



*Josef Schmid
Prof. Dipl.-Ing.
Rosenheim, D*

Das Fenster - Schlüsselelement des energieeffizienten Bauens

Fenstertechnik

Einführung

Fenster schützen Wohn- und Aufenthaltsräume vor Umgebungseinwirkungen, zugleich erwarten wir eine Verbindung zur Umgebung über das Fenster.

Fenster gestalten unsere Fassaden und unterstreichen die landschaftsbezogene Architektur.

Große Fenster waren im vergangenen Jahrzehnt der Ausdruck moderner Architektur und fortschrittlicher Bautechnik ... und ...

... und Fenster sind einfache Bauteile ohne Anspruch auf Instandhaltung, so zumindest die landläufige Meinung.

Dennoch: sie müssen dicht sein, und sie müssen Sicherheit bieten und dies mindestens über eine Generation.

Überliefertes Verhalten im Umgang mit Fenstern aus früheren Generationen vermischen sich hier mit überhöhtem Anspruchsdenken der heutigen Generation zu einer Vorstellung, die nicht zum Erfolg führen kann.

Regendurchtritt bei starker Schlagregenbelastung wurden früher ebenso toleriert wie Eisblumen am Fenster. Beides wird heute als schwerwiegender Mangel empfunden.

Die Erwartungshaltung ist gestiegen und der Bauherr sieht diese hohe Erwartungshaltung als so selbstverständlich an, daß er sie dem Fensterhersteller gegenüber gar nicht erst formuliert.

Dabei wäre es einfach, auf der Grundlage vorhandener technischer Regelwerke, objektive und nachprüfbar Kriterien für Fenster festzulegen.

Das Fenster, ein Teil der Außenwand

Die eigentlich banale Feststellung, daß das Fenster ein Bestandteil der Außenwand ist, ist wichtig für das Verstehen der Aufgaben der Fenster und der sich ergebenden Konsequenzen. Wichtig ist auch, daß jede Änderung an einem über die Jahre bewährten Gebäude- oder Außenwandkonzept das Gleichgewicht stört und deshalb das gesamte Konzept überprüft werden muß. Dies gilt bei der Erneuerung der bisher undichten Fenster gegen Fenster, bei denen aus Gründen der Energieeinsparung ein unkontrollierter Luftaustausch nicht erwünscht ist. Dies gilt noch mehr bei einer Änderung des Heizsystems im Gebäude oder in der Wohnung. In diesem Zusammenhang ist auch daran zu denken, daß die Verbesserung der Wärmedämmung der Fenster Auswirkungen hat. Bisher wirkte das Fenster bzw. im besonderen das Glas als „Kondensationsfläche“. Das heißt, daß anfallendes Tauwasser meist am Glas auftrat, da hier die niedrigste Oberflächentemperatur vorlag. Durch die verbesserte Wärmedämmung des Fensters übernimmt nun ein anderer Teil der Außenwand diese Aufgabe; in der Regel ist es die Fensterleibung.

Ausgehend vom Bewohner oder vom Nutzer eines Gebäudes, ist nur die Gebrauchstauglichkeit des Fensters, also die Eignung für den Verwendungszweck im eingebauten Zustand von Interesse. Dies gilt auch für Fenster in historischen Fassaden und ist insbesondere deshalb wichtig, weil sich der Wunsch nach alten Fensterkonstruktionen, mit dem zu ihrer Zeit üblichem Anforderungsniveau, nicht immer mit den Vorstellungen der Bewohner von einem neuen Fenster deckt.

Damit müssen alle Betrachtungen zum Fenster die Wand und insbesondere den Übergang von der Wand zum Fenster mit einbeziehen.

Als Bestandteil der Außenwand sind damit an das Fenster Anforderungen zu stellen aus

- dem sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz,
- dem Schallschutz,
- dem Schutz vor Witterungseinwirkung (Wind, Regen),
- der Sicherheit vor unbefugtem Zugang.

Neben diesen Aufgaben, die das Fenster mit der gesamten Außenwand gemeinsam hat, sind die spezielle Aufgaben des Fensters wie

- die Belichtung der Räume,
- die Lüftung der Räume,
- die Verbindung zur Umgebung

zu nennen.

Alle diese Anforderungen, die im Fenster in technische Eigenschaften umzusetzen sind, müssen über einen angemessenen Nutzungszeitraum erhalten bleiben. In der Literatur finden wir Angaben zur Nutzungserwartung der Fenster von 30 bis 40 Jahren. Dabei wird aber ein angemessener Aufwand an Instandhaltung und Instandsetzung vorausgesetzt.

Damit ist die Dauerhaftigkeit des Fensters angesprochen, die vom Zusammenwirken aller Einzelteile abhängig ist. Soweit deshalb Teile mit planmäßig kürzerer Nutzungserwartung im Fenster vorhanden sind, müssen diese erneuerbar sein. Solche Teile sind z. B. die Beschläge und das Mehrscheiben-Isolierglas.

Die Hauptbeanspruchung, die in der Regel auch die Nutzungsdauer des Fensters bestimmt, ist die Feuchtigkeit. Der Slogan „Das Bauen ist ein Kampf gegen das Wasser“, gilt deshalb für Fenster im besonderen.

Das Wassers wirkt dabei

- von der Außenseite als Regenwasser,
- von der Raumseite als Wasser aus der Luftfeuchte

auf das Fenster und die angrenzenden Bereiche ein.

Für die Beurteilung, ob und in welchem Umfang das Fenster den bisher beschriebenen Beanspruchungen gerecht wird, eignet sich das in Bild 1 dargestellte Modell.

