

I. Dokumenteninformationen

Dipl.-Phys. Michael Rossa, Geschäftsfeldleiter Glas und Baustoffe, ift Rosenheim	Autoren
Dreifach-Isolierglas in der Praxis	Headline
Hinweise für den Einsatz von Dreifach-Isolierglas	Subline
Dreifach-Isolierglas, Dreifachverglasung, MIG, Mehrscheiben, TRAV, EnEV, U-Wert, Wärmeschutz, Glasbruch	Stichwörter
Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 fordert bei Maßnahmen der Altbausanierung einen U_w -Wert für das Fenster von $1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Die geplanten Novellierungen sehen weitere Verschärfung vor, die für das Fenster U-Werte von zunächst 1,2 und dann unter $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ bedingen. Bei üblichen Fensterprofilen können die notwendigen Anforderungen oft durch die Verwendung von Dreifach-Wärmedämmglas mit einem U_g -Wert von $0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ erreicht werden, bei dessen Verwendung bestimmte Aspekte berücksichtigt werden müssen, um Schäden zu vermeiden und die Sicherheit zu gewährleisten.	Abstract
11 Bilder, 2 Tabellen und 16.213 Zeichen	Bilder Zeichen

Dreifach-Isolierglas in der Praxis

Hinweise für den Einsatz von Dreifach-Isolierglas

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 fordert bei Maßnahmen der Altbausanierung einen U_w -Wert für das Fenster von $1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Die geplanten Novellierungen sehen weitere Verschärfungen vor, die für das Fenster U-Werte von zunächst $1,2$ und dann unter $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ bedingen. Die notwendigen Anforderungen können durch wärmetechnisch optimierte Profile und die Verwendung von Dreifach-Wärmedämmglas mit einem U_g -Wert von $0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ oder besser erreicht werden, bei dessen Verwendung bestimmte Aspekte berücksichtigt werden müssen, um Schäden zu vermeiden und die Sicherheit zu gewährleisten.

Die für Europa seit 2002 geltende Richtlinie zur Energieeffizienz von Gebäuden EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) ist die Grundlage der Energieeinsparverordnung (EnEV). Die kontinuierliche Reduzierung des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser führt zur weiteren Verschärfung der Anforderungen der EnEV an den Wärmeschutz und die Anlagentechnik. Die Mindestanforderungen für bauliche Sanierungen betragen für den U-Wert von Fenstern derzeit $1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und werden in der Neufassung 2009 auf $1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und in einer weiteren Fassung 2012 voraussichtlich auf $0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ reduziert. Die Aufgaben für die Fenster-, Fassaden- und Glasbranche lassen sich daraus wie folgt ableiten:

- Verbesserung der wärmedämmenden Eigenschaften,
- Minimierung der Lüftungswärmeverluste,
- Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes,
- Nutzung der solaren Gewinne (Solarenergie),
- Reduzierung von Kunstlichteinsatz mittels besserer Tageslichtnutzung,
- Energieeinsparung durch intelligente Anbindung der Gebäudehülle an die Haustechnik.

Die Anforderungen der EnEV 2009 können noch durch den Einsatz von guten Zweifach- oder Dreifach-Isoliergläsern erreicht werden. Mit der weiteren Verschärfung der EnEV in 2012 wird aber eine Weiterentwicklung der Rahmen- und Profilkonstruktionen notwendig.

