

Bachelor-Arbeit

Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich LGGB

Vergleichende Betrachtung verschiedener
Kunststofffensterkonstruktionen hinsichtlich
bauphysikalischer Anforderungen –
insbesondere den Wärmeschutz betreffend

[URN: [urn:nbn:de:gbv:519-thesis2010-0636-6](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:519-thesis2010-0636-6)]

vorgelegt von:

Berndt, Steffen

Abgabedatum:

21.02.2011

Betreuer und Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Winfried Malorny
Hochschule Neubrandenburg
Brodaer Straße 2
17033 Neubrandenburg

Zweitprüfer: Prof. Dipl.-Ing. Johann Fröhlich
Hochschule Neubrandenburg
Brodaer Straße 2
17033 Neubrandenburg

Erklärung

Gemäß der Studien- und Prüfungsordnung versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde nicht anderweitig als Bachelor-Arbeit eingereicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort	4
1.1 Motivation	4
1.2 Danksagung	4
2. Einleitung	5
2.1 Einführung in die Problematik	5
2.2 Zielsetzung	6
3. Allgemeines	7
3.1 Aufbau und Bestandteile eines Fensters	7
3.2 Anforderungen an Fenster	8
3.2.1 Fugendurchlässigkeit.....	10
3.2.2 Windlasten.....	12
3.2.3 Schlagregendichtigkeit.....	14
3.2.4 Luftschalldämmung	15
3.2.5 Einbruchhemmung	16
3.2.6 Brandschutz	18
3.2.7 Lichtdurchlässigkeit	19
4. Wärmeschutz und U-Werte	20
4.1 Indizes der U-Werte	20
4.2 Begriffe und Definitionen	21
4.3 Verglasungsarten und ihre Bedeutung für den Wärmeschutz	22
4.3.1 Einscheibenverglasung	22
4.3.2 Zweischeiben-Isolierverglasung	23
4.3.3 Dreischeiben-Isolierverglasung	23
4.3.4 Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung	23
4.3.5 Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung	25
4.4 Wärmedämmqualität von Fensterrahmenmaterialien	26
4.4.1 Holz	26
4.4.2 Kunststoffe	27
4.4.3 Aluminium	27
4.4.4 Hochdämmende Rahmen	28
4.5 Wärmebrücken und Randverbund	29
4.5.1 Wärmebrücken am Fenster	29

4.5.2 „Warme Kanten“	29
4.5.3 Materialien für Abstandhalter im Vergleich	30
4.6 Ermittlung der U-Werte	31
4.6.1 Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung (U_g)..	31
4.6.2 Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens (U_f) ...	33
4.6.3 Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ .	34
4.6.4 Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters (U_w)	35
5. Vergleichende wärmetechnische Betrachtung von Kunststofffenster- konstruktionen der Firma GEALAN	39
5.1 Vorbetrachtungen	39
5.2 Profilsystem S 3000	40
5.3 Profilsystem S 7000 IQ	43
5.4 Vertieftes Profilsystem S 7000 IQ plus	45
5.5 Profilsystem S 7000 IQ Passivhaus	47
5.6 Profilsystem S 8000 IQ	49
5.7 Vertieftes Profilsystem S 8000 IQ plus	52
5.8 Intensiv-Kern-Dämmung (IKD) und Statische Trockenverglasung (STV) ..	54
5.9 Zusammenstellung und Auswertung der Ergebnisse.....	57
6. Das Fenster in der Gebäudehülle	59
7. Fazit und Ausblick	65
8. Quellen- und Literaturverzeichnis	66

Kurzfassung

Auf den folgenden Seiten werden zunächst allgemein die in der EnEV und den zugehörigen technischen Normen erwähnten bauphysikalischen Nachweise und Mindestanforderungen bei Fenstern abgehandelt.

Im zweiten Teil geht es explizit um den Wärmeschutz und dabei insbesondere um die Definition, Zusammensetzung, Berechnung und Grenzen des U_w -Wertes von Fenstern.

Der dritte Abschnitt stellt eine beispielhafte Vergleichsbetrachtung dar. Hier werden die Profilsysteme der Firma *GEALAN* vorgestellt, ihre Besonderheiten beschrieben, sowie Schwächen bezüglich Wärmebrücken bei Ein- oder Mehrfachverglasung aufgezeigt.

Anschließend wird das Thema Wärmebrücken nochmals aufgegriffen, allerdings bezogen auf die bestmöglichen Anschlüsse von Fenstern in der Praxis nach den anerkannten Regeln der Technik.

Zum Abschluss wird ein Fazit gezogen und gleichzeitig ein Ausblick gegeben vor dem Hintergrund der EnEV 2012 und des „Passivhauskonzepts“, die zukünftige Entwicklung des Bauteils *Fenster* betreffend.

1. Vorwort

1.1 Motivation

Die Motivation für das Thema dieser Arbeit entstand aus der Idee heraus, das Hintergrundwissen der Mitarbeiter meines zukünftigen Arbeitgebers - bauphysikalische Anforderungen von Kunststofffenstern und insbesondere den Wärmeschutz dieser Konstruktionen betreffend - zu verbessern.

Gleichzeitig bot sich mir dadurch die Möglichkeit Arbeitsabläufe und Firmenmitarbeiter kennen zu lernen, neue Kenntnisse zu erlangen und mich auf meinen Berufsstart in der Firma vorzubereiten.

Nicht zuletzt stellten die Komplexität des Bauteils *Fenster* und die Tatsache, dass gerade bei Fenstern viel falsch gemacht werden kann in Bezug auf den Wärmeschutz und weitere Anforderungen der technischen Regeln, eine interessante Herausforderung für mich dar.

1.2 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich zunächst einmal bei Herr Prof. Dipl.-Ing. Johann Fröhlich bedanken, durch den überhaupt erst der Kontakt zur Firma *MEBAN* zu Stande kam und der mir auch als Betreuer zur Seite stand.

Weiterhin danke ich Herr Prof. Dr.-Ing. W. Malorny für seine Bereitschaft mich als Erstprüfer und Betreuer zu begleiten und die Unterstützung bei fachlichen Fragen. Abschließend gilt ein Dankeschön Herr Stephan Beltz, Fassadenplaner aus Rostock, der mir bei spezielleren Fragen weiterhelfen konnte und natürlich Stefan Schewe, Geschäftsführer von *MEBAN*, stellvertretend für die Firma und ihr Engagement mir bei meiner Abschlussarbeit unter die Arme zu greifen.

2. Einleitung

2.1 Einführung in die Problematik

Fenster sind neben Türen und Fassaden die wichtigsten Bestandteile einer Gebäudehülle. In ihren Funktionen werden sie immer leistungsfähiger, was den Wettbewerb unter den Firmen in der Marktwirtschaft zusätzlich verschärft. Sie trennen den Innenraum eines Gebäudes vom Außenklima, bieten Schutz vor Regen, Kälte, Wind und Lärm, ermöglichen den Luftaustausch, dienen dem Einbruch- und Blickschutz und lassen Sonnenlicht und -wärme mehr oder weniger ungehindert in die Räumlichkeiten. Gleichzeitig dienen Fenster den Architekten und Bauherren als gestalterisches Mittel und stellen den optischen Kontakt zur Außenwelt dar. [1]

Zusammengefasst tragen sie in erheblichem Maße zur Behaglichkeit eines Bauwerks bei.

Bereits mit dem in Kraft treten der Wärmeschutzverordnung von 1995 wurde begonnen ausschließlich Fenster mit sogenannter Wärmeschutzverglasung einzubauen. Die kontinuierliche Arbeit an Verbesserungen und der technische Fortschritt spiegelten sich im Fortschreiben der Wärmeschutzverordnung bis hin zur heute gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) wieder. Damit stiegen auch die Anforderungen an Außenbauteile in Bezug auf den Wärmeschutz weiter an. Zudem wurden durch die Umstellung auf europäische Normen Änderungen von Bezeichnungen und in den Berechnungsverfahren vorgenommen. So ist u. a. der alte Wärmedurchgangskoeffizient k_f nicht vergleichbar mit dem heutigen U_w -Wert eines Fensters. Mit der zukünftigen Novellierung der EnEV 2012 und mit Blick auf die EnEV 2020 werden die Anforderungen weiter ansteigen, sodass Fenster an Komplexität und Bedeutung gewonnen haben und noch gewinnen werden. Sie stellen zwar immer noch - angesichts der hohen Dämmwerte opaker Wandbauteile - Schwachpunkte in der baulichen Hülle dar, tragen aber bereits über Solargewinne effektiv zur Beheizung eines Gebäudes bei.

Durch die verschiedenen Materialien wie Holz, Aluminium, Stahl oder Kunststoff für Fensterrahmen und -flügel und die Möglichkeit der Kombination dieser mit den

unterschiedlichsten Gläsern in Ein- oder Mehrfachausführung ist eine große Bandbreite an Produkten auf dem Markt vorhanden. Darum ist es wichtig auch die Einflussfaktoren und ihre Auswirkung auf die Eigenschaften konkret zu betrachten, um eventuell durch kleine Änderungen die Qualität zu verbessern und somit ein konkurrenzfähiges Produkt auf dem Markt zu etablieren.

2.2 Zielsetzung

Die Aufgabe dieser Arbeit besteht darin, anhand eines Standardfensters aus Kunststoff mit Dreh-/Kipp-Beschlag und den Maßen 1,23 m breit und 1,48 m hoch herauszustellen, wie sich die verschiedenen Profilsysteme der Firma *GEALAN* in Verbindung mit unterschiedlichen Verglasungen sowie verschiedenen Profilkombinationen auf den Wärmeschutz des Fensters, insbesondere den Wärmedurchgangskoeffizient (U_w -Wert), auswirken.

Die Vorgabe war, eine Sensibilisierung der Mitarbeiter bezüglich bauphysikalischer Nachweise und Zusammensetzung einzelner Kennwerte von Fenstern zu bewirken, indem die Hintergründe beleuchtet und das Zustandekommen der Kenngrößen detailliert beschrieben werden.

3. Allgemeines

3.1 Aufbau und Bestandteile eines Fensters

Ein Fenster ist eine Öffnung in einer Wand, meistens einer Außenwand eines Gebäudes, bestehend aus Rahmen, Fensterflügel und entsprechenden Füllungen mit dem Zweck Licht und Luft in das Innere des Gebäudes zu lassen und hinein- oder hinaussehen zu können. Das Wort stammt von dem lateinischen Wort „fenestra“ und bedeutet im eigentlichen Sinn Windauge.

In Abb. 1 sind die wesentlichen Bestandteile und ihr Vorkommen im Fenster dargestellt. Einige dieser Begrifflichkeiten stellen die Grundlage für das Verständnis der Arbeit dar.

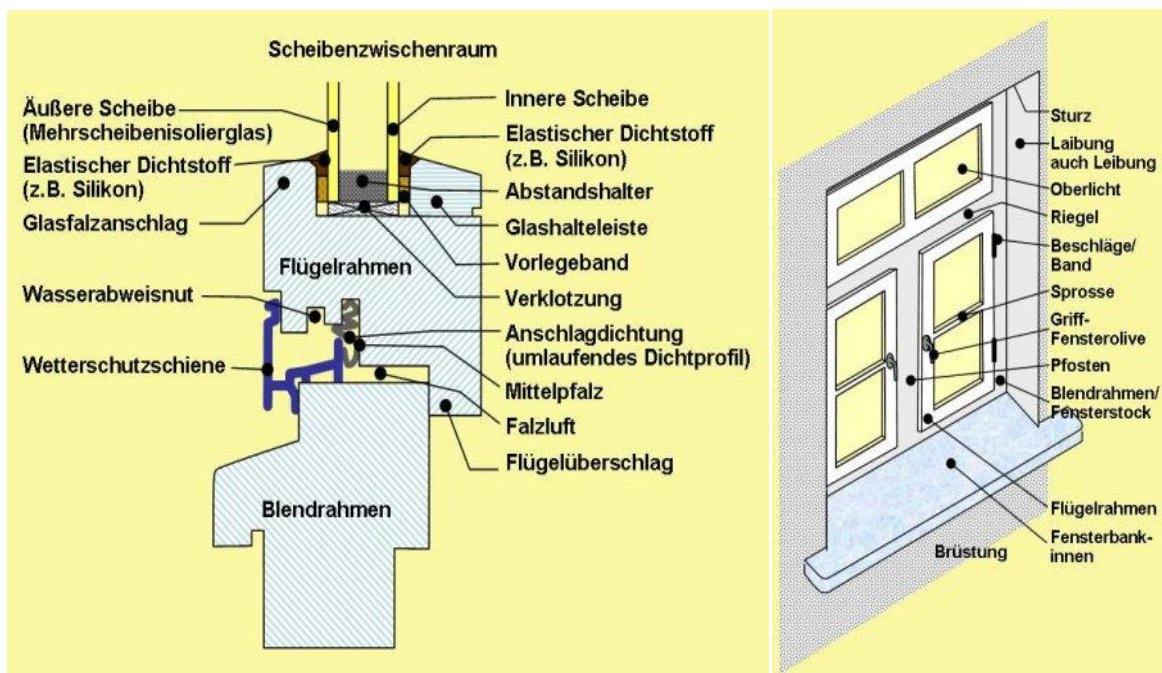


Abb. 1: Aufbau und Bestandteile eines typischen Fensters [2]

3.2 Anforderungen

Die Energieeffizienz eines Gebäudes wird maßgeblich von den Fenstern bestimmt. Als durchsichtige Bestandteile der Außenwand, einschließlich der Anschlussfugen, stellen sie ein Gesamtsystem hinsichtlich der Anforderungen dar. Findet sich eine Schwachstelle an einer beliebigen Komponente, so wird das Gesamtsystem negativ beeinflusst und somit in seiner Qualität gemindert. Demnach muss bereits bei der Zusammenstellung der Materialien für Glas, Rahmen, Verbund und Anschlüsse eine sinnvolle Auswahl getroffen werden. Am Anfang jedes größeren Bauvorhabens steht ein Leistungsverzeichnis, aus dem erste Anhaltspunkte entnommen werden können. Leistungsverzeichnisse für Fenster sollten folgende Angaben enthalten [3]:

- Art und Anzahl der Fenster
- Ort des Einbaus (Klima, Nordseite etc.)
- Material der Fensterrahmen und -flügel (Holz, Aluminium, Kunststoff, Holz-Aluminium-Verbund, etc.)
- Art der Oberflächenbehandlung (z.B. lasiert, lackiert, foliert, eloxiert¹)
- Sicherheitsanforderungen (z.B. Widerstandsklasse, einbruchhemmend)
- Sonderverglasungen (Sicherheits-Isolierglas, Sonnenschutzglas)
- Beschreibung des Zubehörs einschließlich Angaben zum Material (Rollläden, Sonnenschutz, etc.)
- Montageverfahren
- Fenstergriffe
- Gestalterische Merkmale wie Farbe, Form, Aufteilung, Funktion u.a.

Darüber hinaus sind Normen und Richtlinien sowie anerkannte bautechnische Regeln zu beachten, damit das Zusammenwirken zwischen Fenster und Bauwerk den verschiedensten Anforderungen gerecht werden kann. Die nachfolgende Übersicht (Abb. 2) zeigt die in den Regelwerken berücksichtigten Beanspruchungen auf ein Fenster, woraus sich eine Vielzahl von Anforderungen ergibt.

¹ Eloxieren: Erzeugen einer oxidischen Schutzschicht auf Aluminium durch anodische Oxidation, Bildung eines Oxids bzw. Hydroxids durch Umwandlung der Metalloberfläche

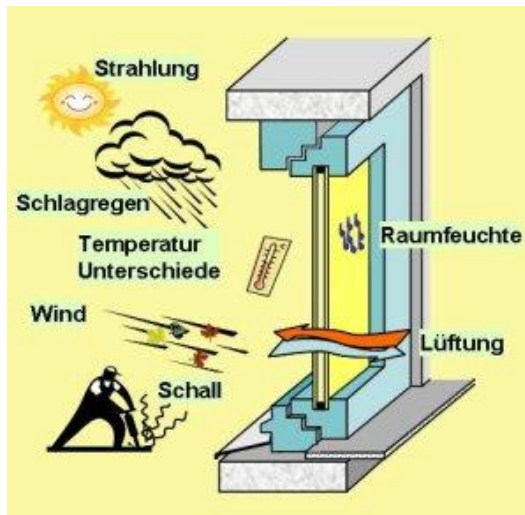


Abb. 2: Einwirkungen auf Fenster [4]

Mit Blick auf die Verglasung muss zwischen sommerlichem und winterlichem Wärmeschutz unterschieden werden. Die Übergangsjahreszeiten ordnen sich entsprechend der Temperatur ein. Das Fenster soll grundsätzlich Licht und Wärme in das Gebäude lassen und gleichzeitig dafür sorgen, dass die Wärme vom Innenraum nicht entweicht. In der warmen Jahreszeit muss bedacht werden, dass zu hohe Durchlässigkeit für Solarstrahlung eine Überhitzung des Raumes zur Folge haben könnte, während in der kalten Jahreszeit aber zunehmend das Sonnenlicht und die damit entstehende Wärme im Inneren des Gebäudes benötigt wird, um Heizkosten zu senken. Um dies zu realisieren gibt es zwei Möglichkeiten: Zum einen sind es sogenannte „low- ϵ -Verglasungen“, bei denen die Scheiben mit einer Edelmetallbeschichtung versehen werden [5]. Dabei entscheidet neben den spezifischen Eigenschaften auch die Anordnung der Beschichtung innerhalb der Verglasung über deren Wirkung, sodass unterschiedliche g-Werte erreicht, allerdings im Einbauzustand nicht reguliert werden können. Auf der anderen Seite stellen Verschattungen wie Raffstoren, Rollläden, Markisen etc. eine regulierbare Alternative dar zur Nutzung der Sonnenenergie.

Auch der Rahmen muss Witterungseinflüssen standhalten und erzielt durch entsprechende Profiltiefen seine wärmedämmende Wirkung.

Weitere Aspekte sind der Schutz vor starker Beschallung und die Sicherheit vor Einwirkungen von außen, denn verglichen mit opaken Wandbauteilen sind Fenster auch hinsichtlich Schallschutz und Einbruchhemmung Schwachpunkte in der Gebäudehülle. Dabei spielt wiederum der Ort des Einbaus eine große Rolle. So sind an Hauptverkehrsstraßen höhere Anforderungen bezüglich des

Schallschutzes zu erfüllen als an kaum befahrenen Straßen. In dieser Art und Weise lässt sich auch der Aspekt der Einbruchhemmung erläutern. Daraus folgt, dass z.B. im Erdgeschoss eines Einfamilienhauses eine stärkere Gefährdung durch Täter vorherrscht als in etwaigen Obergeschossen.

Nicht zuletzt muss beim Einbau eines Fensters beachtet werden, dass die Fugen zwischen Wand und Rahmenprofil das Eindringen von Wasser in Tröpfchenform verhindern sollen, aber Wasserdampf in Form von Luftfeuchtigkeit aus dem Gebäude diffundieren kann. Dies wird z.B. mit Hilfe eines diffusionsoffenen, aber schlagregendichten Butylbandes erreicht. Zudem sollen Wärmebrücken vermieden werden und die Fugen elastisch ausgebildet sein, damit thermische und mechanische Beanspruchungen aufgenommen werden können.

Aus den neuen europäischen Normen und der Novellierung der EnEV 2009 ergeben sich folgende Anforderungen und damit verbundene Nachweise [6]:

- Fugendurchlässigkeit
- Schlagregendichtigkeit
- Windlast (Statik)
- Schallschutz (Luftschalldämmung)
- Einbruchhemmung bei einem Fenster insgesamt und speziell bei der Verglasung
- Brandschutz
- Lichtdurchlässigkeit
- Wärmeschutz (U_w -Wert)
- Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert)

Im Folgenden werden die zuvor genannten Begriffe erklärt, die zugehörige DIN benannt und, wenn vorhanden, Nachweise und Prüfverfahren aufgezeigt.

Der Wärmeschutz und insbesondere die U_w -Werte werden im Anschluss daran in einem eigenen Kapitel behandelt.

3.2.1 Fugendurchlässigkeit

Nach der DIN EN 12207 vom Juni 2006 wird die Fugendurchlässigkeit nicht mehr durch den bekannten a-Wert definiert, durch den die pro Meter Fugenlänge ausgetauschte Luftmenge in m^3/hm bei einer Druckdifferenz von 10 Pa (Pascal)

angegeben wurde, sondern durch die Gesamtluftdurchlässigkeit (Q). Sie beschreibt jetzt den Luftstrom in m³/h, der über die Fugen zwischen Flügel und Blendrahmen in Folge einer am Fenster vorhandenen Druckdifferenz (Delta p) hindurch strömt. Mit der neuen Norm wird der Begriff Referenzluftdurchlässigkeit (Q₁₀₀) eingeführt. Die bei einem bestimmten Prüfdruck (p) gemessene Gesamtluftdurchlässigkeit (Q) wird dazu auf einen Referenzdruck (p) von 100 Pa umgerechnet. Die Referenzluftdurchlässigkeit wird entweder auf die Gesamtfläche oder aber wie schon beim a-Wert auf die Fugenlänge des Fensters bezogen. Diese Aussage spiegeln die beiden nachstehenden Formeln wieder.

$$Q_{100} = \frac{[Q \text{ gemessen in m}^3 / \text{h bei Prüfdruck p}]}{[(p/100)^{2/3} \times \text{Fensterfläche in m}^2]}$$

$$Q_{100} = \frac{[Q \text{ gemessen in m}^3 / \text{h bei Prüfdruck p}]}{[(p/100)^{2/3} \times \text{Fugenlänge in m}^2]}$$

Beide Ergebnisse, sowohl der fugenlängenbezogene als auch der flächenbezogene Wert, können als Kriterium für die Klassifizierung heran gezogen werden. Die alte Klassifizierung nach DIN 18055 in Beanspruchungsgruppen von A bis C wird ersetzt durch die Klassen 1-4. Bei der Prüfung wird das Bauteil entsprechend von 150 bis 600 Pa beansprucht, die eindringende Luftmenge gemessen und mit dem Referenzdruck von 100 Pa rechnerisch der Q-Wert ermittelt, der die Klassifizierung von 0 bis 4 nach der Tabelle ergibt. Der Zusammenhang wird in der folgenden Übersicht (Tabelle 1) verdeutlicht.

