Ecke der Außenwände empfiehlt es sich die Luftmenge, die sich bei senkrechtem Anblasen und Anordnung der Fenster in der Mitte der Wände ergeben würde, um etwa 10% zu erhöhen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

Als angeblasene Fensterfläche ist bei eingebauten Räumen mit nur einer Außenwand die ganze Fensterfläche anzusetzen. Bei eingebauten Räumen mit gegenüberliegenden Außenwänden, in denen Fenster enthalten sind, rechnet man mit der größten in einer

Zahlentafel 6. Verstärkungsfaktoren und Raumkenngrößen für Eckräume mit Fenstern in drei Außenwänden, senkrecht Anblasen

Gebäudetyp und Beispiel-Nr.	Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnungen des Raumes	Durchlässigkeit aller Öffnungen des Raumes	Errechner Verstärkungsfaktor	Näherung: Raumkenngröße	Verhältnis von Raumkenngröße zu Verstärkungsfaktor
	ΣA	D	v	R	R/v
III					
32d	2	6	0,794	0,666	0,840
32e	1	6	0,799	0,833	1,040
IV					
34e	2	8	0,856	0,750	0,876
V					
36e	4	12	0,802	0,666	0,833
VIII					
56c	2	6	0,772	0,666	0,864
57c	2	6	0,776	0,666	0,858
58c	2	6	0,771	0,666	0,863
59c	2	6	0,736	0,666	0,906
60c	2	6	0,774	0,666	0,898
61c	2	6	0,757	0,666	0,880

Wand enthaltenen Fensterzahl. - Bei Eckräumen ist diejenige größte Fensterfläche in Ansatz zu bringen, auf die der Wind zugleich auftreffen kann. Liegen die Fenster der Eckräume an den Ecken des Raumes, so ist die Luftmenge um 10% zu erhöhen. Bild 25 stellt die Verhältnisse dar.

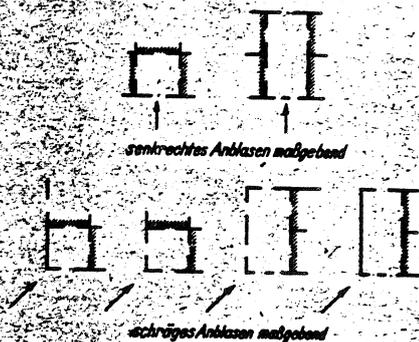


Bild 25. Die den größten Luftfall bewirkende Windrichtung bei den verschiedenen Raumtypen

Die je Durchlässigkeitseinheit der angeblasenen Öffnungen eintretende Luftmenge V_0 bei unendlich undichten Innentüren kann für eingebaute Räume und Eckräume als gleich groß angesehen werden. Sie ist nach der folgenden Beziehung

$$V_0 = 1,2 \cdot \left(\frac{\Sigma B}{\Sigma A + \Sigma B} \right) \text{Haus} (\beta \cdot P_{st})^{2/3} \quad (30)$$

zu errechnen, worin $\beta = 1,3$ und der Staudruck entsprechend der Windgeschwindigkeit zu setzen ist.

9. Der freistehende Raum mit einer Fensterfront

Als möglicher Extremfall der Fensteranordnung soll jetzt der Luftdurchgang durch einen freistehenden, d.h. mit keinen weiteren in Verbindung stehenden, Raum behandelt werden. Alle Fenster und Außentüren dieses Raumes seien gem. Bild 26 in einer Außenwand untergebracht.

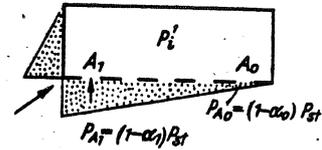


Bild 26. Erläuterungen zum Fall des Raumes mit einer Fensterfront

Schon bei senkrechtem Anblasen wird durch die Ungleichmäßigkeiten in der Druckverteilung an der angeblasenen Front ein gewisser Luftaustausch bewerkstelligt. Dieser ist jedoch nur sehr klein im Verhältnis zu dem Luftaustausch, der sich bei schrägem Anblasen einstellt.

Bezeichnet man die Durchlässigkeit der Öffnung an der angeblasenen Ecke mit A_1 , die davon entfernteste mit A_0 und die Drücke vor diesen Öffnungen mit $P_{A1} = (1 - \alpha_1) P_{st}$ und $P_{A0} = (1 - \alpha_0) P_{st}$, so findet man aus dem linearisierten Ansatz der Luftwechselbilanz:

$$P_i' = \frac{\Sigma (1 - \alpha_n) A_n P_{st}}{\Sigma A_n} = 1 - \frac{\Sigma \alpha_n A_n}{\Sigma A_n} \cdot P_{st} = (1 - \alpha_m) \cdot P_{st} \quad (31)$$

mit $\alpha_m = \frac{\Sigma \alpha_n A_n}{\Sigma A_n}$

Bezieht man auf die größte wirksame Druckdifferenz am Äußeren des Gebäudes, also auf $(\alpha_0 - \alpha_1) P_{st}$, so ergibt sich die anteilige Druckdifferenz an einer beliebigen Öffnung A_n zu

$$\frac{(1 - \alpha_n) P_{st} - P_i'}{(\alpha_0 - \alpha_1) P_{st}} = \frac{\alpha_m - \alpha_n}{\alpha_0 - \alpha_1} \quad (32)$$