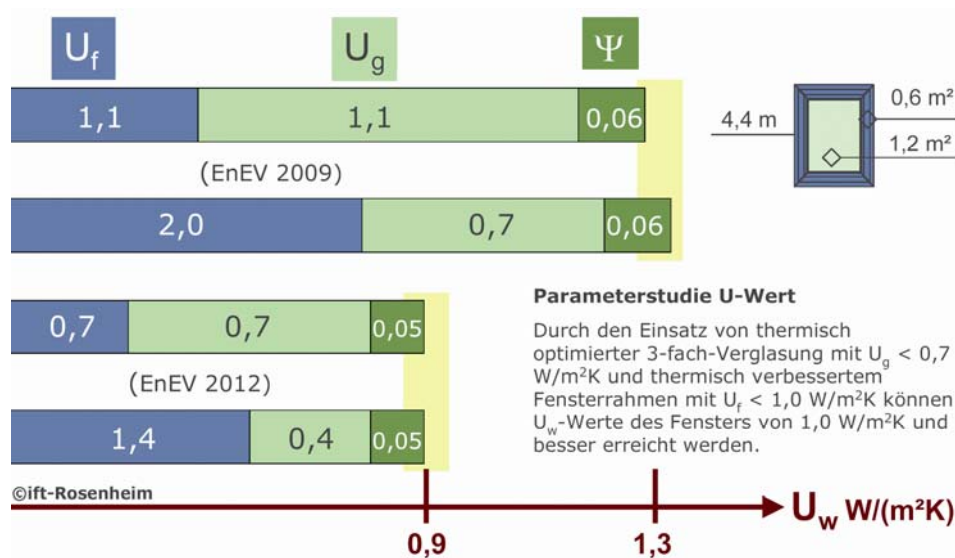


Bild 1 EnEV 2009 und 2012 – Konsequenzen für Fenster

Optimierung der Verglasung

Wärmetechnische Entwicklungen wurden häufig durch Innovationen der Glasindustrie initiiert, und so wird sich auch das Dreifach-Isolierglas schnell zur Standardverglasung entwickeln. Isoliergläser müssen neben Wärmeschutz und Tageslichtversorgung viele weitere Funktionen im Gebäude erfüllen, beispielsweise Sicherheits-, Schallschutz- oder Brandschutzfunktionen. Hochwärmedämmende Fensterkonstruktionen erfordern heute bereits U_g -Werte von $0,5$ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. Diese Werte für Dreifachglas ließen sich zwar bei kleinem SZR von 10-12 mm mit dem Füllgas Krypton erreichen, doch ist Krypton derzeit nur eingeschränkt verfügbar und die Preise explodieren förmlich. Als Alternative bietet sich eine Füllung mit Argon und einem SZR von 16 mm an. Bei Mehrscheiben-Isoliergläsern mit einem SZR von 2x16 mm sind je nach Aufbau und Abmessung die höheren Klimabelastungen zu beachten, die sich reduzierend auf die Lebensdauer auswirken können. Deshalb sollten kleine Scheibenabmessungen vermieden werden, bei denen die Klimabelastungen den Randverbund besonders stark belasten.

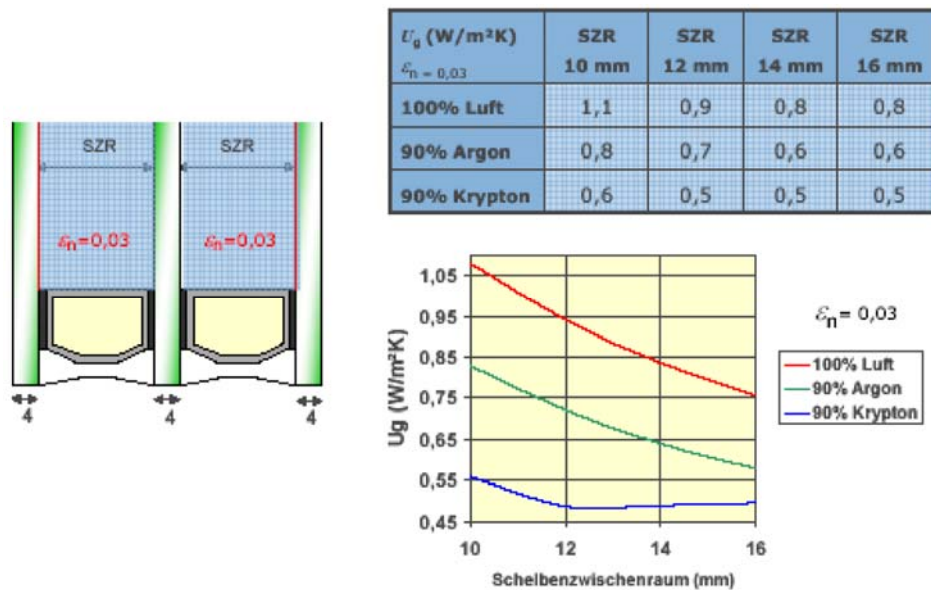


Bild 2 U_g-Werte für Dreifach Isolierglas

Weitere Verbesserungen des U_W -Wertes für das Fenster ergeben sich durch die Verwendung wärmetechnisch optimierter Randverbünde oder durch einen tieferen Glaseinstand. Als Faustformel verbessert sich der Ψ -Wert um 0,002 W/(mK) pro mm Mehreinstand der Verglasung im Rahmenprofil. Der U_W -Wert des Fensters kann somit bei einem Glaseinstand von beispielsweise 25 mm um bis zu $\Delta U_W = 0,05$ W/(m²K) verbessert werden. Der lineare Wärmedurchgangskoeffizient Ψ_g ist die kennzeichnende Größe zur Beschreibung der Wärmebrücke im Isolierglas-Randbereich. Anhand der Ψ_g -Werte lässt sich die Leistungsfähigkeit eines Warme Kante-Systems bewerten, wenn die sonstigen Randbedingungen gleich bleiben. Die Regeln zur Berechnung und zur Anwendung repräsentativer Ψ -Werte sind in der ift-Richtlinie WA-08/1 „Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter“ dargestellt, die eine einheitliche Bewertung ermöglicht. Gemeinsam mit dem Bundesverband Flachglas, der Hochschule Rosenheim und Industriepartnern hat das ift Rosenheim für verschiedene Isolierglas-Randverbundsysteme einheitliche Datenblätter erstellt. Diese enthalten neben einer Beschreibung der Abstandhalter-Materialien und ihrer Wärmeleitfähigkeiten, die Ψ_g Werte für 2-fach und 3-fach-Verglasung in den jeweils vier repräsentativen Rahmenmaterialien für Holz, Holz-Aluminium, Kunststoff und Aluminium.

