

Der Einfluß der Fensterbauart auf den Luftdurchgang

Auf Grund vorliegender Forschungsarbeiten wird der Einfluß der Länge des Luftweges im Spalt, der Anzahl der Ecken, der Fugenlänge und der Fenstergröße auf den Luftdurchgang von Fenstern bei Wind untersucht. Es werden Vorschläge gemacht, um darauf aufbauend die Wärmedurchgangszahlen von Fenstern genauer als bisher berechnen zu können. Der Aufsatz erscheint als erste Arbeit einer Reihe von Veröffentlichungen über die richtige Bemessung von Fenstern, die mit Unterstützung der Stiftung zur Förderung von Bauforschungen, Berlin vorgenommen werden.

I. Allgemeines.

Im Gegensatz zu allen anderen Aufgaben des Wärmeschutzes in der Industrie und im Bauwesen haben die für den Wärmedurchgang von Fenstern benutzten Zahlenwerte seit rd. 10 Jahren keine Verbesserung erfahren. Wohl sind mehrere ausführliche Forschungsarbeiten veröffentlicht worden, aber trotz wertvoller Ansätze geben sie keine Anleitung zu einer genaueren Berechnung, als schon in den »Regeln« nach 4701 vorgesehen ist. Die Versuche haben ergeben, daß der Luftdurchgang bei zwei Fenstern der gleichen Bauweise infolge unvermeidlicher Ausführungsunterschiede sehr verschieden sein kann. Ja sogar ein und dasselbe Fenster wird je nach der Jahreszeit durch Windanfall im verschiedenen Grade entlüftet. Man glaubte also mit einer so großen und ungewissen Streuung der Versuchswerte für eine bestimmte Bauweise rechnen zu müssen, daß man lediglich allgemeine Durchschnittswerte für Einfachfenster, Doppelfenster, Verbundfenster, Schiebefenster aus Holz bzw. Eisen aufstellen könne, wie es eben in den erwähnten DIN-Regeln geschehen ist. Deshalb wurde auch in einer sehr umfangreichen Untersuchung des Instituts für Schall- und Wärmeforschung Stuttgart, die im nachstehenden vielfach benutzt ist, vor allem gezeigt, daß die eigenen Meßwerte in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer deutscher und amerikanischer Forscher stehen, daß also die Streufelder der hauptsächlichsten Fensterarten sich im wesentlichen decken. Die in dieser Arbeit bereits hervorgehobene Gesetzmäßigkeit zwischen Luftdurchgang und Länge des Luftweges im Spalt erfuhr aber in der Praxis keine Auswertung. Es blieb den Herstellern von Fenstern überlassen, gute Prüfergebnisse in ihrer Werbung zu betonen, ohne daß die Heizungsindustrie in verlässiger Weise mit solch günstigen Werten hätte rechnen können.

Dieser Zustand muß als sehr unbefriedigend angesehen werden. Fenster als die Spender von Licht, Luft und Sonne sollten im Wohnungs- und Industriebau möglichst groß gehalten werden. Es besteht aber eine wärmewirtschaftliche Grenze, weil die Fensterverluste die Wärmeverluste der Wand sehr oft um das Dreifache übertreffen. Man kann sich nicht auf den Standpunkt stellen, daß die höheren laufenden Aufwendungen für große Fensterflächen um der gesundheitlichen Vorteile willen allgemein in Kauf genommen werden müßten, da in weiten Bevölkerungsschichten schlechthin nicht die Mittel dafür vorhanden sind, und weil bei starkem Windanfall im Winter die Wärmeverluste so groß werden können, daß eine wirtschaftlich bemessene Heizungsanlage nicht mehr ausreicht. Dazu kommt, daß bei im übrigen ausreichenden Raumtemperaturen allzu große Fenster Zugerscheinungen und eine gesundheitlich ungünstige Temperaturverteilung im Raum hervorbringen können.

Von Dr.-Ing. habil. Joseph Sebastian Cammerer
u. Ing. Franz Xaver Hirschbold, Leutstetten/Obb.

Es ist deshalb unbedingt notwendig, durch Vorschrift von Einzelheiten der Fensterbauweise einen Ausgleich für die wünschenswerte Vergrößerung der Fensterflächen sicherstellen zu können. Sonst wird es, wenigstens für einfachere Wohnungsverhältnisse, Grundsatz, die Fensterflächen auf ein gerade noch vertretbares Mindestmaß einzuschränken, und dies ist sicherlich kein wünschenswerter Zustand.

Soll hier eine Änderung geschaffen werden, so kann dies nicht durch noch so ausgezeichnete Darlegungen der bekannten gesundheitlichen Vorteile großer Fensterflächen geschehen, wie sich solche vielfach in Bauzeitschriften finden. Ihnen stehen die Zahlenunterlagen des Wärmeverbrauchs gegenüber, denen immer der Vorrang gegeben wird. Auch weitere Untersuchungen zahlreicher sonstiger Fensterarten können keine Abhilfe bewirken, wenn sie nicht nach ganz neuen Gesichtspunkten eingerichtet werden. Ein Fortschritt kann nur erzielt werden, wenn es gelingt, konstruktive Einzelheiten in sicherer Weise in der Berechnung zum Ausdruck zu bringen, so daß es nicht mehr nötig ist, gute Bauweisen eines Einfach- oder Doppelfensters mit den Werten für schlechte Bauweisen zu belasten.

Aus diesen Erwägungen heraus ist hier der Versuch gemacht, die vorliegenden Ergebnisse planmäßig auszuwerten. Es wurden folgende Arbeiten herangezogen:

- Raisch, E. Die Wärme- und Luftdurchlässigkeit von Fenstern verschiedener Konstruktion. *Gesundh.-Ing.* 45 (1922) S. 99/105 und
- Raisch, E. Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionsteilen. *Gesundh.-Ing.* 51 (1928) S. 481/489.
- Eberle, Ch. Versuche über die Luftdurchlässigkeit und den Wärmeverlust von Fenstern. *Gesundh.-Ing.* 51 (1928) S. 566/570.
- Sigwart, K. Luftdurchlässigkeit von Holz- und Stahlfenstern. *Gesundh.-Ing.* (1932) S. 515/517.
- Reiher, H., Fraaß, K. u. Settele, E. Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. *Wärmewirtsch. Nachr.* 6 (1933) S. 42 u. 55.
- Settele, E. Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. *Wärmewirtsch. Nachr.* 7 (1933) S. 111/118.