Insgesamt strömt ein

$$V_L' = 1,2 \cdot \Sigma A_n \frac{\alpha_m - \alpha_n}{\alpha_0 - \alpha_1} \left((\alpha_0 - \alpha_1) P_{st} \right)^{2/3} \quad (33)$$

für $\alpha_n < \alpha_m$

Dabei ist zu beachten, daß Luft nur durch die Öffnungen einströmt, für die

$$(1 - \alpha_n) P_{st} > (1 - \alpha_m) P_{st}, \text{ d.h. } \alpha_n < \alpha_m \text{ ist.}$$

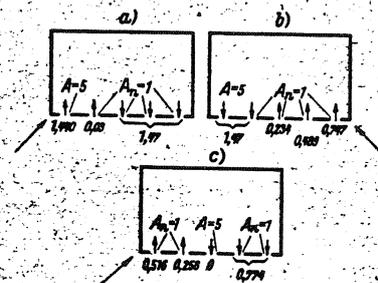


Bild 27 a bis c. Luftdurchgang durch einen Raum mit Öffnungen nur in einer Außenwand bei verschiedener Anblasrichtung und Anordnung der Öffnungen

Die Bilder 27a bis c zeigen drei Beispiele in Form von zwei verschiedenen Anordnungen der Öffnungen. Der Raum habe fünf Öffnungen, von denen vier gleich groß seien (Einheitsdurchlässigkeit $A = 1$), während die fünfte aus einer Tür mit fünffacher Einheitsdurchlässigkeit besteht, $A = 5$. In Bild 27a liegt die Öffnung mit $A = 5$ an der angeblasenen Ecke. Aus der Anordnung der Öffnungen findet man

$$(1-\alpha_1) = 0,900; (1-\alpha_2) = 0,700; (1-\alpha_3) = 0,500;$$

$$(1-\alpha_4) = 0,300; (1-\alpha_5) = 0,100.$$

Damit wird nach Gl. (31)

$$P_i' = 0,677 \cdot P_{st}$$

Es wird also nur durch die Öffnungen A_1 und A_2 Luft einströmen. Die insgesamt einströmende Luftmenge ist mit $\alpha_m = 0,323$ nach Gl. (33) bei $P_{st} = 1$ mmWS

$$V_L' = 1,47 [m^3/h]$$

In Bild 27b sei die gleiche Fensteranordnung von der anderen Seite angeblasen. Man findet jetzt $P_i' = 0,323 \cdot P_{st}$. Es strömt jetzt durch die drei rechts liegenden Öffnungen Luft in den Raum ein, da $\alpha_m = 0,677$ ist. Die insgesamt einströmende Luftmenge errechnet sich zu

$$V_L' = 1,47 [m^3/h]$$

bei $P_{st} = 1$ mmWS. Es ist also gleichgültig, auf welcher Ecke der Fensterfront der Wind steht.

In Bild 27c liegt die Öffnung mit der Durchlässigkeit $A = 5$ in der Mitte der Fensterfront. Es wird jetzt $P_i' = 0,5 \cdot P_{st}$, d.h. durch die große Öffnung in der Mitte strömt weder Luft ein noch aus. Die insgesamt einströmende Luftmenge errechnet sich zu

$$V_L' = 0,774 [m^3/h].$$

Bei der Anordnung der Öffnungen nach Bild 27c ist also der bei weitem geringste Lufteinfall zu erwarten.

10. Die Luftdurchlässigkeit von Fenstern und Türen

10.1 Die Luftdurchlässigkeit a je Meter Fugenlänge bei Fenstern

Die Luftdurchlässigkeit von Fenstern war schon oft Gegenstand von Untersuchungen. Dabei wurden meist ganze Fenster untersucht [2, 3, 11, 13, 14], aber auch Fugenmodelle [11, 12]. Die Messungen an ganzen Fenstern zeigen beträchtliche Streuungen, die vor allem durch Herstellungsgenauigkeit und Anstrich, aber auch bei ein und demselben Fenster von der Sorgfalt des Schließvorganges abhängig sind.

In DIN 4701 sind in den Richtlinien für Sonderfälle folgende Zahlenwerte für die Fugendurchlässigkeit a der Fenster angegeben:

Holz- und Eisen-Einfachfenster	$a = 4,5 [m^3/mh (mmWS)^{2/3}]$	
Holz- und Eisen-Verbundfenster	$a = 4,0$	"
Holz- und Eisen-Doppelfenster	$a = 3,0$	"
Stahl-Einfach- und Verbundfenster	$a = 1,5$	"
Stahl-Doppelfenster	$a = 1,2$	"

Die in DIN 4701 angegebenen Werte stellen die

mittleren Maximalwerte aus den Messungen verschiedener Forscher dar; die durchschnittlichen Mittelwerte bei den Holzfenstern liegen etwa bei 2/3 dieser Extremwerte, worauf auch Raiß und Simson [19] hinweisen. Die Dichtigkeit einer bestimmten Fenstertypen kann durchaus im Verhältnis 1:4 variieren.

10.2 Die Luftdurchlässigkeit der Innentüren

Über die Fugendurchlässigkeit der Türen findet man in der Literatur keine Angaben. Deshalb sollen theoretische Überlegungen zeigen, mit welchen Werten man in etwa zu rechnen hat.

Während die senkrechten Fugen und die obere waagerechte im Profil etwa dem bei Fenstern entspricht, ist dies bei der unteren nicht der Fall, wenn keine Türschwellen vorhanden sind. Dann ist die untere horizontale Fuge nichts weiter als ein rechteckiger Spalt von meist beträchtlicher Weite.

