

Energieinstitut-Hessen
Heinrich-Berbalk-Strasse 30
60437 Frankfurt
2017



Historischer Wärmeschutz: Fenster





Abb.1 Fachwerkhaus um 1900, immer noch mit hölzernen Läden und Gittereinsätzen

Transparenz hat ihren Preis

Bis vor tausend Jahren waren die Licht- und Luftöffnungen in Hütten und Häusern nichts weiter als zugige Löcher („Windaugen“). Erst im frühen Mittelalter begann man die Fensteröffnungen im Winter mit durchscheinenden Tierhäuten und anderen Hilfsstoffen zu verschließen. Ab dem 11. Jahrhundert leistete sich vereinzelt der Adel erstmals Fenstergläser in Form von kleinen Butzenscheiben. Neue Erfindungen verbesserten ab dem 18. Jahrhun-

dert die Glasqualität - von da an ging es mit der weiteren Entwicklung von Rahmen, Dichtungen und Gläsern geradezu stürmisch voran. Nach der ersten Ölkrise kam der Wärmeschutz ins Spiel, und damit etablierten sich endlich die ersten Isolierverglasungen. Inzwischen ist die 3fach-Wärmeschutzverglasung im Dämmrahmen Standard, und die 4fach-Verglasung ganz gewiss nicht das Ende der Entwicklung.

Werner Eicke-Hennig

Glas galt hierzulande als das „Gold des Mittelalters“. Die Römer brachten es auf ihren Eroberungszügen nach Norden mit und gaben ihm den germanischen Namen des Bernsteins. In Rom beherrschte man ab 100 v. Chr. die Herstellung flacher Gläser. Damit lagen zwischen Glasteile und Glasscheibe 5000 Jahre Entwicklung. Die ersten Fenster waren durch Bleisprossen gefügte, kleinste gerundete Glasflächen, oft eher durchscheinend als durchsichtig. Gleichwohl ein gewaltiger Fortschritt an Lebensqualität.

Hierzulande ließ man sich viel Zeit mit dem Verglasen von Fenstern. In Mittel- und Nordeuropa besaßen die Häuser jahrtausendlang überhaupt keine Fenster. In den Hütten erzeugten Rauchloch, Tür und Herdflamme nur ein dämmriges Licht. Die ersten Licht- und Luftöffnungen in Gebäuden beschränkten sich zunächst auf kleine Flächen, die man im Herbst und Winter mit Brettern oder Strohsäcken verschloss. Ein solches offenes romanisches Fenster für den Sommerbetrieb existiert in manchen Gebäuden heute noch - unter anderem zu sehen auf der Burg Münzenberg in Hessen.

Die „dunklen Jahrtausende“ dauerten bis 1000 n. Chr. an. Ein Fortschritt stellten Fenster mit Holzgittern und Schiebe- und Klappläden dar. **Abb. 1** zeigt ein Fachwerkhaus in Lemgo, bei dem diese Technik noch 1890 in Betrieb war. Erst danach kam das Glas hierzulande im 14. bis 17. Jahrhundert allmählich in den Fensteröffnungen an. Butzenscheiben, Bleiverglasung und Glasmalerei prägten die Fassadenöffnungen (**Abb. 2, 3**). Wie schon beim Ziegelbau waren es die wohlhabenden Eigentümer der Klöster, Burgen und Schlösser, die es sich leisten konnten, erste Glasfenster einzubauen.

Glas - ein edler und teurer Baustoff

Die Glasherstellung ist energieaufwändig, Glas war deshalb schon immer der teuerste Baustoff. Dies beschreibt Otto Völcker^[1] schon für das Mittelalter: „Rechnet man dazu, dass Glasfenster im ganzen Mittelalter ein Luxus für reiche Leute waren, während die anderen sich mit Holzläden und Rahmen mit durchscheinenden Stoffen (Ölpapier, Leinen Tierblase) begnügen mussten, so versteht man umso besser die Herzensfreude, mit der die

[1] Otto Völckers Glas und Fenster, Berlin 1939



Abb.2 Butzenscheiben in Bleifassung waren im Mittelalter gängige Form der Verglasung.