II. Bemerkung zu den vorliegenden Arbeiten.

Die Meßweise ist bei allen Forschern ziemlich gleich. Das Fenster wird auf der einen Seite durch einen Kasten von der Umgebung abgedichtet, der mit einem Überdruck oder Unterdruck versehen werden kann. Raisch hat bei gewöhnlichen Fenstern gefunden, daß kein nennenswerter Unterschied besteht, ob man die Fenster auf der äußeren Seite einem Überdruck unterwirft oder ob man einen Unterdruck anwendet. Sigwart dagegen bekam bei Schiebefenstern z. T. erhebliche Abweichungen, so daß bei diesen die Lage des Fensters auf der Luv- und Leeseite zu berücksichtigen wäre. Die durch die Fensterfugen gehenden Luftmengen werden von Reiher, Fraaß, Settele, Raisch und Eberle mit Hilfe einer Gasuhr gemessen, von Sigwart mit einer Staudüse. Der Druckbereich, in dem gemessen wird, liegt bei den meisten Forschern etwa zwischen 0,2 und 5 WS Druckunterschied. Nur Reiher, Fraaß und Settele haben in der an vorletzter Stelle aufgeführten Veröffentlichung mit Druckunterschieden gearbeitet, die etwa zwischen den Grenzen 0,8 bis 5 und 2 bis 30 mm WS liegen, z. T. sogar zwischen 20 und 60 mm WS. Nun sind praktisch nur Druckunterschiede

zwischen 0,5 bis 5 mm WS von Bedeutung. Der kleinere Wert ergibt sich nach Zahlentafel 1, für die häufigste Windgeschwindigkeit in Deutschland (4,9 m/s) und für eine Aufteilung des Druckgefälles auf 3 Luftdurchgangsstellen (Fenster, Türe einer Zwischenwand, Fenster). Der obere Wert kommt für Sturm (12,5 m/s) bei 2 Luftdurchgangswiderständen (Fenster auf der Luvsseite, Fenster auf der Leeseite) in Betracht. Man könnte daher befürchten, daß die hohe Druckbeaufschlagung bei den Versuchen von Reiher, Fraaß und Settele einen außergewöhnlich dichten Schluß der Fenster herbeigeführt habe, so daß die Ergebnisse nicht den wirklichen Verhältnissen entsprechen. Ein Vergleich mit den Messungen der anderen Arbeiten macht dies aber unwahrscheinlich, so daß man diese Werte auf die gewünschten Druckunterschiede extrapolieren¹⁾ kann.

Zahlentafel 1.

Windgeschwindigkeit und Staudruck bei senkrechtem Aufprall.

Windgeschw. in m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	18
Staudruck in mm WS	0.1	0.25	0.6	1.1	1.6	2.3	3.2	4.2	5.4	6.7	8.1	9.5	19.7

Erwähnt sei, daß Eberle und Sigwart an Fenstern gemessen haben, die in einen luftdichten Rahmen eingesetzt wurden. Raisch hat an Fenstern in den Wänden eines kleinen Versuchshauses gemessen, das in einem Laboratoriumsraum aufgebaut war, Reiher, Fraaß und Settele untersuchten Fenster am wirklichen Bau. Auch diese Verschiedenheiten dürften aber der Vergleichsfähigkeit der Ergebnisse im Rahmen der doch unvermeidlichen Unsicherheiten keinen Abbruch tun. Man darf annehmen, daß an der Einsatzfläche des Fensters im Mauerwerk bei handwerksgerechter Ausführung praktisch nie Luft durchgeht, so daß die besonders gute Dichtung dieser Flächen durch Eberle und Sigwart keine Änderung der tatsächlichen Einbauverhältnisse bedeutet.

Weiterhin ist zwar die Witterungsbeanspruchung sicherlich von einem gewissen Einfluß auf die Dichtigkeit eines Fensters, weil das Holz je nach dem Feuchtigkeitsgehalt quillt oder schwindet. Trotzdem darf man von reinen Laboratoriumsmessungen praktisch zutreffende Werte erwarten, weil die Fugendichtung der Fenster mit Rücksicht auf diese Tatsache doch mit einem gewissen Spiel ausgeführt werden muß. In der Tat zeigen auch die nachfolgenden Untersuchungen, daß zwischen den Messungen der verschiedenen Verfasser keine grundsätzlichen Abweichungen beobachtet werden können. Man muß sich überhaupt bei der Frage der möglichen Genauigkeit aller Feststellungen vor Augen halten, daß schon die Art, wie ein Fenster geschlossen wird, das Ergebnis stark beeinflussen kann. Man kommt erfahrungsgemäß oft zu recht verschiedenen Versuchswerten, wenn das Fenster besonders sorgfältig mit der Hand zgedrückt wird. Es treten also für die praktischen Folgerungen mancherlei Einflüsse in den Hintergrund, deren Vorhandensein aus theoretischen Überlegungen abgeleitet werden kann.

III. Zusammenstellung und Auswertung der vorliegenden Versuchsergebnisse.

Zahlentafel 2a bis e bringt eine Zusammenstellung der Meßergebnisse der genannten Arbeiten für Holzeinfach- und -doppelfenster. Der Luftdurchgang ist darin sowohl auf 1 m² Fensterfläche wie auf 1 m Fugenlänge bezogen. Bekanntlich wird der Wärmeverlust der Fenster in Deutsch-

¹⁾ Die allein mögliche geradlinige Extrapolation der durchgehenden Luftmenge in Abhängigkeit vom Druckunterschied bei Darstellung in einem logarithmischen Koordinaten-System kann allerdings insofern unsicher sein, als sich bei niedrigen Drücken überwiegend laminare, bei hohen Drücken überwiegend turbulente Strömung der Luft einstellen kann, wodurch sich die Neigung der extrapolierten Linie verändern würde. Grundsätzlich sollten daher Untersuchungen im Druckbereich von etwa 0,5—5,0 mm ausgeführt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden allgemeinen Untersuchung können aber durch diese geringfügige Unsicherheit nicht beeinflusst werden.

land auf die erstere Art, in Amerika auf die letztere berechnet. E. Schmidt führte beim Entwurf der »Regeln« DIN 4701 für die deutsche Berechnungsweise an, daß nach den Versuchen von Raisch der Hauptdurchgang der Luft an den Ecken stattfindet, also nicht verhältnismäßig der Fugenlänge sei. Eine genauere Prüfung, ob diese, an sich erwägenwerte Schlußfolgerung tatsächlich maßgebend ist, fehlt bislang und soll zum Schlusse dieser Arbeit vorgenommen werden.

In Zahlentafel 2f sind auch noch die vorliegenden Meßergebnisse an Fenstern mit Dichtungen, an Schiebefenstern und an Eisenfenstern aufgeführt, um auch über diese Fensterarten einen grundsätzlichen Überblick zu ermöglichen. Weiterhin gibt Abb. 1 maßstäblich die Art der Fugen der untersuchten Fensterarten, um diese wichtige Einzelheit der Bauweise festzulegen. Die notwendigen Erläuterungen sind in das Schema der Abbildung eingetragen.

