

EINST. HEUTE. UND MORGEN?

Die (Weiter-)Entwicklung des Passivhausfensters von Dirk Wiegand

Als vor 25 Jahren das erste Passivhaus gebaut wurde, standen Fenster in erforderlicher Qualität noch nicht zur Verfügung. Heute sind Dreifachverglasungen auch außerhalb des Passivbaus fast schon Standard. Doch wie hat sich das Passivhausfenster in den letzten Jahrzehnten entwickelt, inwieweit haben sich Fenster generell ihrem energetischen Optimum genähert und welche Entwicklungen sind für die Zukunft zu erwarten?

Die Anfänge

Von Anfang an waren die Anforderungen an ein Passivhausfenster hoch: Der Gesamt-U-Wert musste kleiner als $0,80 \text{ W(m}^2\text{K)}$ sein. Dieser Wert ist nicht willkürlich gewählt, sondern garantiert die Behaglichkeit im Passivhaus, wo man ja nicht einfach Heizkörper unter Fenster montiert, um deren Schwächen auszugleichen.

Dabei muss man sich immer wieder klarmachen, dass der U-Wert des Fensters durch den des Glases (U_g) und den des Rahmens (U_r) bestimmt wird. Die Dämmleistung des Rahmens ist deutlich geringer als die der Verglasung. Zu Beginn des Passivhausbaus wurden vor allem Kastenfenster eingesetzt – im Prinzip zwei miteinander kombinierte Fenster. Mit dem Kastenfenster erhält man einen sehr guten Rahmen-U-Wert und auch einen sehr guten Gesamt-U-Wert. Es gibt allerdings ein großes Aber: Wenn man beispielsweise ein Kastenfenster mit einer Doppelscheibe und einer Einzelscheibe herstellt, baut man ein relativ teures Produkt, weil schließlich zwei Fenster hergestellt werden müssen. Gleichzeitig verliert man Licht und Energiegewinne durch Sonneneinstrahlung. Diese Transmissionsgewinne werden mit dem g-Wert ausgedrückt. Weil aber gerade dieses passive Einfangen von Solarenergie ein wesentlicher Gedanke des Passivhauskonzepts ist, dürfen die g-Werte nicht zu niedrig sein. Das Fenster dämmt dann zwar ganz gut, kann aber seinen Part zur Wärmegegewinnung in der kalten Jahreszeit nur unzureichend erfüllen.

Die Aufgabe in der Weiterentwicklung des Passivhausfensters war also, die Strahlungsgewinne bei gleichzeitig guten U-Werten zu erhöhen. Hier lohnt sich ein Blick auf die Arbeit der Glasindustrie und die Entwicklung der Scheiben in den letzten Jahrzehnten.



Kastenfenster waren insbesondere zu Beginn der Passivhausära eine häufig eingesetzte Lösung.

Entwicklung des Scheibenaufbaus

Gute U-Werte im Glasanteil von Fenstern werden im Wesentlichen durch die Kombination einiger weniger Faktoren erreicht. Die Industrie hat vor gut 30 Jahren festgestellt, dass die Dämmung der Scheibe durch Veränderung der Strahlungseigenschaften beeinflusst werden kann. Hierfür wird seither mit einer Beschichtung der Gläser gearbeitet.

Diese **Low-E-Beschichtung** (Low Emissivity = niedrige Wärmeabstrahlung) hielt in den 1980er-Jahren schon Einzug und bestand anfangs aus Gold. Heute arbeitet man im Wesentlichen mit Silberionen, die in bestimmten Abständen auf die Scheibe aufgebracht werden. Dadurch wird erreicht, dass ein Teil der Wärmestrahlung, die vom Rauminneren nach draußen will, reflektiert wird. Gleichzeitig soll die sichtbare Lichtstrahlung weitgehend ungehindert von draußen nach drinnen gelangen. Die Scheibe erfüllt also ihren eigentlichen Zweck, lässt aber weniger Wärme aus dem Raum. Diese Beschichtung wurde konsequent weiterentwickelt, indem z. B. die Abstände der Ionen variiert wurden. Hatten wir früher bei Zweifachverglasungen einen U_g -Wert von $1,7 \text{ W(m}^2\text{K)}$, sind wir heute bei prinzipiell ähnlichem Aufbau bei $1,0 \text{ W(m}^2\text{K)}$. Trotz der Optimierungen der Low-E-Beschichtung bleiben aber die zwei Seiten der Medaille: Mit mehr Beschichtung wird mehr Strahlung reflektiert, gleichzeitig sinken aber Lichtdurchlassgrad und damit die Energiegewinne. Positiv ist dies allenfalls, wenn Sonnenschutzglas gebraucht wird und Wärmegegewinne durch die Verglasung selbst im Winter nicht gewünscht sind.