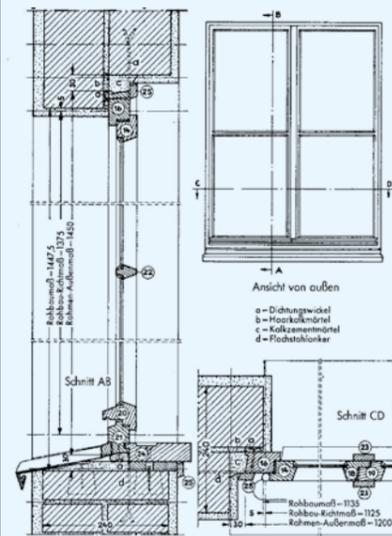
Dichter des Mittelalters den Frühling begrüßten.“ Solche schwach durchscheinenden, billigeren Glaseratzstoffe nutzten Bauern, Händler und Handwerker bis in das 18. Jahrhundert, um Tageslicht in ihre Häuser zu holen. Noch um 1500 besaßen 20 m² Fensterglas den Wert eines ausgewachsenen Ochsen. Im Hochmittelalter war der transparente Baustoff noch fünfzehnmal teurer als 1930. In den Profanbauten verglaste man ab 1500 in Butzenscheibentechnik die feststehenden Oberlichter, während man für den unteren Fensterteil beim Holzklapp- oder -schiebeladen blieb. Ein solcher Klappladen hatte einen U-Wert um 2,5 W/(m²K), im Wärmeschutz der Fachwerkwand immerhin ebenbürtig. Ab 1700 etablierte sich das einfach verglaste Fenster im Einfachrahmen aus Holz. Die Wärmeleitfähigkeit des Glases lag zwischen 0,7 und 1,0 W/(mK)^[2]. Das ergab bei Holzrahmen einen Fenster-U-Wert von U_w 4,5 bis 4,8 W/(m²K).

[2] DIN 12524; Eichler, Arndt, Bauphysikalische Entwurfslehre, Köln 1982

Abb.3 Butzenscheibenfenster am Rathaus von Bad Hersfeld (1607)

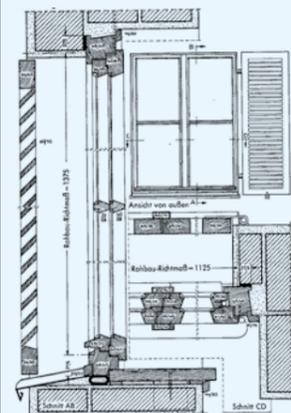


Die wichtigsten historischen Fenstertypen bis 1995



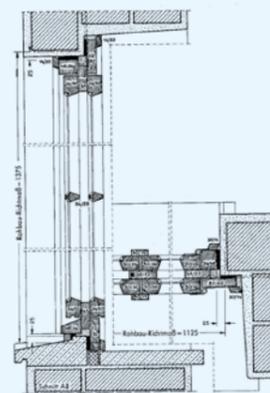
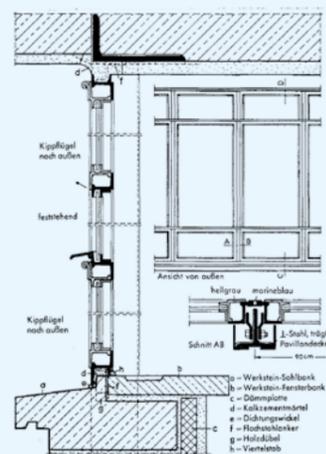
Einfachfensterrahmen mit Einscheibenverglasung setzten sich im 17. Jahrhundert durch. Typisch war das zweiflügelige Fenster mit Kämpfer (Fensterkreuz). Die Rahmendicken entwickelten sich von 36 mm auf Werte um 68 mm. Der Wärmeschutz dieser Fenster war mit einem U_w -Wert von 4,5-4,8 $W/(m^2K)$ so schlecht, dass die Innenoberflächentemperatur der Scheiben bei Frost oft unter dem Gefrierpunkt lag. Ablesbar war dies an den in Spielfilmen und auf Bildern oft romantisiereten Eisblumen, die viel eher ein Zeichen dafür waren, dass behagliches Wohnen im Winter mit Einscheibenverglasung nicht möglich war. Die kalten Scheiben waren ein Raumluftentfeuchter und hielten diese auf Werte um 40 % rel. Feuchte. Die Dichtung bewirkte allein die Formgebung der Rahmen (Falzdichtung, Wolfsrachen). Mit einem g-Wert von 0,86 wird zwar viel Sonnenwärme ins Haus gelassen, die Bilanz ist aber auch bei Südverglasung negativ, denn die Heizwärmeverluste überwiegen.

