

## QUADRATUR DES KREISES?

Wie Passivhausfenster (scheinbar) widersprüchliche Anforderungen meistern von Dirk Wiegand

Fenster sollen im Passivhaus verschiedene Funktionen übernehmen, die durchaus in Konkurrenz zueinander stehen: hohe Wärmedämmung einerseits und solare Gewinne andererseits. Möglichst viel Tageslicht für die Räume und dann noch Schutz gegen sommerliche Erwärmung. Das hört sich zunächst nach der Quadratur des Kreises an, weil sich augenscheinlich nicht mehr als zwei der widersprüchlichen Funktionen miteinander verbinden lassen. Oder gelingt es dem Passivhausfenster, die Physik auf den Kopf zu stellen?

Um das Zusammenspiel der Funktionen zu verstehen, sollte man zunächst die Grundlagen kennen, und damit weiß man schon mehr als viele, die glauben, auch mittelmäßige Fenster könnten die Anforderungen des energieeffizienten Bauens erfüllen.



Bild: Fiedels/AdobeStock

### Wie erfüllt das Passivhausfenster seine Anforderung an eine hohe Wärmedämmung?

#### Dreifachverglasung

Die bahnbrechende Entwicklung beim Passivhausfenster war die Erweiterung der Zwei-Scheiben-Isolierverglasung um eine dritte Glasscheibe. Hier allerdings beginnt schon das gefährliche Halbwissen: Es ist nicht das zusätzliche Glas, das die Wärmedämmung des Fensters wesentlich verbessert, es ist der dadurch entstehende zweite Scheibenzwischenraum – sofern dieser groß genug bemessen ist. Würde man den Zwischenraum eines Zweifachglases einfach mit einer zusätzlichen Scheibe halbieren und versuchen, das Fenster so schlank zu halten, wäre wenig gewonnen. Man muss schon akzeptieren, dass das Fenster mit dem zweiten Zwischenraum auch an Tiefe zunimmt.

An dieser Stelle ein wichtiger Hinweis: Sind für besonderen Einbruchschutz gehärtete dickere Gläser oder aus Sicherheitsgründen – man denke etwa an Kitas oder Schulen – Sicherheitsgläser erforderlich, wird der Glasverbund insgesamt dicker. Eine Fensterkonstruktion ist jedoch immer nur für bestimmte Glasdicken konzipiert. Wenn bei erhöhten Anforderungen an Sicherheit oder Einbruchschutz die Glasdicken wachsen, geht dies deshalb bei schlechteren Fensterkonstruktionen zulasten der Scheibenzwischenräume, die schmaler werden müssen, damit die Fensterkonstruktion den gesamten Scheibenverbund

noch aufnehmen kann. Das führt dann wiederum zu schlechteren Dämmwerten. Ähnliche Effekte ergeben sich bei besonders großen Fenstern: Hier müssen die Scheiben dicker werden, damit sie den Windlasten standhalten und nicht durchbrechen. Ein praktisches Beispiel verdeutlicht die Sache:

Für die Dämmung optimal sind Scheiben mit 4 mm Stärke und 18 mm Zwischenräumen. Der sich daraus ergebende Aufbau (4-18-4-18-4) führt zu einer Gesamtstärke des Verbunds von 48 mm. Wird bei großen oder bei einbruchssicheren Fenstern oder bei Sicherheitsverglasung auf dickere Scheiben von 6 oder gar 8 mm zurückgegriffen, verringern sich entweder die Zwischenräume auf  $2 \times 15$  mm oder gar  $2 \times 12$  mm, was zu einer schlechteren Dämmleistung führt. Wählt man dennoch die optimalen Zwischenräume von 18 mm, erhält man einen Scheibenverbund von bis zu 60 mm, den viele Fenstersysteme nicht mehr aufnehmen können. Gute Fensterkonstruktionen sind heute so konzipiert, dass sie an dickere Scheiben angepasst werden können. In jedem Fall ist es hilfreich, beim Fensterkauf die Augen offen zu halten, weil sich U-Wert-Angaben meist auf eine Normfenster mit optimalen Glasstärken und Zwischenräumen beziehen.