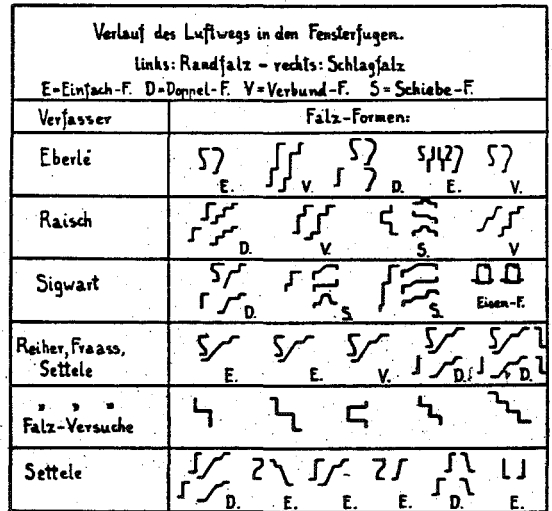


Abb. 1.

Reiher, Fraaß und Settele haben, wie schon eingangs erwähnt, den wichtigen Hinweis gegeben, daß die Länge des Luftweges im Fugenspalt und die Spaltdicke ausschlaggebend für den Luftdurchgang sei, die Form des Luftweges sei jedoch nebensächlich. Diese Schlußfolgerung wurde durch Versuche an einem Probestück von 1 m Länge mit verschiedenen Spaltformen und Luftweglängen gefunden. Die untersuchten Formen sind ebenfalls in Abb. 1 dargestellt.

Es wurde die Formel aufgestellt:

$$L = 2 \cdot 10^5 \cdot s^{0.10} \cdot b^{-0.8/3} \cdot \Delta p^{2/3}$$

worin L = die durch den Falz je 1 m Falzlänge gehende Luftmenge in m³/h,

s = die Spaltdicke in mm,

b = die Länge des Luftweges (= mittl. Spaltbreite) in mm,

Δp = der Druckunterschied in mm WS.

In der Arbeit der genannten Verfasser ist eine Bezugnahme dieser Modellversuche auf die Messungen an Fenstern nicht vorgenommen. Deshalb ist in den Abb. 2a und b sowie in Abb. 3 durch Auftragen aller Forschungsergebnisse für Holzfenster versucht, eine für die Praxis brauchbare Gesetzmäßigkeit herauszuschälen. Es ist in diesen Abbildungen die durch die Fenster gehende stündliche Luftmenge in m³ in Abhängigkeit vom Luftweg im Spalt aufgetragen, und zwar einmal bezogen auf 1 m Fugenlänge, das andere Mal bezogen auf 1 m² Fensterfläche²⁾. Die Darstellung für 1 m

²⁾ Mit Ausnahme des Aufsatzes von Eberle enthalten die Arbeiten keine deutlichen Bauseichnungen, so daß die Länge des Luftweges im Spalt vielfach geschätzt werden muß. Die Holzstärken liegen aber nach Erfahrungswerten fest, so daß die durch die Notwendigkeit einer solchen Schätzung hervorgerufene Unsicherheit nicht sehr groß ist.

Fugenlänge ist außerdem sowohl für einen Druckunterschied von 0,5 mm als auch von 5,0 mm WS vorgenommen.

Wie zu erwarten, streuen die Versuchspunkte stark. Die Genauigkeit der Bearbeitung, die Luftfeuchtigkeit, die Güte

des Anstrichs sind eben Einflüsse, die stets nur durch Feststellung von Grenzwerten bzw. der mittleren Werte berücksichtigt werden können. Trotzdem tritt in allen 3 Abbildungen die Abhängigkeit des Luftdurchgangs von der Länge

Zahlentafel 2a. Versuchsergebnisse von E. Raisch, München.

Fensterart	Breite × Höhe m	Fläche m ²	Fugen- länge m	Zahl der Ecken	Luftweg im Spalt mm	Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m ² Fensterfläche bei einem Staudruck von mm WS			Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m Fugenlänge bei einem Staudruck von mm WS		
						0,5	1,0	5,0	0,5	1,0	5,0
						Kastendoppelfenster . . .	1,29/1,66	2,15	9,4	12	90
Innenfenster des obigen Doppelfensters . . .	1,29/1,66	2,15	9,6	12	35	11,4	19,5	43,7	2,55	4,37	9,8
Außenfenster des obigen Doppelfensters . . .	1,29/1,66	2,15	9,4	12	55	7,0	11,2	32,1	1,6	2,55	7,35
Verbundfenster mit Filz- dichtung i. d. Randfugen	1,21/1,52	1,84	8,9	12	70	3,9	6,5	20,6	0,81	1,35	4,27
Verbundfenster mit Filz- dichtung i. d. Randfugen	1,21/1,52	1,84	8,9	12	70	2,18	4,03	14,1	0,45	0,84	2,92
Schiebefenster mit Doppel- verglasung, Korkdich- tung in den Fugen . . .	1,02/1,7	1,74	5,2	6	80	0,046	0,092	0,46	0,0154	0,31	0,154
Verbundfenstertüre m. Reib- falz und Senkangel . . .	1,45/2,65	3,85	10,0	6	90	0,25	0,51	1,92	0,095	0,195	0,74
Kastendoppelfenster . . .	1,29/1,66	2,15	8,4	12	90	5,7	9,3	—	1,45	2,38	—
Innenfenster der obigen Doppelfenster . . .	1,29/1,66	2,15	8,6	12	35	13,2	19,5	—	3,32	4,9	—
Außenfenster der obigen Doppelfenster . . .	1,29/1,66	2,15	8,4	12	55	7,0	11,2	—	1,78	2,85	—
Verbundfenster mit Filz- dichtung i. d. Randfugen	1,21/1,52	1,84	8,8	10	80	21,2	40,2	—	4,45	8,4	—

Zahlentafel 2b. Versuchsergebnisse von Chr. Eberle, Darmstadt.

Fensterart	Breite × Höhe m	Fläche m ²	Fugen- länge m	Zahl der Ecken	Luftweg im Spalt mm	Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m ² Fensterfläche bei einem Staudruck von mm WS			Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m Fugenlänge bei einem Staudruck von mm WS		
						0,5	1,0	5,0	0,5	1,0	5,0
						Einfaches Holzfenster . . .	1,38 / 1,432	1,97	6,6	6	56
Einfaches Holzfenster . . .	1,381/1,012	1,40	5,3	6	56	2,14	4,65	14,14	0,57	1,22	3,8
Verbundfenster, Holz . . .	1,381/1,434	1,98	6,6	6	84	1,16	2,52	9,1	0,35	0,76	2,73
Kastendoppelfenster . . .	1,47 / 1,536	1,97	6,75	6	98	1,12	2,03	6,6	0,33	0,59	1,93
Einfaches Holzfenster in Eiche, mit Klappe	1,41 / 1,02	1,44	5,3	6	39	11,8	16,7	40,3	3,2	4,5	10,9
Einfaches Holzfenster in Eiche, ohne Klappe	1,41 / 1,02	1,44	7,3	10	39	13,9	22,2	69,5	2,73	4,4	13,7
Einfaches Holzfenster in Eiche, mit Klappe	1,408/1,436	2,02	6,5	6	39	5,96	8,45	24,2	1,85	2,6	7,55
Einfaches Holzfenster in Eiche, ohne Klappe	1,408/1,436	2,02	8,5	10	39	7,45	11,4	35,2	1,76	2,7	8,35
Fenster mit Doppelverglä- sung, Holz	1,377/1,43	1,97	6,45	6	56	4,3	7,6	26,3	1,32	2,32	8,2

Zahlentafel 2c. Versuchsergebnisse von K. Sigwart, Danzig.