Stahlfensterrahmen mit Einfachverglasung waren in der Weimarer Zeit modern, als die damals neuen Werkstoffe „ausprobiert“ wurden. Sie sind jedoch wegen der raumseitigen Kondensatprobleme heute aus dem Wohnungsbau verschwunden. Beim Stahlfenster ergänzen sich der U-Wert von Rahmen und Verglasung negativ: Beide weisen mit $U_w = 5,8 W/(m^2K)$ die schlechtesten Werte auf. Der Rechenwert für das Fenster beträgt nach DIN 4108 jedoch 5,2 $W/(m^2K)$. Der g-Wert liegt bei 0,86.



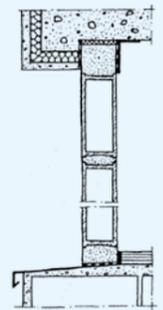
Das Verbundfenster war als das „bessere Fenster“ bis in die sechziger Jahre gebräuchlich und in manchen Altbauten sind sie sogar heute noch anzutreffen. Es bot eine energetische Optimierung auf Basis der Einfachverglasung. Der doppelte Flügelrahmen weist einen Zwischenraum von 3-5 cm auf, jeder Rahmen ist einfach verglast. Zum Reinigen der Scheiben können die beiden Rahmenteile mit einem Schlüssel geöffnet werden. Der höhere Pflegeaufwand von vier Scheiben machte die Verbundfenster nicht gerade beliebt. Ihr U_w -Wert liegt bei 2,4 bis 2,6 $W/(m^2K)$, der g-Wert bei 0,8.

Kasten- und Zargenfenster waren die Fenstertypen für das anspruchsvolle Gebäude, die Villa und Gründerzeithäuser. Beim Kastenfenster ist der innere Flügel größer, damit der äußere nach innen, durch den Blendrahmen hindurch, geöffnet werden kann. Beim Zargenfenster geht der äußere Flügel nach außen und der innere nach innen auf. Sie haben sich aus den „Winterflügeln“ für Einfachfenster entwickelt. Als Energiespar-Lösungen auf Basis der Einscheibenverglasung wurden sie nach 1960 durch das Isolierglas verdrängt. Der U_w -Wert liegt bei 2,3 bis 2,5 $W/(m^2K)$, der g-Wert bei 0,8. Die Fenster reduzierten auch die Lüftungsverluste durch die zwei Rahmenebenen. Der Pflegeaufwand von zwei Flügelebenen und vier Scheibenseiten ist hoch.



Der k-Wert von einfachen Holz- und PVC-Rahmen mit Isolierverglasung lag bei 2,6 $W/(m^2K)$, nach neuer Normung ergibt sich ein U_w -Wert von 2,7 bis 2,8 $W/(m^2K)$; der g-Wert beträgt 0,76. Ab 1960 setzte sich die Isolierverglasung allmählich am Markt durch, begleitet von neuen Rahmenmaterialien wie Hartholz, PVC oder Aluminium. Die Qualitäten der neuen Fenster erzeugten ihre Nachfrage selbst, lange vor der WSVO. Über das GADO-Glas mit verschmolzenem Randverbund (k-Wert um 3,8 $W/(m^2K)$) entwickelte sich dieser Typ zur Zweischeiben-Isolierverglasung mit 4/12/4 mm Abmessung, Luftverdünnung und Alu-Randverbund. Synonym für die neue Qualität wird der Produktname „Thermopane“. Dessen Alu-Randverbund verschlechtert den U-Wert um 0,2 bis 0,3 Punkte, es überwog jedoch die Verbesserung um 1,0 Punkte gegenüber der Einfachverglasung.