April 2022 – Antennensender 2



Arbeitskreis "Warme Kante"

Datenblatt Psi-Werte Fenster

Fensterart

Abstandhalter
Breite
PSI-Wert

Fensterart	Abstandhalter-Breite in mm	Abstandhalter-Material	Abstandhalter-PSI-Wert in m²K/W	Abstandhalter-Typ
	16	0,40	...	...
	12	0,40	...	...
	16	0,40	...	...
	12	0,40	...	...
	16	0,40	...	...
	12	0,40	...	...
	16	0,40	...	...
	12	0,40	...	...
	16	0,40	...	...
	12	0,40	...	...
	16	0,40	...	...
	12	0,40	...	...
	16	0,40	...	...
	12	0,40	...	...
	16	0,40	...	...
	12	0,40	...	...

Antennensender 2

Die Angaben sind ohne Gewähr. Die Angaben sind nur für die Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Psi-Werte) der Fenster- und Fenstertüren. Die Angaben sind nicht für die Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Psi-Werte) der Fensterrahmen, der Fenstertürschwelle, der Fenst

Bild 3 Datenblatt des Arbeitskreises Warme Kante im Bundesverband Flachglas zur Publikation der nach ift-Richtlinie WA-08/1 ermittelten Kenndaten von wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern

„Energienmotor“ Sonne

Die verfügbare Sonnenenergie ist 3.000 mal höher als der weltweite Energiebedarf. Es ist daher eine ökonomisch und umweltpolitisch wichtige Aufgabe der Bauindustrie dieses Reservoir zu erschließen – Fenster und Fassaden mit Glas können dieses „kostenlose“ Energiepotenzial nutzbar machen.

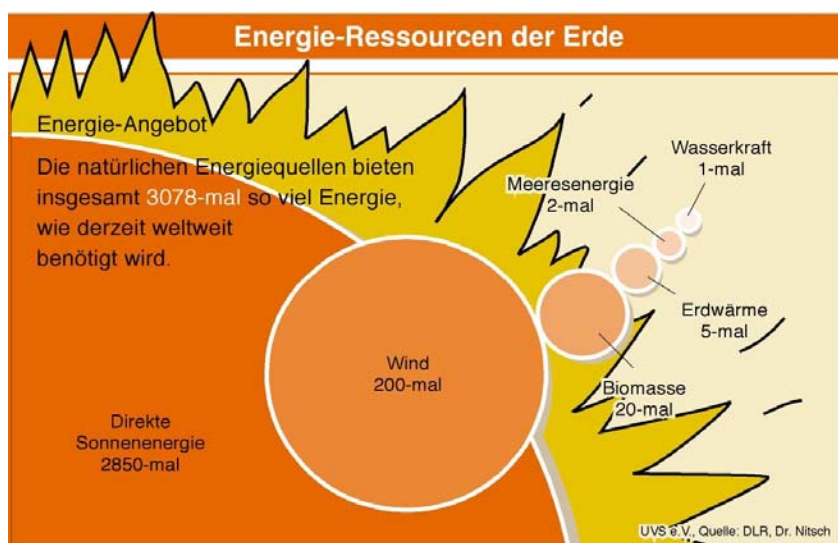


Bild 4 Vergleich der natürlichen Energieressourcen mit dem Energiebedarf

Um die energetische Leistungsfähigkeit von Fenstern und Glas einfach zu bewerten, ist deshalb für zukünftige Regelwerke ein Bilanzwert sinnvoll, der neben den Wärmeverlusten (U_w) auch die solaren Gewinne bewertet (g-Wert).