Man kann nun die von Reiher, Fraaß und Settele gefundene Beziehung für die Berechnung der Luftdurchlässigkeit a von Falzspalten heranziehen:

$$a = 2 \cdot 10^5 \cdot s^{9/10} \cdot b^{-8/3} [m^3/mh (mmWS)^{2/3}]. \quad (34)$$

So ergibt die Durchlässigkeit von 1 [m] Fuge bei der Spaltdicke s [mm] und einer Länge des Luftweges im Spalt von b [mm].

Nach unserer Abschätzung wird man bei Türen mit etwa 2 [mm] Spaltdicke bei 45 [mm] Luftweg rechnen müssen. Dafür ergibt Gl. (34)

$$a_T \approx 15 [m^3/mh (mmWS)^{2/3}].$$

Dieser Wert kann also für Türen mit unterem Anschlag (Schwelle) in etwa angesetzt werden.

Für Türen ohne unteren Anschlag ergibt die Rechnung allein für den unteren Rechteckspalt mit $s = 10$ [mm] und $b = 30$ [mm]

$$a_{Sp} \approx 180 [m^3/mh (mmWS)^{2/3}].$$

Für eine übliche Innentür von etwa 2×1 [m] ohne Schwelle wären also 5 [m] Falzfugen ($a_T = 15$) und 1 [m] einfache Fugen ($a_{Sp} = 180$) in Ansatz zu bringen. Damit erhält man als Mittelwert für eine Tür ohne Anschlag

$$a_T = 40 [m^3/mh (mmWS)^{2/3}].$$

Diese Werte bedeuten, daß Türen im Mittel pro Meter Spalt etwa 3 bis 10mal undichter sind als Holzeinfachfenster mit $a = 4,5$.

11. Die Berechnung des Lüftungswärmeverlustes

Der mit dem Kaltluftseinfall verbundene Lüftungswärmeverlust errechnet sich nach

$$Q_w = V_L \cdot 0,31 \cdot (t_i - t_a) [kcal/h], \quad (35)$$

worin

V_L die in den betrachteten Raum einströmende Luftmenge in m^3/h ,

0,31 die spez. Wärme der Luft in $kcal/m^3 \text{ grad}$,

$t_i - t_a$ die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen grad

bedeuten.

Darin kann die in den Raum stündlich einströmende Luftmenge V_L aus der Einheitsluftmenge V_O' , die sich beim Fortfall aller Innenwände ergäbe, gem.

$$V_L = \sum (1 \cdot a)_{\text{angebl.}} \cdot V_O' \cdot R$$

mit R, der Raumkenngröße berechnet werden.

11.1 Die Einheitsluftmenge V'_0 und ihre Staffelung

Die Einheitsluftmenge V'_0 kann leicht aus Gl. (30) berechnet werden:

$$V'_0 = 1,2 \cdot \left(\frac{\Sigma B}{\Sigma A + \Sigma B} \right) \cdot (\beta P_{st})^{2/3} \quad (30)$$

Man könnte daran denken dies von Fall zu Fall für die im einzelnen vorkommenden Verhältnisse $\frac{\Sigma B}{\Sigma A + \Sigma B}$ am Haus zu tun. Es zeigt sich jedoch, daß es genügt, zwei Haustypen, Einzelhäuser und Reihenhäuser zu unterscheiden. Für Einzelhäuser liegt gewöhnlich $\frac{\Sigma B}{\Sigma A + \Sigma B}$ zwischen 0,6 und 0,8, im Mittel bei 0,7, für Reihenhäuser im Mittel bei 0,5.

Man kann jetzt die Luftmengen V'_0 für die Einheit der Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnungen $A = 1$ staffeln unter Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit. Zahlentafel 7 enthält diese Luftmengen V'_0 für verschiedene Gegend und Lage des Gebäudes. Dabei ist wie in den z.Z. gültigen Normen DIN 4701 mit folgenden Windgeschwindigkeiten gerechnet worden ($t_a = 15^\circ C$, 760 mm QS):

Normale Gegend

- geschützte Lage $w = 4 \frac{m}{s}$ $P_{st} = 1,12$ mmWS
- freie Lage $w = 6$ " $P_{st} = 2,52$ "
- außergew. freie Lage $w = 8$ " $P_{st} = 4,47$ "

Windstarke Gegend

- geschützte Lage $w = 6$ " $P_{st} = 2,52$ "
- freie Lage $w = 8$ " $P_{st} = 4,47$ "
- außergew. freie Lage $w = 10$ " $P_{st} = 7,00$ "

Zahlentafel 7. Auf die Durchlässigkeitseinheit bezogene Luftmengen V'_0 bei $\beta = 1,3$ in m^3/h

Gegend und Lage	Reihen-	freistehende
	Häuser	
<u>Normale Gegend</u>		
Geschützte Lage	0,77	1,05
Freie Lage	1,32	1,89
Außergewönl. freie Lage	1,92	2,70
<u>Windstarke Gegend</u>		
Geschützte Lage	1,32	1,89
Freie Lage	1,92	2,70
Außergewönl. freie Lage	2,60	3,60

Aus Zahlentafel 7 kann man ersehen, mit welchen maximalen Luftmengen - Haus ohne Innenwände gedacht - man pro Durchlässigkeitseinheit einer angeblasenen Öffnung zu rechnen hat.