#### Gasfüllung

Im nächsten Schritt kommt es auf die Füllung des Scheibenzwischenraums an. Luft ist ein relativ schlechter Wärmeleiter und kann somit eine gewisse Dämmfunktion übernehmen. Aber es geht eben noch viel besser, indem die Zwischenräume mit Edelgas gefüllt werden. Dabei gilt: Je schwerer das Gas ist, umso besser ist die Wärmedämmung. Hier hilft die Tabellensammlung aus dem Chemieunterricht weiter: Die molare Masse von Luft liegt bei 28,96 g/mol, die der Edelgase Argon bei 39,95 g/mol und Krypton bei 83,8 g/mol. Xenon wäre noch einmal deutlich schwerer (131,29 g/mol). Gase haben gleichzeitig eine geringe Moleküldichte und sind deshalb schlechtere Wärmeleiter als feste Stoffe. Für die wirksame Wärmedämmung im Scheibenzwischenraum spielt das höhere Gewicht von Edelgasen im Vergleich zu Luft vor allem deshalb eine wichtige Rolle, weil sie dadurch in ihrer Bewegung deutlich träger sind.

Durch die Temperaturunterschiede entsteht zwischen den Scheiben eine Strömung: Das Gas kühlt sich an der kalten Scheibe ab und fällt nach unten, gleichzeitig erwärmt es sich an der gegenüberliegenden, wärmeren Scheibe und steigt nach



Foto: Alek Socha Pixabay architecture-2804083

*Fenster sollen alles können: Dämmen und wärmen im Winter, viel Licht spenden und am besten sommers vor Hitze schützen.*

oben. So entsteht ein Kreislauf, der die warme Seite sukzessive abkühlen lässt. Je schwerer dabei das Gas ist, umso langsamer geht dieser Wärmetransport von der warmen zur kalten Seite vonstatten, umso besser ist also die Wärmedämmung. Deshalb ist man von der bis in die 1990er-Jahre üblichen Dämmung mit Luft längst zu Gas übergegangen.

Welches Gas eingesetzt wird, ist vor allem eine Frage der Wirtschaftlichkeit: Argon ist in relativ hohem Maße in der Luft vorhanden und lässt sich deshalb relativ einfach gewinnen. Krypton und erst recht Xenon sind deutlich aufwendiger zu gewinnen. Andere Gase scheiden ganz aus, weil nur bei Edelgasen gewährleistet ist, dass diese nicht mit anderen Elementen im Fenster, etwa mit der Low-E-Beschichtung, reagieren und dabei Verfärbungen entstehen. Deshalb sind Passivhausfenster meist mit Argon, teilweise auch mit Krypton gefüllt – allerdings erreicht man mit beiden Gasen die gleichen Dämmwerte.

### Low-E-Beschichtung

Fensterglas ist seit Langem mit einer sogenannten Low-E-Beschichtung ausgestattet, die tatsächlich sogar aus rund 20 verschiedenen Einzelbeschichtungen besteht. Dabei handelt es sich um metallische Elemente, die auf die Scheiben aufgedampft werden. Die Schichten erfüllen ganz verschiedene Funktionen, die die Glaseigenschaften beeinflussen sollen. Für die energetische Qualität des Fensters relevant ist vor allem die Beeinflussung des U-Werts (also der Dämmwirkung des Glases) sowie des g-Werts – des Energiedurchlassgrads. Diese beiden Werte stehen einander nahezu unversöhnlich gegenüber: Eine Low-E-Beschichtung, die viel Wärmestrahlung zurück in den Raum reflektiert, optimiert den U-Wert. Zugleich wird aber auch die von außen einfallende Wärmestrahlung der Sonne reflektiert; der g-Wert und damit der Energiegewinn sinkt also.

In der Praxis hat man die Low-E-Beschichtungen heute fein austariert und dabei die Erkenntnis berücksichtigt, dass eine g-Wert-Verbesserung um 6 Prozentpunkte so wertvoll ist wie ein  $0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  kleiner U-Wert. Oder in typischen Fensterwerten ausgedrückt: Ein Fenster mit einem Glas-Dämmwert von  $U_g = 0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und einem g-Wert von  $0,56$  (=56 %) ist energetisch einem Fenster mit  $U_g = 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und einem g-Wert von  $0,50$  gleichzusetzen. Im einen Fall werden wie Gewinne maximiert, im anderen die Verluste minimiert.