Energieströme am Fenster

Äquivalenter U_w -Wert U_{eq}

$$U_{eq} = U_w - g \times S_F \leq 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

S_F ...Strahlungsgewinnfaktor

in Abhängigkeit der Fensterorientierung mit

- U_{eq} Äquivalenten U-Wert in (W/m²K)
- U_w U-Wert des Fensters in (W/m²K)
- F_f Fensterfläche in m²
- g Gesamtenergiedurchlassgrad
- S_F Solarer Gewinnfaktor gemittelt über die Orientierung mit 1,6 (W/m²K)
oder für Süden = 2,40, West/Ost = 1,65, Norden = 0,95 (W/m²K)
(aus Wärmeschutzverordnung 1995)

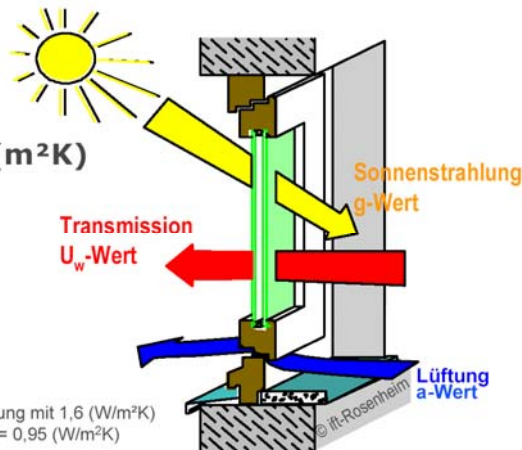


Bild 5 Nutzung und Bewertung der solaren Wärmegewinne von Fenstern und Glas

Der U_g -Wert der Verglasung und der Gesamtenergiedurchlassgrad g sind die bestimmenden Faktoren und deshalb sind hier weitere Entwicklungen zu erwarten. Photovoltaik und Solarthermie können den Restenergiebedarf von Gebäuden decken und dezentral die notwendige Energie für zukünftige Antriebs- und Steuerungstechnik von Fenstern und Sonnenschutzeinrichtungen zur Verfügung stellen. Durch den intelligenten, gesteuerten Einsatz der Verschattung, der Nutzung von thermischen Pufferspeichern sowie Lichtlenkungssystemen, können die solaren Gewinne in der Heizperiode optimal genutzt werden, ohne dass es zur Überhitzung der Räume kommt.

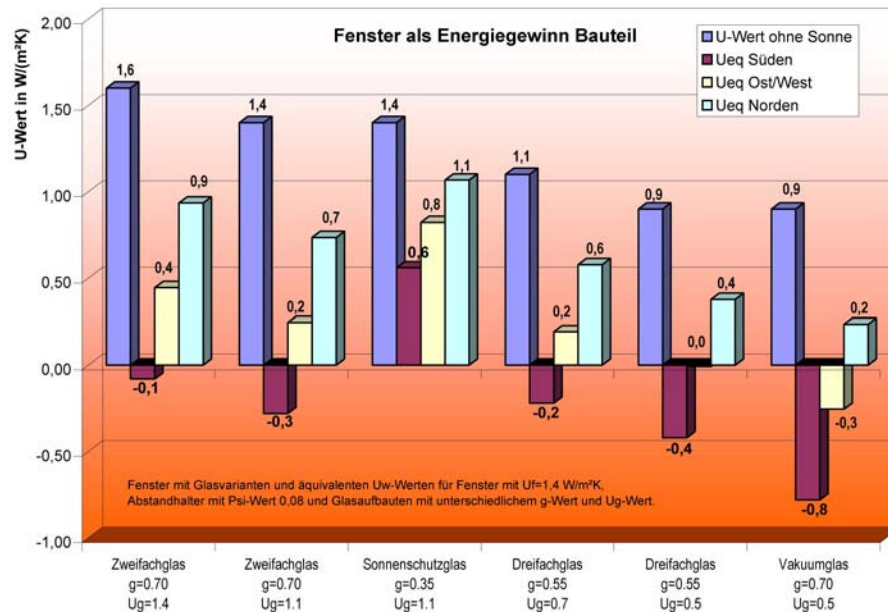


Bild 6 Entwicklung des U-Wertes von Fenstern in Abhängigkeit von solaren Gewinnen und energetischer Qualität der Verglasung (Abmessung von 1,23 x 1,48 m)

Tabelle 1 Bandbreite heute üblicher Verglasungen

Glas	Gesamtenergie- durchlassgrad g	Lichttrans- missionsgrad τ	Wärmedurch- gangskoeffizient Ug
	[–]	[–]	[W/(m²K)]
2-Wärmeschutzglas*	ca. 40 – 60 %	70 – 80 %	1,0 – 1,7
3-Wärmeschutzglas**	ca. 40 – 60 %	60 – 70 %	0,5 – 0,8
Vakuumverglasung***		80 %	0,8 – 1,0

*Beschichtung auf Ebene 3, **Beschichtung auf Ebene 2 und 5, ***2-Scheiben, Wärmeschutzbeschichtung auf Ebene 3