Tabelle 1: Übersicht der Fugendurchlässigkeitsklassen [nach DIN EN 12207]

Klasse nach DIN EN 12207	Referenzluftdurchlässigkeit bei 100 Pa in m ³ /(hm ²) [bezogen auf 1m ² Fensterfläche]	Referenzluftdurchlässigkeit bei 100 Pa in m ³ / (hm) [bezogen auf 1m Fugenlänge]	Max. Prüfdruck in Pa	Klassifizierung nach DIN 18055 Beanspruchungsgruppe
0	Keine Anforderungen			
1	50	12,50	150	A
2	27	6,75	300	B
3	9	2,25	600	C
4	3	0,75	600	

Ferner enthält die DIN EN 12207 eine Korrelationstabelle, in der zusätzlich zu den in Tabelle 1 angegebenen Daten die Referenzluftdurchlässigkeit bei 10 Pa in $\text{m}^3/(\text{hm}^2)$ nach alter und neuer Norm enthalten sind.

Der Q-Wert wirkt sich auf weitere bauphysikalische Eigenschaften eines Fensters und einer Außentür aus, auch wenn kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Luftdurchlässigkeit, Wärmeschutz, Windlast und Statik besteht. So werden z.B. für Außenfenster in Gebäuden bis zu 2 Vollgeschossen Fenster nach Klasse 2 gefordert. Bei mehr als 3 Vollgeschossen verlangt die EnEV jedoch schon Klasse 3, da durch die größere Gebäudehöhe auch eine stärkere Windbelastung zu erwarten ist, die zu einer stärkeren Rahmendurchbiegung und in der Folge zu einer höheren Belastung der Fugen und Dichtungen führt. Der Prüfdruck in Klasse 3 mit festgelegten 600 Pa entspricht dabei ungefähr einer Windstärke 11.

3.2.2 Windlasten

Bereits in der DIN 18055 wurden Belastungen, denen Fenster und Türen ausgesetzt sind, in der Regel von den statischen Berechnungen in Form von Winddruck und Windsog erfasst. Dabei wurden gleichzeitig Höhe, Lage und Form des Gebäudes sowie die jeweilige Windlastzone als Grundlage für die sogenannte Bezugswindgeschwindigkeit berücksichtigt. Je höher ein Fenster in einem Gebäude eingebaut und je höher die zugehörige Windlastzone ist, desto größer muss die Widerstandsfähigkeit des Bauteils gegen Windlasten, Schlagregen und Zugluft sein. Bei Fenstern und Türen in Eckbereichen müssen diese Werte sogar noch um den Faktor 1,6 erhöht werden, da hier höhere Beanspruchungen vorliegen.

Die entsprechenden Prüfverfahren für Fenster und Türen sowie die maximal zulässigen Mess- und Rechenwerte sind in der in Zusammenhang mit der EnEV stehenden europäischen Norm DIN EN 12210 beschrieben. Die alte Einstufung in die Beanspruchungsgruppen A bis C (und die Sondergruppe D) wurde hier ebenfalls durch eine neue Unterteilung in insgesamt 6 Klassen (und eine weitere Sonderklasse im Belastungsfall P1) abgelöst, wobei neue Lastfälle hinzu gekommen sind.

Eine Prüfung erfolgt nach den Vorgaben der DIN EN 12211 an sogenannten Probekörpern. Als Probekörper dienen in diesem Fall komplette Fenster im eingebauten Zustand. Demnach enthält jede Klasse eine Angabe für drei verschiedene Belastungsfälle P1, P2 und P3.

Die relative frontale Durchbiegung des am stärksten verformten Rahmenteils des Prüfkörpers wird zunächst bei dem Druck P1 und danach mit einem Sog der gleichen Stärke (-P1) gemessen und gemäß der Prüfergebnisse in die Klassen A ($l/150$), B ($l/200$) oder C ($l/300$) klassifiziert. Als Sonderklasse ist E xxxx definiert. Hier kann für P1 ein Wert in Pa vereinbart werden.

In einem zweiten Prüfabschnitt wird Sog und Druck in mehreren Zyklen (50-mal) mit einer Stärke von -P2 / P2 aufgebracht. Nach der Belastung mit P1 und P2 muss der Prüfkörper voll funktionsfähig bleiben. Die Zunahme an Luftdurchlässigkeit der Fugen darf anschließend 20% der maximal zulässigen Werte nicht übersteigen, die vorher bei der Klassifizierung der Fugendurchlässigkeit erreicht worden ist (DIN EN 12207).

Unter dem Prüfdruck P3 und anschließend bei einem Sog -P3 muss der Prüfkörper geschlossen bleiben. Bricht das Glas, sind ein Ersatz und eine einmalige Wiederholung der Prüfung zulässig.

Die nachstehende Tabelle verdeutlicht in üblicher Weise die Zusammenhänge.

Tabelle 2: Klassifizierung der Windlast [nach DIN EN 12210]

Klasse	P1 [Pa]	P2 [Pa]	P3 [Pa]
0	Nicht geprüft!		
1	400	200	600
2	800	400	1200
3	1200	600	1800
4	1600	800	2400
5	2000	1000	3000
E xxxx	xxxx	-	-

Es gilt zu beachten, dass Prüfzeugnisse nach der früheren DIN 18055 als Nachweis für die entsprechenden neuen Klassen nur für den Belastungsfall P2 herangezogen werden dürfen. Dabei entspricht die Beanspruchungsgruppe B der Klasse 3 nach DIN EN 12210.

Die Anforderungen sind so gestellt, dass selbst bei orkanartigen Stürmen eindringende Zugluft und Feuchtigkeit die Ausnahme bleiben.

3.2.3 Schlagregendichtigkeit

Unter dem Begriff Schlagregendichtigkeit wird die Widerstandsfähigkeit eines Fensters oder einer Tür gegen das Eindringen von Feuchtigkeit verstanden, verursacht durch andauernde Wind- und Regenbeanspruchung.

Nach der DIN EN 12208 wird der Parameter neu definiert. In der bereits zurückgezogenen DIN 18055 wurde wie bei der Fugendurchlässigkeit eine Einteilung in die Beanspruchungsgruppen A, B und C (und die Sondergruppe D) vorgenommen. Nach der nun gültigen Norm werden 10 Klassen unterschieden. In der Klasse 0 werden dabei keinerlei Anforderungen an die Schlagregendichtigkeit gestellt. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der neuen Klassen und der darin definierten Anforderungen im Vergleich zu den Beanspruchungsgruppen nach der DIN 18055. Prüfzeugnisse nach der alten DIN 18055 können als Nachweis für die entsprechenden neuen Klassen herangezogen werden.

Tabelle 3: Klassifizierung der Schlagregendichtigkeit [nach DIN EN 12208]

Klassifizierung nach DIN 18055:1981-10 Beanspruchungsgruppe	Prüfdruck [Pa]	Klassifizierung nach DIN EN 12208		Anforderungen
		Verfahren A	Verfahren B	
A	-	Nicht geprüft!	Nicht geprüft!	Keine Anforderungen
	0	1A	1B	15 min Besprühung
	50	2A	2B	Wie Klasse 1 + 5 min
	100	3A	3B	Wie Klasse 2 + 5 min
	150	4A	4B	Wie Klasse 3 + 5 min
B	200	5A	5B	Wie Klasse 4 + 5 min
	250	6A	6B	Wie Klasse 5 + 5 min
	300	7A	7B	Wie Klasse 6 + 5 min
C	450	8A	-	Wie Klasse 7 + 5 min
	600	9A	-	Wie Klasse 8 + 5 min

Beim Betrachten der Tabelle stellt man fest, dass zwischen zwei Verfahren unterschieden wird, wobei Verfahren A das für Deutschland übliche darstellt. Es gilt für Fenster und Türen ohne baulichen Schutz wie z.B. Vordächer, das Bauteil ist der Witterung also ungeschützt ausgesetzt.

Verfahren B hingegen gilt für Fenster und Türen, die zumindest teilweise geschützt sind, wie z.B. durch Vordächer, Balkone, Dachüberstände oder tiefe Laibungen.

Bei beiden Verfahren wird das zu prüfende Bauteil über den tabellenmäßig festgelegten Zeitraum mit einem bestimmten Prüfdruck besprüht. Dieser Prüfdruck steigert sich von 0 Pa über 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450 bis schließlich 600 Pa, während parallel die Besprühungsdauer von 15 min um jeweils 5 min verlängert wird. Fenster der Schlagregenklasse 1A werden so bei 0 Pa 15 min besprüht und müssen dicht sein. Fenster der Klasse 9A dagegen werden 55 min mit einem Prüfdruck von 600 Pa besprüht. Darüber hinausgehende Ergebnisse werden mit der Klasse E xxx beschrieben, wobei xxx für den Prüfdruck in Pa steht. Die Prüfung auf Dichtheit erfolgt sensorisch durch Fühlen und Sehen. Zum weiteren Verständnis ist anzumerken, dass ein Prüfdruck von 150 Pa ungefähr Windstärke 7 entspricht. Bei 600 Pa wie in Klasse 9A handelt es sich schon um einen Sturm mit Windstärke 11, dem das Bauteil zuverlässig standhalten muss. Je weiter sich der Rahmen aber bei derartigen Windlasten durchbiegt, desto eher kann es zu Undichtigkeiten besonders in den Falz- und Dichtungsbereichen kommen, d.h. also zu Zugluft und eindringendem Wasser.

3.2.4 Luftschalldämmung [7]

Zur Beurteilung des schalltechnischen Verhaltens von Verglasungen und Fenstern dient das Bewertete Schalldämmmaß R_w und die Verfahren zur Messung der Schalldämmung nach DIN EN 140-3. Mittlerweile wurden auch in diesem Bereich der Bauphysik die DIN 4109 und DIN 52210 durch neue europäische Normen ersetzt. Durch diese Normen-Angleichung kommt es auch im gemessenen und für die Berechnung zugrundeliegenden Frequenzbereich zu einer Erweiterung von ehemals lediglich 100 Hz bis 3150 Hz auf 50 Hz bis 5000 Hz. Dabei kann der Wert R_w sowohl ohne (Bewertetes Schalldämmmaß) als auch unter Berücksichtigung

des Schallübertragungsverhaltens flankierender Bauteile (Resultierendes Schalldämmmaß), wie z.B. Wände, ermittelt werden.

Zusätzlich zu den besagten Normen unterscheidet die Richtlinie VDI 2719 sechs Schallschutzklassen, und zwar von 25 dB für Einfachfenster mit Einfachverglasung bis 52 dB für ein Kastenfenster mit getrenntem Blendrahmen, besonderer Dichtung und Verglasung. Außerdem behandelt sie eine Möglichkeit zur vereinfachten Überprüfung von Fenstern am Bau bei genügend hoher Verkehrsbelastung, die an dieser Stelle nicht näher beleuchtet wird. Aufgrund der leichten Streuung können mit diesem Kurzmessverfahren (simultane Messung der Verkehrsgeräusche innen und außen) zumindest grobe Einbaufehler schnell festgestellt werden.

Die Schalldämmung des Bauteils *Fenster* wird wie alle anderen Eigenschaften auch durch das Zusammenspiel von Verglasungsart, Scheibenzwischenraum, Konstruktion und Anzahl der Dichtungen, Rahmenkonstruktion sowie durch die Art des Wandanschlusses bestimmt.

Bei eventuellen Sanierungsvorhaben zur Verbesserung der Luftschalldämmung sollte eine Erhöhung des Schalldämmmaßes mindestens um 3 – 5 dB angestrebt werden, da erst ab diesem Grad eine für das menschliche Ohr wahrnehmbare Verbesserung erzielt wird, die sich positiv auf die Behaglichkeit auswirkt. Eine deutlich spürbare Verbesserung des Schallschutzes stellt eine Erhöhung um 6 - 10 dB dar [8].

3.2.5 Einbruchhemmung

Die Anforderungen an den Einbruchschutz eines Fensters sind in der DIN EN 1627, die zugehörigen Prüfverfahren in den DIN EN 1628 – 1630 geregelt. Somit ist auch hier die alte DIN 18054 durch europäische Normen abgelöst worden. Daraus ergeben sich an Stelle von 3 nun 6 Widerstandsklassen, die aufsteigend die Art und die Dauer eines Eindringversuchs und den damit verbundenen Widerstand eines Fensters gegen diese Einwirkung regeln. Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht den Sachverhalt.

Tabelle 4: Widerstandsklassen zum Einbruchschutz [gemäß DIN EN 1627]

Widerstandsklasse	Widerstandszeit	Tätertyp/Vorgehensweise
WK 1	Keine manuelle Prüfung	Bauteile weisen einen Grundschutz gegen Aufbruchversuche mit körperlicher Gewalt wie Gegendreten, Gegenspringen, Schulterwurf, Hochschieben und Herausreißen (vorwiegend Vandalismus) auf
WK 2	3 min	Gelegenheitstäter versucht, zusätzlich mit einfachen Werkzeugen, wie Schraubendreher, Zange und Keil, das verschlossene und verriegelte Bauteil aufzubrechen
WK 3	5 min	der gewohnt vorgehende Täter versucht zusätzlich mit einem zweiten Schraubendreher und einem Kuhfuß, das verschlossene und verriegelte Bauteil aufzubrechen
WK 4	10 min	der erfahrene Täter nutzt zusätzlich Säge- und Schlagwerkzeuge (Schlagaxt, Stemmeisen, Hammer, Meißel) sowie eine Akku-Bohrmaschine
WK 5	15 min	der erfahrene Täter setzt zusätzlich Elektrowerkzeuge, wie z. B. Bohrmaschine, Stich- oder Säbelsäge und Winkelschleifer mit einem max. Scheibendurchmesser von 125 mm ein
WK 6	20 min	Der erfahrene Täter setzt zusätzlich leistungsfähige Elektrowerkzeuge, wie z. B. Bohrmaschine, Stich- oder Säbelsäge und Winkelschleifer mit einem max. Scheibendurchmesser von 250 mm ein.

Die deutsche Polizei empfiehlt Produkte, die mindestens der Widerstandsklasse 2 entsprechen, da erst ab dieser Klasse eine Prüfung des Bauteils vorab mit Werkzeugen durchgeführt wird und somit ein Prüfsiegel vorhanden ist.

Es gibt mehrere Möglichkeiten ein Fenster einbruchhemmender zu gestalten:

- Aufschraubbare Fenstersicherungen (z.B. Stangenschloss, Fenstergriff mit Sperrriegel)
- Scharnierseitensicherungen (s. Abb. 3)
- Absperrbare Oliven (Fenstergriffe)
- Im Falz eingelassene Pilzzapfenverriegelungssysteme (s. Abb. 4)
- Einbruchhemmende Schließzylinder in Verbindung mit einem Schutzbeschlag (Zylinder soll max. 3 mm über Schutzbeschlag vorstehen)
- Alarmanlagen



Abb. 3: Scharnierseitensicherung
der Fa. ABUS



Abb. 4: Pilzkopfverriegelung
der Fa. Siegenia

Neben den Anforderungen an das gesamte Bauteil gibt es speziell für die Verglasung weitere Prüfungen, die sie bestehen muss. Die Vorgaben für das Glas sind in der DIN EN 356 festgehalten. Demnach haben übliche Verglasung keine einbruchhemmende Wirkung, sondern nur Produkte wie Verbundsicherheitsglas (VSG) oder Panzerglas sowie Sicherheitsfolien oder Vorsatzfenster. Derartige Verglasungen bestehen aus einer Kombination aus Glas und transparenten Kunststoffen. Dabei wird zwischen durchwurfhemmend (Kennbuchstabe A) und durchbruchhemmend (Kennbuchstabe B) unterschieden. Bei durchwurfhemmender Verglasung differenziert man in die Klassen P1A bis P5A. Im Prüfverfahren fällt eine 4,11 kg schwere Metallkugel (Durchmesser 100 mm) auf eine Glasprobe (1100 x 900 mm) dreimal (bzw. neunmal bei P5A) aus einer Höhe von 1,5 m bei P1A bzw. 9 m bei P5A.

Durchbruchhemmendes Glas wird in die Klassen P6B bis P8B unterteilt. Im Prüfverfahren wird versucht mit einer Axt zwischen 30 bis über 70 Mal einen quadratischen Durchbruch mit 400 mm Kantenlänge zu bewirken. Weitere Details sind in den benannten Normen aufgeführt.

3.2.6 Brandschutz

Wie alle Bauteile müssen auch Fenster, wenn es gefordert wird, im Brandfall dem Feuer oder Rauch eine bestimmte Zeit stand halten. Wesentlicher Schwachpunkt ist vorrangig die Verglasung. Die DIN 4102 kennt Brandschutzverglasungen in den Widerstandsklassen F 30, F 60, F 90 und F 120 sowie G 30, G 60, G 90 und G 120. Die Zahlen geben die Feuerwiderstandsdauer in Minuten an. Der wesentliche Unterschied zwischen F- und G-Gläsern besteht darin, dass F-Gläser zusätzlich und in hohem Maße die Wärmeübertragung durch Leitung, Konvektion und Strahlung einschränken.

F-Glas besteht aus zwei vorgespannten Gläsern (ESG je 6 mm stark), die als eine Art Isolierglas vorgefertigt werden. Im Scheibenzwischenraum befindet sich eine organische, wasserhaltige Substanz (Gel). Im Brandfall springt die dem Brand zugekehrte Einzelscheibe, und das Gel kann nun durch Wasserabgabe Brandwärme kompensieren. Durch den Verbrennungsvorgang an der Oberfläche der Brandschutzschicht verfärbt sich das Glas und wird so strahlungsundurchlässig.

Das G-Glas ist hingegen nur einscheibig. Um die Feuerwiderstandsdauer zu erreichen, werden vorgespannte Kalknatrongläser (Normalglas), Alumosilikatglas² oder Borosilikatgläs³ verwendet. Eine Weiterverarbeitung zu Isolierglaseinheiten ist grundsätzlich möglich. [9]

Beim Bau und Einbau derartiger Fenster sind bauaufsichtliche Zulassungen zu beachten.

3.2.7 Licht- und Strahlungsdurchlässigkeit

Die Lichtdurchlässigkeit bezeichnet den direkt durchgelassenen, sichtbaren Strahlungsanteil im Bereich der elektromagnetischen Wellen, die durch das menschliche Auge wahrgenommen werden können (380 bis 780 nm). Sie wird in Prozent bezogen auf eine unverglaste Wandöffnung angegeben und ist u.a. abhängig von der Glasdicke; je dünner das Glas, desto höher die Lichtdurchlässigkeit. Floatglas (als Einzelscheibe) verfügt normalerweise über eine Lichtdurchlässigkeit von 90%. Geringfügige Schwankungen sind durch einen unterschiedlichen Eisenoxidgehalt möglich. Wird derartiges Floatglas zur Herstellung einer Fensterscheibe aus Isolierglas verwendet, so werden zwei Floatglas-Scheiben benutzt. Die so entstandene Isolierglasscheibe hat dann nur noch eine Lichtdurchlässigkeit von 80 %. Eine noch geringere Durchlässigkeit als Wärmeschutzgläser haben Sonnenschutzgläser (50-70 %). Das genügt jedoch um das Rauminnere hinreichend mit Tageslicht zu erhellen.

Allerdings stellen Sonnenschutzgläser keinen Blendschutz dar, dieser kann durch zusätzliche Verschattungssysteme wie Jalousien oder Rollos erreicht werden. Mit Hilfe von Tönungsfolien werden Werte von 20 % und weniger erzielt. Dazu muss

² Alumosilikate: Sammelbezeichnung für Minerale und chem. Verbindungen aus der Gruppe der Silikate, Grundbestandteile sind Silizium, Aluminium und Sauerstoff

³ Borosilikate: wie Alumosilikate, zusätzlich Bor enthalten

gesagt werden, dass je besser ein Raum mit Tageslicht durchflutet wird, desto freundlicher wirkt er. Vorgaben, wieviele Fenster ein Zimmer haben sollte, sind den entsprechenden technischen Regeln zu entnehmen. Als Richtwert für die Mindest-Lichtfläche gilt je nach Landesbauordnung $1/8$ bzw. $1/10$ der Grundfläche eines Raumes. Nach Din 5034 „Tageslicht in Innenräumen“ wird sogar noch großzügiger gehandelt. Sie empfiehlt als Summe der Breite aller Fenster des Wohnraumes mindestens 55 % der Raumbreite. Ansonsten sind je nach subjektivem Empfinden der Gestaltung der Fenster, was die Lichtdurchlässigkeit betrifft, keine Grenzen gesetzt.