11.2 Einführung der Hauskenngröße

Für Gl. (35) erhält man also

$$Q_w = \Sigma (l \cdot a)_{\text{angebl.}} \cdot 0,31 \cdot V'_0 \cdot R \cdot (t_i - t_a) \text{ [kcal/h]} \quad (36)$$

Bezieht man nun die Werte V'_0 auf den kleinsten vorkommenden Wert 0,77, so nimmt Gl. (36) die folgende Form an:

$$Q_w = \Sigma (l \cdot a)_{\text{angebl.}} \cdot 0,24 \cdot H \cdot R \cdot (t_i - t_a) \text{ [kcal/h]} \quad (37)$$

Darin bedeutet H eine Hauskenngröße, die, gestaffelt nach Gegend und Lage für Einzelhäuser und Reihenhäuser, aus Zahlentafel 8 zu entnehmen ist.

Zahlentafel 8. Hauskenngröße H

Gegend und Lage	Reihen-	freistehende
	Häuser	
<u>Normale Gegend</u>		
Geschützte Lage	1,0	1,4
Freie Lage	1,7	2,4
Außergewönl. freie Lage	2,5	3,5
<u>Windstarke Gegend</u>		
Geschützte Lage	1,7	2,4
Freie Lage	2,5	3,5
Außergewönl. freie Lage	3,4	4,7

11.3 Die Raumkenngröße

Die Raumkenngröße R kann aus den Gl. (28) oder (29) berechnet oder aus Bild 24 entnommen werden. Man kann aber auch daran denken die Raumkenngröße zu staffeln, etwa wie in Zahlentafel 9.

Zahlentafel 9. Raumkenngröße R

$\frac{\Sigma N + \Sigma T}{\Sigma A}$	R
1,00 - 1,19	0,53
1,20 - 1,49	0,68
1,50 - 1,99	0,84
2,00 - 2,74	0,70
2,75 - 3,99	0,77
4,00 - 6,99	0,84
7,00 - 29,9	0,92
30,0 - ∞	1,00

$\Sigma N = \Sigma (l \cdot a)_N$ = Summe der Produkte aus der Durchlässigkeit je Meter Fugenlänge a und der Fugenlänge l der nicht angeblasenen Fenster des betrachteten Raumes
 $\Sigma T = \Sigma (l \cdot a)_T$ = Produktensumme aus den Daten der Türen in den Innenwänden des betrachteten Raumes
 $\Sigma A = \Sigma (l \cdot a)$ = Produktensumme aus den Daten der angeblasenen Öffnungen des betr. Raumes

12. Anwendung des neuen Verfahrens zur Berechnung des Lüftungswärmeverlustes

Die Anwendung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten auf die Berechnung der Durchlüftung von Gebäuden führt zu einem Verfahren, bei dem man den Lüftungswärmeverlust Q_w in kcal/h direkt errechnet aus der Beziehung

$$Q_w = \Sigma (l \cdot a) \cdot R \cdot H \cdot z_E \cdot 0,24 \cdot (t_i - t_a) \text{ [kcal/h]} \quad (38)$$

Darin bedeuten

- $\Sigma (l \cdot a)$ die Durchlässigkeit der angeblasenen Öffnungen des betrachteten Raumes, zu bilden aus Fugenlänge l [m] der angeblasenen Öffnungen und ihrer Fugendurchlässigkeit a,
- R die Raumkenngröße, abhängig von der Dichtigkeit von Fenstern und Innentüren, siehe Zahlentafel 9,
- H die Hauskenngröße, abhängig von der Art des Gebäudes = Einzelhaus oder Reihnhaus - und von der Windlage des Gebäudes, siehe Zahlentafel 8,
- z_E ein Eckraumfaktor, der im allgemeinen den Wert $z_E = 1$ hat und nur für Eckfenster $z_E = 1,1$ beträgt,
- $(t_i - t_a)$ die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen in $^\circ C$.

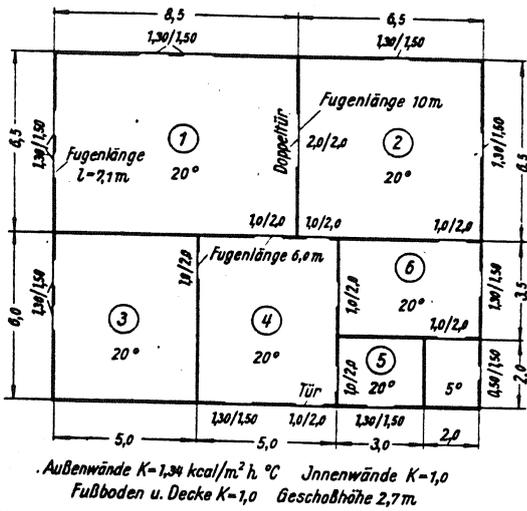


Bild 28. Grundriß und Erläuterungen zum Rechenbeispiel

Für die Räume des in Bild 28 angedeuteten Grundrisses eines freistehenden Gebäudes soll der Wärmebedarf berechnet werden. Dazu seien die folgenden Angaben gemacht:

- Außentemperatur: $-15 \text{ }^\circ\text{C}$
- Innentemperatur: $+20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Wärmedurchgangszahl der Außenwände: $k = 1,34 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } \text{grd}$
- der Decken und Fußböden: $k = 1,0 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } \text{grd}$
- Fenster: Fugenlänge $l = 7,1 \text{ m}$
- Innentüren: Fugenlänge $l = 6,0 \text{ m}$
- Geschosshöhe: $2,7 \text{ m}$