Der Glasbaustein war „das“ architektonische Gestaltungselement im Wohnungsbau der Nachkriegszeit schlechthin. Sein k- bzw. U-Wert liegen gleichermaßen schlecht bei 3,5 $W/(m^2K)$. Der g-Wert erreicht 0,6. Glasbausteine wurden in der DIN 4108 von 1952 als Ersatz für einscheibenverglaste Fenster mit feststehenden Rahmen empfohlen. Die gestaltprägenden Glasbausteinflächen durch wärmetechnisch gute Lösungen zu ersetzen, stellt heute nicht unwesentliche Anforderungen an die Entwurfskunst.



Für zweilagige Lichtkuppeln gilt ein U-Wert von 3,5 $W/(m^2K)$, für neuartige dreilagige Kuppeln ein U-Wert von 2,5 $W/(m^2K)$. Ihr g-Wert liegt bei 0,32, bei Dreischaligkeit ergeben sich $g = 0,23$. Lichtkuppeln können, als Überkopferverglasung, starke sommerliche Überhitzungen erzeugen. Ein äußerer Sonnenschutz ist unbedingt erforderlich.

Abb. 3 Die wichtigsten historischen Fenstertypen bis 1995

Glasproduktion einst und heute

Bis in das 17. Jahrhundert stellte man Glas vor allem auf dem Land in Waldglashütten her. Der Wald lieferte den Brennstoff. Um 1600 belief sich die Jahresproduktion innerhalb der heutigen Grenzen Deutschlands auf rund 37.000 m^2 Fensterscheiben. Die Glastafeln wurden in Kiepen von Händlern über Land transportiert. Das sogenannte Mondglas war von schlechter Qualität. Ab 1690 ermöglichte das Guss- und Ziehglasverfahren die Produktion immer größerer Scheiben und senkte die Kosten. In Frankreich hatte die Firma Saint Gobain mit Privileg des Sonnenkönigs, dem sie dafür die Kutschen und Schlösser verglaste, diese neue Produktionsweise eingeführt. Den wirklichen Durchbruch brachte jedoch erst die Industrialisierung im 19. Jahrhundert. Mit dem Ziehverfahren für Glas und dem 1959 erfundenen Floatglasverfahren von Pilkington war der Weg offen für eine kostengünstige Massenfertigung. Die mit Kohle und Gas geheizten Glaswannen in den industriellen Glashütten erzeugten seither einen nicht abreißenden Glasfluss.

Die Abmessungen der Scheiben wurden größer, und die Durchsicht war von höchster Qualität. Schon um 1930 gab es mit dem Markennamen „Thermolux“ ein tschechisches Zweischeibenisolierverglasung, das sich aber nicht durchsetzte. Die weitere technische Entwicklung kam dann nach 1960 einer Revolution gleich. 1977 beschrieb man an der TU München sehr weitsichtig die Bandbreite der möglichen Isolierverglasung. Vom luftgefüllten Zweischeiben-Isolierglas ($k_v = 2,8 W/(m^2K)$) über die Wärmeschutzverglasung mit einem ehrgeizig angenommenen Low- ϵ von 0,1 und Kryptonfüllung ($k_v = 0,95 W/(m^2K)$) bis zu Vakuumgläsern mit $k_v = 0,24 W/(m^2K)$ ^[3]. Was vorher Jahrtausende stagnierte, entwickelte sich jetzt innerhalb eines Menschenlebens von der Einscheibenverglasung mit der Behaglichkeit der Eisblume, über die ab 1960 aus den USA kommende Zweischeiben-Isolierverglasung mit Luftfüllung (Thermopane) bis hin - ab

[3] J. Straub, G. P. Merker, Wärmedurchgangszahl k für Thermopanefenster mit zwei und drei Glasscheiben und verschiedenen Gasfüllungen, in: Klima + Kälte-Ingenieur 3/77