Nur etwa die Hälfte der auf die Erde auftreffenden Solarstrahlung entfällt auf den Bereich des sichtbaren Lichts. Die andere Hälfte liegt in Wellenlängenbereichen, die für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar sind, nämlich ca. 6 % Ultraviolettstrahlung (290 – 380 nm) und etwa 44 % im nahen Infrarotbereich (780 - 2500 nm). Auch vor derartiger Strahlung und zusätzlich vor Strahlung im fernen Infrarotbereich (bis ca. 400.000 nm) schützen entsprechende Verglasungen [10].

4. Wärmeschutz und U-Werte

Der Wärmeschutz eines Fensters wird im Wesentlichen durch drei Faktoren bestimmt – der Rahmen, die Verglasung und der Randverbund. Stellte vor einigen Jahren die Verglasung in ihren wärmedämmenden Eigenschaften den Schwachpunkt dar, wird mittlerweile alles daran gesetzt die U-Werte der Fensterrahmenkonstruktionen und des Randverbundes zu verbessern. Außerdem steht die Wärmedämmung immer im Zusammenhang mit anderen Anforderungen wie Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtigkeit und Lichtdurchlässigkeit. Als Basis für die Berechnung der Wärmeverluste eines Fensters gilt der U-Wert. In diesem Abschnitt werden die grundsätzlichen Zusammenhänge vorgestellt.

4.1 Indizes der U-Werte

In der europäischen Normung werden sämtliche Größen auf der Basis ihrer englischen Wortbezeichnung abgekürzt. Dadurch ergibt sich für den Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters der Index „w“, abgeleitet vom

englischen „Window“. Der Index „f“ steht für „Frame“ (Rahmen) und das „g“ ist der Index für „Glazing“ (Glas). [11]

4.2 Begriffe und Definitionen

Die thermische Qualität eines Fensters lässt sich an Hand der vier folgenden Kennwerte beurteilen:

- Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) [12]:
Der g-Wert gibt an, wie viel Prozent Strahlungswärme von außen über die Verglasung nach innen abgegeben wird (Wärmegewinne). Das heißt je höher dieser Wert und je höher die Wärmedämmeigenschaften des Fensters, desto größer sind i.d.R. die gewünschten solaren Gewinne.
- Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):
Der U-Wert gibt an, welcher Wärmestrom (in Watt) bei einem Temperaturunterschied von 1°C (in Kelvin ausgedrückt) pro Quadratmeter eines Bauteiles fließt (Wärmeverlust), seine Einheit lautet W/m^2K . Der U_w -Wert eines Fensters setzt sich aus den spezifischen U-Werten für den Rahmen (U_f) und das Glas (U_g) zusammen, hinzu kommt ein spezifischer Wert für den Randverbund. Hierauf wird unter Punkt 4 näher eingegangen. [13]
- Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Randverbundes (Ψ -Wert)⁴:
Der Ψ -Wert berücksichtigt den Einfluss der Verbindung der Glasscheiben bei Mehrscheibenfenstern im Randbereich (Randverbund) auf die wärmedämmtechnischen Eigenschaften. Da dieser Wert auf eine Länge bezogen ist, wird er in W/mK angegeben.
- Fugendurchlässigkeit (auch Gesamtluftdurchlässigkeit Q der Fugen):
Erläuterungen dazu finden sich unter 3.2.1 dieser Arbeit.

In der folgenden Abbildung (Abb. 5) sind die zuvor beschriebenen Begriffe und ihre Bedeutung für den Wärmeschutz in üblicher Weise dargestellt.

⁴ Ψ [Psi]: griechischer Buchstabe

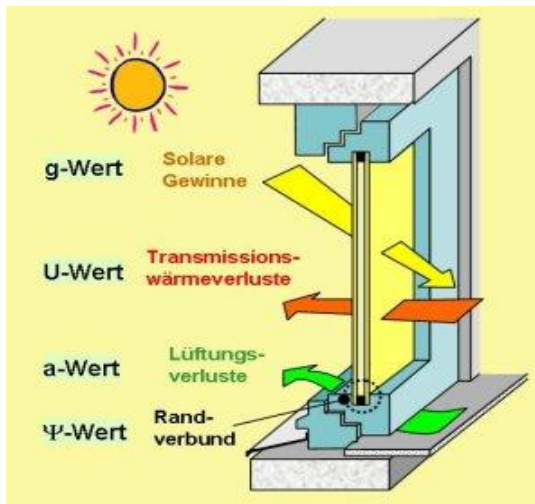


Abb. 5: Kennwerte des Wärmeschutzes bei Fenstern [14]

4.3 Verglasungsarten und ihre Bedeutung für den Wärmeschutz

Durch Sanierung oder Erneuerung nicht energieeffizienter Fenster und Türen mit energiesparenden Verglasungen, Rahmenmaterialien und Dichtungen werden Energieverluste erheblich verringert, der Schallschutz und das Wohngefühl verbessert. Die folgenden Punkte beschreiben kurz die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Verglasungen. Unter 4.3.1 bis 4.3.3 wird ausschließlich der „Mehr-Scheiben-Effekt“ bei unveränderter Rahmenkonstruktion betrachtet, während bei den Wärmeschutzverglasungen zusätzlich die Wirkung einer oder mehrerer Beschichtungen berücksichtigt wird. Abschließend zeigt die Abb. 7 einen möglichen Aufbau von Fenstern mit diesen Verglasungstypen, und in Tabelle 5 sind die Glasqualitäten und die mit ihnen erreichbaren U-Werte dargestellt.

4.3.1 Einscheibenverglasung

Einfach verglaste Fenster wurden vor 1970 fast ausschließlich eingebaut. Damals kümmerte sich niemand um die Dämmwirkung, und auch das technische Verständnis war nicht so weit fortgeschritten wie heute.

Mit Einscheibenglas (s. Abb. 7 A) erreichte man sehr ungünstige U_g -Werte um $5-6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, daher ist es auch nicht verwunderlich, dass die heutigen Normen ohne Ausnahme Mehrfachverglasungen vorschreiben.

4.3.2 Zweischeiben-Isolierverglasung

Eine zweite Scheibe halbiert etwa den Wärmedurchgang gegenüber den ursprünglich in Altbauten eingesetzten Einfachverglasungen auf ca. $3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Bei der Isolierverglasung sind die beiden Scheiben über Aluminium-Abstandhalter miteinander verbunden (s. Abb. 7 D), die sich eher negativ auf den U_w -Wert des gesamten Fensters auswirken. Auch hier sind unzureichende Wärmedämmeigenschaften anzutreffen, sodass seit der Einführung der Wärmeschutzverordnung von 1995 einfache Isolierverglasungen in beheizten Räumen nicht mehr zulässig sind.

4.3.3 Dreischeiben-Isolierverglasung

Im Vergleich zum Zweischeiben-Isolierglas bringt die zusätzliche Scheibe nur eine geringe Verbesserung der wärmedämmtechnischen Eigenschaften der Verglasung auf Werte um $2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Wärmedämmeigenschaften von Dreischeiben-Isolierglas werden von der Wärmeschutzverglasung noch deutlich übertroffen.

4.3.4 Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung

Mit einer Wärmeschutzverglasung, bestehend aus zwei Scheiben (s. Abb. 7 D), sind Verbesserungen des U_g -Wertes um 50 - 60% im Vergleich zu Dreischeiben-Isolierverglasung möglich. In Abmessungen und Gewicht sind sie mit dem herkömmlichen Isolierglas vergleichbar, sodass sich das Glas auch ohne Probleme in vorhandene Fensterrahmen einbauen lässt. Die wesentlichen Unterschiede bestehen zum einen in der Gasfüllung im Scheibenzwischenraum und zum anderen in der Beschichtung der raumseitigen Scheibe im Zwischenraum. Diese dünne, nicht sichtbare Metallbedampfung reflektiert Wärmestrahlung des Innenraumes und mindert gleichzeitig die Strahlungs- und Lichtdurchlässigkeit eingängig. Die Scheibe absorbiert somit Solarstrahlung, wodurch sie sich erwärmt und nun ihrerseits Wärme in den SZR und den Innenraum abgibt, allerdings verhindert die Beschichtung die Abgabe von

Wärmestrahlung nach außen in hohem Maße, was eine bessere Behaglichkeit im Gebäude nach sich zieht. Man spricht daher bei der Beschichtung auch von einer Low-E-Schicht („low emissivity“ – geringe Emissionen). Der Emissivitätswert (ϵ) üblicher Beschichtungen liegt bei 0,03, der von normalem Glas bei 0,84, d. h. statt 84% werden nur noch 3% Wärme über das beschichtete Glas nach außen abgestrahlt, die übrige Wärmestrahlung reflektiert. Neben den beiden genannten Wärmetransportmechanismen (Wärmeleitung, -strahlung) ist der Transport von Wärme durch sich bewegende Teilchen in Flüssigkeiten oder Gasen (Konvektion). Diese gilt es zu unterbinden, indem man die Scheibenzwischenräume optimiert. So gibt es für jede Gasfüllung eine optimale Breite des SZR, darüber hinaus und darunter würden die Konvektion und damit die U-Werte der Verglasung ansteigen. Die Grenze liegt für Argon bei etwa 15 mm, die für Krypton bei 10 mm (siehe hierzu Abb.6) und die günstigste Breite des SZR für Xenon bei 8 mm. In der heutigen Zeit wird dies durchweg beachtet, sodass der Einfluss der Konvektion vernachlässigbar klein ist. Zudem ergibt sich der Vorteil, dass die Gesamtdicke der Verglasung handhabbare Abmessungen nicht überschreitet und die mechanische Belastung auf den Randverbund geringer ausfällt [15].

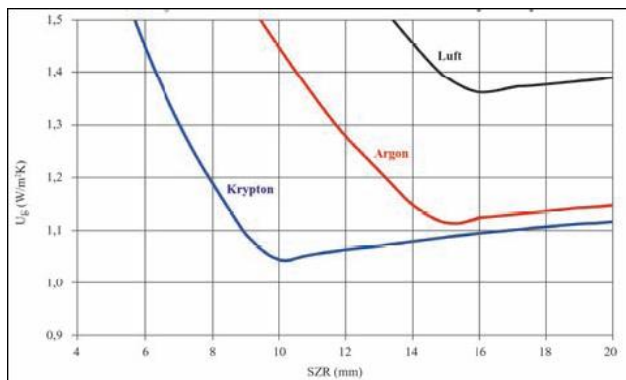


Abb. 6: U_g-Werte für 3% Emissivität, Aufbau 4 – SZR – 4, 90% Argonfüllung [16]

Zusammengefasst bietet der Einsatz von Wärmeschutzverglasung folgende Vorteile:

- Die Wärmeverluste verringern sich gegenüber isolierverglasten Fenstern
- Wärmere Innenoberfläche der Scheibe und damit verbessertes Wohngefühl (Behaglichkeit)
- Durch eine Ausstattung mit Rollläden oder ähnlichen Vorrichtungen für die Nachtstunden lässt sich der Energiespareffekt noch weiter verbessern

- Die Energieeinsparung pro Quadratmeter Wärmeschutzglas gegenüber herkömmlichen Isolierglas beträgt den Gegenwert von 9-14 l Heizöl oder m² Erdgas laut dem Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung („Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren“, Ausgabe 05/2004)

4.3.5 Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung

Mit U_g -Werten deutlich unter 1,0 bietet diese Verglasungsart den besten Wärmeschutz der bis hierhin aufgeführten Arten. Durch die dritte Scheibe, zwei metallbedampfte Scheibeninnenoberflächen und eine Edelgasfüllung im Scheibenzwischenraum wird die hervorragende Dämmwirkung erreicht. Als Edelgas wird aus Kostengründen vorrangig Argon ($\lambda=0,018 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$) verwendet, ferner Krypton ($\lambda=0,009 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$) oder Xenon ($\lambda=0,005 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$). Die im Vergleich zu Luft bei Raumtemperatur ($\lambda=0,026 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$) geringere Wärmeleitfähigkeit verringert den Wärmeverlust des Innenraumes spürbar (siehe dazu einschlägige Tafelwerke).

Bei dieser Verglasungsart treten allerdings Mehrkosten von ca. 45 Euro pro Quadratmeter [persönliche Mitteilung durch Firmenmitarbeiter von MEBAN] gegenüber Zweifach-Wärmeschutzverglasung auf, sodass bestimmte Anwendungskriterien eingehalten werden sollten. Zum einen sind großformatige Glasflächen und ein geringer Rahmenanteil zu empfehlen, zum anderen ist ein vergrößerter Rahmeneinstand von 2-3 Zentimeter empfehlenswert, um die Wärmebrückenwirkung des Scheiben-Randverbundes zu reduzieren. Abstandhalter aus Kunststoff an Stelle von Aluminium haben denselben Effekt (siehe 4.5.2 „Warme Kanten“).

Tabelle 5: Glasqualitäten und U_g -Werte [17]

	U_g [W/(m ² K)]	Innenoberflächentemperatur der Scheiben bei -10°C außen und 20°C innen [°C]
Einscheibenglas	5,6	-1,0
2-Scheiben-Isolierglas	2,9 - 3,1	+8,4
3-Scheiben-Isolierglas	2,1	+12,1
2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	1,1 – 1,6	+13,8 – 15,5
3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	0,4 – 0,8	+16,8 – 17,3

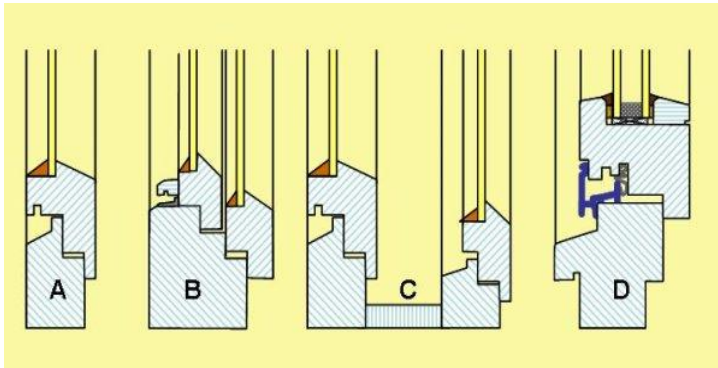


Abb. 7: Fenstertypen; A einfach verglastes Fenster;
B Verbundfenster; C Kastenfenster; D Fenster mit
verbundenen Glasscheiben [18]

4.4 Wärmedämmqualität von Fensterrahmenmaterialien [19]

Unter dem Begriff Materialart eines Fensters unterscheidet man hauptsächlich die Holz, Kunststoff und Metall. Während beim Werkstoff Holz die Möglichkeit besteht auf verschiedene Materialien zurückzugreifen, hat sich im Metallbereich Aluminium als vorrangiger Werkstoff etabliert. Beide Materialien sind darüber hinaus miteinander kombinierbar, man spricht dann von Aluminium-Holz-Verbund. Bei den Kunststofffenstern hat sich aufgrund einfacher Verarbeitbarkeit und geringer Kosten der Werkstoff Polyvinylchlorid (PVC) durchgesetzt. Dieser kann wiederum durch verschiedenste Zusätze spezifische Eigenschaften erhalten, z.B. Farbe, Härte etc.

Während vor einigen Jahren noch der „Geldbeutel“, der Wartungsaufwand und der persönliche Geschmack der Kunden das Material bestimmten, tendieren heutige Diskussionen mehr in Richtung umweltfreundliche, recycelbare Materialien und Produkte. Für den Wärmeschutz hat der Fensterrahmen, dessen Flächenanteil am Fenster typischerweise zwischen 25 und 40 Prozent liegt, eine besondere Bedeutung (siehe Tabelle 6).

4.4.1. Holz

Holz ist das historisch am längsten verwendete Material zur Herstellung von Fenstern und aufgrund seiner Nachhaltigkeit („Green Building“) immer noch sehr bedeutend. Verarbeitet wurden Eichen-, Fichten-, Kiefern- und Lärchenholz sowie Tropenhölzer. Nachteile dieses Materials sind das höhere Schwind- und

Quellvermögen (der Grad der Trocknung muss berücksichtigt werden) und der relativ hohe Wartungsaufwand verglichen mit PVC oder Aluminium. Zu den Vorteilen zählen die hohe Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse, die Anstrichverträglichkeit, das natürliche Aussehen der Hölzer, die guten Verarbeitungsmöglichkeiten und die großen Abmessungen bei gleichmäßigem Wuchs.

Im Vergleich der diversen Rahmenwerkstoffe hat Holz die besten Wärmedämmeigenschaften, ein massiver Rahmen bietet sehr guten Wärmeschutz, d.h. die Rahmenstärke ist entscheidend.

4.4.2 Kunststoff

Ausgangsmaterial für die Anfertigung von Kunststofffenstern ist das Grundpolymer PVC. Hinzu kommen Stabilisatoren, Farbpigmente und andere Zusätze. Positive Eigenschaften sind die lange Nutzungsdauer, die Witterungs- und Korrosionsbeständigkeit, die Pflege- und Wartungsarmut sowie eine volle Recycelfähigkeit und ein sehr gutes Preis-Leistungsverhältnis. Wesentlicher Nachteil ist die Plastizität von PVC-Fensterprofilen, die die Abmessungen begrenzt und eine Aussteifung mit Stahl erfordert. Dies wirkt sich negativ auf die Kosten und natürlich auf den U_f -Wert aus. Die Wärmedämmfähigkeit eines Rahmens aus Kunststoff hängt mit der Anzahl der Hohlkammern im Profil zusammen. Dadurch wird auch die Profilstärke im Vergleich zu anderen Werkstoffen etwas größer. Hinzu kommt der Einfluss von etwaigen Dämmstoffen wie Styropor, Styrodur, PUR, Kork u.a., die den U_f deutlich verbessern.

Aufgrund der benannten Eigenschaften werden Fenster mit PVC-Rahmen weltweit neben Holzfenstern zurzeit am häufigsten vertrieben.

4.4.3 Aluminium

Ähnlich wie beim Holz lassen sich mit Aluminium große Abmessungen realisieren. Dies ermöglichen der große Elastizitätsmodul und das geringe spezifische Gewicht. Weitere positive Eigenschaften sind die Korrosionsbeständigkeit (hohe Lebensdauer), die gute Verformbarkeit, die Vielfalt der Oberflächenbehandlung (Farbgebung) und eine ausreichende Festigkeit. Negative Merkmale liegen im

unverhältnismäßig hohen Energieaufwand zur Herstellung von Rohaluminium, in der Schadstoffbelastung bei der Produktion und in den hohen Wärmedurchgangskoeffizienten der Rahmen.

Als Fensterrahmen-Werkstoff wird heute ausschließlich die Aluminiumlegierung AlMgSi 0,5 F 22, Eloxalqualität, verwendet.

Das Material kann vollständig durch Einschmelzen recycelt werden, was seinen Einsatz im Bauwesen und speziell für den Fenster- und Fassadenbau rechtfertigt.

4.4.4 Hochdämmende Rahmen

Neuere Entwicklungen gehen in Richtung Vollmaterial-Profile aus Kunststoff. Sie bestehen aus einem Schaumkern aus Polyurethan (PUR) oder ähnlichen Materialien und einem wetterfesten, formstabilen Vollmaterial, das in einer dünnen Schicht den Isolierschaumkern umhüllt. Weiterhin erreichen sie sehr gute U_f -Werte weit unter $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bei bereits geringen Profilstärken und sind vollständig verwertbar.

Verfahren zur Herstellung solcher Profile sowie neue Techniken zum Verkleben von Rahmen und Verglasung sind entwickelt worden und werden bereits angewendet.

Tabelle 6: Wärmedämmqualität von Fensterrahmenmaterialien [20]

Rahmenmaterial	$U_f \text{ [W}/(\text{m}^2\text{K})]$	Innenoberflächentemperatur bei -10°C außen
Holz	1,4 – 1,7	13 -15 °C
Kunststoff		
- PVC alt (2 Kammern)	2,8	ca. 9 °C
- PVC neu (7 Kammern)	1,1	ca. 15 °C
- PUR-Integralschaum	1,7 – 2,1	11 – 14 °C
Aluminium		
- ohne Isoliersteg	ca. 5,8	ca. -2 °C
- mit Isoliersteg	2,3 – 3,5	6 – 9 °C
- thermisch optimierte Profile	ca. 1,5	ca. 14 °C
Hochdämmende Rahmen	ca. 0,8	ca. 17 °C

Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, besitzen die besten Rahmen (max. $U_f=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) immer noch eine um bis zu 50 % schlechtere Wärmedämmung als die beste 3-Scheibenverglasung (max. $U_g=0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, vgl. Tabelle 5).

4.5 Wärmebrücken und Randverbund

4.5.1 Wärmebrücken am Fenster

Als Wärmebrücken werden allgemein Schwachstellen in der Gebäudehülle bezeichnet. Sie führen zu einem erhöhten Wärmeverlust und einer geringeren Oberflächentemperatur auf der Raumseite. Dadurch kann es zur Bildung von Tauwasser und somit zu der Entstehung gefährlicher Schimmelpilze kommen.

In der DIN EN 10211-1 wird die Wirkung des Wärmeverlustes mit Hilfe des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ und die der Tauwasserbildung durch den dimensionslosen Temperaturfaktor f beschrieben.

Ein Fenster weist zwei mögliche Schwachstellen auf, einmal im Randverbund zwischen Rahmen und Verglasung und zum anderen im Anschlussbereich zur Wand. In Abbildung 7 wird dieser Effekt veranschaulicht.