Fensterart	Breite × Höhe m	Fläche m ²	Fugen- länge m	Zahl der Ecken	Luftweg im Spalt mm	Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m ² Fensterfläche bei einem Staudruck von mm WS			Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m Fugenlänge bei einem Staudruck von mm WS		
						0,5	1,0	5,0	0,5	1,0	5,0
						Kastendoppelfenster . . .	1,49/1,85	2,75	10,7	12	80
Kastendoppelfenster . . .	1,49/1,85	2,75	10,7	12	80	4,36	6,9	23,6	1,12	1,77	6,07
Schiebefenster mit einfacher Verglasung	1,55/1,76	2,74	7,7	6	60	14,2	23,0	—	5,1	8,2	—
Schiebefenster mit einfacher Verglasung	1,55/1,76	2,74	7,7	6	60	5,85	11,3	—	2,1	4,0	—
Schiebefenster mit Doppel- verglasung	1,55/1,76	2,74	7,7	6	100	8,8	13,5	—	3,1	4,8	—
Schiebefenster mit Doppel- verglasung	1,55/1,76	2,74	7,7	6	100	4,0	6,2	20,0	1,43	2,2	7,3
Stahlfenster mit doppelter Verglasung	1,30/1,695	2,20	9,8	12	80	10,0	15,9	—	2,25	3,6	—
Stahlfenster mit doppelter Verglasung	1,30/1,695	2,20	9,8	12	80	3,2	5,5	17,2	0,72	1,22	3,9
Stahlfenster mit einfacher Verglasung	1,35/1,745	2,36	10,1	16	41	4,0	7,0	22,0	0,94	1,63	5,15
Stahlfenster mit einfacher Verglasung	1,29/1,685	2,17	9,2	10	41	1,07	1,71	5,55	0,27	0,44	1,42
Stahlfenster mit einfacher Verglasung	1,34/1,715	2,29	9,6	10	41	0,53	0,87	3,5	0,125	0,21	0,83

des Luftweges im Spalt klar hervor und ist sowohl durch die begrenzenden (gepunktet gezeichneten) Kurvenzüge wie durch eine mittlere Kurve dargestellt³⁾. Es zeigt sich dabei, daß sich unterhalb des Hauptstreufeldes ein kleineres befindet, das aus einem Teil der Versuchsergebnisse von Reiher, Fraaß, Settele und von Eberle gebildet wird. Meßtechnische Einflüsse für diese Absonderung lassen sich nicht ausfindig machen, da andere Werte dieser Verfasser in das Hauptstreufeld fallen. Auch eine Nachprüfung, ob nicht etwa doch die Art des Luftweges im Spalt nach Abb. 1 von größerem Einfluß ist, bringt keine Aufklärung. Desgleichen bleibt eine Unterscheidung nach Fenstern mit

³⁾ Der Versuch von Eberle, durch Verwendung von Eichenholz bei geringer Holzstärke eine bessere Dichtung zu erzielen, scheiterte deshalb.

4 und 6 Ecken und nach solchen mit 10 und mehr Ecken erfolglos, wie dies in Abb. 2a durch Kennzeichnung der Versuchswerte durch Punkte bzw. Kreuze geschehen ist. Zwar beziehen sich alle Versuchspunkte des unteren Streufeldes auf Fenster mit niedriger Eckenzahl, so daß zweifellos eine möglichst geringe Eckenzahl als vorteilhaft zu bezeichnen ist, doch ergibt sich ebenso oft auch für solche Fenster ein Luftdurchgang wie bei hoher Eckenzahl. Die günstige untere Versuchsgruppe kann daher vorläufig nur einen Anhaltspunkt geben, was bei weiterer planmäßiger Forschung und Durchbildung der Fensterbauweisen möglicherweise allgemein erreicht werden kann. Zur Zeit muß man aber mit den Ergebnissen der größeren und ungünstigeren Versuchsgruppe rechnen.

Zahlentafel 2d. Versuchsergebnisse von H. Reiher, K. Fraaß und E. Settele, Stuttgart.

Bezeichnung	Fensterart	Breite × Höhe m	Fläche m ²	Fugenlänge m	Zahl der Ecken	Luftweg im Spalt mm	Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m ² Fensterfläche bei einem Staudruck von mm WS			Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m Fugenlänge bei einem Staudruck von mm WS		
							0,5	1,0	5,0	0,5	1,0	5,0
							11 E ₁	Einfachfenster . . .	1,365/1,35	1,84	6,58	6
11 E ₂	Einfachfenster . . .	1,365/1,35	1,84	6,58	6	55	2,6	4,2	12,5	0,71	1,15	3,3
11 E ₃	Einfachfenster . . .	1,365/1,35	1,84	6,58	6	55	2,6	4,2	12,5	0,71	1,15	3,3
15 E ₁	Einfachfenster . . .	1,165/1,42	1,65	5,94	6	60	3,7	6,1	17,5	1,15	1,8	5,3
15 E ₂	Einfachfenster . . .	1,165/1,42	1,65	5,94	6	60	1,7	2,7	8,1	0,5	0,8	2,3
15 E ₃	Einfachfenster . . .	1,165/1,42	1,65	5,94	6	60	2,3	4,2	11,5	0,65	1,1	3,2
13 V	Verbundfenster . . .	1,38/1,35	1,86	6,56	6	80	6,5	10,1	31,0	1,8	3,1	8,8
11 D ₁	Kastendoppelfenster	1,41/1,395	1,97	6,50	6	120	2,75	4,3	13,0	0,74	1,25	3,5
11 D ₂	Kastendoppelfenster, frisch gestrichen .	1,41/1,395	1,97	6,50	6	120	2,9	4,7	10,5	0,82	1,35	3,8
11 D ₂	Dasselbe n. 2 Monaten	1,41/1,395	1,97	6,50	6	120	3,55	5,8	17,0	1,0	1,6	4,7
11 D ₃	Kastendoppelfenster	1,41/1,395	1,97	6,50	6	120	3,2	5,1	15,5	0,84	1,4	4,1
11 D ₄	Kastendoppelfenster	1,41/1,395	1,97	6,50	6	120	2,75	4,3	13,0	0,74	1,25	3,5
12 D	Kastendoppelfenster, dreiteilig	2,09/1,395	2,92	10,50	8	120	3,7	6,1	17,5	0,96	1,55	4,6
F 49	Eisenfenster »Zimmermann« . . .	2,26/1,48	3,34	6,12	12	45	3,4	5,5	16,0	1,9	3,15	9,4
11 E ₂	Einfachfenster, Holz mit Metalldichtung	1,365/1,35	1,84	6,58	6	55	0,85	1,4	4,2	0,23	0,37	1,2
13 V	Verbundfenster mit Gummidichtung . . .	1,38 /1,35	1,86	6,56	6	80	0,5	0,9	2,75	0,15	0,24	0,93

Zahlentafel 2e. Versuchswerte von E. Settele, Stuttgart.