	Wärmeschutzglas	Isolierglas	Verbund- und Kastenfenster	Einfachverglasung
Fensterbestand in Mio. Fenstereinheiten FE 2009 (1,69 m ²)	258	238	55	27
Hauptsächlich verbaut von ... bis ...				
U _w 1950 - 1978				4,5-4,8 W/(m ² K)
U _w 1950 - 1978			2,3-2,5 W/(m ² K)	
U _w 1978 - 1994		2,7 W/(m ² K)		
U _w ab 1995	1,3-1,9 W/(m ² K)			
U _w -Wert in fortschrittlichen Gebäudekonzeptionen	≤ 0,9 W/(m ² K)			

Abb. 4

Quelle: Eigene Darstellung, Basis: Verband der Fenster- und Fassadenhersteller, Stand 2009

1995 - zur Zwei- und Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung mit Argon- oder Kryptonfüllung (Abb. 3). Letztere entstanden als Teil eines energiesparenden Gebäudekonzeptes, dem Passivhaus. Die Wärmeverluste der Gläser verringerten sich durch diese technische Revolution um 85 Prozent. Nach Angaben des Verbandes der Fenster und Fassadenhersteller existierte 2009 bei insgesamt 578 Mio. Fenstereinheiten (FE = 1,69 m²) noch ein Modernisierungspotenzial von 55 % (Abb. 4).

Anforderungen an den Wärmeschutz

Die alten Bauordnungen vor 1945 kannten noch keine Anforderungen an den Wärmeschutz von Fenstern. Verbund- und Kastenfenster wurden erst 1952 in der DIN 4108 für die Wärmedämmgebiete I und II „empfohlen“, für den Harz, Bayerischen Wald, Schwäbische Alp sogar

„angeordnet“. Die Normväter hielten damals den Wärmeschutz der Fenster wegen der kleinen Fensteranteile für nicht so wesentlich für die Wohngesundheit. Energiesparen durch Fenstermodernisierung stand ab der Energiekrise 1974 hoch im Kurs, zu offensichtlich waren die Probleme mit Zugluft und Unbehaglichkeit bei der Einfachverglasung. Die Mittel des 4,35 Mrd. DM-Förderprogramms zur Energieeinsparung flossen ab 1977 vor allem in neue Fenster und Heizkessel. In der Folge kam es zu vermehrten Schimmelschäden, deren Ursache fälschlich allein den dichten Fenstern angelastet wurde und nicht dem schlechten Wärmeschutz der Wände. Es verfestigte sich das Vorurteil, Energieeinsparung führe zu Schimmel im Haus. So kann eine nachlässig gefertigte Förderrichtlinie kontraproduktiv wirken. Die WSVO von 1977 stellte erstmalig Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Fenstern. Sie begnügten sich mit k_f = 3,5 W/(m²K) und orientieren sich an den

Abb. 4 Geschichtliche Entwicklung der Fensterqualitäten

Fenster-Rahmenbauart	Verglasung U _g W/(m ² K)	Fenster U _w W/(m ² K)	g-Wert
Holzeinfachfenster Bestand 36 mm	5,8	4,8	0,86
Verbundfensterrahmen Holz	5,8	2,5	0,8
Kasten- und Zargenfenster aus Holz	2*5,8	2,3	0,8
Aluminiumfensterrahmen Bestand Thermisch nicht getrennt	2,8	4,3	0,76
Aluminiumfensterrahmen Bestand Thermisch getrennt		3,2	
Kunststofffensterrahmen 1-3 Kammern		2,7	
Holzfenster 68 mm Holzverbundfenster 2 Einfachscheiben		2,7	
Kunststofffensterrahmen 3-Kammern	1,1	1,9	0,6
Holzfenster		1,6	
Holzfenster ≤ 1,5 W/(m ² K)	0,6-0,8	1,2	0,5
Passivhausfensterrahmen ≤ 0,9 W/(m ² K)		0,9	

Abb. 5 Übersicht der U-Werte von Verglasung und Fenstern sowie der g-Werte von Fenstern