Energieeinsparung durch Sonnenschutz und Lichtlenkung

Neben dem Energieverbrauch im Winter dürfen die Energieaufwendungen für Kühlung im Sommer nicht unterschätzt werden, die je nach Klima, Gebäudeausstattung, Nutzung und Klimatechnik um ein Vielfaches über der Heizenergie liegen. Deshalb werden in der EnEV, in DIN V 18599 und in DIN 4108-2 entsprechende Vorgaben gemacht. Wichtige Faktoren zur Reduzierung der Klimabelastung sind der sommerliche Wärmeschutz und die Lüftung, als geregelte, natürliche Nachtlüftung. Sonnenschutzverglasungen sind leistungsfähig, können aber oft nicht völlig die Wärme vom Rauminneren fernhalten, so dass eine zusätzliche Verschattung

notwendig wird (ift-Forschungsbericht „Sommerlicher Wärmeschutz mit modernen Fenstern“). Ein Schwachpunkt außenliegender Verschattungen war die Anfälligkeit bei höheren Windgeschwindigkeiten – neue Konstruktionen halten auch Windstärken von 8 Beaufort stand. Verbundfenster und Zweite-Haut-Fassaden ermöglichen die Integration von Verschattungs- und Lüftungsmöglichkeiten im witterungsgeschützten Bereich, verursachen aber konstruktive Mehraufwendungen. Eine Alternative sind Sonnenschutzeinrichtungen im Scheibenzwischenraum, die in übliche Fensterkonstruktionen integriert werden können.

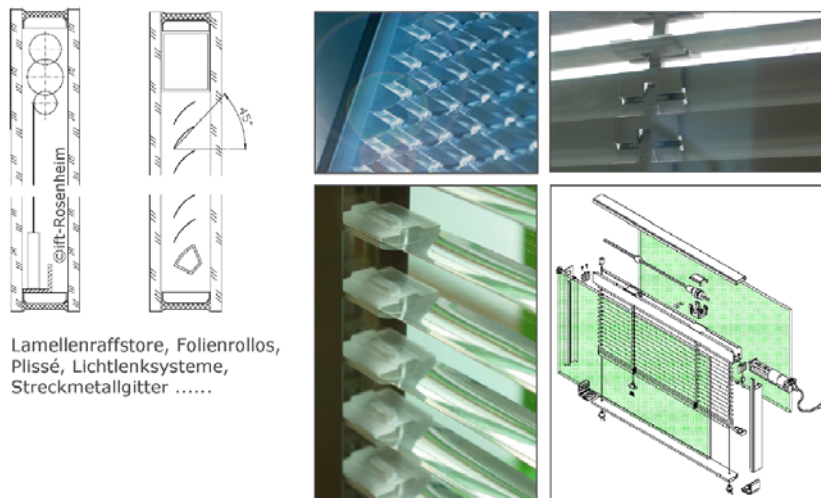


Bild 7 Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum

Diese Systeme bieten gute Verschattungsleistungen, verändern das Fassadenbild nicht und bieten systemische Vorteile:

- Sonnenschutz außerhalb der bewitterten Zone.
- Energetische Leistungseigenschaften vergleichbar mit außenliegendem Sonnenschutz.
- Anpassung an jahreszeitliche und tagesabhängige Einflüsse.
- Reinigungsaufwand reduziert sich auf Glasflächen.
- Einfache Abstimmungen zwischen Fassaden-, Isolierglas- und Sonnenschutzherstellern.

Entscheidend für einen dauerhaften und störungsfreien Einsatz ist die Beachtung folgender Kriterien:

- Sicherstellung der Gasdichtheit und der Dauerhaftigkeit,
- Vermeidung von kleinformatigen Scheiben,
- Verhindern von Fogging (Niederschlag von leichtflüchtigen organischen Stoffen an der Scheibeninnenseite),
- Dauerfunktionsfähigkeit des Einbaus,

- Vermeidung von Glasbrüchen durch eine rechnerische Dimensionierung der Glasdicke (Klimalasten),
- Beschichtung auf Pos. 2 und Pos. 5 des MIG. Bei Beschichtung der mittleren Scheibe sollte diese aus ESG bestehen, um thermische Glasbrüche zu vermeiden,
- Berücksichtigung der Klimalasten bei großen SZR, insbesondere bei asymmetrischen Glasaufbauten.

Der Einsatz von Verschattungen darf nicht dazu führen, dass das Tageslichtangebot nicht für die Beleuchtung der Innenräume ausreicht und unnötige Energie für die Innenraumbeleuchtung erforderlich wird. Für Sehaufgaben gilt als Mindestwert 500 lx; optimale Beleuchtungsstärken liegen zwischen 2000 lx und 4000 lx. Neue wissenschaftliche Untersuchungen haben einen dritten Lichtrezeptor auf der Netzhaut entdeckt, der die biologische Wirkung des Lichts auf den menschlichen Organismus steuert und erst ab Beleuchtungsstärken von größer 1000 lx reagiert. Noch stärker als bisher müssen deshalb die Forderungen Lichtstärke und Blendschutz vereinbart werden. Dies gelingt gut durch winkelselektive Sonnenschutzelemente, die physikalische Gesetze wie Lichtbrechung (Prismen) oder Reflexion (Spiegelreflektor) nutzen. So wird eine Blendung verhindert und oberhalb des direkten Sichtfelds kann das Sonnenlicht den Raum mit diffusem, blendfreiem und natürlichem Licht ausleuchten.