Bezeichnung	Fensterart	Breite × Höhe m	Fläche m ²	Fugenlänge m	Zahl der Ecken	Luftweg im Spalt mm	Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m ² Fensterfläche bei einem Staudruck von mm WS			Luftdurchgang in m ³ /h je 1 m Fugenlänge bei einem Staudruck von mm WS		
							0,5	1,0	5,0	0,5	1,0	5,0
							2 D	Kastendoppelfenster .	1,305/1,345	1,75	7,87	6
2 D	Kastendoppelfenster .	1,305/1,345	1,75	8,55	12	30	6,8	10,8	30,7	1,4	2,2	6,3
1 D	Kastendoppelfenster .	1,30 /1,335	1,73	8,55	12	80	7,3	11,6	34,5	1,5	2,35	7,0
1 D	Kastendoppelfenster .	1,30 /1,335	1,73	7,87	6	80	4,1	7,1	21,5	0,9	1,55	4,75
3 E	Zergen-Einfachfenster	1,145/1,53	1,75	8,05	12	55	7,6	12,6	39,0	1,65	2,75	8,5
7 E ₁	Einfachfenster	1,26 /1,52	1,92	7,18	12	55	7,1	11,2	31,0	1,9	3,0	8,3
7 E ₂	Einfachfenster	1,26 /1,52	1,92	7,18	12	55	6,0	9,4	23,8	1,6	2,5	6,4
7 E ₃	Einfachfenster	1,26 /1,52	1,92	7,18	12	55	4,1	6,35	21,6	1,1	1,7	5,8
8 E	Zergen-Einfachfenster	1,105/1,49	1,65	7,77	16	55	7,5	11,8	30,0	1,6	2,5	6,4
10 D ₁	Kastendoppelfenster .	1,125/1,385	1,56	6,84	6	80	4,0	6,6	19,2	0,92	1,55	4,4
10 D ₂	Kastendoppelfenster .	1,125/1,385	1,56	6,84	6	80	9,5	15,4	48,0	2,15	3,5	11,0
9 E	Zergen-Einfachfenster	1,165/1,40	1,63	6,09	8	48	2,4	4,65	13,4	0,63	1,25	3,6
Sil-	Eisen-Einfachfenster .	1,275/1,49	1,90	6,58	6	45	1,9	3,58	11,6	0,55	1,05	3,35
houette												
Weiß-	Eisen-Einfachfenster .	1,15 /1,435	1,65	6,24	6	45	10,6	16,6	49,0	2,8	4,4	13,0
feld												
2 D	Kastendoppelfenster, äußerer Flügel . . .	1,305/1,345	1,75	7,87	6	50	8,3	13,9	40,5	1,85	3,1	9,0
2 D	Kastendoppelfenster, innerer Flügel . . .	1,305/1,345	1,75	7,87	6	30	7,2	11,2	39,5	1,6	2,5	6,8
2 D	Kastendoppelfenster, Innenflügel, Schlag verkittet	1,305/1,345	1,75	6,40	6	30	7,6	10,2	31,5	1,7	2,8	8,0
2 D	Kastendoppelfenster, Außenflügel, Schlag verkittet	1,305/1,345	1,75	6,40	6	50	10,2	13,1	42,0	2,3	3,0	11,5
2 D	Dasselbe Doppelfenster, beide Schläge ver- kittet	1,305/1,345	1,75	6,40	6	80	6,3	8,05	23,5	1,4	2,2	6,4

Zahlentafel 2f.
Versuchswerte der verschiedenen Fenster an Schiebefenstern, gedichteten Fenstern und Eisenfenstern.

Fensterart	Breite × Höhe m	Luftweg im Spalt mm	Luftdurchgang je 1 m Fugenlänge bei 0,5 mm WS Staudruck m³/h
Fenster mit Dichtungen:			
Verbundfenster mit Filzdichtung in den Randfugen . . .	1,21/1,52	70	0,81
Verbundfenster mit Filzdichtung in den Randfugen . . .	1,21/1,52	70	0,45
Schiebefenster mit Doppelverglasung, Korkdichtung in den Fugen . . .	1,02/1,70	80	0,0154
Verbundfenster mit Filzdichtung in den Randfugen . . .	1,21/1,52	80	4,45
Einfaches Holzfenster mit Metalleichtung . . .	1,365/1,35	55	0,23
Verbundfenster mit Gummichtung . . .	1,38/1,35	80	0,15
Schiebefenster:			
Schiebefenster mit einfacher Verglasung . . .	1,55/1,76	60	5,1
Schiebefenster mit einfacher Verglasung . . .	1,55/1,76	60	2,1
Schiebefenster mit Doppelverglasung . . .	1,55/1,76	100	3,1
Schiebefenster mit Doppelverglasung . . .	1,55/1,76	100	1,43
Eisenfenster:			
Stahlfenster mit Doppelverglasung . . .	1,30/1,695	80	2,25
Stahlfenster mit Doppelverglasung . . .	1,30/1,695	80	0,72
Stahlfenster mit einfacher Verglasung . . .	1,35/1,745	41	0,94
Stahlfenster mit einfacher Verglasung . . .	1,29/1,685	41	0,27
Stahlfenster mit einfacher Verglasung . . .	1,34/1,715	41	0,125
Eisenfenster »Zimmermann« . . .	2,26/1,48	45	1,9
Eisen-Einfachfenster . . .	1,275/1,49	45	0,55
Eisen-Einfachfenster . . .	1,15/1,435	45	2,8

Darin bedeutet l einen Beiwert, der je nach der Fensterart verschieden ist. Dieser Beiwert stellt die bei 1 mm WS durchgehende Luftmenge in m³/h dar, kennzeichnet also die Güte eines Fensters hinsichtlich der Wärmeverluste durch Luftdurchlässigkeit.