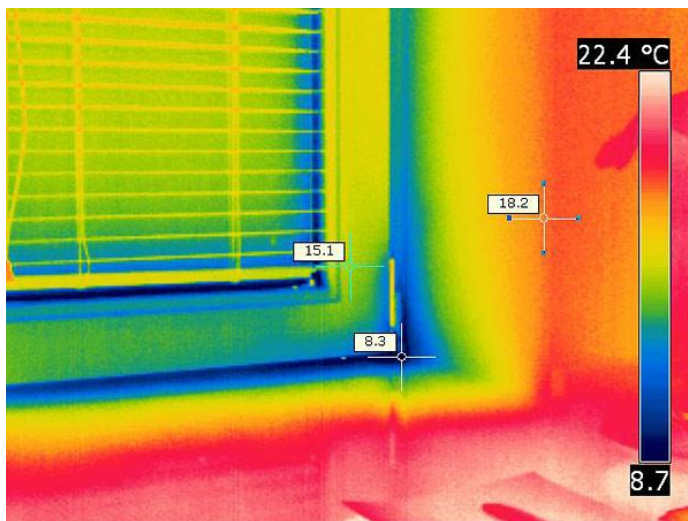


Abb. 7: Wärmebrücken am Bauteil Fenster
(blau = Wärmebrücken; gelb-rot = warme Oberflächen) [21]

4.5.2 „Warme Kanten“ [22]

Aus Isothermenberechnungen wird deutlich, dass konventionelle Abstandhalter aus Aluminium der Schwachpunkt im Übergang vom Glas zum Rahmen sind. Alternativen sind zwar prinzipiell denkbar, aber oft schwer realisierbar. Sie müssen die Anforderungen der Norm an die Wasserdampf- und Gasdiffusion bei Isoliergläsern erfüllen und der Randverbund muss dauerhaft und mechanisch stabil sein. Thermisch verbesserte Randverbundsysteme sind im Stande dem

gerecht zu werden. Dabei werden Abstandhalter aus anderen Materialien wie Kunststoff verwendet und der Glaseinstand im Rahmen vergrößert, wodurch die Wirkung einer Wärmebrücke deutlich abgeschwächt und die Temperatur auf der Innenseite der Scheibe im Randbereich angehoben wird. Daher spricht man hier von „Warmen Kanten“. Das Risiko einer Tauwasserbildung, die ohnehin mehr dem Bauanschlussbereich zuzuordnen ist, wird stark verringert. In den Normen sind nur Mindestwerte für den Temperaturfaktor (f-Faktor) im Anschlussbereich der Fenster und somit für die Vermeidung von Schimmelpilzen vorgesehen (siehe 6.). Diese dienen als Richtwerte für den Randverbund, werden aber mit herkömmlichen Abstandhaltern aus Aluminium unterschritten. Bei thermisch verbesserten Randverbundsystemen hingegen werden sie fast erreicht (bei Zweischeiben-Wärmedämmglas) oder sogar überschritten (bei Dreischeiben-Wärmedämmglas). Um die Entwicklung voranzutreiben, bildete sich 1998 aus dem Technischen Ausschuss beim Bundesverband Flachglas ein Unterausschuss – der Arbeitskreis „Warme Kante“. Darin waren im Jahr 2008 neun namhafte Hersteller von Abstandhaltern für Isolierglas sowie die Glasindustrie vertreten. Durch gemeinsame Pressearbeit und Marketingaktionen wird das Thema gefördert und für dauerhaft seriöse und verlässliche Darstellung am Markt gesorgt [23].

Bei modernen Fenstern mit guten Wärmedämmgläsern ist es sinnvoll und empfehlenswert auch thermisch verbesserte Randverbundsysteme zu verwenden, um die Energieeffizienz weiter zu steigern.

4.5.3 Materialien für Abstandhalter im Vergleich

Der U_g -Wert des Glases gilt streng genommen nur in der Scheibenmitte. Zum Rand hin nimmt die Dämmung wegen der Wärmeleitfähigkeit des Abstandhalters deutlich ab. Das Material des Abstandhalters bestimmt, ob und wieviel Kondensat am Glasrand entsteht. Hierbei ist zu beachten, dass auch eventuelle Sprossen im oder am Fenster den Effekt der Kondensatbildung vergrößern können.

Die herkömmlichen Abstandhalter aus Aluminium sind zwar kostengünstig, besitzen aber eine hohe Kondensatneigung und bewirken einen hohen Wärmeverlust am Glasrandverbund. Eine Alternative sind Abstandhalter aus Edelstahl. Letztere sind zwar teurer und besitzen immer noch eine hohe Neigung

zur Kondensation, die Psi-Werte sind aber im Vergleich zu Alu-Abstandshaltern um bis zu 35 % verbessert. Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung ist eine Kombination aus Metall und Kunststoff. Dabei besteht das Profil aus einem hochdämmenden Kunststoff kombiniert mit Edelstahl, der für die nötige Stabilität und Gasdichtheit sorgt. Nachteile sind die Kosten und die immer noch geringe Neigung zu Tauwasserbildung. Als optimale Lösung bieten sich Abstandhalter aus Kunststoff an. Sie sind zwar oft teurer als Aluminium, da sie mit einer Edelstahlfolie gasdicht gehalten werden müssen, aber es tritt kein Tauwasser auf solange die Oberflächentemperatur des Bauteils die Taupunkttemperatur der Luft nicht erreicht bzw. unterschreitet. Bekannte Handelsnamen sind z.B. „Superspacer“ oder „Swisspacer“. [24]

4.6 Ermittlung der U-Werte

Um zum Wärmedurchgangskoeffizienten eines Fensters zu gelangen, müssen zunächst die einzelnen Bestandteile betrachtet und die U-Werte für den Rahmen und das Glas und der Ψ -Wert für den Randverbund bestimmt werden. Dafür gibt es jeweils mehrere Möglichkeiten, die im Folgenden vorgestellt werden.

Allgemein gilt, der U-Wert eines Bauteils ist das Reziproke des Widerstandes desselben ($U=1/R_T$). Der Wärmedurchgangswiderstand R_T setzt sich zusammen aus den Wärmeübergangswiderständen – zum einen beim Übergang von der Raumluft zur Bauteiloberfläche (R_{si}) und zum anderen beim Übergang zur Außenumgebung (R_{se}) – und den Wärmedurchlasswiderständen R_n , die sich mit dem Quotienten aus Schichtstärke (Glasdicke bzw. SZR) und dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ des jeweiligen Baustoffes [25]. Werte für R_{si} und R_{se} sowie für λ finden sich in entsprechenden Tafelwerken.

4.6.1 Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung (U_g)

Das Glas nimmt den größten Anteil am Fenster ein und somit den größten Einfluss auf den U-Wert des Fensters. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Glases hängt von der Anzahl der Scheiben, der Anzahl der Beschichtungen und von der Gasfüllung im SZR ab. Dabei gilt es zu beachten, dass kleinere U_g -Werte (verbesserte Wärmedämmung der Verglasung) eine geringere Lichttransmission

und einen geringeren Gesamtenergiedurchlassgrad „g“ bedeuten. Die nachstehende Tabelle 7 verdeutlicht diesen Sachverhalt.

Tabelle 7: Kennwerte typischer Isolierverglasungen (Stand Januar 2010) [26]

Glasaufbau	Gas	Lichttransmission [%]	g [%]	U _g [W/m ² K]
4 / 16 / :4	Argon	80	63	1,1
4: / 16 / :4	Argon	68	50	1,0
4 / 12 / :4	Krypton	80	63	1,0
4: / 10 / :4	Krypton	65	48	0,9
4: / 14 / 4 / 14 / :4	Argon	70	50	0,6
Vakuüm-Isolierglas (VIG)				
4 / 2 / :4	-	73	54	0,5
Glasaufbau: beispielhaft 4:/14/4/14/:4 bedeutet Glasstärke mit Beschichtung der Scheibe auf der Innenseite /SZR/Glasstärke/SZR/Glasstärke mit Beschichtung der Scheibe auf der Innenseite				

Alternativ zur Gasbefüllung des SZR wird bereits an dessen Evakuierung gearbeitet. Theoretisch ist es möglich Zwei- bzw. Dreifach-Vakuüm-Isolierverglasungen herzustellen, die mit Beschichtung der Gläser U_g-Werte von 0,2 W/(m²K) bis 0,15 W/(m²K) erreichen, der Scheibenabstand würde nur wenige Zehntel-Millimeter betragen. Allerdings stellen der hohe Druck von ca. 10 Tonnen pro Quadratmeter, wodurch zusätzliche Abstandhalter mit signifikanten Eigenschaften notwendig werden, und die Herstellung des Vakuüms zum weitestgehenden Ausschluss der Wärmeleitung noch erhebliche technologische Schwierigkeiten dar. Aufgrund der mit hohen Temperaturen einhergehenden Herstellungsverfahren, die den Einsatz hochwertiger low-ε-Beschichtungen ausschließen, sind zurzeit nur Vakuüm-Isolierverglasungen aus Japan und China mit U-Werten von 1,1 bis 1,3 W/(m²K) erhältlich. In Deutschland entwickeln derzeit Wissenschaftler in einem Verbundprojekt eine Zweifach-Vakuüm-Verglasung, die mit einer Gesamtdicke von weniger als 10 Millimetern einen U_g-Wert von 0,4 W/(m²K) erreichen soll [27].

Der Nennwert des Wärmedurchgangskoeffizienten kann anhand folgender Regeln ermittelt werden:

- Ermittlung eines Tabellenwerts aus der Norm DIN EN ISO 10077-1
Tabelle C.2
- Berechnung nach DIN EN 673

- Messung nach DIN EN 674

Die Werte der Berechnung oder der Messung mit einem Plattenmessgerät werden auf eine Nachkommastelle genau angegeben und häufig vom Hersteller bereits mitgeliefert. Sie gelten zwingend für eine senkrechte Einbaulage des Fensters. Der Ug-Wert einer geneigten Verglasung ist aufgrund der vorherrschenden Konvektion im SZR, die sich mit der Neigung des Glases verändert und zu einem erhöhten Wärmetransport über den SZR führt, deutlich größer als bei senkrecht eingebauten Gläsern [28].

4.6.2 Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens (U_f)

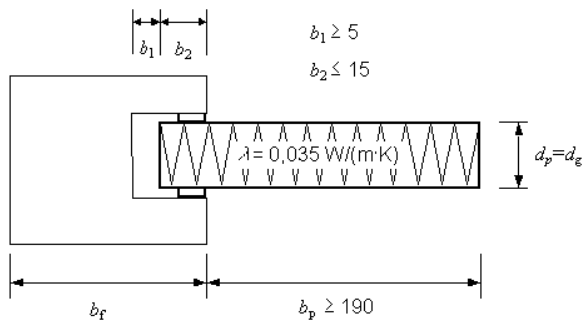
Der Einfluss der Rahmendämmung hängt von Größe und Teilung des jeweiligen Fensters ab. Je kleiner und geteilter (Anzahl an Pfosten, Riegeln, Sprossen usw.) ein Fenster ist, umso bedeutender ist ein niedriger U-Wert des Rahmens.

Der Nennwert U_f für Profilsysteme aus Kunststoff kann mit Hilfe der folgenden Regeln bestimmt werden:

- Ermittlung eines Tabellenwerts aus der Norm DIN EN ISO 10077-1 D.1
- Berechnung nach DIN EN ISO 10077-2
- Messung nach DIN EN 12412-2 (Heizkastenverfahren)

Das Verfahren der Tabellenwertermittlung stellt den geringsten Aufwand dar, führt aber auch zu den ungünstigsten Werten. In der Berechnung findet man eine gute Annäherung an den realen Wert. Im Folgenden beschreibt ein Originalauszug aus der DIN EN ISO 10077-2 (Stand März 2005) die Vorgehensweise bei der Berechnung.

„Der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmenprofils ist wie folgt definiert. Im Berechnungsmodell wird die Verglasung oder die nicht transparente Füllung ersetzt durch eine Dämmplatte mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ und in den Rahmen mit einem Spielraum b_1 nicht kleiner als 5 mm, jedoch höchstens 15 mm, eingesetzt. Die sichtbare Länge der Füllung beträgt $l_p = 190 \text{ mm}$, die Dicke d muss die vorgesehene Dicke der Verglasung d_g oder der nicht transparenten Füllung sein, siehe Bild C.1. Das gegenüberliegende Ende der Füllung grenzt an ein Material mit adiabaten Eigenschaften. Der Rahmenquerschnitt soll alle zur Herstellung des Fensters erforderlichen Materialien mit Ausnahme der Verglasung und der nicht transparenten Füllung, die durch das Isolierpaneel ersetzt werden, enthalten.



Maße in Millimeter

Bild C.1 Rahmenprofil mit eingebauter Füllung (Dämmstoff)

Der zweidimensionale thermische Leitwert L_f^{2D} des in Bild C.1 dargestellten Prüfrahmens, der aus Rahmenprofil und Isolierpaneel besteht, wird berechnet. Der Wärmedurchgangskoeffizient U_f des Rahmens ergibt sich nach:

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p \cdot b_p}{b_f} \quad (C.1)$$

Dabei ist:

U_f der Wärmedurchgangskoeffizient des Profils, in $W/(m^2 \cdot K)$;

L_f^{2D} der zweidimensionale thermische Leitwert der im Bild C.1 gezeigten Fläche, in $W/(m \cdot K)$;

U_p der Wärmedurchgangskoeffizient des mittleren Bereichs der Füllung, in $W/(m^2 \cdot K)$;

b_f die projizierte Breite des Rahmenprofils (sichtbare Projektion), in m;

b_p die sichtbare Breite der Füllung, in m.

ANMERKUNG: L_f^{2D} ist berechnet über die längenbezogene Wärmestromdichte durch Rahmen und Füllung, dividiert durch die Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außentemperatur (siehe EN ISO 10211-1).“

Im Anhang D der besagten DIN finden sich beispielhafte Abbildungen von Profilen, für die im Anschluss daran bereits die Werte für L_f^{2D} und U_f berechnet und in Tabellen aufgelistet sind.

Allerdings liefert auch diese Methode durch die aufgeführten Randbedingungen nicht so genaue Werte wie eine Messung. Diese wiederum ist mit dem höchsten Aufwand der drei Möglichkeiten verbunden.

4.6.3 Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung (U_g) gilt wie bereits erwähnt nur im mittleren Bereich der Verglasung und berücksichtigt nicht den Einfluss des Randverbundes. Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ beschreibt den zusätzlichen Wärmestrom, der durch die Wechselwirkung zwischen Rahmen und Glasrand, einschließlich des Einflusses des Abstandshalters, verursacht wird. Die Methodik der Berechnung wird im folgenden Auszug der DIN EN ISO 10077-2 vorgestellt.

„Zur Berechnung des zweidimensionalen thermischen Leitwertes des Querschnitts aus Rahmen und Verglasung, einschließlich des Einflusses des Abstandshalters, wird das Rahmenprofil mit einer projizierten Rahmenbreite b_f und dem Wärmedurchgangskoeffizienten U_f durch eine

Verglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten U_g und der Länge b_g vervollständigt, siehe Bild C.2. Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ ist durch Gleichung (C.2) definiert. Das gleiche Verfahren gilt für Rahmenprofile von Türen mit opaken Paneelen anstelle von Verglasungen.

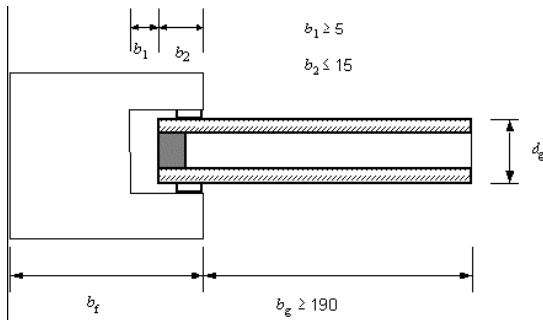


Bild C.2 Rahmenprofil mit eingebauter Verglasung

$$\Psi = L \psi^{2D} - U_f * b_f - U_g * b_g \quad (\text{C.2})$$

Dabei ist:

- Ψ der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient, in $W/(m \cdot K)$;
- L^{2D} der zweidimensionale thermische Leitwert der im Bild C.1 gezeigten Flächen in $W/(m \cdot K)$;
- U_f der Wärmedurchgangskoeffizient des Profils, in $W/(m^2 \cdot K)$;
- U_g der Wärmedurchgangskoeffizient des mittleren Bereichs der Verglasung, in $W/(m^2 \cdot K)$;
- b_f die projizierte Breite des Rahmenprofils (sichtbare Projektion), in m;
- b_g die sichtbare Breite der Verglasung, in m.

ANMERKUNG Eine sichtbare Länge des Paneels bzw. Glases von 190 mm ist ausreichend für Verglasungen mit einer Dicke bis zu 60 mm. In anderen Fällen muss die Länge erhöht werden (siehe EN ISO 10211-1).“

4.6.4 Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters (U_w)

Sind nun die Werte für den Rahmen, die Verglasung und den Randverbund ermittelt, gibt es wiederum folgende Möglichkeiten, den U-Wert eines Fensters zu bestimmen:

- Ermittlung eines Tabellenwertes aus der DIN EN ISO 10077-1 Tabellen F.1 bis F.4
- Berechnung nach DIN EN ISO 10077-1
- Messung nach DIN EN ISO 12567-1 (Heizkasten)

Bei der Ermittlung von Tabellenwerten wird zum einen unterschieden nach der Größe des Fensters (Rahmenanteil) und zum anderen nach der Art des Scheibenabstandhalters. Daraus ergeben sich die Tabellen F.1 bis F.4 in der Norm.

Für die Berechnung wird eine Standardgröße des Fensters von 1,23 m x 1,48 m in der Produktnorm – Fenster und Türen – DIN EN 14351-1 festgelegt. Um der EnEV gerecht zu werden, sind für Fenster mit Sprossen und für Fenster mit

wärmetechnisch verbessertem Randverbund Korrekturwerte der U_w -Nennwerte angegeben. Aus dem berechneten Nennwert wird ein Bemessungswert. Unberücksichtigt bleiben hier Einflüsse aus der Sonneneinstrahlung, die Wärmeübertragung infolge Luftdurchlässigkeit, das Tauverhalten und belüftete Zwischenräume in Kasten- und Verbundfenstern. Zum Abschluss der Berechnung ist ein Bericht zu erstellen, der folgende Inhalte aufweisen muss:

- Eine technische Zeichnung mit Angabe der Querschnitte der verschiedenen Rahmenteile (z.B. im Maßstab 1:1) Hierbei sind die stofflichen und geometrischen Angaben vorzunehmen.
- Eine Zeichnung der raumseitigen Ansicht des gesamten Fensters oder der gesamten Tür mit Angaben wie:
 - verglaste Fläche A_g und/oder der opaken Füllung A'_p
 - Flächenanteil des Rahmens A_f und die
 - Umfangslänge der Verglasung l_g und/oder der opaken Füllung l'_p
- Stoffwerte für die Berechnung mit Nennung der jeweiligen Quelle
- Das Endergebnis des U-Wertes ist in zwei wertanzeigenden Ziffern anzugeben.

Im kommenden Abschnitt dieser Arbeit wird die Berechnung mit der vereinfachten Formel $U_w = (A_g * U_g + A_f * U_f + l_g * \Psi_g) / (A_g + A_f)$ [29] und der Hilfe eines Programms zur Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern an einigen Kunststofffensterkonstruktionen beispielhaft durchgeführt. An dieser Stelle wird an einem kurzen Beispiel die Berechnung von Hand vorgestellt, vorausgesetzt die U-Werte der Verglasung, des Rahmens und der Ψ -Wert des Randverbundes sind bereits gemäß Norm ermittelt.

Beispiel: Fenster 1,23 m x 1,48 m

$U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Profilsystem S 8000 IQ der Fa. *GEALAN*, Blendrahmen 8003 mit 66 mm Ansicht, Flügel 8094 mit 67 mm Ansicht, siehe 5.6)

$U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Wärmeschutzverglasung 4/16/4)

$\Psi_{fg} = 0.067 \text{ W}/(\text{mK})$ (Aluminium-Abstandhalter)

Daraus ergeben sich für die Glas- (A_g) und die Rahmenfläche (A_f) folgende Werte:

$$\begin{aligned} A_g &= (1,23 \text{ m} - 2 \times (0,067 \text{ m} + 0,066 \text{ m})) \times (1,48 \text{ m} - 2 \times (0,067 \text{ m} + 0,066 \text{ m})) \\ &= 0,97 \text{ m} \times 1,22 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= \underline{1,19 \text{ m}^2 \text{ Glasfläche (65\% Glasanteil)}}$$

$$A_f = A_{\text{gesamt}} - A_g$$

$$= (1,23 \text{ m} \times 1,48 \text{ m}) - 1,19 \text{ m}^2 = 1,82 \text{ m}^2 - 1,19 \text{ m}^2$$

$$= \underline{0,63 \text{ m}^2 \text{ Rahmenfläche (35\% Rahmenanteil)}}$$

Die Umfangslänge der Verglasung ergibt sich zu:

$$l_g = 2 \times (0,97 \text{ m} + \text{Glaseinstand im Rahmen}) \text{ m} + 2 \times (1,22 \text{ m} + \text{Glaseinstand im Rahmen})$$

$$= 2 \times (0,97 \text{ m} + 0,015 \text{ m}) + 2 \times (1,22 \text{ m} + 0,015 \text{ m}) = 1,97 \text{ m} + 2,47 \text{ m}$$

$$= \underline{4,44 \text{ m Verglasungsumfang}}$$

Daraus folgt für den U-Wert des Fensters:

$$U_w = (A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \Psi_g) / (A_g + A_f)$$

$$= (1,19 \text{ m}^2 \times 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 0,63 \text{ m}^2 \times 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 4,44 \text{ m} \times 0,067 \text{ W}/(\text{mK})) / (1,19 \text{ m}^2 + 0,63 \text{ m}^2)$$

$$= 1,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \underline{=} \underline{1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}$$

Das Ablesen aus den besagten Tabellen erfolgt mit denselben Eingangsparametern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für den Rahmen-U-Wert aufgerundet werden muss. So entsteht folgendes Ablesebeispiel in Tabelle 8.