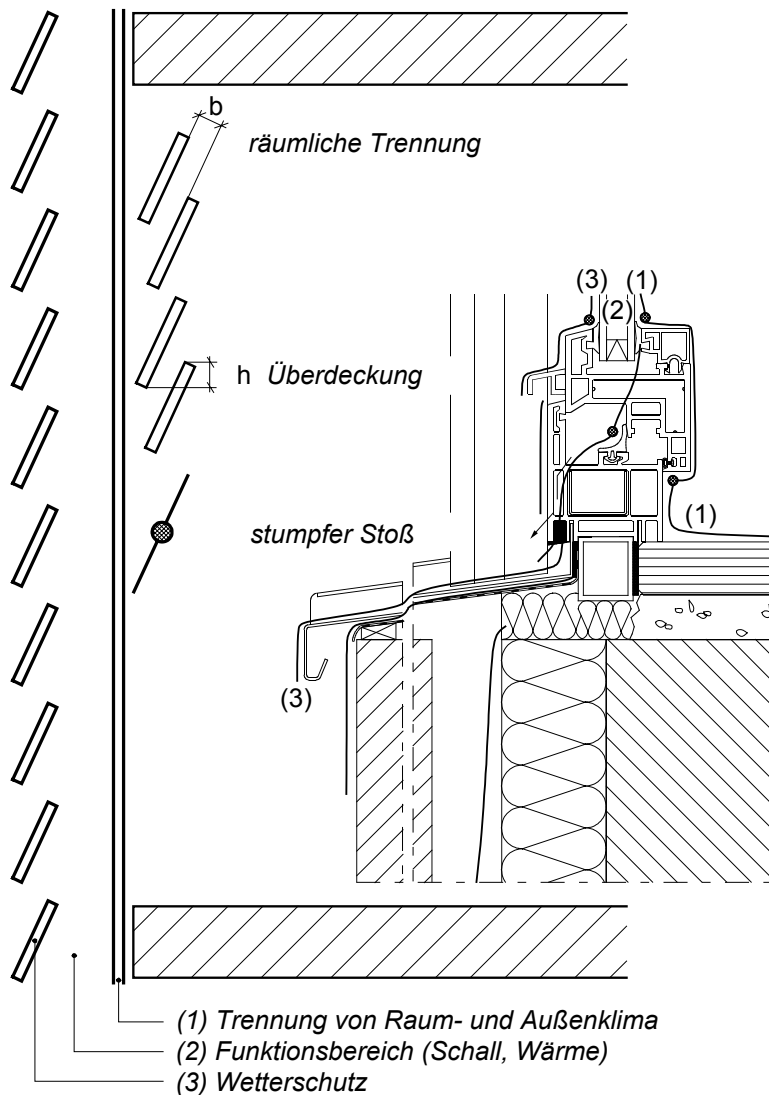


Bild 1 Ebenen und Funktionsbereich als Modell zur Beurteilung von Fenstern in der Außenwand

Diese Ebenen und Bereiche müssen in der Konstruktion erkennbar sein und folgenden Anforderungen genügen:

Ebene (1) Trennung von Raum- und Außenklima

Die Trennung muß in einer Ebene erfolgen, die über der Taupunkttemperatur des Raumklimas liegt. Die Ebene muß über die gesamte Fläche der Außenwand erkennbar sein und darf nicht unterbrochen werden.

Ausgehend von einem Raumklima von 20 °C, 50 % Luftfeuchte, muß wegen der zugehörigen Taupunkttemperatur von 9,3 °C die Trennung in Bereichen über 10 °C liegen. Damit wird Tauwasser an der Oberfläche und in der Konstruktion vermieden. Für die Beurteilung der Gefahr der Tauwasserbildung ist der Isothermenverlauf sehr hilfreich.

Bereich (2) Funktionsbereich

In diesem Bereich müssen insbesondere die Eigenschaften Wärme- und Schallschutz über einen angemessenen Zeitraum sichergestellt werden. Bei geschlossenen Systemen ist der Randbereich und bei offenen Systemen das gesamte System über den Wetterschutz mit dem Außenklima zu verbinden.

Allgemein formuliert heißt dies, der Funktionsbereich muß „trocken bleiben“ und vom Raumklima getrennt werden.

Ebene (3) Wetterschutz

Die Ebene des Wetterschutzes muß von der Außenseite den Eintritt von Regenwasser weitgehend verhindern und eingedrungenes Regenwasser kontrolliert nach außen abführen. Zugleich muß die Feuchte aus dem Funktionsbereich nach außen entweichen können.

Daher auch die Auffächerung der Ebene des Wetterschutzes, die bewährten Grundelementen der Dacheindeckung nachempfunden ist.

Das beschriebene Modell ist allgemein gültig und in der im Bild 1 dargestellten Abfolge auf mitteleuropäische Klimaverhältnisse und auf Räume mit normalem Innenklima abgestimmt. In die Betrachtung und Bewertung muß die gesamte Außenwand einbezogen werden.

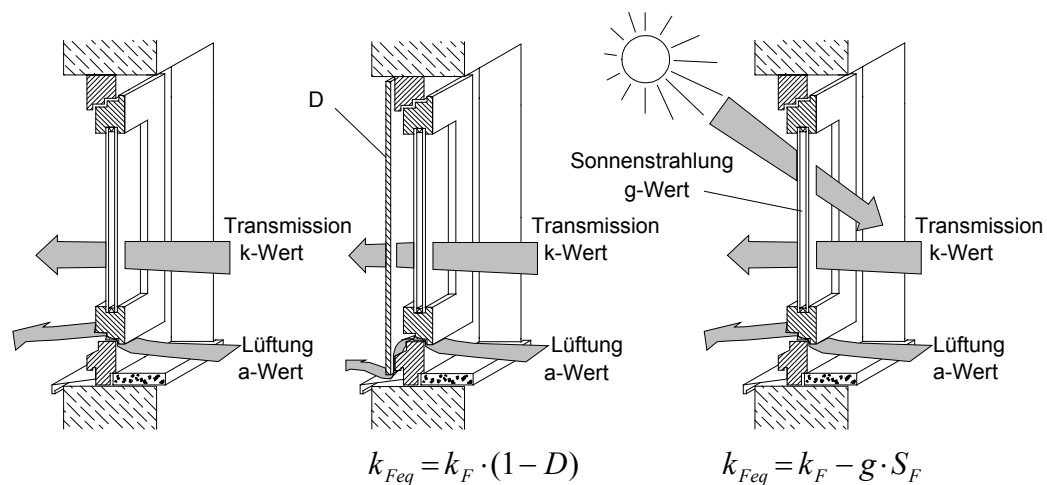
Die Abfolge gilt nicht für Kühlräume und nicht für Gebäude in tropischen Breiten.