Vorstehende Gleichung kann nur annähernd gelten, da sich bei den verschiedenen Fenstern in verschiedener Weise laminare und turbulente Strömungen an den einzelnen Fugenquerschnittsstellen ausbilden und bei manchen Fensterarten scheinbar bereits bei 3 mm Druckunterschied und darunter überwiegend turbulente Strömung in Betracht kommt. Trotzdem zeigt sich, daß, wenn man die mittleren Kurven der Abb. 2b nach diesem Gesetz aus Abb. 2a errechnet, ein Kurvenzug entsteht, der die bei 5 mm WS gemessenen Versuchswerte ab 60 mm Luftweg im Spalt genau zusammenfaßt. Nur bei sehr kleinen Luftwegen im Spalt ist der durch Umrechnung gewonnene Wert etwas zu groß. (Gestrichelte Linie in Abb. 2b.)

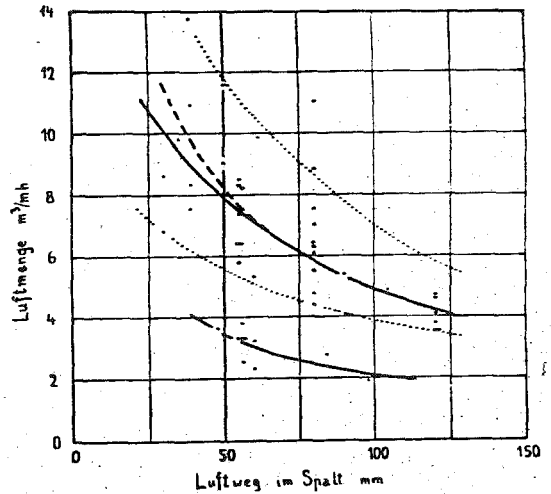


Abb. 2b. Luftdurchgang durch Holzfenster je 1 m Fuge bei 5,0 mm WS Druckunterschied.

Ausgezogene Kurven: Mittelwerte des Haupt- und Nebentreufeldes. Gepunktete Linien: Grenzkurven des Hauptstreufeldes. Gestrichelte Kurve: aus Abb. 2a errechnete Durchschnittskurve des Hauptstreufeldes.

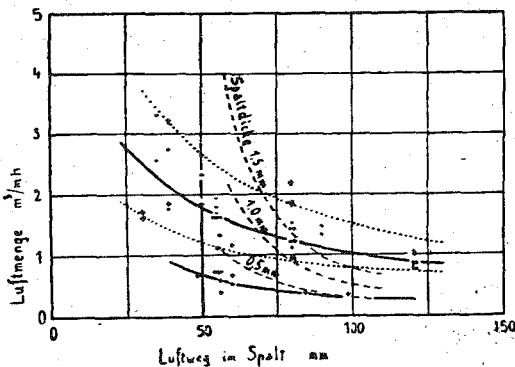


Abb. 2a. Luftdurchgang durch Holzfenster je 1 m Fuge bei 0,5 mm WS Druckunterschied.

Mit einem Punkt eingezeichnete Versuchswerte: Fenster mit 10 und mehr Ecken. Mit einem Kreuz bezeichnete Werte: Fenster mit 4 und 6 Ecken. Ausgezogene Kurven: Mittelwerte des Haupt- und Nebentreufeldes. Gepunktete Kurven: Grenzkurven des Hauptstreufeldes. Gestrichelte Linien: Versuche an Fugenmodellen.

Die Zunahme der durch die Fensterfugen gehende Luftmenge mit dem Druckunterschied läßt sich nach Reiher, Fraaß, Settele durch die Gleichung darstellen:

$$L = l \cdot \Delta p^{2/3}$$

In Abb. 2a sind ferner die vorerwähnten Versuche von Reiher, Fraaß, Settele an Modellfugen für eine Spaltstärke von 0,5 bzw. 1 bzw. 1,5 mm als gestrichelte Linien eingezeichnet. Vergleicht man diese Kurven mit den an den ausgeführten Fenstern gemessenen mittleren Kurven des Hauptstreufeldes, so zeigt sich bei ihnen eine viel stärkere Krümmung, d. h. daß nach den Modellversuchen die Länge des Luftweges im Spalt noch von viel größerem Einfluß sein müßte, als sich in Wirklichkeit ergibt. Das führt zu der Erkenntnis, daß mit der Länge des Luftweges im Spalt offenbar praktisch auch die wirksame Spaltstärke zunimmt. Dies ist begründlich, wenn man bedenkt, daß zur völligen Abdichtung eines Fensters an sich die Berührung der beiden Holzflächen nach einer einzigen Linie genügen würde. Die unvermeidlichen Unebenheiten der Holzflächen führen aber gewissermaßen zu einer losen Kette von einzelnen Berührungspunkten, die sich über einen größeren Teil der Spaltflächen verteilen. Diese Verteilung wird um so eher größere Lücken aufweisen, je größer die miteinander in Berührung stehenden beiden Holzflächen sind. Wenn also der Handwerker beim Einpassen der Fenster darauf hinarbeitet, daß die beiden Spaltflächen an der Außen- und Innenseite der Fenster, die zur Glasfläche gleich verlaufen, möglichst dicht sitzen, so gelingt ihm dies stets nur unvollkommen.

Die Länge des Luftweges im Spalt hat aber vorwiegend doch eine günstige Wirkung, wie ja Abb. 2a und b sowie

Abb. 3 gezeigt haben. Je größer sie ist, um so mehr wird zwar eine lineare Abdichtung erschwert, um so mehr steigt aber der Strömungswiderstand der Luft und um so wahrscheinlicher wird, daß sich mehrere hintereinander liegende, allerdings unvollkommene Dichtungslinien ausbilden. Man kann aus den Modellversuchen folgern, daß bei praktischen Ausführungen die durchschnittliche wirksame Spaltbreite für einen Luftweg von 30 bis 40 mm etwa 0,5 mm, für einen Luftweg von 50 bis 60 mm etwa 0,8 mm ist.

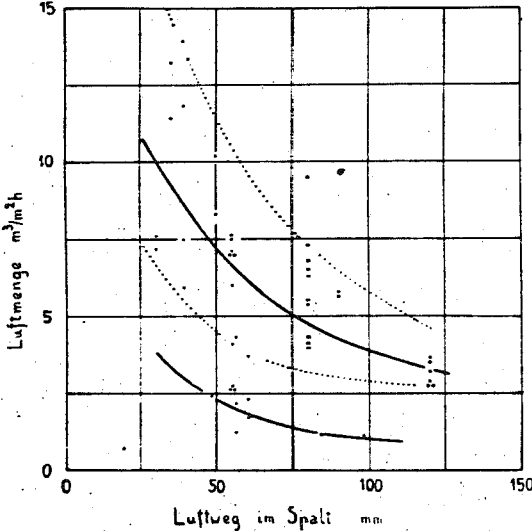


Abb. 3. Luftdurchgang durch Holzfenster je 1 m² Fensterfläche bei 0,5 mm WS Druckunterschied.

Ausgezogene Kurven: Durchschnittswerte des Haupt- und Nebestreufeldes. Gepunktete Kurven: Grenzwerte des Hauptstreufeldes.