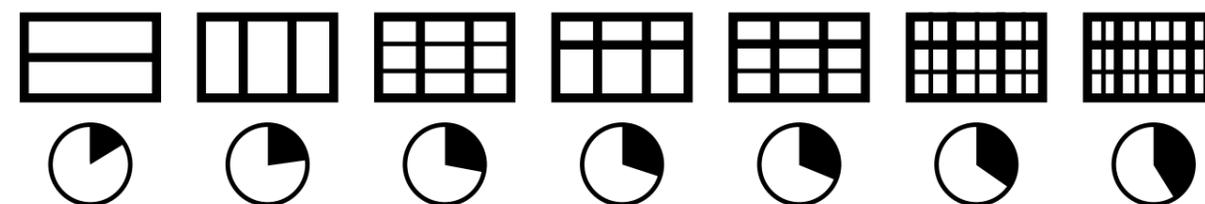


Abb. 6 Rahmenanteile am Fensterrohbaumaß

schlechteren Isolierglas- und Rahmenqualitäten. Die Einscheibenverglasung war noch für Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen möglich. Ihr Rechenwert hatte k = 5,2 W/(m²K) zu betragen, obwohl ein k-Wert von 4,5 bis 4,8 W/(m²K) physikalisch richtig ist. Ab der WSVO 1984 wurden isolierverglaste Fenster mit k_f = 3,1 W/(m²K) vorgeschrieben. Ein spätes „Aus“ für thermisch nicht getrennte Metallrahmen. Mit dem Inkrafttreten der WSVO 1995 wurden Fensterqualität und Größe im Neubauentwurf mit dem Wärmebilanzprogramm berechnet, U-Werte waren fortan nicht mehr vorgeschrieben. Die Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung mauserte sich endlich zum Standard. Sie kam hinsichtlich des Wärmeschutzes einer echten technischen Revolution gleich. Lag ihr U-Wert 1990 noch bei 1,9 W/(m²K), erzeugt durch Low-E-Beschichtungen, verbesserte er sich bis 2000 durch Edelgasfüllung auf ein U_g von 1,2 bis 1,1 W/(m²K). Gegenüber den Thermopane-Gläsern entspricht dies einer bemerkenswerten Verbesserung um 60 Prozent^[4].

[4] Hans Joachim Glaser, Mehrscheiben-Isolierglas, Renningen 1995

Der Rahmen wird besser

Fensterrahmen mit einem U_f-Wert von 1,8 bis 3,1 W/(m²K) weisen den schlechtesten Wärmeschutz unter allen Bauteilen auf, sogar die Verglasungen sind besser. Die Gefahr für Feuchteschäden auf dem kalten Rahmen besteht. Abhilfe schaffen die besseren Rahmenqualitäten mit U-Werten unter 1,1 W/(m²K) (Abb. 5). Sie entwickelten sich aus dem Konzept des Passivhauses, wo sie erstmalig eingebaut wurden. Dass Optimierungen sinnvoll sind, zeigt auch der Rahmenanteil am Rohbaumaß (Abb. 6). Für die kleineren Fenster im Wohnungsbau sind Rahmenanteile von 20 bis 30 Prozent üblich. Sprossenanteile wurden bis 2003 nicht berücksichtigt, danach wurden sie gemäß DIN 4108-4 in den U_w-Wert als Zuschlag eingerechnet.

Holzrahmen waren bis in die 1970er Jahre mit einem Marktanteil von 90 Prozent fast konkurrenzlos. Die Profildicke hatte sich seit den zwanziger Jahren von 33 bis 36 mm auf 68 mm verstärkt. Zu jener Zeit, als die Ölkrise ein Umdenken erzwang, starteten die Kunststofffenster mit zehn Prozent Marktanteil. Aluminiumrahmen bilde-

RMG nach DIN 4108	Materialart
1	Kunststoff U _{f,BW} = 2,0 W/(m ² K) Weichholz 68 mm U _{f,BW} = 1,8 W/(m ² K) Hartholz 68 mm U _{f,BW} = 2,1 W/(m ² K)
2	Wärmegeädämmte Verbundprofile aus Aluminium und Stahl U _{f,BW} = 3,0 W/(m ² K) U _{f,BW} = 3,8 W/(m ² K) U _{f,BW} = 7,0 W/(m ² K)*
2.1	
2.2	
2.3	
3	Aluminium, Beton, Stahl U _{f,BW} = 7,0 W/(m ² K)*
-	Kunststoff-Fünfkammerrahmen optimiert U _{f,BW} = 0,9-1,2 W/(m ² K)
-	Passivhaus-Fensterrahmen U _f ≤ 0,9 W/(m ² K)