Hersteller guter Passivhausfenster können aber auch zu vernünftigen Preisen Produkte liefern, die trotz niedrigem U-Wert von  $U_g = 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  einen hohen g-Wert von 62 % aufweisen. Solche Fenster minimieren dann tatsächlich die Verluste und erhöhen gleichzeitig die Gewinne.

Der wichtige Tipp für den Fensterkauf ist: Nicht nur auf die U-Werte, sondern immer auch auf den g-Wert achten!

### Warme Kante

Bei Passivhausfenstern längst üblich: die Warme Kante. Dabei handelt es sich um den Abstandhalter, der am Rand der Scheiben den Abstand zwischen den Gläsern herstellt und so den Scheibenzwischenraum bildet. Herkömmlich wird dieser aus Aluminium hergestellt, was zu nicht unerheblichen Wärmeabflüssen am Glasrand führt. Die Warme Kante dagegen ist aus Kunststoff, der bekanntlich ein schlechter Wärmeleiter ist.

Die Wirkung des Abstandhalters ist jedem geläufig: Wenn sich bei Nicht-Passivhäusern bei kalter Witterung Kondenswasser auf den Fensterrahmen sammelt, wird deutlich, wie stark hier die Abkühlung aufgrund der metallischen Abstandhalter ist. Bei Fenstern mit warmer Kante und Dreifachglas ist der Wärmeabfluss minimal, ein Tauwasserausfall praktisch ausgeschlossen.

Trotz dieses erheblichen Vorteils der Warmen Kante werden heute immer noch rund 30 % der Fenster mit herkömmlichen Abstandhaltern verkauft – in der Regel weil die Beratung unzureichend ist und die Bauherren sich die vermeintlich unnötigen Mehrkosten von bis zu 500 € je Bauvorhaben einsparen möchten.

### Rahmen

Der Rahmen hat in erster Linie eine Funktion zu erfüllen: Erst mit ihm kann man die Verglasung auch einbauen. Dabei kommt dem Rahmen eine (ge-)wichtige statische Rolle zu: Glas ist schwer und Dreifachglas ist 50 % schwerer als die herkömmliche Zweifach-Isolierverglasung. Schon deshalb braucht das Passivhausfenster bessere Rahmen als das Zweifachfenster. Besser muss der Rahmen aber auch im Hinblick auf die Dämmwerte sein: Seine U-Werte sind zwar regelmäßig schlechter als die des Glases, die Passivhaus-Fensterbauer bemühen sich aber lange Zeit sehr um Optimierungen beim Material.

Inzwischen gilt eine leicht veränderte Strategie, die den Dämmwert des gesamten Fensters effektiver verbessert: Anstatt zu versuchen, dem Rahmen mit neuen Material-Mixen und dickeren Profilen mehr Dämmwirkung zu verpassen, wird sein Anteil reduziert. Die Rahmen werden schmaler, der Glasanteil des Fensters dadurch höher und der Gesamt-U-Wert des Fensters besser. Mit mehr Glas lassen sich außerdem im Winter mehr Energiegewinne erzielen.

### Einbau

Nur ein kleiner Teil des Rahmens wird nach Fertigstellung des Gebäudes sichtbar sein. Der größere Teil verschwindet in der Wand. Dabei kommt dem Einbau eine wichtige Bedeutung zu, weil der Teil des Rahmens, der später nicht mehr sichtbar sein wird, aufwendig überdämmt ist.

## Wie entstehen passive Wärmegewinne und wie lassen sich diese maximieren?

### Glashauseffekt

Der Glashauseffekt ist allen bekannt: Kurzwelliges Sonnenlicht durchdringt das Glas und trifft auf feste Stoffe und die Luft im Raum. Dabei ändert sich die Wellenlänge der Strahlung, das Licht wird zur Wärmestrahlung, die deutlich langwelliger ist und vom Glas nur langsam aus dem Raum gelassen wird.

Der Glashauseffekt tritt bei allen Gebäuden mit Verglasungen auf, das Passivhaus macht sich hier die Physik aber besonders zunutze, weil nicht nur die Fenster den Wärmeabfluss behindern, sondern durch die besonders gute Dämmung, durch die Vermeidung von Lüftungswärmeverlusten und durch die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage die entstandene Wärme besonders intensiv genutzt wird.