Tabelle 2 Bewertung unterschiedlicher Sonnenschutzeinrichtungen (Langfassung online verfügbar)

Sonnenschutz	Gesamtenergiedurchlassgrad g
Sonnenschutzglas	20% bis 40% abhängig von der Sonnenschutzbeschichtung
Sonnenschutz außen	5% bis 40% abhängig von Verglasungsaufbau, Reflexionsgrad, Winkelselektivität und Einstellung Sonnenschutz
Sonnenschutz innen	25% bis 60% abhängig von Verglasungsaufbau und Reflexionsgrad Sonnenschutz
Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum (SZR)	12% bis 40% abhängig von Verglasungsaufbau, Reflexionsgrad, Winkelselektivität und Einstellung Sonnenschutz

Sicherheitsaspekte bei der Verwendung von Dreifach-Verglasungen

Die wärmetechnischen Eigenschaften von MIG stehen im Zeichen der Energieeinsparung zwar im Vordergrund, doch müssen Isoliergläser sowie Fenster und Fassaden auch weitere Funktionen erfüllen. Hierzu zählt auch die bauaufsichtlich eingeführte „Technische Regel für absturzsichernde Verglasungen (TRAV)“, die auch für Dreifach-Isolierglas gilt. Die in der TRAV aufgeführten Aufbauten (Tab.2) ermöglichen einen einfachen Nachweis,

beziehen sich aber ausnahmslos auf Zweifach-Isolierglas, so dass sich in der Praxis Fragen hinsichtlich des zulässigen Glasaufbaus und der Prüfung der Dreifach-Isoliergläser ergeben. Eine Übertragung der Tabelle 2 ist derzeit noch nicht möglich. Es bleibt daher nur die Möglichkeit die Aufbauten experimentell nach TRLV nachzuweisen. Für den Anwendungsbereich von Dreifach-Isolierglas kommen die Kategorie A der TRAV – also raumhohe Verglasungen ohne vorgesetzten Riegel oder die Kategorie C2 mit lastabtragendem Riegel bzw. Kategorie C3 mit lastabtragendem Holm in Frage.

Grundsätzlich gibt es mehrere Möglichkeiten des Glasaufbaus bei Dreifach-Verglasungen, deren mögliche Glaserzeugnisse in jedem Fall Abschnitt 2 der „Technischen Richtlinie für linienförmige Verglasung (TRLV)“ entsprechen müssen, in der die verwendbaren Glasprodukte aufgelistet werden. Die nachfolgenden Glasaufbauten werden ohne Aussagen zur Wirtschaftlichkeit beschrieben.

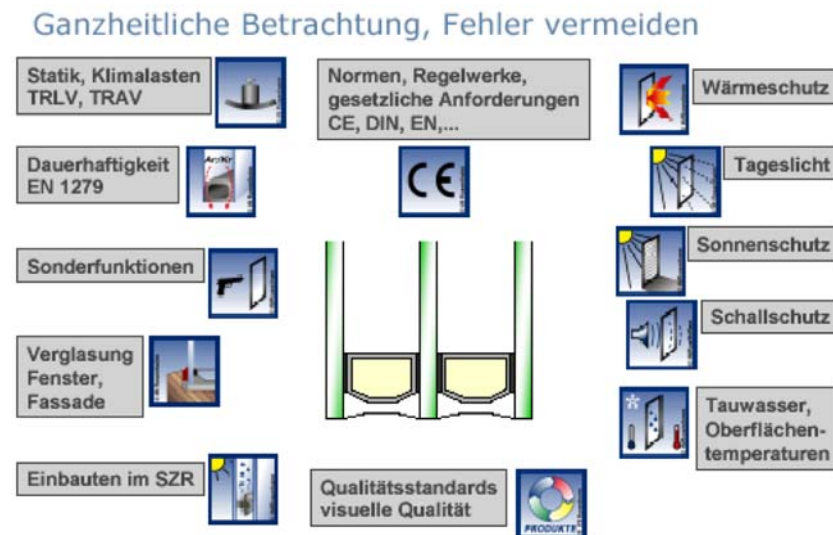


Bild 8 Ganzheitliche Betrachtung von Isolierglas

Glasaufbau 1

Die Innenscheibe, also die „Angriffsseite“, besteht aus Verbundsicherheitsglas (VSG) mit doppelter PVB-Folie nach Bauregelliste. Für die mittlere und äußere Scheibe können dann alle Glaserzeugnisse des Abschnitts 2.1 Bauprodukte der TRLV eingesetzt werden, hierzu zählen:

- Floatglas
- Einscheibensicherheitsglas (ESG)
- Heißgelagertes Einscheiben-Sicherheitsglas
- Teilvorgespanntes Glas (TVG)

Hochabsorbierende Gläser (z. B. Farbgläser) sollten wegen der hohen Absorption und den damit verbundenen hohen Klimabelasten vermieden werden. Auch von einem Einsatz von Drahtglas ist abzuraten, weil aufgrund der niedrigeren mechanischen Festigkeit ein erhöhtes Glasbruchrisiko besteht. Die Beschichtungsposition für Beschichtungen zum Wärme- oder Sonnenschutz sollte sich auf Position 2 und 5 des Isolierglases befinden.

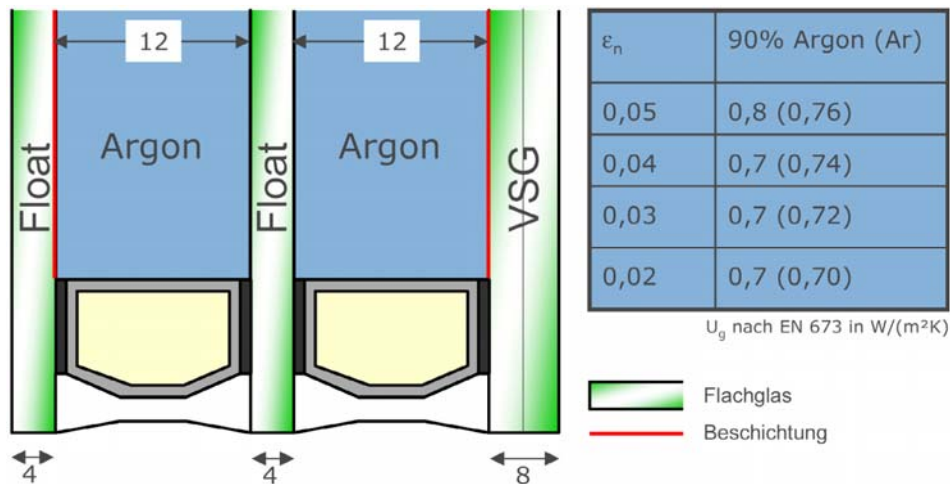


Bild 9 Glasaufbau 1 von Dreifachglas für Anwendungen nach TRAV (Beispiel)

Wird die mittlere Scheibe beschichtet, empfiehlt sich die Verwendung von Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG), das eine höhere Temperaturwechselbeständigkeit hat und damit das Risiko thermischer Sprünge reduziert wird. Weiterhin sind die Vorgaben der TRAV für hochabsorbierende Außenscheiben zu beachten, also die Verwendung von heißgelagertem Einscheiben-Sicherheitsglas nach Bauregelliste. Der Scheibenzwischenraum sollte bevorzugt 12 mm betragen. Es empfiehlt sich die auftretenden Klimabelasten und die daraus resultierenden Randverbundbelastungen zu berechnen, denn eine zu hohe Randverbundbelastung bei ungünstigen Scheibenformaten kann die Isolierglaslebensdauer verkürzen und sollte daher vermieden werden.

Glasaufbau 2

Die Innenscheibe besteht aus ESG. In diesem Fall bestehen unterschiedliche Meinungen in den Fachgremien wie SVA und ERFA-Kreis der Prüfstellen über die Glasart der mittleren Scheibe (Float oder ESG). Die Außenscheibe muss entsprechend den Vorgaben der TRAV ein Verbund-Sicherheitsglas sein. Das ift Rosenheim vertritt hier die Meinung, dass eine ausreichend dimensionierte Float-Scheibe als mittlere Scheibe eine ausreichende Sicherheit bietet.