Wärmeschutz

Die wärmeschutztechnischen Eigenschaften von Fenstern werden durch den Wärmedurchgangskoeffizienten k beschrieben, wobei nach den technischen Regelwerken bisher nur die Verluste aus Transmission berücksichtigt wurden. Erst mit der für das Jahr 1994 vorgesehenen Wärmeschutzverordnung wird den tatsächlichen Verhältnissen der Wärmetransmission dadurch Rechnung getragen, daß auch

- der solare Energiezugewinn in Abhängigkeit der Himmelsrichtung,
- die Minderung der Verluste durch Zusatzeinrichtungen wie Rolläden

Berücksichtigung findet. Die Energiebilanz des Fensters ist aber erst dann vollständig, wenn auch die Lüftungswärmeverluste eingehen, die durch den Fugendurchlaßkoeffizienten a als Luftdurchgang über die Falze zwischen Flügel und Blendrahmen des Fensters beschrieben werden. Der Fugendurchlaßkoeffizient, besser bekannt als a -Wert, ist in seiner derzeitigen Festlegung nach DIN 18055 umstritten. In der Praxis werden an den a -Wert unberechtigterweise Anforderungen hinsichtlich der Raumlüftung gestellt, die dieser nicht erfüllen kann. Dies gilt auch in Zusammenhang mit den unbestritten notwendigen Maßnahmen zur Energieeinsparung. Die kontrollierte Raumlüftung, und soweit offene Feuerstellen vorhanden sind, auch die Zufuhr von Verbrennungsluft ist damit Bestandteil der Gebäudeplanung.



- k_V Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung
- k_F Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters
- g Gesamtenergiedurchlaßgrad der Verglasung
- S_F Koeffizient für solare Wärmegewinne
- k_{Feq} äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient
- D Deckelfaktor für temporäre Maßnahmen wie Rolläden

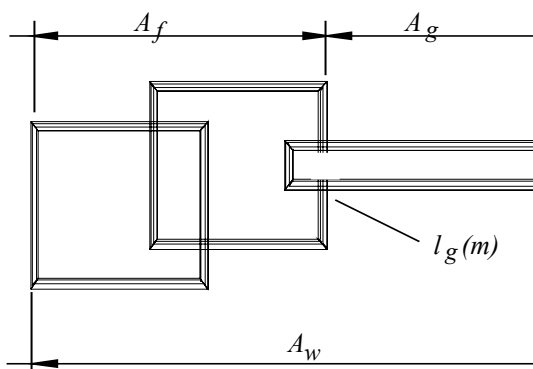
Bild 2 Darstellung des Energieflusses für die Erstellung einer Energiebilanz am Fenster

Für einen Vergleich von Fenstern untereinander, ist zu empfehlen, den Wärmedurchgangskoeffizienten der Fenster ohne solare Zugewinne beizubehalten.

Bei der Übernahme der Wärmedurchgangskoeffizienten in notwendige Nachweise, müssen die im Bundesanzeiger veröffentlichten Rechenwerte eingesetzt werden. Da Unsicherheiten der Herstellung, der Messung und die Alterung mit eingehen, sind die Rechenwerte ungünstiger als die in Firmenunterlagen angegebenen Meßwerte.

Die k -Werte der Fensterrahmen bestimmen den k -Wert nur im Verhältnis ihres Flächenanteiles mit 20 bis 30 %, damit nimmt die Verglasung den Haupteinfluß.

DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“ behandelt das Problem der Rahmen ebenso wie die Bewertung des Glases, vereinfacht aber für die bisherigen Produkte in ihrer praktischen Anwendung ausreichend genau. Nach dem bisherigem Stand der europäischen Normung wird eine höhere Genauigkeit gefordert. Diese Forderung ist berechtigt, da durch die mit der weiteren Produktentwicklung verbundenen Verbesserungen die Bedeutung von Randeinflüssen zunimmt.



$$U_{w...} = \dots \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi}{A_g + A_f}$$

- A_g Fläche des Glases in m^2
- A_f Fläche des Rahmens in m^2
- U_g U-Wert (k-Wert) des Glases in W/m^2K
- U_f U-Wert (k-Wert) des Rahmens in W/m^2K
- U_w U-Wert (k-Wert) des Fensters in W/m^2K
- l_g Länge des Glasrandes in m
- ψ linearer Wärmedurchgang in W/mK

Bild 3 Wärmedurchgangskoeffizienten für die Fensterrahmen und Berechnung der k -Werte von Fenstern nach dem derzeitigen europäischen Normvorschlag

Bei der Verglasung entspricht auch für historische Gebäude das Einfachfenster mit Einfachverglasung nicht dem Stand der Technik. Als Verglasungen der Fenster stehen damit zur Verfügung

- die Doppelverglasung für Verbundfenster und Kastenfenster,
- das Mehrscheiben-Isolierglas für Einfachfenster und für Verbundfenster sowie für Kastenfenster.

Die wärmedämmenden Eigenschaften werden dabei bestimmt von

- der Anzahl der Zwischenräume zwischen den Scheiben,
- der Größe der Zwischenräume, wobei der optimale Abstand bei Luftschichten 40 bis 50 mm beträgt,
- der Wärmeleitung des Gases in den Scheibenzwischenräumen,
- der Emissivität der Glasoberfläche, die durch Beschichtungen verändert werden kann.

Unter Ausnutzung aller dieser Möglichkeiten sind bei Mehrscheiben-Isolierglas mit zwei Zwischenräumen k -Werte von kleiner 1,0 W/m²K erreichbar.