Für die Wärmegewinnung hat das Passivhausfenster tatsächlich zunächst eine passive Rolle – es muss einfach nur da sein. Die Qualität des Fensters zeigt sich aber in seiner Fähigkeit, dass die gewonnene Wärme nicht einerseits dank kleinem U-Wert nicht wieder verloren geht und andererseits dank großem g-Wert möglichst viel Energie gewinnt.

### Große Formate

Wie beim Punkt Rahmen schon angesprochen, versuchen immer mehr Hersteller ihre Rahmenbreiten zugunsten von mehr Glasfläche zu schmälern. Waren früher bei Passivhausfenstern Rahmenbreiten von ca. 13 cm üblich, versucht man heute, auf Breiten von 10 cm zu kommen. Denkt man sich ein relativ kleines Fenster mit einem Format von 1 m<sup>2</sup> führt diese Reduktion der Rahmenbreite zu einem um 17 % höheren Glasanteil und entsprechend höherem Energiegewinn und einer verbesserten Dämmwirkung.

Bei Passivhausfenster wird deshalb mittlerweile in die Effizienzklassen A, B und C unterschieden. Zur Effizienzklasse A gehören solche Fenster, die – bei gleichem U-Wert – dank schmalen Rahmen und resultierend hohem Glasanteil mehr Energiegewinn ermöglichen.

Die Idee, ein Fenster insgesamt größer zu bauen, um so mehr Energie zu gewinnen, scheint naheliegend. Tatsächlich wächst mit der Fenstergröße auch der Wärmegewinn. Was die Dämmwirkung betrifft, wird das Fenster jedoch immer schlechter sein als die Wand. In der jährlichen Gesamtbilanz werden bei zu großem Fensteranteil die Verluste überwiegen. Deshalb hat sich auch der Wintergarten als Wohnraum nicht durchgesetzt: Den Tagen mit angenehmem Raumklima stehen zu viele Tage mit zu hohen Wärmeverlusten oder solche mit Überhitzung entgegen.

### Optimierter g-Wert

Diesen Punkt haben wir beim Thema Low-E-Beschichtung schon bearbeitet, deshalb reicht an dieser Stelle eine kurze Auffrischung: Der g-Wert gibt Auskunft über den Energiedurchlassgrad. Seine Optimierung erfolgt über die Low-E-Beschichtung, die allerdings auch den U-Wert ganz wesentlich steuert. Es gilt deshalb: Wer einen besonders hohen g-Wert will, reduziert damit die Dämmwirkung. Wie oben ausgeführt, kann dies aber durchaus eine gewinnbringende Strategie sein: Passivhausfenster können im Winter eine Energiequelle sein und selbst im Winterfall eine positive Energiebilanz aufweisen!

## Wie bekommt man viel Tageslicht in den Raum?

### Lichttransmissionsgrad tL

Verwandt mit dem g-Wert ist der Lichttransmissionsgrad tL (sprich „tau-L“). Dieser sagt aus, wie viel sichtbares Licht durch das Glas hindurchtritt. Je höher der tL-Wert ist, umso mehr Licht gelangt von außen nach innen. Wie beim g-Wert wird auch der tL-Wert durch Glasbeschichtungen, aber auch durch Glasdicken reduziert. Vereinfacht lässt sich deshalb sagen, dass gute g-Werte auch gute tL-Werte bedeuten.

Eine einzelne Fensterscheibe „schluckt“ übrigens rund 20 % des sichtbaren Lichts. Ein häufiges Missverständnis ist es aber, dass das Passivhausfenster mit seiner Dreifachverglasung deshalb besonders wenig sichtbares Licht durchlässt. Tatsächlich filtert bereits die erste Scheibe bestimmte Wellenlängen; jene Lichtanteile, die die erste Scheibe passieren können, werden auch von der zweiten und dritten fast vollständig durchgelassen. Auch Passivhausfenster haben deshalb sehr ordentliche tL-Werte. Gute Zweifachgläser haben einen tL-Wert von 78 %, bei einer guten Dreifachverglasung kommt man auf Werte von 71 %. Wählt man ein Passivhausfenster der Effizienzklasse mit 17 % mehr Glasanteil, hat man sogar einen um 7 % höhere Lichteinfall.