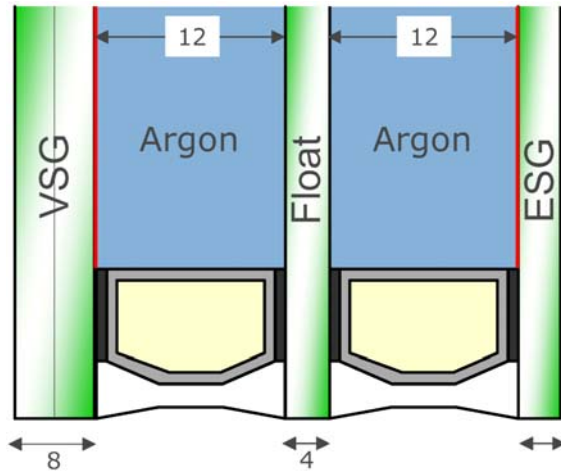


Bild 10 Glasaufbau 2 von Dreifachglas für Anwendungen nach TRAV (Beispiel)

Die Prüfung erfolgt wie in der TRAV festgelegt mit einem Pendelschlagversuch in Anlehnung an EN 12600 (Zwillingsreifen) mit einer Fallhöhe von 900 mm in der Kategorie A und 450 mm in der Kategorie C. Ergänzend wurde vom ERFA (Erfahrungsaustausch der Prüfstellen) festgelegt, dass die mittlere Scheibe im Versuch zu Bruch gehen darf, wenn die Scheibe zur Angriffsseite aus VSG besteht, da hiervon keine Gefährdung ausgeht bzw. das Sicherheitsniveau nicht verringert wird. Besteht die Innenscheibe aus ESG muss gemäß TRAV in der Kategorie A die mittlere Scheibe zusätzlich mit einer Fallhöhen von 450 mm geprüft werden. Die mittlere Scheibe muss der Belastung standhalten und darf nicht brechen. Dies gilt auch, wenn die innere Scheibe der Belastung stand hält. In der TRAV gibt es für Zweifach-Isoliergläser eine Nachweiserleichterung für Glasaufbauten mit nachgewiesener Stoßsicherheit, gemäß Tabelle 2, Abschnitt 6.3. In dieser Tabelle sind zur Zeit keine Dreifach-Aufbauten enthalten und daher besteht aktuell nicht die Möglichkeit der Nachweiserleichterung über die Tabelle 2 der TRAV. Eine Erweiterung der Tabelle mit entsprechenden Nachweisen zur Stoßsicherheit ist sinnvoll und wird vom ift unterstützt.

Fazit

Eine weitere deutliche Reduzierung des Energieverbrauchs von Gebäuden ist mit heute verfügbarer Technik wirtschaftlich möglich. Fenster, Fassaden und Verglasungen werden sich zu intelligenten Bauteilen entwickeln und eine automatische Anpassung an die äußeren Klimaeinflüsse, die Nutzeranforderungen sowie an die Haustechnik zulassen. Wie Haut und Kleidung beim Menschen wird die Gebäudehülle von morgen das Wohlbefinden der Bewohner mit einem Minimum an Energie ermöglichen. Hierbei können moderne Funktionsgläser einen wichtigen Beitrag leisten, wenn sie im sinnvollen Zusammenspiel mit Fenster- und Fassadenkonstruktionen und Sonnenschutzsystemen eingesetzt werden. Dabei müssen weitere Aspekte wie Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit beachtet werden.

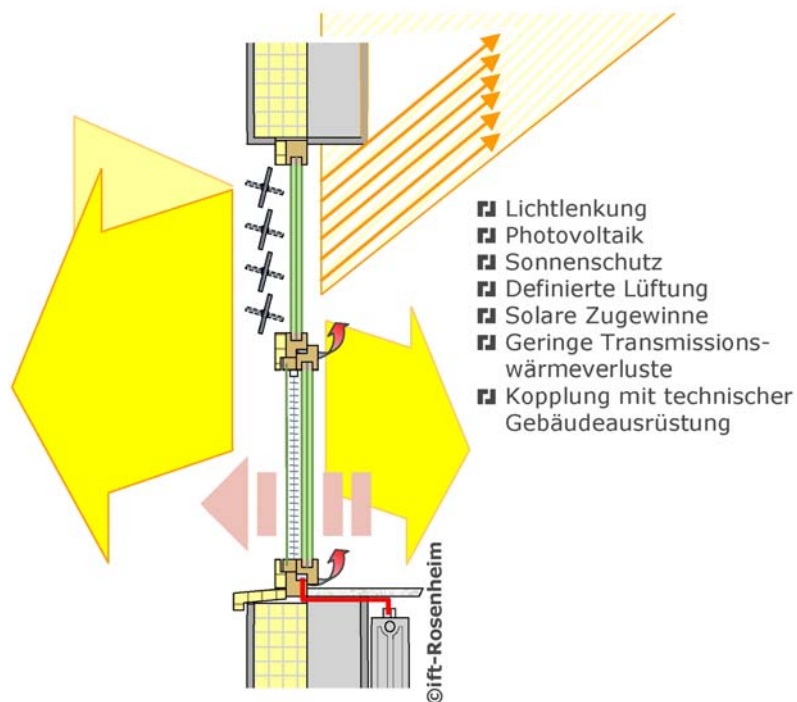


Bild 11 Das Fenster als modernes Energiegewinn-Bauteil