Tabelle 8:

Auszug Tabelle F.1 DIN EN ISO 10077-1:2006

Wärmedurchgangskoeffizienten für vertikale Fenster mit einem **Flächenanteil des Rahmens von 30 %** und mit **verbesserten Abstandhaltern**; Ablesebeispiel $U_g = 1,1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ und $U_f = 1,4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ergibt $U_w = 1,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

U_f in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
U_g in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	U_w in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$							
1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8
1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8
1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7
1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6
1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,6
0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5
0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4
0,7	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3
0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3

Bei der Messung von U-Werten muss beachtet werden, dass direkte Sonneneinstrahlung das Ergebnis verfälscht und dass drei Temperaturwerte bei mindestens 15 °C Temperaturunterschied zwischen innen und außen gleichzeitig aufgenommen werden müssen. Das Verfahren lässt sich mit folgender Formel beschreiben:

$$U = (T_i - T_{oi}) / (0,13 * (T_i - T_a)) \quad [30]$$

Dabei ist T_i die Temperatur des Innenraumes, T_a die Temperatur der Außenumgebung, T_{oi} die Obeflächentemperatur des Bauteils und 0,13 m²K stellt den Wärmeübergangswiderstand von innen nach außen dar. So ergibt sich z.B. für ein Fenster in einen 20 °C warmen Raum bei einer Außentemperatur von -10 °C und einer Durchschnittstemperatur in der Mitte der Innenscheibe einer Zweifach-Wärmeschutzverglasung von 13,8 °C [31] ein U_w -Wert von:

$$U_w = (20 - 13,8) / (0,13 * (20 - (-10))) = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}).$$

Diese Aussage gilt allerdings nur für einen stationären Zustand. Eine Messung bei unterschiedlichen Temperaturgefällen ermöglicht die Ermittlung des durchschnittlichen U-Wertes des Fensters. Die Ergebnisse werden anhand von Protokollen oder Kurven-Diagrammen dokumentiert. Der mögliche Aufbau einer solchen Messung ist in Abbildung 8 dargestellt.



Abb. 8: Möglicher Aufbau einer U-Wert-Messung eines Kunststofffensters [32]

Zur energetischen Bewertung eines Fensters bzw. der Verglasung dient der äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient $U_{eq,w}$. Dieser verrechnet potenzielle Solargewinne mit Wärmeverlusten, d.h. er bewertet das über die Heizperiode anfallende Solarstrahlungsangebot S_F orientierungsabhängig und gibt über sein Vorzeichen Auskunft über Netto-Energiegewinne (-) bzw. -verluste (+) eines Fensters während der Heizperiode. So werden z.B. bei Passivhausfenstern mit Ost- oder West-Ausrichtung bereits geringe, bei südwärts orientierten Fenstern erhebliche Energiegewinne über die Heizperiode erzielt (negat. $U_{eq,w}$ -Werte). [33]

5. Vergleichende wärmetechnische Betrachtung von Kunststofffensterkonstruktionen der Firma *GEALAN* [34]

5.1 Vorbetrachtungen

Auf den folgenden Seiten werden die verschiedenen Profilsysteme der Firma *GEALAN* vorgestellt. Die Berechnungen des U_w -Wertes des gewählten Standardfensters mit den Maßen 1,23 m x 1,48 m beziehen sich auf Herstellerangaben bezüglich des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens (U_f). Als Standard wird eine Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung mit einem U_g -Wert von 1,1 W/(m²K) und ein Abstandhalter aus Aluminium mit $\Psi=0,067$ W/(mK) definiert. Aufgrund der Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten wird zur Berechnung ein programmierter U_w -Wert-Rechner von *GEALAN* verwendet, die Ergebnisse werden in Form einer ausführlichen Excel-Datei ausgegeben. Im Nachgang an die Beschreibungen der einzelnen Profilsysteme ist eine wesentlich verkürzte Darstellung dieser Datei in Form einer Tabelle aufgeführt. Dort werden Zusammenhänge herausgestellt und Änderungen im Vergleich zum definierten Standard farblich gekennzeichnet. Die vereinfachte Formel zur Berechnung des U_w -Wertes (siehe 4.6.4) gilt entsprechend. Unberücksichtigt bleibt die Anschlussfuge und auch Sprossen sind an dem Standardfenster nicht vorhanden. In den beiden folgenden Abbildungen (Abb. 9 und Abb. 10) sind die Eingabemasken des U_w -Berechnungsprogramms dargestellt.

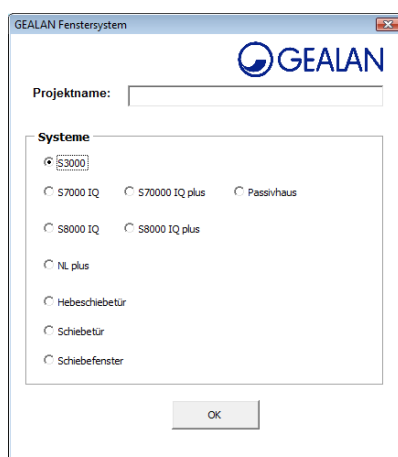


Abb. 9: Eingabemaske Profilsystem

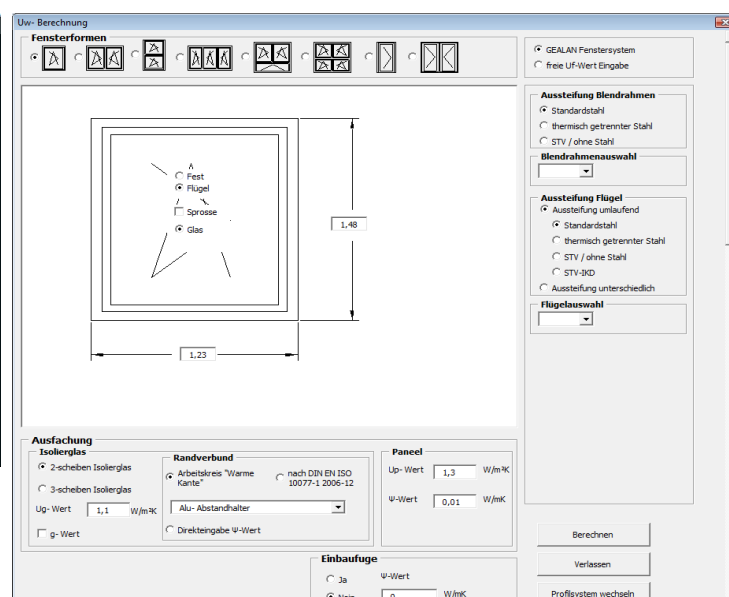


Abb. 10: Eingabemaske Kombinationsmöglichkeiten

5.2 Profilsystem S 3000

Das universelle Anschlagdichtungssystem S 3000 mit seiner geringen Bautiefe von 62 mm lässt sich leichter verarbeiten als alle folgenden Profilsysteme. Das bedeutet im Detail gleiche Stahlaussteifungen und Verputzfräser für alle Flügel und alle Blendrahmen, gleiche Bohrachsen für Pfosten- und Sprossenverbindungen sowie für die Dübelbefestigung und gleiche Ausklinkfräser für alle Pfosten und Sprossen. Durch verschiedenste Flügelausführungen (flächenversetzt, flächenbündig, halbflächen-versetzt, design-flächenbündig, 5-Kammersystem, Recyclingkern-Variante) mit schmalen Ansichtsbreiten und harmonischen Rundungen wird das Profilsystem S 3000 überwiegend bei der Herstellung filigraner Fester in Stulpausführung verwendet. Die Abb. 11 zeigt beispielhaft einen möglichen Aufbau des S 3000.



Abb. 11: Profilsystem S 3000 mit drei Kammern

Wesentliche Merkmale des Anschlagdichtungssystems werden im Folgenden aufgeführt:

- Glasleisten mit anextrudierter Dichtung zum Austausch
- dicke Glaseinheiten einsetzbar, geeignet für Schallschutz: Glasstärke bis 33mm bei flächenversetzten, bis 49mm bei flächenbündigen Flügeln
- hoch entwickelter Halbschrägfalz mit großer Wassersammelkammer, Wasserabführung durch Falzschräge, gerade Auflage für Schraubenkopf bei Rahmendübeln
- Beschlagbefestigung durch mehrere PVC-Wandungen und Stützstege

- viele Zusatzprofile für Kopplungen, Anschlüsse, Verleistungen, Statikprofile und Verbreiterungen
- Pfostenverbinder mit speziellen Verbindungsteilen
- Wahlweise Aufrüstung mit Lüftungssystem GECCO

Aus Wärmeschutzprüfungen ergeben sich Wärmedurchgangskoeffizienten für den Rahmen von $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für eine 3-Kammer-Variante und U_f -Werte von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für eine Kombination mit 5 Kammern.

In Tabelle 9 (siehe S. 42) wird ein Auszug präsentiert, in dem beispielhaft für eine 5-Kammer-Variante des Profilsystems S 3000 nacheinander einzelne Materialangaben verändert und die daraus resultierende Wirkung auf den Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters herausgestellt werden. Die orange hervorgehobenen Zellen unterstreichen die Stellen, an denen im Vergleich zur gewählten Standardausführung etwas verändert wird. Es ist sehr gut zu erkennen, wie sich ein verbesserter Randverbund, eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung anstelle einer Zweifach-Wärmeschutzverglasung oder eine Kombination aus beidem auswirken. Als weitere Möglichkeit einer besseren Wärmedämmung wird zuletzt noch thermisch getrennter Stahl verwendet. Dabei handelt es sich um miteinander vergossene Armierungsprofile aus Stahl und Kunststoff, wodurch die Wärmeleitung zwischen Rahnen und Armeirung behindert wird und die U_w -Werte nochmals sinken.

Tabelle 9: Übersicht der U_w -Werte ausgewählter Kunststofffensterkonstruktionen im Profilsystem S 3000 (hier ausschließlich 5-Kammer-Variante)

GEALAN Fenster-Systeme														
Projektname:		Standardfenster aus Profilsystem S 3000 mit 5 Kammern								Version:				
										3.2010.10.01				
										06.01.2011				
Rechnerische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern nach DIN EN ISO 10077-1: 2006-12														
Zur rechnerischen Ermittlung der Einsparung wird folgende Formel zu Grunde gelegt:														
$U_w = (A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + I_g \cdot \psi_g + I_{sp} \cdot \psi_{sp} + I_{bau} \cdot \psi_{bau}) / (A_g + A_f)$														
Dabei ist:														
U_w	Wärmedurchgangskoeffizient für das gesamte Fenster	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient												
U_g	Wärmedurchgangskoeffizient für die Verglasung	Aus dem Arbeitskreis "Warme Kante" in Zusammenarbeit mit dem ift Rosenheim												
U_f	Wärmedurchgangskoeffizient für die Rahmenteile	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient												
Rechnerische Ermittlung durch das Programm WinIso nach DIN EN ISO 10077-2														
A_g	Glasfläche	konstruktionen auf den Wärmedurchgang von Fenstern" vom ift Rosenheim												
A_f	Flächenanteil des Rahmens (Projektionsfläche)	Gesamtlänge der Bauanschlussfuge												
I_g	Gesamtlängenangabe der Verglasung	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Bauanschlussfuge												
I_{sp}	Gesamtlänge der Sprossen													
Nr.	Position	Stück	Fensterbreite [m]	Fensterhöhe [m]	Profilkombination	mittlere Uf [W/m²K]	Ug nach DIN EN 673 $\Delta T=15K$	ψ -Glasrand-Verbund	Hersteller Glasrand-Verbund	Fensterfläche [m²]	Profilfläche [m²]	Glasfläche [m²]	Länge Glasrand-Verbund [m]	Ergebnis
1	Standard	1	1,23	1,48	3002 / 3764 / 3764 / 3764	1,4	1,1	0,067	Alu- Abstandhalter	1,82	0,57	1,25	4,49	DIN EN ISO 10077-1
2	3-Scheiben WSV	1	1,23	1,48	3002 / 3764 / 3764 / 3764	1,4	0,7	0,07	Alu- Abstandhalter	1,82	0,57	1,25	4,49	1,4
3	thermisch verb. Randverbund	1	1,23	1,48	3002 / 3764 / 3764 / 3764	1,4	1,1	0,034	Swisspacer V	1,82	0,57	1,25	4,49	1,3
4	Nr. 2 & Nr. 3	1	1,23	1,48	3002 / 3764 / 3764 / 3764	1,4	0,7	0,032	Swisspacer V	1,82	0,57	1,25	4,49	1,0
5	Nr. 3 & thermisch getr. Stahl	1	1,23	1,48	3008 / 7799 / 3093 / 7799	1,4	1,1	0,034	Swisspacer V	1,82	0,59	1,23	4,46	1,3
6	Nr. 4 & thermisch getr. Stahl	1	1,23	1,48	3008 / 7799 / 3093 / 7799	1,4	0,7	0,032	Swisspacer V	1,82	0,59	1,23	4,46	0,99
7														
8														
9														
														Änderungen gegenüber dem Standard

5.3 Profilsystem S 7000 IQ

Bei dem Profilsystem S 7000 IQ handelt es sich um ein Mitteldichtungssystem mit einer Bautiefe von 74 mm, bestehend aus 5 Kammern, die die Entstehung von Wärmebrücken verhindern sollen. Zusätzlich ist der Mitteldichtungsanschlag mit Hohlkammern versehen, wodurch das Profilsystem auch im Falzbereich durchgängig 5 Kammern besitzt (siehe Abb. 12). Der geprüfte U-Wert des Profils bei herkömmlicher Stahlaussteifung beläuft sich auf $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, was wiederum eine gute Wärmedämmung zur Folge hat (siehe Tabelle 10). Weiterhin bietet das Profilsystem S 7000 IQ einen hohen Einbruchschutz, der durch ein autorisiertes Prüfinstitut getestet und mit den Widerstandsklassen WK1 bis 3 nach DIN V ENV 1627 ff. bestätigt wurde. Wie beim S 3000 sorgen schmale Flügel- und Stulpansichten für eine filigrane Optik und eine gute Lichtdurchlässigkeit.



Abb. 12: Profilsystem S 7000 IQ

Die notwendige Stabilität trotz schlanker Bauweise wird bedingt durch groß dimensionierte Aussteifungen und eine sichere Verschraubung der Beschläge im Blendrahmen. Weitere Eigenschaften sind:

- die hohe Statik
- verschweißbare einextrudierte Dichtungen
- gleiche Aussteifungen in Blendrahmen und Flügeln
- wahlweise Grundlüftung durch GECCO
- gleiches Achsmaß 13 mm, gleiche Beschläge und viele gleiche Anschlussprofile wie in den Systemen S 3000 und S 8000 IQ
- erhältlich in verschiedenen Oberflächenbeschichtungen (Farbe, Folie etc.)

In der vorstehenden Tabelle 10 sind erneut die Auswirkungen von Dreifach-Wärmeschutzgläsern, thermisch verbessertem Randverbund (Swisspacer V) und thermisch getrenntem Stahl bei Profilen des Typs S 7000 IQ dargestellt. Außerdem wird die Wirkung einer zusätzlichen Kammer im Blendrahmen aufgezeigt.

5.4 Vertieftes Profilsystem S 7000 IQ plus

Um die Forderung der Energieeinsparverordnung nach einer Verbesserung der Wärmedämmung von Gebäuden auch in Zukunft erfüllen zu können, werden breitere Profile benötigt. Das vertiefte Profilsystem S 7000 IQ plus ist mit einer Profilhöhe von 83 mm dafür ausgelegt, Dreifach-Funktionsgläser bis 54 mm Dicke aufzunehmen. Es ist wie das einfache S 7000 IQ ein Mitteldichtungssystem, allerdings mit 6 Kammern (siehe Abb. 13), wodurch sich der U_f -Wert nochmal deutlich auf $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verringert. Das bedeutet, dass Heizkosten und CO_2 -Emissionen nochmals deutlich reduziert werden und das Schallschutzvermögen sich erhöht. Ein weiterer Vorteil der hohen Bautiefe ist eine erhöhte Eckfestigkeit der Fenster. Zudem sorgen große Stahlaussteifungen für Profilstabilität und stabile Beschlagsverschraubungen verbessern die einbruchhemmende Wirkung. Durch die Kompatibilität der Blendrahmen dieses Systems mit den Flügeln des S 7000 IQ sind in der Produktion der Verarbeiter keine zusätzlichen Bearbeitungswerkzeuge nötig, ein optimierter Fertigungsprozess wird gewährleistet.



Abb. 13: Vertieftes Profilsystem S 7000 IQ plus

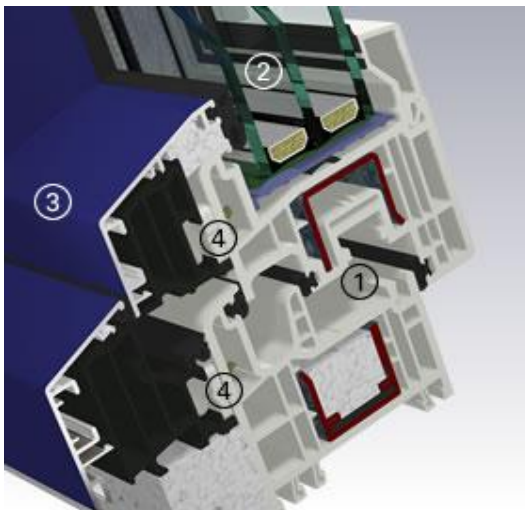
Tabelle 11: Übersicht der U_w -Werte ausgewählter Kunststofffensterkonstruktionen im Profilsystem S 7000 IQ plus

<h2 style="text-align: left; margin: 0;">GEALAN Fenster-Systeme</h2>																	
Projektname: Standardfenster aus Profilsystem S 7000 IQ plus								Version: 3.2010.10.01 06.01.2011									
Rechnerische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern nach DIN EN ISO 10077-1: 2006-12																	
Zur rechnerischen Ermittlung der Einsparung wird folgende Formel zu Grunde gelegt:																	
Dabei ist:																	
$U_w = (A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_{sp} \cdot \psi_g + l_{sp} \cdot \psi_{sp} + l_{bau} \cdot \psi_{bau}) / (A_g + A_f)$																	
U_w	Wärmedurchgangskoeffizient für das gesamte Fenster								längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient								
U_g	Wärmedurchgangskoeffizient für die Verglasung								Aus dem Arbeitskreis "Wärme Kante" in Zusammenarbeit mit dem ift Rosenheim								
U_f	Wärmedurchgangskoeffizient für die Rahmentelle								längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient								
Rechnerische Ermittlung durch das Programm WinIso nach DIN EN ISO 10077-2																	
A_g	Glasfläche								konstruktionen auf den Wärmedurchgang von Fenstern" vom ift Rosenheim								
A_f	Flächenanteil des Rahmens (Projektionsfläche)								Gesamtlänge der Bauanschlussfuge								
l	Gesamtlängänge der Verglasung								längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Bauanschlussfuge								
l_{sp}	Gesamtlänge der Sprossen																
Nr.	Position	Stück	Fensterbreite [m]	Fensterhöhe [m]	Profilkombination		Ausfuchung				Geometriedaten				Ergebnis		
					Blendrahmen	Flügel / Stahl	mittlerer Uf [W/m²K]	Ug [W/m²K] nach DIN EN 673 $\Delta T=15K$	ψ-Glstrand	ψ-Glstrand	ψ-Glstrand	ψ-Glstrand	ψ-Glstrand	ψ-Glstrand		ψ-Glstrand	ψ-Glstrand
1	Standard	1	1,23	1,48	5010 / 7726	5007 / 7715	1,0	1,1	0,067	0,067	Alu-Abstandhalter	1,82	0,60	1,22	4,44	1,2	
2	Dreifach-WSV	1	1,23	1,48	5010 / 7726	5007 / 7715	1,0	0,7	0,07	0,07	Alu-Abstandhalter	1,82	0,60	1,22	4,44	0,97	
3	verbessertes Randverbund	1	1,23	1,48	5010 / 7726	5007 / 7715	1,0	1,1	0,034	0,034	Swisspacer V	1,82	0,60	1,22	4,44	1,2	
4	Nr. 2 & Nr. 3	1	1,23	1,48	5010 / 7726	5007 / 7715	1,0	0,7	0,032	0,032	Swisspacer V	1,82	0,60	1,22	4,44	0,88	
5	Nr. 3 & therm. getr. Stahl	1	1,23	1,48	5010 / 7798	5007 / 7799	0,97	1,1	0,034	0,034	Swisspacer V	1,82	0,60	1,22	4,44	1,1	
6	Nr. 4 & therm. getr. Stahl	1	1,23	1,48	5010 / 7798	5007 / 7799	0,97	0,7	0,032	0,032	Swisspacer V	1,82	0,60	1,22	4,44	0,87	
7	ψ nach DIN EN ISO 10077-1	1	1,23	1,48	5010 / 7726	5007 / 7715	1,0	1,1	0,08	0,08	Alu+St., Glas niedr. E	1,82	0,60	1,22	4,44	1,3	
8	Nr. 2 & Nr. 7	1	1,23	1,48	5010 / 7726	5007 / 7715	1,0	0,7	0,08	0,08	Alu+St., Glas niedr. E	1,82	0,60	1,22	4,44	0,99	
9																	Änderungen gegenüber dem Standard

Wie bereits in den Tabellen 9 und 10 vorgestellt, sind beim 6-Kammer-Profilsystem S 7000 IQ plus ähnliche Änderungen möglich. Die Tabelle 11 stellt wesentliche Unterschiede heraus. Unter Nr. 7 und 8 in der Tabelle wird ein Beispiel für die Berechnung des Ψ -Wertes nach DIN EN ISO 10077-1 gegeben anstelle der thermisch verbesserten Abstandhalter des Arbeitskreises „Warme Kante“.