Es soll unabhängig von der Himmelsrichtung in Bezug auf die Lage der einzelnen Räume verglichen werden, ob und inwieweit die neuen Windzuschläge für die einzelnen Räume von den nach DIN 4701 er-

teilen abweichen. Für die Eckräume seien die Fenster (entgegen Bild 28) als dicht an der Hausecke liegend angenommen, also $z_E = 1,1$. Es werden die folgenden Variationen in der Durchrechnung berücksichtigt:

- A. Holzeinfachfenster mit $k = 6,0$ und $a = 4,5$
 - B. Stahldoppelfenster mit $k = 2,8$ und $a = 1,2$
- für
- a. normale Gegend, geschützte Lage
 - b. Windstarke Gegend, freie Lage
- α. Kein Transmissionsverlust durch Fußboden und Decke
 β. Mit Transmissionsverlust durch Fußboden und Decke, bei $+6 \text{ }^\circ\text{C}$ unter dem Fußboden und $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ über der Decke.

Die Rechenergebnisse sind für jeden Raum tabellarisch zusammengefaßt, siehe Zahlentafel 10 bis 15, wobei noch der Einfluß der Dichtheit der Innentüren berücksichtigt wurde. In Spalte 5, 6, 8 und 9 beziehen sich die eingetragenen oberen Zahlenwerte auf Türen ohne Schwelle ($a = 40$), während die unteren Zahlenwerte für Türen mit Schwelle ($a = 15$) gelten. Für Raum 4 sind die Fugen der Außentür ebenso dicht wie die entsprechenden Fensterfugen ($a = 4,5$ bzw. $a = 1,2$) angenommen worden.

Die Abweichung der auf Grund der physikalischen Gegebenheiten errechneten Windzuschläge (Spalte 9 in den Zahlentafeln 10 bis 15) von den nach DIN 4701 zu erteilenden (Spalte 1) ist bei wärmedichten Räumen mit Holzeinfachfenstern überaus groß. Die neuen Windzuschläge ergeben sich dafür etwa zwei- bis dreimal größer. Für Räume mit Transmissionsverlust nach Nebenräumen ist die Diskrepanz der Werte nicht mehr so stark, aber immer noch beträchtlich.

Zahlentafel 10. Raum 1: Eckraum mit Fenstern in zwei Außenwänden

Fensterart	Wärme-Verlust nach Neben-Räumen	Gegend und Lage	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Z_w DIN 4701	Q_0	H	$\sum(a \cdot l)_A$	$\frac{\sum(T+N)}{\sum(1 \cdot a)_A}$	R	Z_E	Q_w	Z_w neu
			%	kcal/h		$\frac{\text{m}^3}{h \text{ (mmWS)}^{2/3}}$				kcal/h	%
Holz-Einfach-F.	Kein Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	12	3170	1,4	128	5,0 1,87	0,84 0,64	1,1	1350 1030	43 33
		Windst. Geg. Freie Lage	35	3170	3,5	128	5,0 1,87	0,84 0,64	1,1	3530 2700	111 85
	Mit Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	12	5710	1,4	128	5,0 1,87	0,84 0,64	1,1	1350 1030	24 18
		Windst. Geg. Freie Lage	35	5710	3,5	128	5,0 1,87	0,84 0,64	1,1	3530 2700	62 47
Stahl-Doppel-F.	Kein Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	12	2300	1,4	34	18,9 7,1	0,92 0,92	1,1	400 400	17 17
		Windst. Geg. Freie Lage	35	2300	3,5	34	18,9 7,1	0,92 0,92	1,1	1050 1050	46 46
	Mit Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	12	4810	1,4	34	18,9 7,1	0,92 0,92	1,1	400 400	8 8
		Windst. Geg. Freie Lage	35	4810	3,5	34	18,9 7,1	0,92 0,92	1,1	1050 1050	22 22

Zahlentafel 11. Raum 2: Eckraum mit Fenstern
in zwei Außenwänden

Fensterart	Wärme- Verlust nach Neben- Räumen	Gegend und Lage	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Z_w DIN 4701	Q_0	H	$\Sigma(a \cdot l)_A$	$\frac{\Sigma(T+N)}{\Sigma(l \cdot a)_A}$	R	Z_E	Q_w	Z_w neu
			%	kcal/h		$\frac{m^3}{h \text{ (mmWS)}^{2/3}}$				kcal/h	%
Holz-Einfach-F.	Kein Transmiss.- Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	12	2290	1,4	64	13,7 6,1	0,92 0,84	1,1	730 670	32 29
		Windst. Geg. Freie Lage	35	2290	3,5	64	13,7 6,1	0,92 0,84	1,1	1900 1750	83 76
	Mit Transmiss.- Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	12	4230	1,4	64	13,7 6,1	0,92 0,84	1,1	730 670	17 16
		Windst. Geg. Freie Lage	35	4230	3,5	64	13,7 6,1	0,92 0,84	1,1	1900 1750	45 41
Stahl-Doppel-F.	Kein Transmiss.- Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	12	1850	1,4	17	52 19,4	1,0 0,92	1,1	200 180	11 10
		Windst. Geg. Freie Lage	35	1850	3,5	17	52 19,4	1,0 0,92	1,1	520 470	28 25
	Mit Transmiss.- Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	12	3790	1,4	17	52 19,4	1,0 0,92	1,1	200 180	5 5
		Windst. Geg. Freie Lage	35	3790	3,5	17	52 19,4	1,0 0,92	1,1	520 470	14 12