Weiterentwickelt wurden auch die **Abstandhalter**, mit denen im Randverbund der Scheibe der Abstand zwischen den Gläsern hergestellt wird. Diese waren lange Zeit aus Aluminium, erfüllten ihren Zweck, waren günstig in der Herstellung, stellten aber eine relativ hohe Wärmebrücke dar. Durch die Optimierung des Abstandhalters – vor allem durch andere Materialien – hin zur sogenannten warmen Kante konnte der U-Wert der Scheiben weiter verbessert werden. In Passivhausfenstern kommt selbstredend ausschließlich die warme Kante zum Einsatz.

Von Bedeutung ist auch die **Gasfüllung im Scheibenzwischenraum**. Hier hat man über die Jahrzehnte viel gelernt und die Gasfüllung perfektioniert. Früher war einfach Luft im Scheibenzwischenraum, was Nachteile hatte: Wenn die Luft am äußeren Glas abkühlte und sich gleichzeitig am inneren Glas erwärmte, führte das zu Bewegungen der Luft innerhalb der Scheibe. Weil diese Strömungen aber zum schnelleren Wärmeabfluss führen, sind sie nicht erwünscht, und so begann man in den 1990er-Jahren, schwereres Gas zu verwenden. Damit das eingesetzte Gas nicht mit der Low-E-Beschichtung reagiert,

musste die Wahl auf ein Edelgas entfallen. Ein Blick auf das Periodensystem zeigt uns, dass dafür Helium, Neon, Argon, Krypton und Xenon infrage kommen. Letzteres wäre die beste Lösung, ist aber schwer verfügbar und damit teuer. Argon hat eine hohe Verfügbarkeit und ist leicht zu gewinnen. Deshalb wird der Scheibenzwischenraum heute in der Regel mit Argon befüllt. Erhältlich sind auch die besseren Kryptonfüllungen, die allerdings den Scheibenpreis deutlich erhöhen. Jedes Füllgas hat seinen optimalen Scheibenabstand. Vergrößert man diesen, gerät auch das Edelgas irgendwann in Bewegung, was den U-Wert verschlechtert. Bei Argon ist der optimale Abstand 18 mm, bei Krypton sind es 12 mm. Eine typische Passivhausscheibe wird damit bei Argon 48 mm stark, mit Kryptonfüllung nur 36 mm. Kryptonscheiben sind also dünner, dämmen aber gleich gut; dennoch kauft man sich für den höheren Preis auch Nachteile ein: Für die dünnen Scheiben kommen auch schlankere Rahmen zum Einsatz, die einen schlechteren Dämmwert aufweisen, zu einem schlechteren Psi-Wert führen und auch statisch im Nachteil sind.

Zusammenfassend lässt sich die Entwicklung des Scheibenaufbaus der letzten Jahrzehnte so beschreiben: Mit Beschichtung, Gasfüllung, Abstandhaltern und Scheibendicke ließen sich die U_g -Werte zwar wesentlich verbessern, gleichzeitig bestand aber immer die Herausforderung, durch die Optimierungen den Lichtdurchlass und den Wärmegewinn (g-Wert) nicht zu sehr zu verschlechtern.

Entwicklung der Rahmen

Der Fensterrahmen war und ist neben der Scheibe der zweite große Hebel, mit dem (Passivhaus-)Fenster in ihren energetischen Eigenschaften optimiert werden konnten bzw. bei vielen Fenstern noch können.

Die **U-Werte der Rahmen** zu verbessern, war lange prägend für die Entwicklung von Passivhausfenstern. Im ersten Schritt hat man schlicht dickere Rahmen gebaut. Diese waren einerseits technisch notwendig, um das geeignete Glas einzubauen, denn statt der Zweifachverglasung mit 24 mm musste der Rahmen nun eine Dreifachverglasung mit 48 mm fassen. Andererseits heißt dicker auch mehr Material = mehr Dämmung.