5.5 Profilsystem S 7000 IQ Passivhaus

Die Tendenz vom Standard- über das Niedrigenergiehaus hin zum Passivhaus in Deutschland und Westeuropa erhöht die Anforderungen an Fenster erheblich. Mit dem Profilsystem S 7000 IQ Passivhaus und dabei speziell durch eine Vorsatzschale können die Forderungen des Passivhaus-Standards nach einem U_w -Wert von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfüllt werden. Die Blendrahmen bestehen aus hoch wärmedämmenden Trägerprofilen und thermisch getrenntem Stahl, während im Flügel Standard-Stahl für eine entsprechende Stabilität sorgt. Weiterhin wird eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung (4/16/4/16/4) verwendet. Vier umlaufende Dichtungsebenen (siehe Abb. 14) sorgen für eine nochmals verbesserte Luft- und Schlagregendichtheit.



1. System S 7000 IQ (7011/5007)
mit thermisch getrenntem Stahl
2. Hochisolierendes Dreischeiben-Glas
3. Alu-Außenschale, pulverbeschichtet
4. Aufgeklippte Kunststoff-Trägerprofile

Abb. 14: Profilsystem S 7000 IQ Passivhaus

Die Zubehörteile des Profilsystems S 7000 IQ können mit dem Passivhausfenster kombiniert werden. Es sind ebenso Pfosten- und Stulplosungen über das normale Fenster hinaus möglich und aufgrund der beschichteten Außenschale kann aus einer umfangreichen Farbpalette gewählt werden.

5.6 Profilsystem S 8000 IQ

Bei dem Profilsystem S 8000 IQ handelt es sich um ein Anschlagdichtungssystem mit einer Bautiefe von 74 mm. Hauptmerkmale dieses Systems sind Wirtschaftlichkeit und Materialoptimierung zur Schonung von Ressourcen und Umwelt. Es wird in drei verschiedenen Kammersystemen gefertigt. Dabei ist die Schall- und Wärmedämmung bei einem S 8000 IQ mit 7 Kammern höher als bei gleichem Profilsystem mit nur 4, 5 oder 6 Kammern (siehe Abb. 15-17). Das S 8000 IQ zeichnet sich durch eine große Hauptkammer für die Aufnahme der Stahlaussteifungen aus, was wiederum eine hohe Stabilität im Blendrahmen und im Flügel bewirkt. Zudem kann bei dem 5- und dem 6 Kammersystem des S 8000 IQ zwischen flächenversetzter Ausführung mit zweifach abgeschrägter Glasleiste oder halbflächenversetzter Ausführung mit runder Glasleiste gewählt werden.

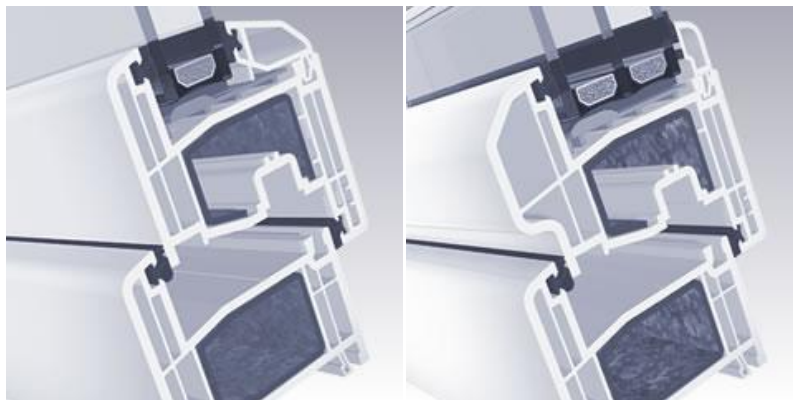


Abb. 15: Profilsystem S 8000 IQ mit 5 Kammern; links: Zweifach-Wärmeschutzverglasung und flächenversetzte Ausführung mit zweifach abgeschrägter Glasleiste; rechts: Dreifach-Wärmeschutzverglasung und halbflächenversetzte Ausführung mit runder Glasleiste

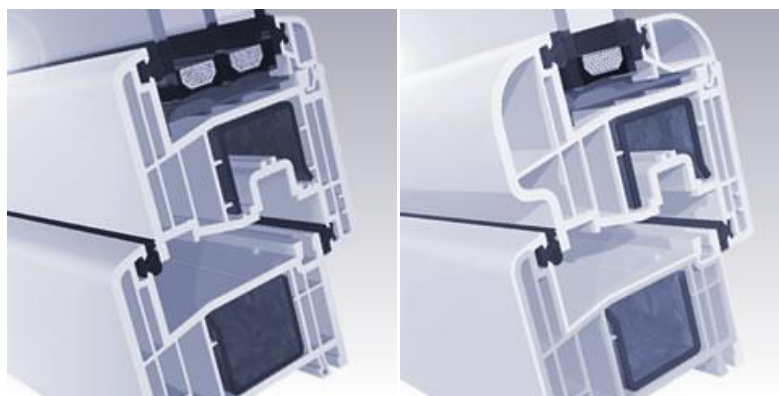


Abb. 16: Profilsystem S 8000 IQ mit 6 Kammern; links: Dreifach-Wärmeschutzverglasung und flächenversetzte Ausführung mit zweifach abgeschrägter Glasleiste; rechts: Zweifach-Wärmeschutzverglasung und halbflächenversetzte Ausführung mit runder Glasleiste



Abb. 17: Profilsystem S 8000 IQ mit 7 Kammern; Zweifach-Wärmeschutzverglasung und flächenversetzte Ausführung mit zweifach abgeschrägter Glasleiste

In der folgenden Übersicht (Tabelle 13) werden zunächst die verschiedenen Kammertypen des Profilsystems S 8000 IQ unterschieden. Ausgehend vom jeweiligen definierten Standard werden nacheinander die Verglasung und anschließend der Randverbund verbessert und die damit verbundenen Änderungen des U_w -Wertes festgehalten. Einzig und allein bei einem 6-Kammersystem des S 8000 IQ ist eine Verwendung von thermisch getrenntem Stahl möglich. Die Ergebnisse sind ebenfalls in der Tabelle 13 dargestellt.

Zu beachten ist, dass eine Erhöhung der Kammeranzahl nicht gleichzusetzen ist mit einem besseren Wärmeschutz. So hat ein 7-Kammer-Profil beispielsweise einen etwas schlechteren U_w -Wert als ein Profil mit 5 oder 6 Kammern. Diese Eigenschaft wird bedingt durch eine stärkere Stahleinlage, die sich negativ auf den Wärmedurchgangskoeffizienten der Rahmen und somit auf den des gesamten Fensters auswirkt.

Tabelle 13: Übersicht der U_w -Werte ausgewählter Kunststofffensterkonstruktionen im Profilsystem S 8000 IQ mit unterschiedlicher Kammeranzahl im Profil

GEALAN Fenster-Systeme														
Projektname:		Standardfenster aus Profilsystem S 8000 IQ												
Version:		3.2010.10.01												
		06.01.2011												
Rechnerische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern nach DIN EN ISO 10077-1: 2006-12														
Zur rechnerischen Ermittlung der Einsparung wird folgende Formel zu Grunde gelegt:														
Dabei ist:														
U_w	Wärmedurchgangskoeffizient für das gesamte Fenster	$U_w = (A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + _{sp} \cdot \psi_{sp} + _{bau} \cdot \psi_{bau}) / (A_g + A_f)$												
U_g	Wärmedurchgangskoeffizient für die Verglasung	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient												
U_f	Wärmedurchgangskoeffizient für die Rahmenteile	Aus dem Arbeitskreis "Warme Kante" in Zusammenarbeit mit dem ift Rosenheim												
A_g	Glasfläche	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient												
A_f	Flächenanteil des Rahmens (Projektionsfläche)	Aus dem Forschungsprojekt "Einfluss von unterschiedlichen Sprossenkonstruktionen auf den Wärmedurchgang von Fenstern" vom ift Rosenheim												
$ _{sp}$	Gesamtumfanglänge der Verglasung	Gesamtlänge der Bauanschlussfuge												
$ _{bau}$	Gesamtumfanglänge der Sprossen	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Bauanschlussfuge												
Nr.	Position	Stück	Fensterbreite [m]	Fensterhöhe [m]	Blendrahmen / Stahl	Profilkombination	mittlerer Uf [W/m ² K]	Ug [W/m ² K] nach DIN EN 673 $\Delta T=15K$	Ausfachung	Fensterfläche [m ²]	Profilfläche [m ²]	Glasfläche [m ²]	Verband-Glasrand-Verband [m]	Ergebnis
1	4 Kam. Standard	1	1,23	1,48	8008 / 8753	8072 / 8724	1,6	1,1	0,067	1,82	0,54	1,28	4,56	1,4
2	4 Kam. mit 3-Scheiben-WSV	1	1,23	1,48	8008 / 8753	8072 / 8724	1,6	0,7	0,07	1,82	0,54	1,28	4,56	1,1
3	4 Kam. mit Nr. 2 & th. verb. RV	1	1,23	1,48	8008 / 8753	8072 / 8724	1,6	0,7	0,032	1,82	0,54	1,28	4,56	1,0
4	5 Kam. Standard	1	1,23	1,48	8006 / 8757	8092 / 8757	1,2	1,1	0,067	1,82	0,57	1,25	4,49	1,3
5	5 Kam. mit 3-Scheiben-WSV	1	1,23	1,48	8006 / 8757	8092 / 8757	1,2	0,7	0,07	1,82	0,57	1,25	4,49	1,0
6	5 Kam. mit Nr. 5 & th. verb. RV	1	1,23	1,48	8006 / 8757	8092 / 8757	1,2	0,7	0,032	1,82	0,57	1,25	4,49	0,94
7	6 Kam. Standard	1	1,23	1,48	8001 / 8716	5008 / 8757	1,2	1,1	0,067	1,82	0,57	1,25	4,49	1,3
8	6 Kam. mit 3-Scheiben-WSV	1	1,23	1,48	8001 / 8716	5008 / 8757	1,2	0,7	0,07	1,82	0,57	1,25	4,49	1,0
9	6 Kam. mit Nr. 8 & th. verb. RV	1	1,23	1,48	8001 / 8716	5008 / 8757	1,2	0,7	0,032	1,82	0,57	1,25	4,49	0,94
10	6 Kam. mit th. Verbesserung	1	1,23	1,48	8003 / 7799	8094 / 7799	1,1	1,1	0,034	1,82	0,57	1,25	4,49	1,2
11	6 Kam. mit Nr. 9 & th. getr. Stahl	1	1,23	1,48	8003 / 7799	8094 / 7799	1,1	0,7	0,032	1,82	0,57	1,25	4,49	0,92
12	7 Kam. Standard	1	1,23	1,48	8005 / 8716	8090 / 8716	1,3	1,1	0,067	1,82	0,57	1,25	4,49	1,3
13	7 Kam. mit 3-Scheiben-WSV	1	1,23	1,48	8005 / 8716	8090 / 8716	1,3	0,7	0,07	1,82	0,57	1,25	4,49	1,1
14	7 Kam. mit Nr. 11 & th. verb. RV	1	1,23	1,48	8005 / 8716	8090 / 8716	1,3	0,7	0,032	1,82	0,57	1,25	4,49	0,97
													Änderungen gegenüber dem Standard	

5.7 Vertieftes Profilsystem S 8000 IQ plus

Das System S 8000 IQ plus ähnelt dem Profilsystem S 7000 IQ plus, die Eigenschaften sind größtenteils identisch. Es ist sozusagen ein erweitertes Profilsystem des unter 5.6 beschriebenen S 8000 IQ bei einer Bautiefe von 83 mm und einer 6-Kammer-Variante (siehe Abb. 18). Diese Kombination erreicht einen Wärmedämmkoeffizienten des Rahmens von $U_f=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und hat somit eine sehr gute schall- und wärmedämmende Wirkung. Letztere wiederum wird ausschließlich durch die im Vergleich zum S 8000 IQ größere Profiltiefe erzielt, wodurch Schallwellen einen längeren Weg zurücklegen müssen und somit nochmals abgeschwächt werden.

Auch hier ist eine hohe Kompatibilität der Anschlagdichtungssysteme S 8000 IQ plus und S 8000 IQ ein wichtiges Kriterium für einen optimalen Fertigungsprozess, d.h. es werden keine zusätzlichen Bearbeitungswerkzeuge bei gleichzeitiger Produktion unterschiedlicher Bautiefen benötigt. Dank vielfältiger Zusatzprofile können alle Anforderungen an den modernen Fensterbau erfüllt werden.



Abb. 18: Profilsystem S 8000 IQ plus

Wie bereits bei den vorhergegangenen Profilsystem ist auch hier im Anschluss eine Übersicht aufgestellt, die zeigt welche Änderungen zur Verbesserung des Wärmeschutzes eines Fensters vorgenommen werden können und was sie bewirken. Der Rahmen besteht grundsätzlich aus 6 Kammern und wird nacheinander durch eine Dreifach-Verglasung, einen thermisch verbesserten Randverbund und zuletzt durch thermisch getrennten Stahl erweitert. Da der Flügel auch 7 Kammern besitzen kann, sind dafür ebenfalls U_w -Werte berechnet.

Der einzige Vorteil der 7-Kammer-Bauart ist die zusätzlich gewonnene Profiltiefe und die damit verbundene verbesserte Stabilität durch stärkere Stahleinlagen. Die Erweiterung zieht in Bezug auf den Wärmeschutz keine Verbesserung nach sich, sondern bewirkt eher eine Verschlechterung der U-Werte (siehe dazu Tabelle 14).

Tabelle 14: Übersicht der U_w-Werte ausgewählter Kunststofffensterkonstruktionen im Profilsystem S 8000 IQ plus mit unterschiedlicher Kammeranzahl im Flügelprofil

GEALAN Fenster-Systeme															
Projektname:		Standardfenster aus Profilsystem S 8000 IQ plus													
Version:		3.2010.10.01													
Version:		06.01.2011													
Rechnerische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern nach DIN EN ISO 10077-1: 2006-12															
Zur rechnerischen Ermittlung der Einsparung wird folgende Formel zu Grunde gelegt:															
Dabei ist:															
U _w	Wärmedurchgangskoeffizient für das gesamte Fenster	$U_w = (A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g + l_{sp} \cdot \psi_{sp} + l_{su} \cdot \psi_{su}) / (A_g + A_f)$													
ψ _g	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient													
U _g	Wärmedurchgangskoeffizient für die Verglasung	Aus dem Arbeitskreis "Warme Kante" in Zusammenarbeit mit dem ift Rosenheim													
U _f	Wärmedurchgangskoeffizient für die Rahmenteile	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient													
Rechnerische Ermittlung durch das Programm Winiso nach DIN EN ISO 10077-2															
A _g	Glasfläche	konstruktionen auf den Wärmedurchgang von Fenstern" vom ift Rosenheim													
A _f	Flächenteil des Rahmens (Projektionsfläche)	Gesamtlänge der Bauanschlussfuge													
l _g	Gesamtumfangslänge der Verglasung	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Bauanschlussfuge													
l _{sp}	Gesamtlänge der Sprossen														
Nr.	Position	Stück	Fensterbreite [m]	Fensterhöhe [m]	Profilkombination	mittlerer Uf [W/m²K]	Ug [W/m²K] nach DIN EN 673 ΔT=15K	Ausfachung	Hersteller	Verbund	Fensterfläche [m²]	Profiltiefe [m]	Glasfläche [m²]	Länge Glasrand-Verbund [m]	Ergebnis
1	Standard	1	1,23	1,48	5001 / 8716 / 5008 / 8757	1,2	1,1	0,067	Alu-Abstandhalter	Alu-Abstandhalter	1,82	0,57	1,25	4,49	1,3
2	3-Scheiben-WSV	1	1,23	1,48	5001 / 8716 / 5008 / 8757	1,2	0,7	0,07	Alu-Abstandhalter	Alu-Abstandhalter	1,82	0,57	1,25	4,49	1,0
3	Nr. 2 & th. verb. Randverbund	1	1,23	1,48	5001 / 8716 / 5008 / 8757	1,2	0,7	0,032	Swisspacer V	Swisspacer V	1,82	0,57	1,25	4,49	0,94
4	Nr.3 & therm. getr. Stahl	1	1,23	1,48	5003 / 7799 / 8094 / 7799	1,1	0,7	0,032	Swisspacer V	Swisspacer V	1,82	0,57	1,25	4,49	0,91
5	Nr. 1 & Flügel mit 7 Kammern	1	1,23	1,48	5001 / 8716 / 8090 / 8716	1,3	1,1	0,067	Alu-Abstandhalter	Alu-Abstandhalter	1,82	0,57	1,25	4,49	1,3
6	Nr. 2 & Flügel mit 7 Kammern	1	1,23	1,48	5001 / 8716 / 8090 / 8716	1,3	0,7	0,07	Alu-Abstandhalter	Alu-Abstandhalter	1,82	0,57	1,25	4,49	1,1
7	Nr. 3 & Flügel mit 7 Kammern	1	1,23	1,48	5001 / 8716 / 8090 / 8716	1,3	0,7	0,032	Swisspacer V	Swisspacer V	1,82	0,57	1,25	4,49	0,96
8															
9															
														Änderungen gegenüber dem Standard	

5.8 Intensiv-Kern-Dämmung (IKD) und Statische Trockenverglasung (STV)

Planungen der Systemgeber zielen bei Fensterprofilen auf immer niedrigere U_f -Werte ab. Das Problem stellt dabei die Stahlaussteifung dar, die einerseits die notwendige Stabilität verleiht, andererseits aber auch die Wärmedurchgangskoeffizienten der Rahmen negativ beeinflusst.

Ein interessanter Lösungsansatz, der sich mittlerweile bereits auf dem Weg der Markteinführung befindet, ist das Ausschäumen der Profile anstelle der Stahleinlagen. Dazu wurde ein spezieller, verschweißbarer Schaum entwickelt, der durch Druck und nicht über Oberflächenhaftung im Profil gehalten wird. Demnach entstehen dem Fensterbaubetrieb keine Zusatzkosten für aufwändige Technik und auch das Recycling der Rahmen verläuft ohne Schwierigkeiten, da der Schaum beim Zersägen im Recyclingbetrieb einfach heraus fällt.

Die Intensiv-Kern-Dämmung (IKD) allein genügt allerdings nicht, um die Anforderungen an die Stabilität der Systeme zu erfüllen. Zudem müssen das Glas und der Flügelüberschlag mit einem speziellen Hochleistungsband vollflächig verklebt werden. Dieses wird bei der Profilextrusion auf die Profilstangen aufgebracht – Prinzip der Statischen Trockenverglasung (STV). Dadurch ist eine Stahlaussteifung nicht mehr vollumfänglich notwendig, die frei werdende Profilhauptkammer steht nun für eine Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften zur Verfügung (siehe Abb. 19).

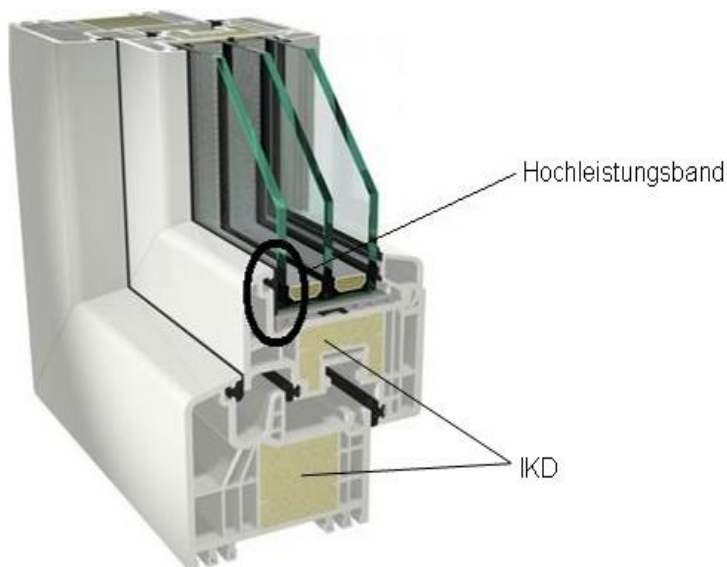


Abb. 19: Profilsystem S 7000 IQ plus mit IKD und STV

Das Ausschäumen ohne jegliche zusätzliche Stahlaussteifung ist eine Variante und führt zu Kosteneinsparungen beim Stahl und folglich zu leichteren Elementen und einer schnelleren Verarbeitung. Eine zweite Möglichkeit ist eine Kombination aus Schaum und Stahleinlage, wodurch größere Elemente gebaut werden können. So kann eine maximale Flügelhöhe von 2,5 m erreicht werden im Gegensatz zu 2,3 m ohne herkömmliche Stahlaussteifung.