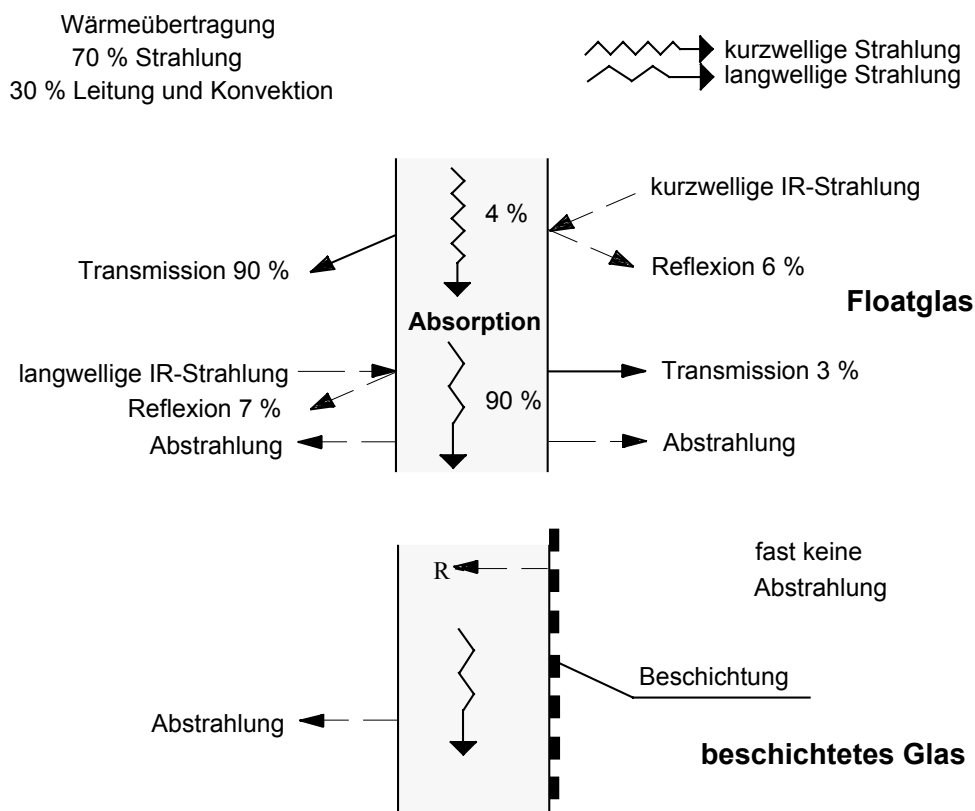


Bild 4 Darstellung der Wärmeübertragungsvorgänge an Floatglas und an beschichtetem Glas

Die unter der Bezeichnung Wärmeschutzglas angebotenen Produkte liegen in den wärmeschutztechnischen Eigenschaften mit den in Bild 4 gezeigten Aufbau bei einem k -Wert von 1,7 W/m²K, mit einer Gasfüllung können k -Werte von 1,3 bis 1,4 W/m²K erreicht werden.

Dieser k -Wert beschreibt aber nicht die gesamte Scheibe, sondern bei der Prüfung nach DIN 52619-2 nur den ungestörten Bereich der Scheibe. Dies zeigt sich besonders bei kleinformatigen Scheiben durch einen Anstieg des k -Wertes. Bild 5 zeigt im Vergleich den k -Wert eines Fensters mit und eines Fensters ohne Sprossen bei einer Verglasung mit Mehrscheiben-Isolierglas.

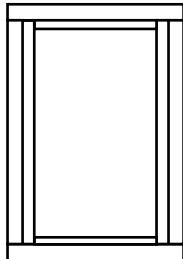
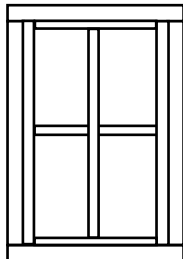
| Fensterteilung | k_V | k_F DIN 4108-4 Tab. 3 | k_{F1} Berechnung ohne Rand- einfluß Glas | k_{F2} Berechnung mit Rand- einfluß Glas | Δk ($k_{F2}-k_{F1}$) |
|--|-------|-------------------------------|---|--|-----------------------------------|
| ohne Sprossen  | 3,0 | 2,6 | 2,65 | 2,78 | 0,13 |
| | 2,2 | 2,1 | 2,06 | 2,18 | 0,12 |
| | 1,3 | 1,4 | 1,41 | 1,57 | 0,16 |
| mit Kreuzsprosse  | 3,0 | 2,6 | 2,58 | 2,83 | 0,25 |
| | 2,2 | 2,1 | 2,04 | 2,24 | 0,20 |
| | 1,3 | 1,4 | 1,42 | 1,74 | 0,32 |
| Sprossenbreite 40 mm | | | | | |

Bild 5 Vergleich von k_F -Werten
 Fenster aus Holz oder Kunststoff ($k_R = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$)
 Abmessung: $1180 \cdot 1380 \text{ mm}^2$; $A_F = 1,63 \text{ m}^2$

Verbundfenster mit Einfachglas zeigen diesen Einfluß nicht, da beim Verbundfenster im Randbereich die Rahmen getrennt sind.

Fensterkonstruktionen

Für die Umsetzung der Anforderungen stehen uns mit

- Einfachfenster (mit Mehrscheiben-Isolierglas),
- Verbundfenster (mit Einfachglas oder Mehrscheiben-Isolierglas),
- Kastenfenster (mit Einfachglas oder Mehrscheiben-Isolierglas)

drei Konstruktionen zur Verfügung, die vorwiegend in den Rahmenwerkstoffen

- Aluminium,
- Aluminium-Holz,
- Holz,
- Kunststoff

ausgeführt werden.

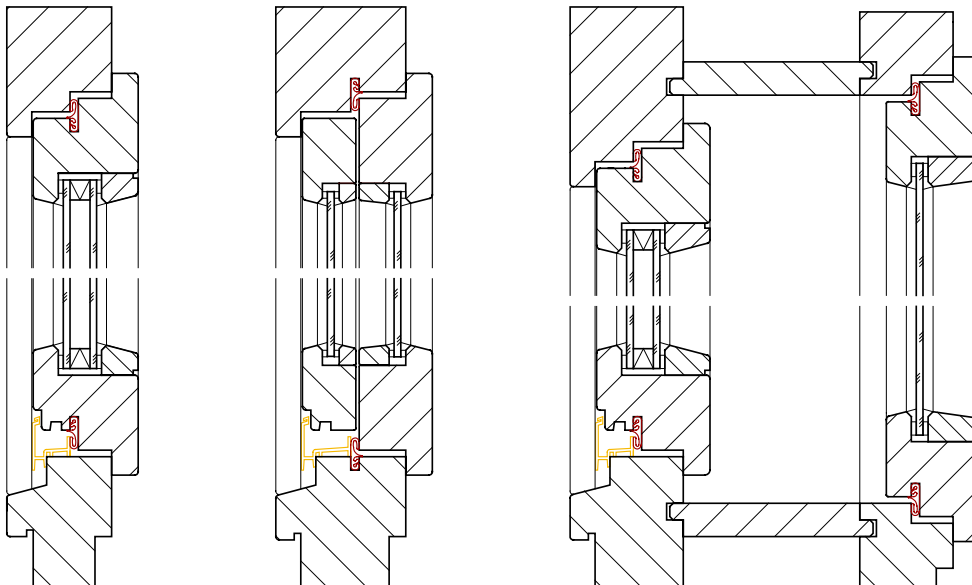


Bild 6 Vereinfachte Darstellung der Konstruktionen Einfach-, Verbund- und Kastenfenster am Beispiel des Rahmenwerkstoffes Holz