Im nächsten Schritt hat man begonnen, die Rahmen zusätzlich zu dämmen. Bei Holzfenstern wurde innerhalb des Rahmens eine Kerndämmung eingebaut, bei Kunststofffenstern wurden die Kammern der Rahmenprofile mit Dämmung gefüllt. Auch außenliegende Dämmschichten wurden verwendet. Das Konzept

war also, einen Teil des Rahmenmaterials durch Dämmstoff zu ersetzen. Dabei zeigten sich durchaus auch Probleme, vor allem bei den Fragen von Trennung, Recycling und Entsorgung.

Die Tendenz geht heute dahin, dass die Rahmen auf Dämmstoffe verzichten, dafür wieder tiefer werden (mehr Material), gleichzeitig in der Ansicht aber schmaler.

Schmalere Rahmen sind beim Passivhausfenster die wichtigste Entwicklung der letzten Jahre. Die Idee dahinter: Wenn wir es bei einem typischen Fensterformat schaffen, den Rahmen auf jeder Seite schmaler zu machen, haben wir am Ende rund bis zu 15 % mehr Glasfläche; und das bedeutet mehr Licht und mehr Energiegewinn. Das ist ein ganz erheblicher Faktor für bessere Dämmwerte und höhere Energiegewinne.

Natürlich sind dieser Entwicklung Grenzen gesetzt: Schmalere Rahmen bedeuten weniger Material, und weniger Material bedeutet weniger Statik. Der Rahmen muss schließlich das Gewicht der Scheiben tragen, was bei Dreifachverglasungen naturgegeben 50 % höher ist als bei Zweifachfenstern und bei höherem Glasanteil durch schmale Rahmen weiter steigt. Außerdem geht die Tendenz heute zu größeren und damit noch schwereren Fenstern. Unendlich schmal können deshalb die Rahmen nicht werden. Tatsächlich gab es auch schon Passivhausfenster, die sogar vom Passivhaus Institut ausgezeichnet wurden, aber später wieder vom Markt genommen wurden, weil es mit den Optimierungen schlicht übertrieben wurde und sich das Produkt als nicht praxistauglich erwies.

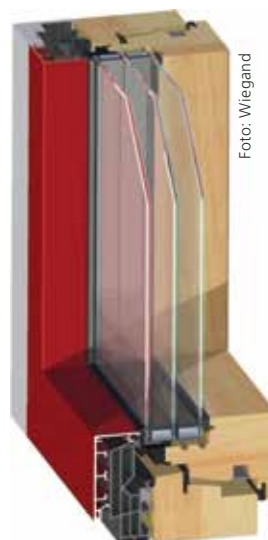


Foto: Wiegand

Fenster mit tiefen, aber in der Ansicht schmalen Rahmen sind die jüngste Entwicklung und erhöhen den Glasanteil und verbessern damit die energetische Bilanz von Passivhausfenstern.

Was bringt die Zukunft?

Welche Entwicklungen sind in Zukunft zu erwarten, welche Innovationen sind realistisch? Ein Überblick über vielfach diskutierte Optionen.

Die U_g -Werte mögen noch nicht ganz ausgereizt sein. Tatsächlich sind hier jedoch keine wesentlichen Verbesserungen mehr zu erwarten: Die Low-E-Beschichtungen und die Abstandhalter sind nahe dem Optimum, die Scheibenabstände sind perfekt, die Gasfüllung ist durch die Verfügbarkeit an Edelgasen am Ende der Entwicklung.