Abb. 7 Rahmenmaterialgruppen und zugehörige U-Werte

*) Dieser Bemessungswert (BW) entspricht nicht dem physikalischen Wert, der wegen der Übergangswiderstände 5,9 W/(m²K) nicht überschreiten kann

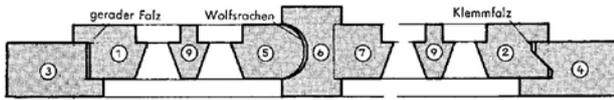


Abb 8 Dichtungstechnik des Wolfsrachens für Holzfenster

ten stets das Schlusslicht. Stand 2016 schätzte der Verband der Fenster- und Fassadenhersteller die Anteile der Rahmenmaterialien am gesamten Fensterbestand folgendermaßen ein: Holz 15,1 %, PVC 57,9 %, Alu und Stahl 18 %, Holz-Alu 9 %^[5]. Die Rahmenmaterialien werden ab 2002 direkt als U-Wert angegeben. Davor gab es die Rahmenmaterialgruppen nach DIN 4108-4 (**Abb. 7**).

Frühe Dichtungstechniken

Eine frühe Dichtungstechnik war der Wolfsrachen beim mehrflügeligen Holzfenster (**Abb. 8**). Die beiden Blendrahmenteile wurden beim Schließen ineinander gesteckt, wie in einen Wolfsrachen, so der Volksmund. Dies war umständlich, weshalb sich bald die Falzdichtung durchzusetzen begann. In den 1960er Jahren kam schließlich die einfache Gummidichtung auf, in den

[5] Angaben laut Verband Fenster und Fassade (VFF), Frankfurt, 2016, www.window.de

1990er Jahren als doppelte Dichtung verbessert. Die deutschen Fenster waren weit vor der WSVO die dichtesten der Welt. Deshalb war die 1984 bemühte Dichtkunst völlig unnötig, mit der Hauseigentümern der Fugendurchlasskoeffizient nähergebracht werden sollte: „Mit sinkendem a-Wert steigt der Heizenergiesparwert“, dichtete die BMWI-Begleitbroschüre zur WSVO 1984.

Qualität setzt sich durch

Glas war von Anbeginn der teuerste Baustoff, das Fenster ist noch heute mit das teuerste Bauteil am Haus. Die Erfolgsgeschichte des Energiesparfensters lehrt zweierlei: Der „Markt“ war den staatlichen Verordnungen immer voraus. Qualitäten setzten sich ohne staatlichen Zwang durch. Obwohl die neuen Technologien immer einen technischen und finanziellen Mehraufwand aufwiesen, wertete die Gesellschaft den Mehrnutzen höher als den Aufwand. Die Technikbewertung in Geldeinheiten wurde hinter die physiologische Bewertung (Behaglichkeit) angestellt.

Im dem Beitrag wird der Begriff k-Wert, k_v , k_f usw. für die Zeiträume benutzt, in denen der Begriff normativ üblich und vorgeschrieben war.



Autor

Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig
 »Energieinstitut-Hessen«
 »Tel. 0179 / 1264973
eicke-hennig@energieinstitut-hessen.de

Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig, geboren 13.07.1951 im Harz. Nach Bauzeichnerlehre und II. Bildungsweg: Studium der Stadtplanung und Architektur in Kassel. Ab 1989 bis 2017 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt. Zahlreiche Fachzeitschriften- und Buchveröffentlichungen. Ab 1996 Durchführung des »IMPULS-Programm Hessen«, ab 2001 bis zu seinem Ruhestand 2016 Leiter der »Hessischen Energiespar-Aktion« des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung. Leitet heute zusammen mit Klaus Fey das Energieinstitut-Hessen.