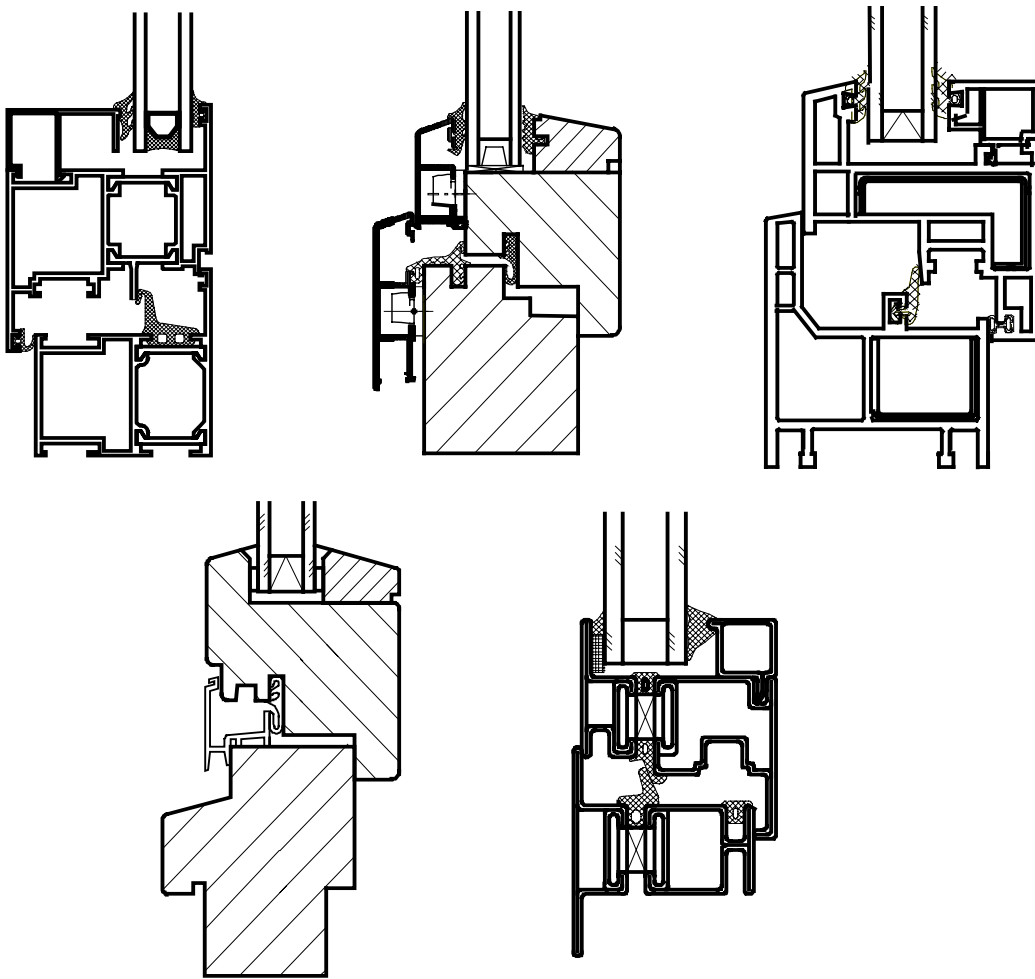


Bild 7 Darstellung einer Auswahl von Fenstern aus den Rahmenwerkstoffen Aluminium, Aluminium-Holz, Holz und Kunststoff am Beispiel des Einfachfensters mit Mehrscheiben-Isolierglas

Das Einfachfenster mit Mehrscheiben-Isolierglas ist derzeit das häufigste Fenster. Wegen des hohen Bedienungskomforts und der Möglichkeit durch den Einsatz eines geeigneten Mehrscheiben-Isolierglases eine breite Palette von Eigenschaften abzudecken, wird es auch in naher Zukunft das am häufigsten eingesetzte Fenster bleiben. Überlagerte Eigenschaften wie Wärmeschutz, Schallschutz und Einbruchhemmung sind möglich. Zudem sind bei entsprechender Größenbegrenzung der Flügel alle üblichen Öffnungsarten sinnvoll einsetzbar.

Bei Fenstern in historischen Fassaden tritt aber in Verbindung mit der Ausbildung von Sprossen in der Regel ein Zielkonflikt auf, da die aus technischen Gründen erforderlichen Sprossenbreiten nicht mit den gewohnten schmalen Sprossen übereinstimmen. Die dann vielfach angebotene Lösung der eingelegeten oder der aufgeklebten Sprossen ist wiederum Anlaß zur Kritik und wird als reine Dekoration abgelehnt. Dieser Kritik muß aber entgegnet werden, daß im Gegensatz zu früher eine Unterteilung der Scheiben durch Sprossen weder technisch noch wirtschaftlich notwendig ist. Dennoch gibt es den Ausweg, indem schmale glasteilende Sprossen in Verbindung mit Einfachglas an Verbundfenstern und an Kastenfenstern eingesetzt werden.

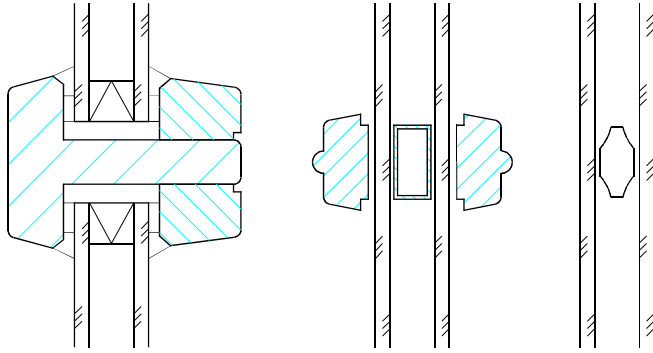


Bild 8 Darstellung von Sprossen unterschiedlicher Ausführung

Nicht in Übereinstimmung mit unserer heutigen Auffassung zur Instandhaltung und Instandsetzung kann die Ausführung der Verglasung mit freiliegender Dichtstoffase an Holzfenstern gebracht werden. Abrisse im Dichtstoff und Ablösungen des Anstriches sind unvermeidbar. Ein vertretbarer Kompromiß ist die Verglasung mit Glashalteleisten bei einer Profilausbildung, welche in ihrem Aussehen der Dichtstoffase entspricht.