Betrachtet man die Versuchswerte für Schiebefenster, für gedichtete Fenster und für Eisenfenster der Zahlentafel 2f, so lassen sich daraus nur einige allgemeine Folgerungen ziehen. Schiebefenster sind vielfach undichter als Klappfenster. Fenster mit Dichtungen, die gut instand gehalten sind, können einen außerordentlich geringen Luftdurchgang aufweisen. Auch bei Eisenfenstern kann eine sehr gute Dichtung vorhanden sein, weil dieser Werkstoff eben eine genaue Bearbeitung zuläßt und von der Luftfeuchtigkeit nicht beeinflusst wird. Im wesentlichen aber sind die Ergebnisse bei Eisenfenstern dem absoluten Betrage nach im Streubereich der Holzfenster. Wenn man die Länge des Luftweges im Spalt für Eisenfenster so errechnet, daß die Luftkammern zwischen den eigentlichen Dichtungsflächen mit in den Luftweg eingerechnet werden, gilt für sie annähernd die gleiche Abhängigkeit vom Luftweg im Spalt. Tut man dies nicht¹⁾, so ergibt sich für Eisenfenster ein geringerer Luftdurchgang für eine bestimmte Länge des Luftweges im Spalt als bei Holzfenstern.

IV. Folgerungen für die Berechnung der Wärmeverluste von Fenstern.

Aus den bisherigen Betrachtungen ist zu entnehmen, daß man den Luftdurchgang nicht, wie bisher, für alle Fenster einer Gattung gleich und mit verhältnismäßig ungünstigen Werten anzusetzen braucht. Man kann vielmehr nach Zahlentafel 3 die Länge des Luftweges in verlässiger Weise in Ansatz bringen, kann also Bauweisen mit langen Luftwegen benutzen, wenn es darauf ankommt, daß möglichst große Fenster verwendet werden sollen. Zur Bestimmung des jährlichen Heizbedarfes eines Raumes wird man dabei die Durchschnittswerte der Zahlentafel 3 benutzen, zur Berechnung der notwendigen Größe einer Heizanlage dagegen

¹⁾ Bei Holzdoppelfenstern wurde der Luftraum zwischen den beiden Fenstern natürlich nicht zur Länge des Luftweges gerechnet.

den angegebenen ungünstigsten Grenzwert²⁾, da die Heizanlage ja mit der Möglichkeit einer weniger guten Ausführung rechnen muß, um sicher auszureichen.

Zahlentafel 3.

Luftdurchgang durch Holzfenster in Abhängigkeit von der Länge des Luftweges im Spalt (m³/h je 1 m Fuge).

Rechenwert	Druckunterschied in mm WS	Luftdurchgang je 1 m Fuge bei einem Luftweg im Spalt von mm						
		30	40	50	60	100	120	
Durchschnittswert	0,5	2,5	2,1	1,8	1,55	1,25	1,05	0,90
	5,0	11,5	9,7	8,3	7,2	5,8	4,9	4,1
Ungünstigster Grenzwert	0,5	3,85	3,15	2,7	2,3	1,85	1,5	1,25
	5,0	17,4	14,6	12,5	10,7	8,6	7,0	5,8

Die Anzahl der Ecken eines Fensters wird man wenigstens insoweit in der Berechnung zum Ausdruck bringen können, als man für Fenster bis zu 6 Ecken auch den für die Berechnung von Heizanlagen nötigen Sicherheitswert gleich dem mittleren Durchschnittswert setzen kann. Außerdem wird man grundsätzlich Fenster mit wenigen Ecken bevorzugen.

Es läßt sich jetzt auch die Frage prüfen, ob man die Ermittlung der Wärmeverluste durch Luftdurchgang unter Zugrundelegung von 1 m² Fensterfläche oder mit Hilfe der Fugenlänge durchführen soll. Vergleicht man Abb. 2a mit Abb. 3, so sieht man, daß das Streufeld bei der Bezugnahme auf 1 m² Fläche prozentual kaum ungünstiger als bei Bezugnahme auf die Fugenlänge wird. Bei Bezugnahme auf 1 lfd. m Fugenlänge in Abb. 2a liegt die obere Grenzkurve bei 30 bzw. 60 bzw. 120 mm Luftweg im Spalt um ungefähr 50 bzw. 49 bzw. 33% über der mittleren Durchschnittskurve. Legt man die Flächeneinheit gemäß Abb. 3 zugrunde, so ist die Streuung nach der ungünstigen Seite ungefähr 60 bzw. 52 bzw. 33%. Diesen Unterschied der beiden Bilder könnte man durch etwas anderes Zeichnen der Kurven unschwer ausgleichen, so daß demnach sowohl die deutsche wie die amerikanische Berechnungsweise zu gleichen Ergebnissen führen würde. Trotzdem ist zweifellos die Berechnung nach 1 m Fugenlänge die genauere. Gemäß Zahlentafel 4 können auf die Flächeneinheit je nach der

Zahlentafel 4.

Fugenlänge je 1 m² Fensterfläche bei einigen kennzeichnenden Beispielen.

Fensterart	Breite × Höhe m	Fensterfläche m²	Ecken-zahl	Fugenlänge je 1 m² Fensterfläche m
Einfachfenster, zwei-flügelig	1,14/1,42	1,62	6	3,7
Einfachfenster, zwei-flügelig mit Kämpfer	1,14/1,55	1,76	12	4,75
Einfachfenster, drei-teilig mit Kämpfer und 2 Posten . . .	1,69/1,55	2,62	24	5,6
Einfach-Schiebefenster	1,9/1,9	3,6	6	2,4

Fensterart recht verschiedene Längen der Fugen treffen und wenn sich diese Unterschiede bei den vorliegenden Untersuchungen gegenüber den sonstigen Einflüssen z. B. der Eckenzahl nicht durchsetzen können, so deswegen, weil sich sämtliche Untersuchungen auf üblichste Fensterabmessungen bezogen, bei denen für jede Fensterart keine allzu krassen Unterschiede hinsichtlich der Fugenlänge je Flächeneinheit auftreten. Die allgemeine Berechnungsweise sollte aber allen Verhältnissen gerecht werden und es kann kein Zweifel sein, daß unter diesem Gesichtspunkt für die Praxis die amerikanische Berechnungsweise genauer ist. Man

²⁾ Bei Aufstellung der oberen Grenzkurve könnte ein einzelner besonders weitabliegender Versuchspunkt unberücksichtigt bleiben.

braucht dabei auch keineswegs einen umständlicheren Rechnungsgang in Kauf nehmen, wenn man für die verschiedenen Fensterarten Tabellen, am besten in Form eines Beiwertes für den Wärmeverlust der mittleren Fenstergröße aufstellt. Dies sei jedoch einer weiteren Veröffentlichung vorbehalten, welche eine einfache Auswertung der in diesem Aufsatz gefundenen Erkenntnisse geben soll.

Zahlentafel 5.