Im März 2010 wurde der für das Profilsystem S 7000 IQ plus mit einer Kombination aus IKD und STV errechnete U_f -Wert von $0,78 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ durch das Institut für Fenstertechnik in Rosenheim bestätigt. Das entspricht sogar den Anforderungen eines Passivhauses. Der Wert ist wiederum noch nicht ausgereizt und kann mit einer entsprechenden Verglasung und thermisch verbessertem Randverbund noch weiter verringert werden.

Als positiver Nebeneffekt ist ein erhöhter Einbruchschutz solcher Elemente zu verzeichnen. Das vollflächige Verkleben von Glasscheibe und Flügelüberschlag erschwert zusätzlich ein mögliches Aufhebeln.

Zunächst waren es nur die Flügel, die ausgeschäumt wurden. Mit Beginn des Jahres 2011 hat *GEALAN* die ersten ausgeschäumten Blendrahmenverbreiterungen auf den Markt gebracht, und folglich werden sich zukünftig auch IKD-Blendrahmen etablieren, wie in Abb. 19 bereits dargestellt. Dreißig bis vierzig Prozent bessere U_f -Werte gegenüber Profilen mit Stahleinlagen sind mit Intensiv-Kern-Dämmung erreichbar.

Aus Tabelle 15 (siehe S. 56) wird die Wirkung der Statischen Trockenverglasung anhand des Profilsystems S 7000 IQ plus ersichtlich. Der U_w -Wert-Rechner von *GEALAN* lässt die Möglichkeit der Intensiv-Kern-Dämmung vorerst ausschließlich im Flügel zu. Daher ist in der Übersicht auch nur eine Variante mit IKD dargestellt. Trotzdem wird deutlich, dass sich der U-Wert des Rahmens trotz höheren Rahmenanteils verbessert. Damit sinkt folglich der Wärmedurchgangskoeffizient des gesamten Bauteils.

Tabelle 15: Übersicht der U_w -Werte ausgewählter Kunststofffensterkonstruktionen im Profilsystem S 7000 IQ plus mit STV und ohne Stahlaussteifung, wahlweise IKD im Flügel

GEALAN Fenster-Systeme															
Projektname:		Standardfenster aus Profilsystem S 7000 IQ plus mit IKD und STV													
Version:		3.2010.10.01													
Version:		06.01.2011													
Rechnerische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern nach DIN EN ISO 10077-1: 2006-12															
Zur rechnerischen Ermittlung der Einsparung wird folgende Formel zu Grunde gelegt:															
Dabei ist:															
U_w	Wärmedurchgangskoeffizient für das gesamte Fenster	$U_w = (A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g + l_{sp} \cdot \psi_{sp} + l_{bau} \cdot \psi_{bau}) / (A_g + A_f)$													
U_g	Wärmedurchgangskoeffizient für die Verglasung	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient													
U_f	Wärmedurchgangskoeffizient für die Rahmenteile	Aus dem Arbeitskreis "Warme Kante" in Zusammenarbeit mit dem ift Rosenheim													
U_{sp}	Wärmedurchgangskoeffizient für die Sprossen	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient													
Rechnerische Ermittlung durch das Programm Winiso nach DIN EN ISO 10077-2															
A_g	Glasfläche	konstruktionen auf den Wärmedurchgang von Fenstern" vom ift Rosenheim													
A_f	Flächenanteil des Rahmens (Projektionsfläche)	Gesamtlänge der Bauanschlussfuge													
l_g	Gesamtlängenangabe der Verglasung	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Bauanschlussfuge													
l_{sp}	Gesamtlänge der Sprossen														
Nr.	Position	Stück	Fensterbreite [m]	Fensterhöhe [m]	Profilkombination	mittlerer Uf [W/m²K]	Ug nach DIN EN 673 $\Delta T=15K$	% Glaseinstand-verbund	Ausfachung	Hersteller Glaseinstand-verbund	Fensterfläche [m²]	Profilfläche [m²]	Glasfläche [m²]	Länge Glaseinstand-verbund [m]	Ergebnis
1	Standard	1	1,23	1,48	5010 / ohne / Stahl	1,0	1,1	0,067	Alu- Abstandhalter	Alu- Abstandhalter	1,82	0,60	1,22	4,44	DIN EN ISO 10077-1
2	3-Scheiben-WSV	1	1,23	1,48	5010 / ohne / Stahl	1,0	0,7	0,07	Alu- Abstandhalter	Alu- Abstandhalter	1,82	0,60	1,22	4,44	1,2
3	Nr. 2 & th. verb. Randverbund	1	1,23	1,48	5010 / ohne / Stahl	1,0	0,7	0,032	Swisspacer V	Swisspacer V	1,82	0,60	1,22	4,44	0,97
4	Nr. 3 & anderer Flügel mit IKD	1	1,23	1,48	5010 / ohne / Stahl	0,95	0,7	0,032	Swisspacer V	Swisspacer V	1,82	0,70	1,12	4,26	0,88
5															0,87
6															
7															
8															
9															Änderungen gegenüber dem Standard

5.9 Zusammenstellung und Auswertung der Ergebnisse

Tabelle 16: Zusammenstellung der besten Ergebnisse der einzelnen Profilsysteme der Fa. GEALAN aus den vorangegangenen Untersuchungen

<h2 style="text-align: left; margin: 0;">GEALAN Fenster-Systeme</h2>															
Projektname:		Zusammenstellung d. besten Ergebnisse d. einzelnen Profilsysteme								Version:					
										3.2010.10.01					
										06.01.2011					
<h3 style="text-align: left; margin: 0;">Rechnerische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern nach DIN EN ISO 10077-1: 2006-12</h3>															
Zur rechnerischen Ermittlung der Einsparung wird folgende Formel zu Grunde gelegt:															
Dabei ist:															
U_w	Wärmedurchgangskoeffizient für das gesamte Fenster		längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient												
U_g	Wärmedurchgangskoeffizient für die Verglasung		Aus dem Arbeitskreis "Warme Kante" in Zusammenarbeit mit dem ift Rosenheim												
U_f	Wärmedurchgangskoeffizient für die Rahmenteile		längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient												
Rechnerische Ermittlung durch das Programm WinIso nach DIN EN ISO 10077-2															
A_g	Glasfläche		konstruktionen auf den Wärmedurchgang von Fenstern" vom ift Rosenheim												
A_f	Flächenanteil des Rahmens (Projektionsfläche)		Gesamtlänge der Bauanschlussfuge												
l	Gesamtlängenangabe der Verglasung		längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Bauanschlussfuge												
l_{sp}	Gesamtlänge der Sprossen														
Nr.	Position	Stück	Fensterbreite [m]	Fensterhöhe [m]	Blendrahmen / Stahl	Profilkombination	mittlerer Uf [W/m²K]	Ug nach DIN EN 673 $\Delta T=15K$	φ-Glastand-verbund	Hersteller verbund	Fensterfläche [m²]	Profilfläche [m²]	Glastfläche [m²]	Länge Glasrand-verbund [m]	Ergebnis
6	S 3000	1	1,23	1,48	3008 / 7799	3093 / 7799	1,4	0,7	0,032	Swisspacer V	1,82	0,59	1,23	4,46	DIN EN ISO 10077-1 0,99
8	S 7000 IQ	1	1,23	1,48	7008 / 7799	5007 / 7799	0,99	0,7	0,032	Swisspacer V	1,82	0,57	1,25	4,50	0,87
1	S 7000 IQ Passivhaus	1	1,23	1,48	7008 / 7799	5007 / 7715	0,79	0,7	0,028	Swisspacer V	1,82	0,63	1,19	4,39	0,80
6	S 7000 IQ plus	1	1,23	1,48	5010 / 7798	5007 / 7799	0,97	0,7	0,032	Swisspacer V	1,82	0,60	1,22	4,44	0,87
4	S 7000 IQ plus mit IKD & STV	1	1,23	1,48	5010 / ohne	7081 / IKD	0,95	0,7	0,032	Swisspacer V	1,82	0,70	1,12	4,26	0,87
11	S 8000 IQ	1	1,23	1,48	8003 / 7799	8094 / 7799	1,1	0,7	0,032	Swisspacer V	1,82	0,57	1,25	4,49	0,92
4	S 8000 IQ plus	1	1,23	1,48	5003 / 7799	8094 / 7799	1,1	0,7	0,032	Swisspacer V	1,82	0,57	1,25	4,49	0,91
8															
9															

In der vorangegangenen Übersicht (Tabelle 16) sind die Zeilen aus den Tabellen 9 bis 15 zusammengestellt, die bei der Berechnung in den einzelnen Profilsystemen den kleinsten und somit günstigsten U_w -Wert ergaben.

Deutlich wird, dass alle Fenster-U-Werte bei einer Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung ($U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) erzielt wurden. Das spiegelt die verbesserte Wärmedämmwirkung dieser Verglasung gegenüber einer Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung wieder. Dieselbe Aussage lässt sich über die Abstandhalter treffen, da auch dort bei allen Profilsystemen als Hersteller „Swisspacer V“ angegeben ist.

Die U_w -Werte nach DIN EN ISO 10077-1 liegen bis auf zwei Ausnahmen alle im Bereich um $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Das wiederum lässt die Aussage zu, dass neben der Anzahl der Kammern in den Profilen und somit der unterschiedlichen Profiltiefe vor allem die thermische Trennung von Stahl und Kunststoff eine Verbesserung aufgrund geringerer Wärmeleitung bewirkt. So können weniger tiefe Profile mit thermisch getrennten Stahleinlagen ebenso günstige U-Werte erreichen wie tiefere Profile ohne thermische Trennung.

Der im Vergleich relativ hohe U_w -Wert von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ beim Profilsystem S 3000 lässt sich einzig und allein mit der geringen Profiltiefe von 62 Millimetern begründen, während der günstige Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters beim S 7000 IQ Passivhaus ($0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) auf den, mit einer pulverbeschichteten Vorsatzschale aus Aluminium ($U_f = 0,79 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) versehenen, Rahmen zurückzuführen ist.

Abschließend muss noch gesagt werden, dass - neben allen genannten Gründen - für die Wahl des Rahmensystems in erster Linie die subjektive Meinung und die Wünsche des Bauherrn entscheidend sind. Möchte dieser ein bestimmtes System z.B. aus Erfahrungs- oder Kostengründen vorrangig, oder benötigt er Profile mit großer Stahleinlage aufgrund notwendiger Stabilität (hohe Fenster, Einbruchhemmung), bzw. stellt er sich die Frage wieviel Rahmenanteil (Breite des Rahmens, Rahmenüberdeckung mit Dämmung) er in seiner Gebäudeansicht haben möchte, oder auch die Frage nach weiteren Anforderungen wie Schallschutz und entsprechenden Verglasungen usw. – all diese Dinge müssen bei der Planung berücksichtigt werden.

7. Das Fenster in der Gebäudehülle [35]

Um die unter Punkt 3 und 4 dieser Arbeit genannten Anforderungen zu erfüllen, ist eine Planung des Fenstereinbaus in drei Stufen anzustreben.

Als erstes muss die Entscheidung nach der Lage des Fensters im Wandquerschnitt gefällt werden. Üblicherweise sollten Fenster in der Dämmebene der Außenwand liegen, um den direkten Anschluss an die Dämmung zu gewährleisten. Dabei verringert sich der Einbau-Wärmebrückenverlustkoeffizient mit zunehmendem Abstand der Einbaulage des Fensters von der Außenkante. Untersuchungen haben gezeigt, dass die energetischen Unterschiede gering sind, solange das Fenster innerhalb der Dämmebene angeordnet ist. Monolithische Wände aus Mauersteinen mit geringer Wärmeleitfähigkeit (z.B. Protonstein mit $\lambda = 0,08 \text{ W/(mK)}$) garantieren Tauwasserfreiheit am Übergang von Rahmen zu Leibung bei jeder Einbaulage. Bei Passivhäusern ist der äußere Fenstereinbau aufgrund anschließender Überdämmung in WDVS-Bauweise Standard, d.h. das Fenster wird direkt vor der Außenwand in die Dämmung integriert. Durch die Überdämmung wird der Blendrahmen seitlich und oben verdeckt, während er unten aus entwässerungstechnischen Gründen und bei Pfosten oder Stoßprofilen sichtbar bleibt. Dies führt zu unterschiedlichen Ansichtsbreiten der Rahmen und kann für den Bauherrn eine wichtige Rolle spielen.

Die zweite Stufe des Fenstereinbaus stellt die Befestigung dar. Diese soll das Fenster in seiner Lage halten und für die sichere Ableitung aller planmäßig einwirkenden Kräfte in den Baukörper sorgen. Horizontalkräfte wie z.B. Wind werden von Dübeln, Laschen, Winkeln und Ankern aufgenommen und weitergeleitet, während senkrechte Einwirkungen wie Lasten von oben über Tragklötze abgeleitet werden. Außerdem müssen Längenausdehnungen in beiden Richtungen kompensiert werden.

Der dritte Punkt bezieht sich auf die Abdichtung nach innen und außen. Dabei wird zwischen drei Funktionsebenen unterschieden [36]. Ebene eins trennt das Raum- vom Außenklima. Sie wirkt als Dampfbremse und Windsperre, darf keine Unterbrechungen aufweisen und die Temperatur im Innenraum muss oberhalb der Taupunkttemperatur der Raumluft liegen. Ebene zwei ist für den Wärme- und Schallschutz verantwortlich. Hierfür werden Materialien wie Faserdämmstoffe, Schäume oder andere spezielle Füllmaterialien verwendet. Schaum stellt hier

bezüglich Um-/Rückbau und Recycling eine ungünstige Lösung dar. Wetterschutz ist die Aufgabe der dritten Ebene. Als Werkstoffe für die Ebenen eins und drei kommen Dichtstoffe, -bänder oder -profile sowie Fugenbänder und Bauabdichtungsbahnen zum Einsatz. Das Institut für Fenstertechnik Rosenheim hat unter Berücksichtigung von Rollladenkästen, Fensterbänken, Lüftungsöffnungen und Sonnenschutzanlagen eine vereinfachte Übersicht der verschiedenen Anschlusssysteme erarbeitet, um grobe Fehler bei der Wahl und der Abstimmung der Materialien zu vermeiden.

Im Folgenden werden unter Anwendung des Wärmebrückenkataloges der Betonindustrie verschiedene Wandaufbauten mit einem Fenster mit Zweifachverglasung als Wandöffnung untersucht und die Wirkung im Anschlussbereich der Einbausituation in Wand- bzw. Dämmebene vorgestellt. In Abbildung 20 ist zunächst eine einschalige Außenwand aus Normalbeton mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) und einem Einbau des Fensters in der Wandebene dargestellt, Abbildung 21 beschreibt denselben Wandaufbau mit der Einbausituation „Dämmebene“. Dabei ist der U_w -Wert aus Berechnungen bekannt, der Wärmedurchgangskoeffizient der Wand kann anhand der Formeln $U=1/R_T$ und $R_T=R_{Si}+d_i/\lambda_i+R_{Se}$ (siehe dazu 4.6) und der Ψ -Wert der Anschlussfuge lässt sich wie unter 4.6.3 ermitteln, allerdings mit U_w -Wert und dem U-Wert der Wand anstelle von Rahmen- und Verglasungs-U-Wert.

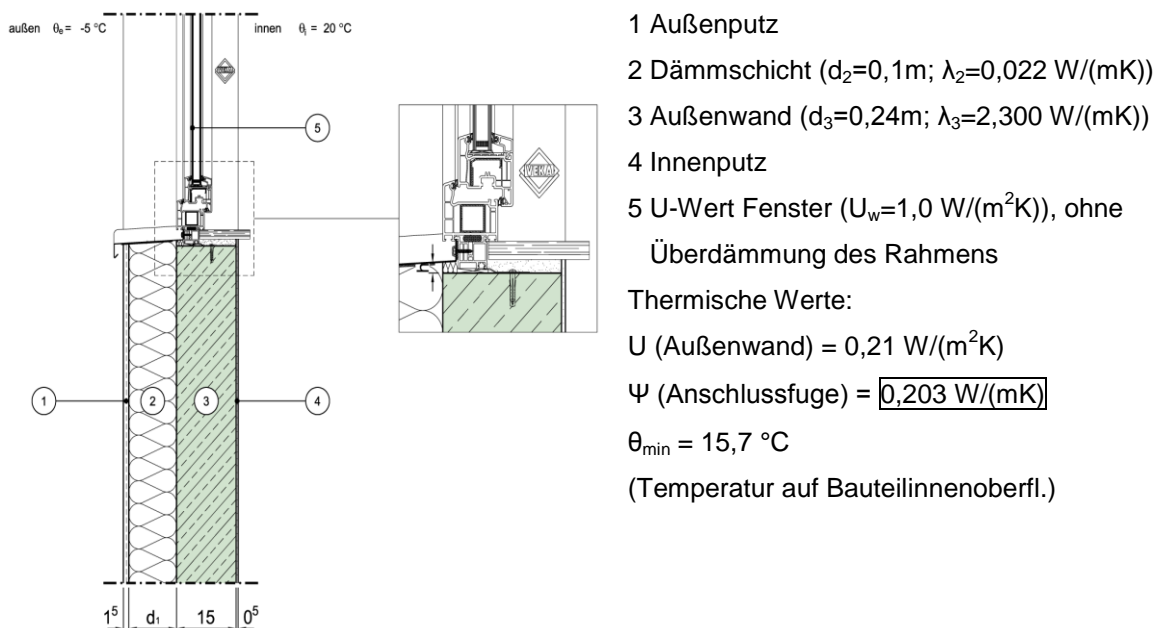
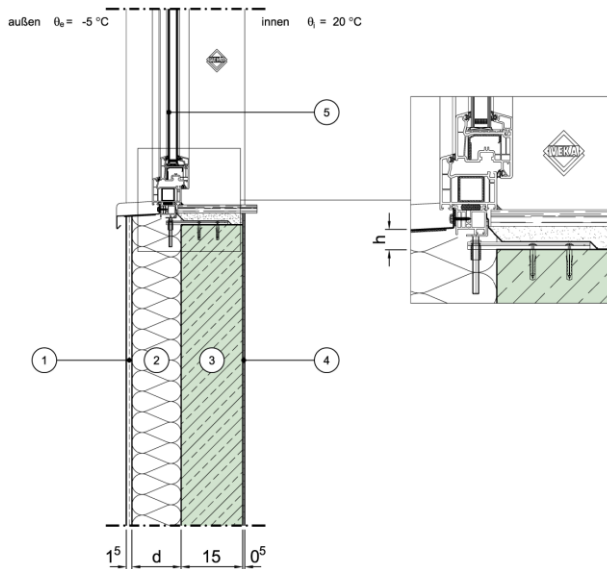


Abb. 20: Einschalige Außenwand aus Normalbeton mit WDVS und Fenster in Wandebene



- 1 Außenputz
- 2 Dämmschicht ($d=0,1\text{m}$; $\lambda=0,022\text{ W/(mK)}$)
- 3 Außenwand ($d=0,24\text{m}$; $\lambda=2,300\text{ W/(mK)}$)
- 4 Innenputz
- 5 U-Wert Fenster ($U_w=1,0\text{ W/(m}^2\text{K)}$), ohne Überdämmung des Rahmens

Thermische Werte:

$$U \text{ (Außenwand)} = 0,21\text{ W/(m}^2\text{K)}$$

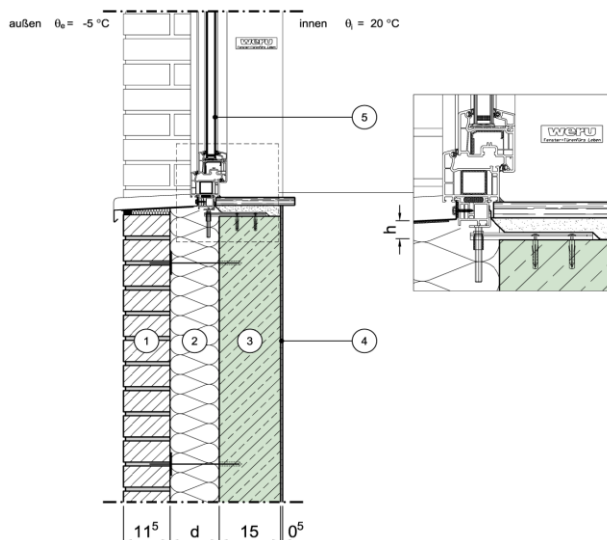
$$\Psi \text{ (Anschlussfuge)} = -0,001\text{ W/(mK)}$$

$$\theta_{\min} = 16,8\text{ }^\circ\text{C}$$

(Temperatur auf Bauteilinnenoberfl.)