Rahmenwerkstoffe

In der Diskussion sind derzeit alle Rahmenwerkstoffe, wobei es bei dieser Diskussion weniger um die technischen Probleme und um die Gebrauchstauglichkeit der Fenster geht als vielmehr um Fragen der Umweltbelastung. Diese Diskussion ist wichtig und nachdem in den letzten Monaten eine Versachlichung zu beobachten ist, sicher auch hilfreich für die weitere Entwicklung. Die Argumente gegen oder für einen Werkstoff sollen hier nicht wiederholt werden. Betroffen sind im grundsätzlichen alle Rahmenwerkstoffe, so daß für alle die Forderung gilt

- umweltverträgliche Erzeugung und Bereitstellung der Werkstoffe,
- sparsamer und werkstoffgerechter Einsatz der Werkstoffe,
- werterhaltende Maßnahmen an den Bauteilen zur Verlängerung der Nutzungsdauer,
- Wiederverwendung der Werkstoffe statt unwiederbringlicher Entsorgung.

Aluminium-Fenster

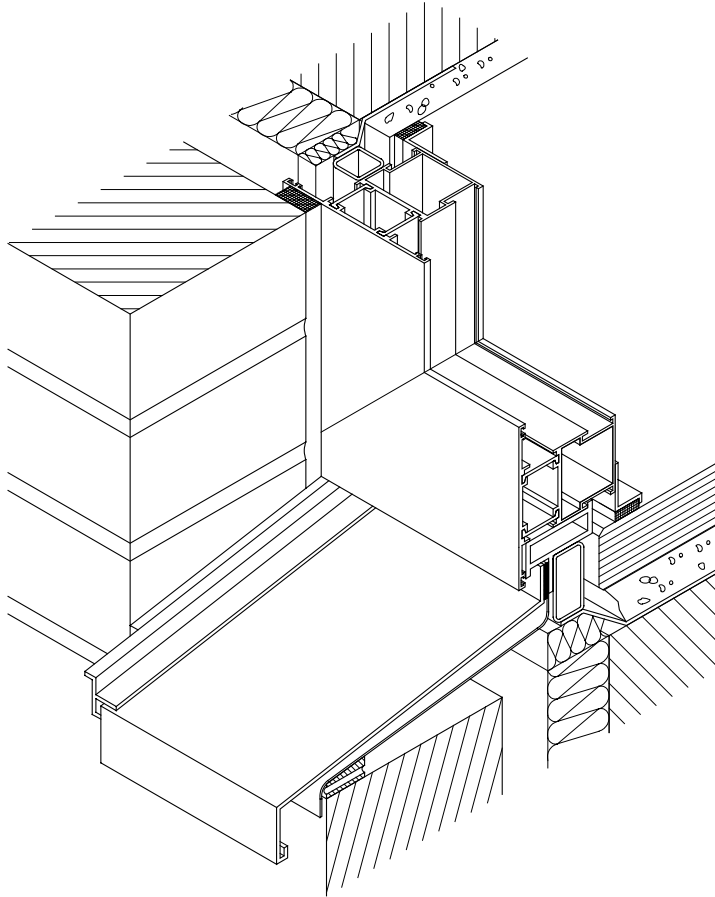


Bild 9 Aluminiumfenster, eingebaut in eine mehrschalige Außenwand

Aluminiumfenster und -fassaden werden aus wärmegeämmten Verbundprofilen hergestellt. Diese Verbundprofile sind dadurch gekennzeichnet, daß Teilprofile – Innenschale und Außenschale – über Kunststoffstege zu einem Gesamtprofil verbunden werden.

Mit dem Abstand von Innenschale und Außenschale werden die wärmeschutztechnischen Eigenschaften verbessert, zugleich erhöhen sich die mechanischen Beanspruchungen. Diese mechanischen Beanspruchungen kommen aus äußeren Einwirkungen wie Wind, aber auch aus dem Anstieg der Temperaturdifferenz in Verbindung mit der Verbesserung des Wärmeschutzes. Daß die Erhöhung der Oberflächentemperatur nicht immer eine direkte Folge der Verbesserung des Wärmeschutzes ist, muß bei der Planung beachtet werden. Als Merksatz gilt: „große Profilflächen auf die Raumseite, kleine Profilflächen auf die Außenseite“. Große Profilflächen auf der Außenseite, und damit auf der kalten Seite, wirken wie Kühlrippen und führen zu einer Abkühlung der kleineren Profilflächen auf der Raumseite. Damit steigt die Gefahr der Tauwasserbildung.

Aluminiumfenster, die für Fenster im Altbaubestand konzipiert wurden, gleichen sich von der Profilan-sicht sehr stark den Fenstern im Altbaubestand an. Wenn also nur technische Kriterien für eine Entscheidung herangezogen werden, ist auch das Aluminiumfenster in historischen Fassaden geeignet.

Aluminium-Holzfenster

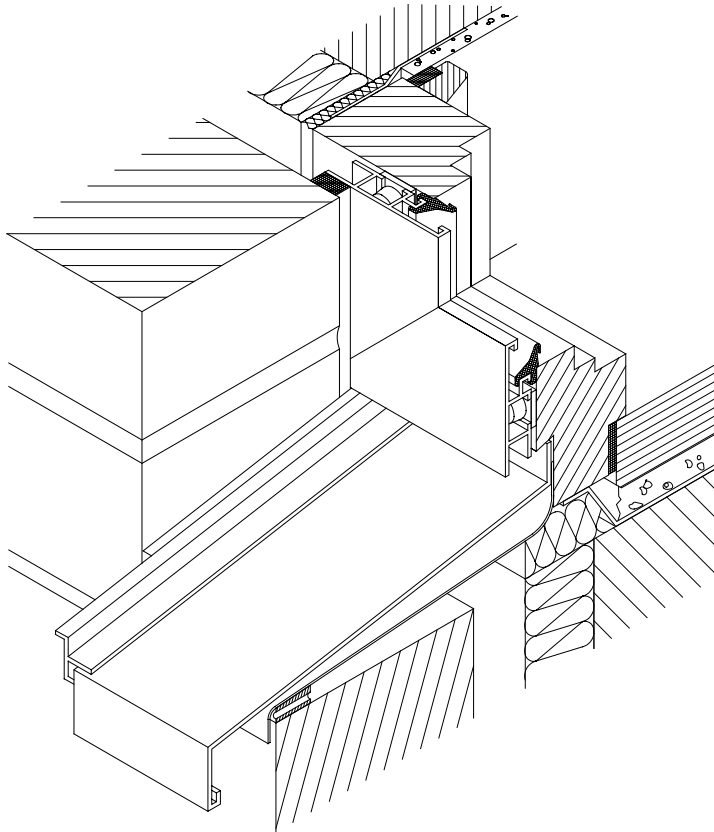


Bild 10 Aluminium-Holzfenster, eingebaut in eine mehrschalige Außenwand

Das Aluminium-Holzfenster ist eine Sandwich-Konstruktion, bei der die Vorteile der einzelnen Werkstoffe genutzt werden können. Zugleich müssen aber die unterschiedlichen Eigenschaften aufeinander abgestimmt sein. Diese unterschiedlichen Eigenschaften sind

- die Wärmedehnung,
- das Verhalten gegenüber Feuchtigkeit.