Zahlentafel 12. Raum 3: Eckraum mit Fenstern
in einer Außenwand

Fensterart	Wärme- Verlust nach Neben- Räumen	Gegend und Lage	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Z_w DIN 4701	Q_0	H	$\Sigma(a \cdot l)_A$	$\frac{\Sigma(T+N)}{\Sigma(l \cdot a)_A}$	R	Z_E	Q_w	Z_w neu
			%	kcal/h		$\frac{m^3}{h \text{ (mmWS)}^{2/3}}$				kcal/h	%
Holz-Einfach-F.	Kein Transmiss.- Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	9	2040	1,4	64	3,75 1,41	0,77 0,58	1,1	615 463	30 23
		Windst. Geg. Freie Lage	28	2040	3,5	64	3,75 1,41	0,77 0,58	1,1	1610 1210	79 59
	Mit Transmiss.- Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	9	3420	1,4	64	3,75 1,41	0,77 0,58	1,1	615 463	18 14
		Windst. Geg. Freie Lage	28	3420	3,5	64	3,75 1,41	0,77 0,58	1,1	1610 1210	47 35
Stahl-Doppel-F.	Kein Transmiss.- Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	9	1740	1,4	17	14,1 5,3	0,92 0,84	1,1	195 177	11 10
		Windst. Geg. Freie Lage	28	1740	3,5	17	14,1 5,3	0,92 0,84	1,1	510 470	29 27
	Mit Transmiss.- Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	9	3120	1,4	17	14,1 5,3	0,92 0,84	1,1	195 177	6 6
		Windst. Geg. Freie Lage	28	3120	3,5	17	14,1 5,3	0,92 0,84	1,1	510 470	16 15

Zahlentafel 13. Raum 4: Eingebauter Raum

Fensterart	Wärme-Verlust nach Neben-Räumen	Gegend und Lage	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Z _w DIN 4701	Q _o	H	$\Sigma(a \cdot l)_A$	$\frac{\Sigma(T+N)}{\Sigma(1-a)_A}$	R	Z _E	Q _w	Z _{w neu}
			%	kcal/h		$\frac{m^3}{h (mmWS)^{2/3}}$				kcal/h	%
Holz-Einfach-F.	Kein Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	1100	1,4	59*	20,4 7,6	0,92	1,0	615	56
		Windst. Geg. Freie Lage	40	1100	3,5	59	20,4 7,6	0,92	1,0	1610	147
	Mit Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	2480	1,4	59	20,4 7,6	0,92	1,0	615	25
		Windst. Geg. Freie Lage	40	2480	3,5	59	20,4 7,6	0,92	1,0	1610	65
Stahl-Doppel-F.	Kein Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	880	1,4	16*	75 28	1,0 0,92	1,0	180 165	20 19
		Windst. Geg. Freie Lage	40	880	3,5	16	75 28	1,0 0,92	1,0	470 430	53 49
	Mit Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	2260	1,4	16	75 28	1,0 0,92	1,0	180 165	8 7
		Windst. Geg. Freie Lage	40	2260	3,5	16	75 28	1,0 0,92	1,0	470 430	21 19

*Außentür mit gleicher Fugendichtheit a wie Fenster

Zahlentafel 14. Raum 5: Eingebauter Raum

Fensterart	Wärme-Verlust nach Neben-Räumen	Gegend und Lage	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Z _w DIN 4701	Q _o	H	$\Sigma(a \cdot l)_A$	$\frac{\Sigma(T+N)}{\Sigma(1-a)_A}$	R	Z _E	Q _w	Z _{w neu}
			%	kcal/h		$\frac{m^3}{h (mmWS)^{2/3}}$				kcal/h	%
Holz-Einfach-F.	Kein Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	800	1,4	32	7,5 2,84	0,92 0,77	1,0	334 289	42 35
		Windst. Geg. Freie Lage	40	800	3,5	32	7,5 2,84	0,92 0,77	1,0	874 765	110 95
	Mit Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	1150	1,4	32	7,5 2,84	0,92 0,77	1,0	334 289	29 26
		Windst. Geg. Freie Lage	40	1150	3,5	32	7,5 2,84	0,92 0,77	1,0	874 756	76 66
Stahl-Doppel-F.	Kein Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	580	1,4	8,5	28,2 10	0,92	1,0	89	15
		Windst. Geg. Freie Lage	40	580	3,5	8,5	28,2 10	0,92	1,0	233	40
	Mit Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	930	1,4	8,5	28,2 10	0,92	1,0	89	10
		Windst. Geg. Freie Lage	40	930	3,5	8,5	28,2 10	0,92	1,0	233	25

Zahlentafel 15. Raum 6: Eingebauter Raum

Fensterart	Wärme-Verlust nach Neben-Räumen	Gegend und Lage	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Z _w DIN 4701	Q _o	H	$\Sigma(a \cdot l)A$	$\frac{\Sigma(T+N)}{\Sigma(1-a)}A$	R	Z _E	Q _w	Z _w neu
			%	kcal/h		$\frac{m^3}{h (mmWS)^{2/3}}$				kcal/h	%
Holz-Einfach-F.	Kein Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	890	1,4	32	23 8,5	0,92	1,0	334	38
		Windst. Geg. Freie Lage	40	890	3,5	32	23 8,5	0,92	1,0	875	99
	Mit Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	1700	1,4	32	23 8,5	0,92	1,0	334	20
		Windst. Geg. Freie Lage	40	1700	3,5	32	23 8,5	0,92	1,0	875	52
Stahl-Doppel-F.	Kein Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	890	1,4	8,5	85 31,7	1,0	1,0	95	14
		Windst. Geg. Freie Lage	40	670	3,5	8,5	85 31,7	1,0	1,0	252	38
	Mit Transmiss.-Verlust durch Decke u. Fußboden	Norm. Geg. Gesch. Lage	13	1480	1,4	8,5	85 31,7	1,0	1,0	95	6
		Windst. Geg. Freie Lage	40	1480	3,5	8,5	85 31,7	1,0	1,0	252	17