Holz- bzw. Eisenanteil an der Gesamtfläche der untersuchten Fenster.

Forscher	Einfachfenster %	Kastendoppel-fenster %	Verbund-fenster %	Schiebe-fenster %	Eisenfenster ein-fach %	Eisenfenster mit Dop-pelglas %
Eberle	37 41 42 36	41	43 41	—	—	—
Raisch	40 46 40 46	46 46	43 43 44	36	—	—
Sigwart	—	48	—	35 38	21 23 19	25
Reiher, Fraaß, Settele	41 50	42 40	43	—	17	—
Settele	50 44 48 44	42 47 47 41 43	—	—	20 22	—
Niedrigster — höchster Wert:	36—50	40—48	41—44	36—38	17—23	25
Mittelwert:	43	44	43	36,5	20	25

V. Notwendige sonstige Gesichtspunkte.

Für eine vollständige Lösung der eingangs gestellten Aufgabe, durch Aufzeigen eines neuen Berechnungsweges die gesundheitlichen Erfordernisse besser berücksichtigen zu können, ist noch die Bearbeitung weiterer Fragen wichtig, deren bisherige Darstellung im Schrifttum den Bedürfnissen der Praxis noch nicht Genüge tut. So stehen z. B. allgemein gültige Untersuchungen aus, durch welche Fensterausführungen die vom Fenster eingenommene Wandfläche mit möglichst hohem Wirkungsgrad für die Belichtung ausgenützt werden kann. Daß hier ebenfalls bemerkenswerte wärmeschutztechnische Fortschritte möglich sind, zeigt Zahlentafel 5, die für die untersuchten Fenster angibt, wie groß der Flächenanteil der Holz- bzw. Eisenteile an der Gesamtfensterfläche ist. Zahlentafel 6 verdeut-

Zahlentafel 6. Fenstergrößen gleicher Glasflächen.

Fenster-Bauart	Anteil des Glases an der Gesamtfläche in %	Verhältniszahl bei gleicher Glasfläche bezogen auf:	
		günstigstes Fenster	ungünstigstes Fenster
Günstigstes Einfachfenster	64	1,30	0,94
Ungünstigstes Einfachfenster	50	1,06	1,00
Günstigstes Eisenfenster	83	1,00	0,74
Ungünstigstes Eisenfenster	75	1,11	0,84

licht die bestehenden Unterschiede noch dadurch, daß der Glasanteil der günstigsten und ungünstigsten Ausführungsarten miteinander in Bezug gebracht ist. Allerdings ist zu bemerken, daß die Lichtausbeute eines Fensters nicht genau verhältnismäßig der Glasfläche ist, doch gibt diese Darstellung immerhin einen ersten Anhaltspunkt für die Wichtigkeit dieser Frage.

Erfahrungen bei der Geräuschbekämpfung in Lüftungs- und Klimaanlage

Von Dr.-Ing. Dr. Werner Zeller VDI, berat. Ing. VBI, Berlin

Auf der Fachsitzung »Klimatechnik« der VDI-Hauptversammlung in Stuttgart am 27. 5. 1938 berichtete der Verfasser der folgenden Ausführungen über drei Fälle von Geräuschbelästigungen und die Maßnahmen zu deren Beseitigung. Der Vortrag ist auszugsweise wiedergegeben.

Eine entscheidende Grundaufgabe neuzeitlicher Bauentwicklung besteht darin, die Ausrüstungstechnik besonders im Wohnungsbau, zu der Einrichtungstechnik, Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik und die praktische Bauakustik zu rechnen sind, mit dem Hochbau selbst in eine organische Einheit zu bringen. Die großen Bauvorhaben für die nächsten Jahre und Jahrzehnte verpflichten Architekten und Fachingenieure dringend zur Lösung dieser Aufgabe.

Eine Sonderfrage in diesem Rahmen ist die Anwendung von Lüftungs- und Klimaanlage in Wohn-, Büro- und Versammlungsbauten, die neben einer Reihe anderer Voraussetzungen auch eine dem Einzelfall angemessene Geräuscharmut verlangt. Um der Praxis die notwendigen schalltechnischen Arbeitsgrundlagen zu geben, hat der VDI »Richtlinien für die Lärmabwehr in der Lüftungstechnik« herausgegeben¹⁾. Für die praktische Lärmabwehr in der Lüftungs- und Klimatechnik ist dreierlei erforderlich:

1. Zahlenmäßige Grenzen für die in den einzelnen Fällen zulässigen Geräusche,
2. Kenntnis der möglichen Geräuschabwehrmaßnahmen und
3. eine gewisse schalltechnische Urteilsfähigkeit.

Die beiden ersten Gesichtspunkte sind in den Richtlinien weitgehend behandelt. Was Richtlinien aber natürlich stets nur beschränkt vermitteln, ist die Urteilsfähigkeit. Von ihr hängt es ab, ob die Ursachen eines Geräusches richtig gefunden, ob die richtigen Abwehrmaßnahmen getroffen und ob schließlich Schäden mit geringstem Kostenaufwand behoben werden können. Das verständliche Bestreben, die Reihenfolge bekannter Abwehrmaßnahmen nach der Billigkeit auszusuchen, führt oft nicht zur billigsten Lösung. Denn mag eine Maßnahme auch billig sein — ist sie falsch, so ist der Kostenaufwand umsonst.

Beim gegenwärtigen Stand der Lärmabwehr in der Lüftungstechnik mag der weiteren Entwicklung am besten nach dem Vorliegen der VDI-Richtlinien durch Behandlung einiger Fälle aus der Praxis gedient sein; bei denen nachträglich Geräuschabwehrmaßnahmen zu treffen waren, also mit vorhandenem Lüfter, Motor, Pumpensatz usw. gerechnet werden mußte.

In der Klimatechnik liegt es oft nahe, auch in schalltechnischer Hinsicht Vergleiche mit amerikanischen Verhältnissen anzustellen, weil die Entwicklung der Klimatechnik

¹⁾ Richtlinien für die Lärmabwehr bei Lüftungs- und Klimaanlage. Hrsg. vom VDI 1938.
Berger, R., Lübecke, E. und Zeller, W. Lärmabwehr in der Lüftungstechnik. Heizg. u. Lüftg. 11 (1937) S. 17 u. S. 49.
Opitz, H. Geräuschfragen bei lufttechnischen Anlagen. Gesundh.-Ing. 59 (1936) S. 404/465.
Lübecke, E. Geräuschminderung in Lüftungsanlagen. Gesundh.-Ing. 60 (1937) S. 577/581.
Das neuere Schrifttum über Lärmabwehrfragen ist im Rahmen

der »Literaturzusammenstellungen aus dem Gebiet der technischen Mechanik und Akustik« (Hrsg. W. Zeller) in Heft 6 »Lärmabwehr und Raumakustik«, Berlin 1938, zusammengefaßt.