Daraus folgt, daß die Verbindung zwischen Holz und Aluminium gleitend sein muß, damit die unterschiedliche Wärmedehnung so ausgeglichen wird, daß keine Beeinträchtigung der Funktion und der Nutzungsdauer eintritt. Weiter muß der Bereich zwischen Holz und Aluminium zur Außenseite geöffnet werden, damit dieser Bereich trocken bleibt und die Holzfeuchte nicht über einen längeren Zeitraum über 18 % ansteigt. Bei anhaltender Holzfeuchte über 18 % besteht die Gefahr des Pilzbefalles.

Die Anforderungen an die Konstruktion sind in der Richtlinie für Aluminium-Holzfenster des i.f.t. festgelegt.

Aluminium-Holzfenster werden wie Aluminiumfenster an das Aussehen von Fenstern in bestehenden Gebäuden angepaßt, wobei der raumseitige Holzteil noch Möglichkeiten der Gestaltung bietet.

Kunststofffenster

Der überwiegende Teil der Kunststoffenster wird aus PVC-Hohlkammer-Profilen hergestellt. Profile mit zwei und drei Kammern sind dabei die übliche Ausführung.

Die äußere Kammer und die danach folgende Hauptkammer haben dabei wichtige Aufgaben für die Funktion und Nutzungsdauer zu übernehmen. Die äußere Kammer ist für eine Entwässerung des Falzes zwischen Flügel und Blendrahmen notwendig, wobei ein verdeckter Wasserablauf nicht nur optische Vorteile bringt. Die Hauptkammer ist für die mechanische Aussteifung notwendig. Sie muß je nach Flügelgröße bzw. Fenstergröße eine ausreichende Steifigkeit haben, so daß die notwendigen Stahl- oder Aluminiumprofile für die Aussteifung in der Systembeschreibung vorgegeben sind. Im Einzelfall ist bei feststehenden Rahmenteilern ein statischer Nachweis erforderlich.

Mehr als bei anderen Rahmenwerkstoffen ist bei Kunststoffen die Farbgebung von Einfluß auf die Gebrauchstauglichkeit. Unter der Voraussetzung, daß die in der Systembeschreibung vorgegebenen Anwendungsgrenzen beachtet werden, sind die Erfahrungen mit weißen und auch mit hellgrauen Profilen gut. Bei farbigen Profilen und bei Profilen mit Dekorfolie muß der Einfluß der erhöhten Erwärmung der Oberfläche bei Sonneneinstrahlung berücksichtigt werden.

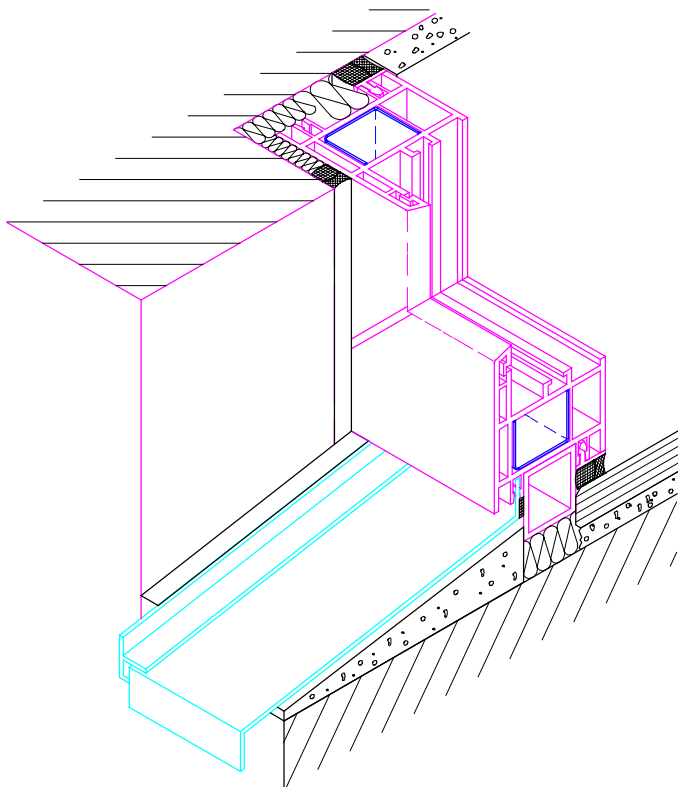


Bild 11 Kunststoffenster, eingebaut in eine monolitische Außenwand

Bei Kunststoffen erfolgte bisher im äußeren Erscheinungsbild die größte Anpassung an Fenster in alten Gebäuden und auch an Fenster in historischen Fassaden. In vielen Fällen ist eine originalgetreue Nachbildung von Lisenen und Profileisten möglich.

Mehrscheiben-Isolierglas

Wesentliche Eigenschaften des Fensters werden durch das Glas mitbestimmt. Es ist deshalb eine nähere Betrachtung des Glases, insbesondere des Mehrscheiben-Isolierglases, notwendig. Mehrscheiben-Isolierglas besteht aus mindestens zwei Scheiben und dem Randverbund. Das damit eingeschlossene Volumen besteht entweder aus getrockneter Luft oder aus einem Spezialgas und ist von der Umgebung abgetrennt. Diese Abtrennung ist zur Sicherstellung der Tauwasserfreiheit im Scheibenzwischenraum notwendig. Die Tauwasserfreiheit wird durch eine Garantiezusage über eine Nutzungsdauer von 5 Jahren zugesichert. Die Tauwasserfreiheit an den beiden äußeren Scheibenoberflächen kann nicht zugesichert werden. Die Garantiezusage entspricht nicht der Nutzungserwartung, sie kann bei Beachtung der notwendigen Voraussetzungen mit 25 bis 30 Jahren angenommen werden.

Die Abtrennung des Scheibenzwischenraumes von der Umgebung hat Auswirkungen auf das Verhalten des Systems, denn bei Änderung des Luftdruckes in der Umgebung entstehen Druckunterschiede, die zu einer Verformung der Scheiben führen und bei kleinformatischen Scheiben auch zum Glasbruch führen können. Aber auch Änderungen der Lufttemperatur führen zu vergleichbaren Vorgängen.