Abb. 21: Einschalige Außenwand aus Normalbeton mit WDVS und Fenster in Dämmebene

Bereits in den Abbildungen 20 und 21 und den zugehörigen Berechnungen wird deutlich, dass die Einbausituation des Fensters direkt vor der massiven Wandkomponente in die Dämmung einen positiven Effekt auf den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ im Anschlussbereich hat. Die eigentliche Wärmebrücke (Anschlussfuge) ist dadurch praktisch nicht mehr vorhanden ($\Psi = -0,001\text{ W/(mK)}$). Bestätigt wird diese Aussage durch die beiden nachstehenden Abbildungen 22 und 23, in denen jeweils eine zweischalige Außenwand aus Normalbeton mit Kerndämmung und Fenster wiederum in Dämm- bzw. Wandebene dargestellt ist.



- 1 Vormauerschale (z.B. Klinker)
- 2 Dämmschicht ($d=0,1\text{m}$; $\lambda=0,022\text{ W/(mK)}$)
- 3 Außenwand ($d=0,24\text{m}$; $\lambda=0,40\text{ W/(mK)}$)
- 4 Innenputz
- 5 U-Wert Fenster ($U_w=1,0\text{ W/(m}^2\text{K)}$), Überdämmung des Rahmens $h=0,001\text{m}$

Thermische Werte:

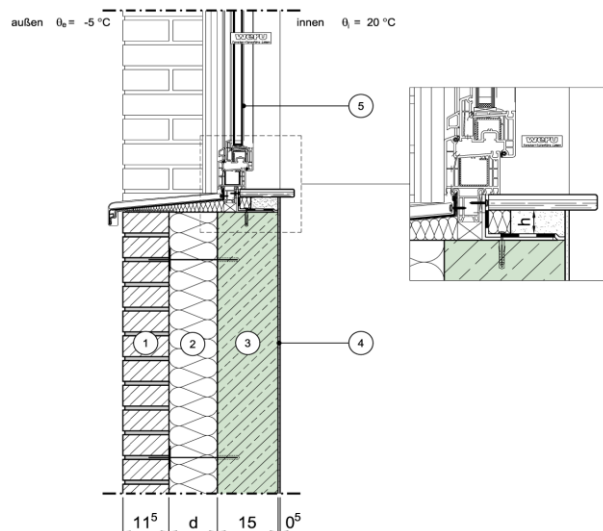
$$U \text{ (Außenwand)} = 0,18\text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Psi \text{ (Anschlussfuge)} = 0,001\text{ W/(mK)}$$

$$\theta_{\min} = 18,1\text{ }^\circ\text{C}$$

(Temperatur auf Bauteilinnenoberfl.)

Abb. 22: Zweischalige Außenwand aus Normalbeton mit Kerndämmung und Fenster in Dämmebene



- 1 Vormauerschale (z.B. Klinker)
- 2 Dämmschicht ($d=0,1\text{m}$; $\lambda=0,022\text{ W}/(\text{mK})$)
- 3 Außenwand ($d=0,24\text{m}$; $\lambda=0,40\text{ W}/(\text{mK})$)
- 4 Innenputz
- 5 U-Wert Fenster ($U_w=1,0\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$),
Überdämmung des Rahmens $h=0,001\text{m}$

Thermische Werte:

$$U \text{ (Außenwand)} = 0,18\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

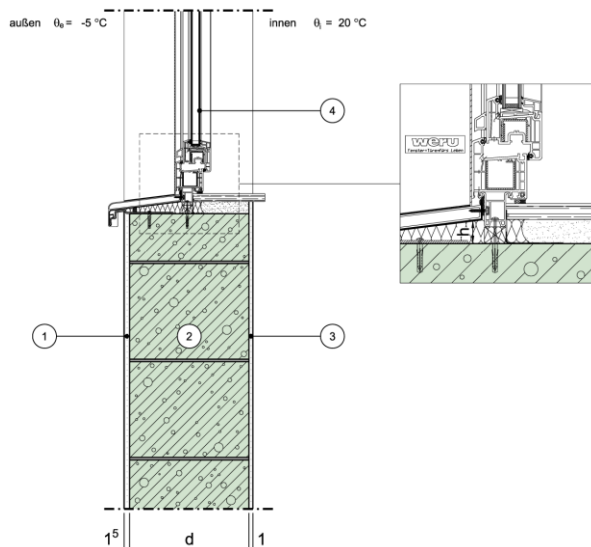
$$\Psi \text{ (Anschlussfuge)} = \boxed{0,084\text{ W}/(\text{mK})}$$

$$\theta_{\min} = 15,1\text{ °C}$$

(Temperatur auf Bauteilinnenoberfl.)

Abb. 23: Zweischalige Außenwand aus Normalbeton mit Kerndämmung und Fenster in Wandebene

Die beiden folgenden Abbildungen 24 und 25 zeigen eine einschalige monolithische Außenwand aus Leichtbetonsteinen mit zentrischem Fenstereinbau ohne und mit Leibungsanslag in der Wand. Aus ihnen kann beispielhaft der geringe, aber den Ergebnissen für Ψ nach vorhandene Einfluss einer Leibung im Anschlussbereich entnommen werden. So wird logischer Weise der Wärmedurchgang bei Leibungsanschlüssen im Vergleich zu leibungsfreien Wandanschlüssen behindert und somit der Wärmeschutz geringfügig verbessert.



- 1 Außenputz
- 2 Außenwand ($d_2=0,24\text{m}$; $\lambda_2=0,08\text{ W}/(\text{mK})$)
- 3 Innenputz
- 4 U-Wert Fenster ($U_w=1,0\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$),
Überdämmung des Rahmens $h=0,001\text{m}$

Thermische Werte:

$$U \text{ (Außenwand)} = 0,31\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\Psi \text{ (Anschlussfuge)} = \boxed{0,014\text{ W}/(\text{mK})}$$

$$\theta_{\min} = 15,8\text{ °C}$$

(Temperatur auf Bauteilinnenoberfl.)

Abb. 24: Einschalige monolithische Außenwand aus Leichtbeton mit zentrischem Fensteranschluss ohne Leibung

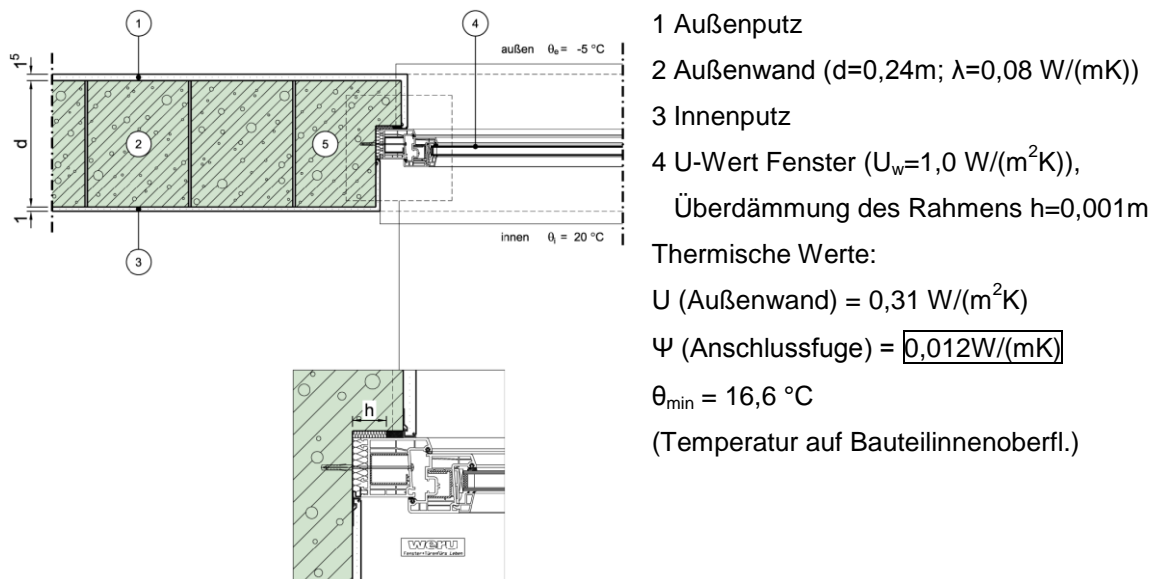


Abb. 25: Einschalige monolithische Außenwand aus Leichtbeton mit äußerem Leibungsanschluss

Um die Berechnung des mittleren U-Wertes einer 6m breiten und 3m hohen Wand mit einem Standardfenster (b=1,23m; h=1,48m) zu verdeutlichen, wird im Folgenden anhand des Wandaufbaus laut Abbildung 25 eine Beispielrechnung durchgeführt. Dabei wird zunächst der Wärmedurchgangswiderstand der Wand unter Verwendung von Gipsputz innen ($\lambda=0,35\text{W}/(\text{mK})$) und Kalkzementputz außen ($\lambda=0,87\text{W}/(\text{mK})$) ermittelt [37]:

$$\begin{aligned} R_{T,\text{Außenwand}} &= R_{Si} + [d_i / \lambda_i] + R_{Se} \\ &= 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W} + [0,01 \text{ m} / 0,35 \text{ W}/(\text{mK}) + 0,24 \text{ m} / 0,08 \text{ W}/(\text{mK}) + \\ &\quad 0,015 \text{ m} / 0,87 \text{ W}/(\text{mK})] + 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W} \\ &= \underline{\underline{3,216 \text{ (m}^2\text{K)/W}}} \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich der U-Wert der Wand zu:

$$U_{\text{Außenwand}} = 1 / R_T = 1 / 3,216 \text{ (m}^2\text{K)/W} = \underline{\underline{0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}}$$

Mit dem sich ergebenden Ψ -Wert von $0,012 \text{ W}/(\text{mK})$ und dem vorgegebenen bzw. berechneten U_w -Wert von $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kann nun der flächengewichtete mittlere Wärmedurchgangskoeffizient der Gesamtkonstruktion bestimmt werden:

$$\begin{aligned} U_m &= \Sigma [U_i \times A_i / A_{\text{ges}}] \\ &= U_w \times A_w / A_{\text{ges}} + U_{\text{Außenwand}} \times A_{\text{Wand}} / A_{\text{ges}} \\ &= 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \times (1,23\text{m} \times 1,48\text{m}) / (6\text{m} \times 3\text{m}) + 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \times (6\text{m} \times 3\text{m} - \\ &\quad 1,23\text{m} \times 1,48\text{m}) / (6\text{m} \times 3\text{m}) \\ &= \underline{\underline{0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}} \end{aligned}$$

Unter den gegebenen Randbedingungen von 20°C Raumtemperatur (θ_i) und -5°C Außentemperatur (θ_e) und der, entsprechend dem Wandaufbau, ermittelten Oberflächentemperatur der Bauteile kann zudem eine Aussage zur Schimmelpilzbildung getroffen werden. Die DIN 4108-2 definiert dazu den Temperaturfaktor f_{Rsi} . Dieser dimensionslose Faktor darf dem Mindestwärmeschutz zufolge im Bereich von Wärmebrücken einen bestimmten Wert (0,70) nicht unterschreiten. Daraus folgt, dass selbst an der ungünstigsten Stelle einer Wärmebrücke eine Mindesttemperatur der Bauteiloberfläche (12,6°C) eingehalten wird, um auch an diesen Punkten die Bildung von Schimmelpilzen zu vermeiden.

Für das vorherige Berechnungsbeispiel kann aus Abbildung 25 die Mindesttemperatur auf Bauteiloberflächen von $\theta_{min}=16,6^\circ\text{C}$ (θ_{Si}) entnommen werden. Dies genügt, um die Aussage treffen zu können, dass sich bei diesem Wandaufbau und relativer Luftfeuchtigkeit von 50% grundsätzlich kein Schimmel bilden wird. Die anschließende Formel belegt diese Behauptung:

$$\begin{aligned} f_{Rsi} &= (\theta_{Si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) \geq 0,70 \\ &= (16,6^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})) / (20^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})) \\ &= \underline{0,864} > 0,70 \end{aligned}$$

Weitere Mindestanforderungen an den Wärmeschutz sind der besagten DIN 4108 zu entnehmen.

Bisher sind Architekten, Ingenieure und Techniker angewiesen individuell Anschlussdetails zu entwickeln, da immer wieder neue Gegebenheiten vorherrschen. Sollen thermisch hochwertige Anschlüsse erreicht werden, müssen sie in Zukunft z.B. die Leibungen in Fensterkonstruktion mit einbeziehen. Hier liegt noch Entwicklungspotenzial für die Fensterindustrie.

7. Fazit und Ausblick

Mit der überarbeiteten Wärmeschutzverordnung von 1995 wurde ein Wandel in der Entwicklung der Energieeffizienz von Gebäuden eingeleitet, ihre Vorläufer trugen teilweise bereits dazu bei. Durch die Einführung der EnEV 2002 wurde diese besondere Entwicklung noch gefördert. So wurden speziell die Dämmeigenschaften von Fenstern untersucht und bis heute ständig verbessert. Mittlerweile ist hier ein Punkt erreicht, an dem die wärmedämmtechnischen Eigenschaften von Fensterbestandteilen wie Rahmen und Abstandhalter fast völlig erschöpft sind. Einzig und allein in der Verglasung liegt noch die Möglichkeit eine Optimierung des Wärmeschutzes zu erzielen. Allerdings treten bei der Herstellung von Vakuum-Isolierglas noch erhebliche Probleme auf, die es zu beheben gilt.

Durch die Novellierungen der EnEV 2007 und 2009 und zusätzlich durch die Heizkostenverordnung werden die Beschlüsse der Bundesregierung zum Integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP) im Gebäudebereich umgesetzt. Ziel ist es den Energiebedarf für Heizung und Warmwasser um etwa 30% zu senken. Laut Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sollen die energetischen Anforderungen mit der Einführung der EnEV 2012 nochmals um 30% ansteigen. Der Trend vom Niedrigenergie- zum Passivhaus bestätigt sich. Dabei sind nun nicht mehr die einzelnen Bauteile an sich hinsichtlich des Wärmeschutzes zu betrachten, sondern die Gebäudehülle als Ganzes. So gewinnen z.B. die Anschlussfugen zwischen Fenster und Wand, aber besonders die Nutzung regenerativer Energien in der Anlagentechnik immer mehr an Bedeutung. Das heißt, dass Fenster direkt in die Dämmebene integriert werden, was wiederum die Gefahr von Wärmeströmen in der Anschlussfuge verhindert und somit zu einem geringen Energieverlust führt. Außerdem werden erneuerbare Energien wie Erdwärme, Solar- und Windenergie durch entsprechende Anlagentechnik genutzt. Zudem müssen solare Gewinne über die Verglasung bei Süd-, ost- und westwärts orientierten Fenstern im Passivhausbau bedacht werden. Über die Zwischenstation 2015 und mit der EnEV 2020 soll die Wärmeversorgung von Neubauten möglichst unabhängig von fossilen Energieträgern sein. Die energetischen Anforderungen an Gebäude werden in Stufen dem Stand der Technik und der Energiepreisentwicklung angepasst.

8. Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] VFF Merkblatt ES.01: 2009-02;
http://www.window.de/uploads/media/ES01_0902_muster.pdf (Stand 07.12.2010)
- [2] <http://www.ing-büro-junge.de/html/fenster.html> (Stand 07.12.2010)
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen
<http://www.bdf-ev.de/german/service/download/Mindestanforderungen.pdf>
(Stand 09.12.2010)
- [4] <http://www.ing-büro-junge.de/html/fenster.html> (Stand 07.12.2010)
- [5] BINE Informationspaket; Andreas Wagner:
„Energieeffiziente Fenster und Verglasungen“; S. 46-48; 3., vollständig überarbeitete
Auflage 2007; Herausgeber: FIZ Karlsruhe, Solarpraxis, BINE Informationsdienst;
ISBN: 987-3-934595-61-3
- [6] http://www.vekakozijn.nl/vekanl/files/03d_NormenAuswirkungen.pdf (Stand 17.12.2010)
- [7] http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fenster-und-Tueren_Bewertetes-Schalldaemmmass-Rw_155339.html (Stand 09.12.2010)
- [8] Lutz, Jenisch, Klopfer, Freymuth, Krampf, Petzold:
„Lehrbuch der Bauphysik Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima“; S. 384 ff.
5. Auflage; Teubner Verlag; ISBN: 3-519-45014-3
- [9] http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fenster-Tueren_Brandschutzverglasungen_155341.html (Stand 09.12.2010)
- [10] BINE Informationspaket; Andreas Wagner:
„Energieeffiziente Fenster und Verglasungen“; S. 18-23; 3., vollständig überarbeitete
Auflage 2007; Herausgeber: FIZ Karlsruhe, Solarpraxis, BINE Informationsdienst;
ISBN: 987-3-934595-61-3
- [11] VFF Merkblatt ES.01: 2009-02
http://www.window.de/uploads/media/ES01_0902_muster.pdf (Stand 07.12.2010)
- [12] http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fenster-und-Tueren_Gesamtenergiedurchlassgrad_155343.html (Stand 09.12.2010)
- [13] Gottfried C.O. Lohmeyer, Heinz Bergmann, Matthias Post:
„Praktische Bauphysik Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen“; S. 48 ff.
5. Auflage; Teubner Verlag; ISBN: 3-519-45013-5
- [14] <http://www.ing-büro-junge.de/html/fenster.html> (Stand 07.12.2010)
- [15] BINE Informationspaket; Andreas Wagner:
„Energieeffiziente Fenster und Verglasungen“; S. 49-50; 3., vollständig überarbeitete
Auflage 2007; Herausgeber: FIZ Karlsruhe, Solarpraxis, BINE Informationsdienst;
ISBN: 987-3-934595-61-3
- [16] http://www.pilkington.com/resources/pilk_informiert_nr6_dt_low.pdf (Stand 03.02.2011)
- [17] http://www.fulda.de/fileadmin/buergerservice/pdf_amt_67/broschueren_energie_umwelt/Energie_sparen_an_Fenstern_und_Aussentueren.pdf (Stand 09.12.2010)
- [18] <http://www.ing-büro-junge.de/html/fenster.html> (Stand 07.12.2010)
- [19] „Bauforschung für die Praxis, Band 30“; Fraunhofer IRB Verlag; 1997;

- Hans-Rudolf Neumann, Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. - IEMB-: „Fenster – Sanierung und Modernisierung Querschnittsuntersuchungen zum dominierenden Kultur- und Technischelement der Gebäude“; ISBN: 3-8167-4229-7
- [20] http://www.fulda.de/fileadmin/buergerservice/pdf_amt_67/broschueren_energie_umwelt/Energie_sparen_an_Fenstern_und_Aussentuere.pdf (Stand 09.12.2010)
- [21] http://www.energieberater-oberbayern.de/img_spalte_rechts_gr/waermebild_undichtetes_fenster_kaeltebruecke.jpg (Stand 03.02.2011)
- [22] http://www.eckelt.at/de/downloads/produkte/warme_flaechen.pdf (Stand 14.12.2010)
- [23] http://flachglas.ch/fileadmin/Bilder/Downloads/Diverse/UWerte_geneigter_Veglasungen_Publikation__ift_Rosenheim_GR1007_Geneigt_ist_anders_Autor_Rossa.pdf (Stand 03.02.2011)
- [24] <http://www.energiesparhaus.at/gebaeudehuelle/fenster-verglasung.htm> (Stand 09.12.2010)
- [25] Vorlesung Bauphysik 2007; Wärmedurchgang U; Hochschule Neubrandenburg; Prof. Dr.-Ing. Winfried Malorny
- [26] http://www.gealan.de/download/handbooks/Praxishandbuch_Nr_07.pdf (Stand 14.12.2010)
- [27] BINE Informationspaket; Andreas Wagner: „Energieeffiziente Fenster und Verglasungen“; S. 51; 3., vollständig überarbeitete Auflage 2007; Herausgeber: FIZ Karlsruhe, Solarpraxis, BINE Informationsdienst; ISBN: 987-3-934595-61-3
- [28] http://ftp.uni-weimar.de/pub/publications/diss/Kuhne/pdf/elem_b_3.pdf (Stand 03.02.2011)
- [29] http://www.ibat-hannover.de/information/download/1_U_Wertermittlung.pdf (Stand 07.12.2010)
- [30] http://www.topa-gmbh.de/Informationen_U-Wert-Messung.pdf (Stand 14.02.2011)
- [31] http://www.fulda.de/fileadmin/buergerservice/pdf_amt_67/broschueren_energie_umwelt/Energie_sparen_an_Fenstern_und_Aussentuere.pdf (Stand 09.12.2010)
- [32] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/e/e4/U-Wert-Messung.JPG> (Stand 14.12.2010)
- [33] BINE Informationspaket; Andreas Wagner: „Energieeffiziente Fenster und Verglasungen“; S. 39-40; 3., vollständig überarbeitete Auflage 2007; Herausgeber: FIZ Karlsruhe, Solarpraxis, BINE Informationsdienst; ISBN: 987-3-934595-61-3
- [34] <http://www.gealan.de/fensterbauer/index.php> (Stand 09.12.2010)
- [35] BINE Informationspaket; Andreas Wagner: „Energieeffiziente Fenster und Verglasungen“; S. 83 ff.; 3., vollständig überarbeitete Auflage 2007; Herausgeber: FIZ Karlsruhe, Solarpraxis, BINE Informationsdienst; ISBN: 987-3-934595-61-3
- [36] Leitfaden zur Montage „Der Einbau von Fenstern, Fassaden und Haustüren mit Qualitätskontrolle durch das RAL-Gütezeichen“ (Stand Mai 2002); ISBN: 3-00-03823-X
- [37] Vorlesung Bauphysik 2007; Mittlerer U-Wert; Hochschule Neubrandenburg; Prof. Dr.-Ing. Winfried Malorny