Bei Verwendung von Stahldoppelfenstern ergeben sich die neuen Windzuschläge etwa in derselben Höhe wie in DIN 4701, wenn die Räume verhältnismäßig wärmedicht sind. Haben die Räume auch Transmissionsverluste durch Fußboden und Decke, so ergibt die Beispielsrechnung etwa halb so große Windzuschläge wie in DIN 4701.

Die Rechnung zeigt ferner, daß die Dichtheit der Innentüren nur dann von merklichem Einfluß auf die Höhe des Lüftungswärmeverlustes ist, wenn die Fenster sehr undicht sind, vergleiche die Rechen-ergebnisse für Holzfenster mit denen für Stahlfenster.

13. Folgerungen aus dem neuen Verfahren zur Berechnung des Lüftungswärmeverlustes

Rechnet man mit den Fugendurchlässigkeiten für Holzeinfachfenster entsprechend DIN 4701 (a = 4,5) so ergeben sich unter Umständen Lüftungswärmen, die so hoch sind wie die Transmissionsverluste. Andererseits sind die bisher errechneten Wärmebedarfswerte schon reichlich.

Für Stahldoppelfenster ergibt die Rechnung mit den Fugendurchlässigkeiten entsprechend DIN 4701 (a = 1,2) für normale Gegenden schon so kleine Lüftungswärmen, daß der damit verbundene Frischluft-einfall in die Räume wohl die unterste Grenze des hygienisch zumutbaren erreicht.

Betrachtet man andererseits die über Holzfenster vorliegenden Laboratoriumsmessungen, so erkennt man, daß der Wert a = 4,5 etwa die obere Grenze der Meßwerte bildet, während der Mittelwert etwa in der Gegend von a = 3 zu suchen sein wird.

In Zahlentafel 16 sind die auf mittlere Verhältnisse abgestimmten Fugendurchlässigkeitswerte für Holz- und Eisenfenster den Normwerten gegenübergestellt.

Zahlentafel 16. Fugendurchlässigkeit a je Meter Fugenlänge für Fenster und Innentüren
[m³/m h (mmWS)^{2/3}]

Material	Fensterart	a - Wert	
		Vorschlag	Normwert
Holz u. Eisen	Einfachfenster	3,0	4,5
	Verbundfenster	2,5	4,0
	Doppelfenster	2,0	3,0
Stahl	Einfachfenster	1,5	1,5
	Verbundfenster	1,5	1,5
	Doppelfenster	1,2	1,2
	Türen, undicht (ohne Schwelle)	40	-
	Türen, dicht (mit Schwelle)	15	-

Für die Stahlfenster wurden die alten Werte beibehalten, obwohl es wesentlich dichtere Fenster gibt. Denn man muß bedenken, daß bei Fenstern, die einen gewissen Mindestluftwechsel nicht garantieren dieser eben durch Öffnen der Fenster erzwungen wird.

Selbst wenn man mit diesen vorgeschlagenen a-Werten rechnet, ergibt sich der Gesamtwärmebedarf der Räume im allgemeinen höher als bisher. Will man die damit zusammenhängende generelle Vergrößerung aller Heizflächen vermeiden, so muß man überlegen, welche anderen Größen in der Wärmebedarfsrechnung wohl korrekturbedürftig seien. Berechnet man etwa die Wärmedurchgangszahlen der Fenster an Hand der Gesetzmäßigkeiten für Strahlung und Konvektion, so findet man, daß für die im wesentlichen maßgebende Wärmeübergangszahl α_i sich höchstens der Wert 7 ergibt, wie er als Normwert an der Innenseite von Wänden eingeführt wird. Mit diesem Wert ergeben sich wesent-

lich kleinere Wärmedurchgangszahlen für Fenster und Türen, die eine beträchtliche Herabsetzung des Wärmeverlustes durch Transmission zur Folge haben. Wie Nachrechnungen, die vom Institut für Heizung und Lüftung der Technischen Universität Berlin veranlaßt wurden, zeigten, ergeben sich die Heizflächen bei Verwendung des hier hergeleiteten Verfahrens zur Berechnung des Lüftungswärmeverlustes und gleichzeitiger Verwendung der physikalisch begründeten Wärmedurchgangszahlen für Fenster und Türen im allgemeinen etwas kleiner als nach der bisherigen DIN 4701.

14. Zusammenfassung

Die bisherige Berücksichtigung des Wärmeverlustes durch Kaltlufteneinfall von außen in die Räume unter dem Einfluß des Windes erfolgt in zu verallgemeinernder Weise. Es erschien daher angebracht, Untersuchungen darüber anzustellen, ob man nicht bestimmte aus der Bauzeichnung ablesbare Größen finden könne, um den Wärmeverlust durch Windlüftung für jeden Raum seinen Gegebenheiten entsprechender als bisher zu berücksichtigen.