Worüber der tL-Wert übrigens keine Auskunft gibt, ist das Farbspektrum, das das Fenster durchlässt. Je nach Glashersteller kann es leichte Rot-, Grün- oder Blauverschiebungen geben, weil das beschichtete Glas bestimmte Wellenlängen filtert. Der „Farbveränderungsindex“ wird dem Verbraucher kaum helfen. Empfehlenswert ist allein, sich im Zweifel beim Fensterkauf selbst ein Bild zu machen. Bei hochwertigen Gläsern mit hochwertigen Beschichtungen ist allerdings nicht mit negativen Überraschungen zu rechnen.

### Fensterformate und -anordnung

Dass über größere Fenster mehr Tageslicht in den Raum kommt, muss nicht weiter ausgeführt werden. Interessanter ist, dass auch die Anordnung der Fenster Einfluss auf die Lichtausbeute hat, vor allem auf den Aspekt, ob das Licht dort ankommt, wo es gebraucht wird. Hier sollte man bei der Planung die spätere Nutzung im Auge behalten, damit die Tageslichtlenkung und -ausnutzung optimal ist.

## Welche Anforderungen gibt es an Fenster für einen sommerlichen Wärmeschutz und wie kann man diese erfüllen?

Grundsätzlich ist zu sagen, dass in unseren Breitengraden die Fenster für den winterlichen Wärmeschutz optimiert werden, um Heizenergie zu sparen und damit die Kosten zu minimieren, um das Klima zu schonen und insbesondere, um die Behaglichkeit zu verbessern. Das Fenster soll im Winter Wärmegewinne erzielen und diese dank hoher Wärmedämmung im Haus halten. In Breitengraden mit ganzjährig warmem Klima wäre diese Strategie nicht sinnvoll – für Mitteleuropa aber hat sie sich bewährt.

## Hülle & Fassade

Das kann im Sommer zu einer Belastung werden. Würde das Sonnenlicht senkrecht auf die Scheibe treffen, läge eine Wärmeleistung im Sommer von 800 W je Quadratmeter Verglasung vor. Tatsächlich ist es deutlich weniger – aufgrund von Verschattungen und dem schrägen Lichteinfall sind es bei Süd- oder Westfenstern aber immer noch gut und gerne 200 W/m<sup>2</sup>. Bei 10 m<sup>2</sup> Fensterfläche ergibt dies einen Wärmeeintrag von 2 kW. Dieser Wert ist so hoch, dass man hochwirksame Sonnenschutzgläser mit minimalen g-Werten einsetzen müsste, um wirksam dagegenzuhalten. Dann allerdings sinkt auch die Lichtausbeute deutlich und im Winter ist mit keinen nennenswerten Wärmegewinnen mehr zu rechnen.

Deshalb hat sich für Mitteleuropa die Praxis durchgesetzt, das Fenster mit ausbalancierten U- und g-Werten für den Winterfall zu optimieren und im Sommer an den strahlungsbelasteten Seiten (Süden und Westen) mit außenliegender Verschattung zu arbeiten. Das können Rollläden oder Jalousien sein. Aber auch ein Balkon kann das darunterliegende Fenster im Sommer sehr effektiv verschatten und zugleich im Winter die tieferstehende Sonne durchlassen, ebenso wie ein alter Baumbestand, der im Sommer Schatten spendet und im Winter Sonne durchlässt.

In vielen Fällen sind außenliegende Verschattung wie Raffstores oder Rollläden ohnehin gewünscht, weil sie auch dem Sichtschutz oder der gezielten Verdunklung dienen. Die Verschattung ist dann ein Zusatznutzen.

### Fazit

Gute Passivhausfenster sind billigen Dreifachverglasungen und herkömmlichen zweifachverglasten Fenstern deutlich überlegen. Die Quadratur des Kreises will auch ihnen nicht gelingen: Energiegewinn im Winter und zugleich sommerlichen Wärmeschutz – das kann kein Fenster leisten.

Das Passivhausfenster ist aber sehr nah dran, das scheinbar Unmögliche zu schaffen. Arbeitet man mit hohem Glasanteil, optimierten U- und g-Werten, sehr guten Rahmen und natürlich qualitativ hochwertigen Gläsern, erhält man Fenster, die allen Anforderungen gewachsen sind. Den Wärmeschutz übernimmt auch beim Passivhausfenster eine Verschattung von außen.

Entscheidend ist immer die Qualität, und da sind echte Passivhausfenster klar im Vorteil. Es gilt das Motto: Kaum macht man's richtig – schon klappt's!



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](http://www.wiegand-info.de)