Vierfachverglasungen werden häufig als logische Weiterentwicklung der Passivhaus-Dreifachverglasung vermutet. Tatsächlich würde eine vierte Scheibe zwar den Dämmwert verbessern, aber auch zu dem bereits beschriebenen Verlust an Licht und Wärmeeinträgen führen und gleichzeitig das Gewicht des Fensters dramatisch erhöhen. Erste Scheibenhersteller experimentieren dennoch in dieser Richtung, reduzieren aber die Gläser von 4 mm auf 2 mm Stärke, um das Gewichtsproblem zu lösen. Ein 2-mm-Dünnglas unterliegt jedoch einer deutlich höheren Bruchgefahr, wenn es nicht sehr aufwendig gehärtet wird. Dennoch gibt es interessante Einsatzbereiche für Vierfachfenster, etwa in arktischen Gebieten; so lässt sich der Aktionsradius des Passivhauses ausdehnen. Für unsere Breitengrade wären diese Fenster kontraproduktiv, hier sind die Wintertage sonnenreicher und die Energiegewinne nicht zu vernachlässigen.



Foto: Vis inventis Sp

Auch ein Passivhausfenster mit 12 Scheiben wurde bereits vorgestellt – über den Prototyp hinaus kam diese Entwicklung nicht.



Foto: glaswelt

Oft angekündigt – nur als Sonderlösung interessant: Vakuumverglasung

Das **Vakuumfenster** wird schon seit vielen Jahren angekündigt – wirklich marktverfügbar ist es aber nicht, denn es gibt eine Reihe von Problemen. Das Vakuum kann nie vollflächig über die ganze Scheibe erzeugt werden; dafür ist der Luftdruck viel zu hoch. Tatsächlich lasten beim Vakuumfenster 10 Tonnen Gewicht je m^2 Glasfläche. Das entspricht bei einer Terrassentür einem darüberrollenden Panzer. Glas ist hart, aber das geht schlicht nicht. Die Lösung bei Vakuumglas ist ein Stützgitter, bei dem im Abstand von einigen Zentimetern transparente Stützen eingebaut werden. Der U-Wert von Vakuumscheiben liegt bislang bestenfalls bei $0,3 W(m^2K)$. Das liegt daran, dass zwar die Wärmedämmung hervorragend ist, aber auch das Vakuum die Strahlungswärme nicht aufhalten kann. Außerdem stellt das Stützgitter eine Wärmebrücke dar. Ungelöst ist auch der Randverbund beim Vakuumglas; wie bekommt man die Scheibe am Glasrand dauerhaft dicht und wie geht man mit dem Temperaturabfall um, der am Glasrand zu Kondensat führen würde. Schließlich steht der Weiterentwicklung des Vakuumfensters wieder einmal die Wirtschaftlichkeit im Weg. Relativ bescheidenen Effizienzgewinnen stehen also ungelöste Probleme und viel zu hohe Kosten gegenüber.

Glasfaserverstärkte Rahmen erlauben noch größere Fensterflächen. Diese Systeme gibt es bereits und könnten ausgebaut werden. Problematisch wird dabei aber immer die Wirtschaftlichkeit sein. Wenn eine Verdoppelung des Preises akzeptiert wird, weil z. B. aus architektonischen Gründen Sonderkonstruktionen mit glasfaserverstärkten Rahmen gebraucht werden, wird es dafür Kunden geben. Für die Breite des Marktes ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis aber – zumindest mittelfristig – unattraktiv.

Fazit

Fenster haben in den letzten Jahrzehnten große Innovationssprünge gemacht: Vom Schwachpunkt in der Außenwand wurde die Verglasung – zumindest im Passivhaus – zu einem Bauteil, das auch im Winter mehr Wärmeenergie gewinnt als verliert. Das Gebot der Behaglichkeit erfüllen sie allemal. Für eine weitere „Olympiade der U-Werte“ gibt es im Fenstersektor keinen objektiven Anlass: Einen zusätzlichen Komfortgewinn kann es nicht geben, eventuell weitere Effizienzgewinne werden sehr teuer erkauft, die zu erwartenden Heizkostenersparnisse sind im Vergleich marginal. Im herkömmlichen Wohnungsbau wird die Entwicklung der Fenster in Richtung Passivhausfenster fortgesetzt werden. Innovationen und nennenswerte Weiterentwicklungen darüber hinaus sind aus derzeitiger Sicht schon aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu erwarten.



DIRK WIEGAND

ist Fensterbauer mit Leib und Seele. Er hat das Handwerk von Grund auf gelernt und an der Hochschule Rosenheim studiert. Er ist Inhaber der Firma Wiegand Fensterbau und gefragter Experte für Passivhausfenster. www.wiegand-info.de