Ausgehend von den physikalischen Gesetzmäßigkeiten konnten die Zusammenhänge zwischen Druckverteilung am Gebäude, Anordnung und Dichtheit von Fenstern im Gebäude und dem Luftdurchgang durch einen Raum geklärt werden.

Im Gegensatz zur bisherigen Berücksichtigung durch einen pauschalen Zuschlag auf den Transmissionsverlust des Raumes, wird nach dem hergeleiteten Verfahren der Lüftungswärmeverlust direkt berechnet. Es hat sich dabei gezeigt, daß man zwischen Einzelhäusern (freistehend) und Reihenhäusern unterscheiden muß. Für beide ist eine Hauskenngröße angegeben, die nach der Windlage des Gebäudes gestaffelt ist. In die Rechnung geht ferner für jeden Raum die Luftdurchlässigkeit der angeblasenen Fenster (Fugenlänge mal Fugendurchlässigkeit), die Abströmverhältnisse aus dem Raum, gekennzeichnet durch eine Raumkenngröße und die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen ein.

Die Berechnung des Windlüftungswärmeverlustes ist wohl durch die multiplikative Verknüpfung der einzelnen Einflußgrößen etwas zeitraubender als bisher, gestattet aber eine weitgehende ingenieurmäßige Präzisierung des Problems. Die ganze Rechnung ist soweit vereinheitlicht, daß es keine Sonderfälle mehr gibt, wenn man von dem Fall absieht, bei dem ein einzelner freistehender Raum Fenster nur in einer Wand hat. Auch dafür konnten die Beziehungen hergeleitet werden.

Schrifttum

- 1 Krischer, O.: Neue Wege bei der Wärmebedarfsrechnung für Gebäude. VDI-Forschungsheft 410.
- 2 Raisch, E.: Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionsteilen. G. I. 1928, S. 481.
- 3 Raisch, E.: Die Luftdurchlässigkeit von Bauteilen und von Bau- und Wärmeschutzstoffen. Z. VDI Bd. 80, (1935), Nr. 41.
- 4 DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Ausgabe 1944.
- 5 Gröber, H.: Die neue Fassung der Wärmebedarfsberechnung, Heizung und Lüftung 1944, S. 49.

- 6 Kollmar, A. u. W. Liese: Abhängigkeit des Zuschlagverfahrens in der Wärmeverlustberechnung nach DIN 4701 vom Luftwechsel im Raum. G. I. 1949, S. 289.
- 7 Sprenger, E.: Die amerikanische Wärmeverlustberechnung. G. I. 1949, S. 353.
- 8 Thiesenhuisen, H.: Rechnerisches und zeichnerisches Zuschlagsverfahren in der Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden nach DIN 4701 unter ausschließlicher Berücksichtigung des Windangriffes auf Grund von praktischen Beispielen. G. I. 1949, S. 356.
- 9 Kollmar, A.: Der Tiefeneinfluß eines Raumes auf die Wärmeverlustberechnung. G. I. 1950, S. 241.
- 10 Krischer, O.: Die Druckverhältnisse in Häusern unter dem Einfluß des Windes und die Lüftungsempfindlichkeit von Räumen. H. L. H. 1951, S. 37.
- 11 Reiher, H. K. Fraaß u. E. Settele: Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. Wärmewirtsch. Nachrichten, 1932/33 S. 42.
- 12 Schoda, T.: Experimental studies on natural ventilation. Report of the Institute of Industr. Science. Univ. of Tokyo, Vol. 1, No. 2, Aug. 1950.
- 13 Eberle, Ch.: Versuche über den Wärmeverlust und die Luftdurchlässigkeit von Fenstern. G. I. 1928, S. 566.
- 14 Sigwart, K.: Luftdurchlässigkeit von Holz- und Stahlfenstern. G. I. 1932, S. 515.
- 15 Flachsbar, O.: Winddruck auf offene und geschlossene Gebäude. Erg. der Aerodyn. Vers. Anst. zu Göttingen, IV. Lieferung, S. 128.
- 16 Cammerer, J. S.: Der Einfluß der Fensterbauart auf den Luftdurchgang. G. I. 1938, S. 393.
- 17 Dürr, H.: Luft- und Wärmedurchlässigkeit neuerzeitlicher Stahlfensterbauweisen, G. I. 1941, S. 135.
- 18 Beck, H.: Untersuchungen über die Beeinflussung des Wärmebedarfes von Gebäuden durch Windangriff und die Windzuschläge in der Wärmebedarfsrechnung. Dissertation Techn. Hochschule Darmstadt (D 17) 1954.
- 19 Reiß, W. u. K. Simson: Die Wirtschaftlichkeit verschiedener Fensterbauarten. Untersuchung des Institutes für Heizung und Lüftung der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg im Auftrage des Ministers für Wiederaufbau des Landes Nordrhein-Westfalen.
- 20 Beck, H.: Zur Frage der Beeinflussung des Wärmebedarfes von Gebäuden durch Windangriff und die Zuschläge in der Wärmebedarfsrechnung. 1. Mitteilung des Lehrstuhls für Heizungs- und Trocknungstechnik der Techn. Hochschule Darmstadt. Wärme-, Lüftungs- und Gesundheitstechnik, 1955 S. 115/219.
- 21 Interne Messungen der Techn. Versuchsgruppe der Badischen Anilin- und Sodafabrik, Ludwigshafen/Rh. Unveröffentlicht.