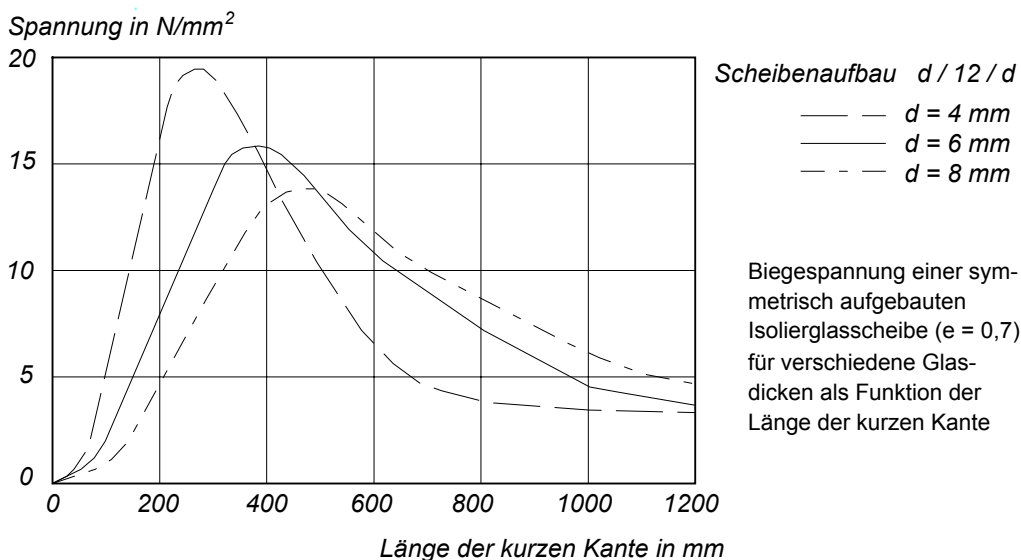


Bild 12 Darstellung der Biegespannung im Glas und der Verformung des Glases bei Mehrscheiben-Isolierglas unter zu erwartenden Veränderungen des Umgebungsklima

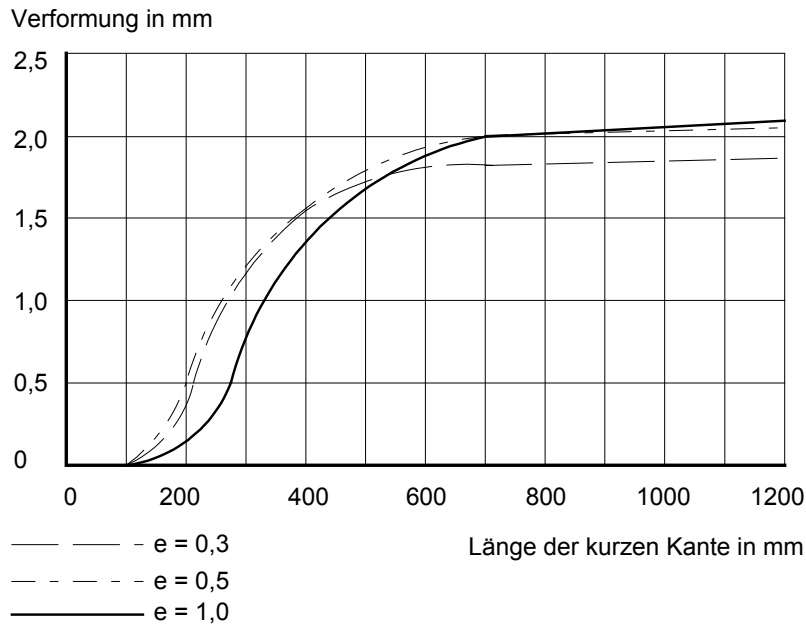
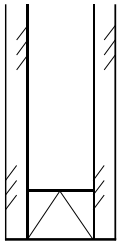


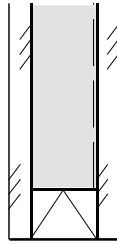
Bild 13 Verformung einer Isolierglasscheibe als Funktion der Länge der kurzen Kante für ein Seitenverhältnis von $e = 1,0$, $e = 0,5$ und $e = 0,3$.
 Herstellungsbedingungen: 1030 mbar, 15 °C, 30 % rLF, 100 m Ortshöhe
 Bedingungen am Einbauort: 900 mbar, 30 °C, 400 m Ortshöhe

Neben der Standardausführung von Mehrscheiben-Isolierglas im Aufbau 4/12/4 werden in zunehmenden Maße Funktionsgläser angeboten. Bild 14 gibt eine Übersicht über die Produktpalette und zeigt wie der Funktionsteil dieser Scheiben aufgebaut ist. Zur Verbesserung des Wärme- und Sonnenschutzes werden vorwiegend beschichtete Gläser eingesetzt. Wird die Verbesserung mechanischer Eigenschaften angestrebt, kommen Verbundgläser zur Anwendung. In Verbindung mit kleinformatigen Scheiben sind die Randeinflüsse insbesondere bei Wärmeschutzgläsern zu beachten, da durch sie die für die Scheibenmitte genannten Eigenschaften stark gemindert werden können.

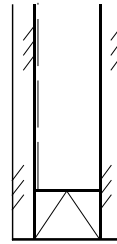
Mehrscheiben-
Isolierglas



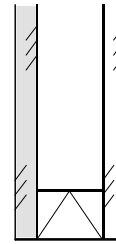
Wärmeschutzglas
IR-reflektierend
beschichtet, gasgefüllt



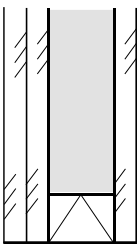
Sonnenschutzglas
beschichtet



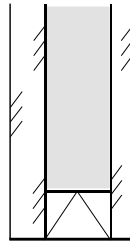
Sonnenschutzglas
eingefärbt



Schallschutzglas
Gießharzverbundscheibe,
gasgefüllt



Schallschutzglas
asymmetrischer
Aufbau, gasgefüllt



Einbruchhemmende
Verglasung,
Verbundsicherheitsglas

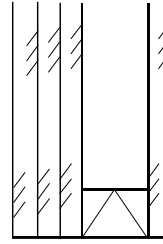


Bild 14 Darstellung des Aufbaues von Mehrscheiben-Isolierglas mit verschiedenen Eigenschaften

Wärmedurchgangskoeffizienten und Schalldämmwerte von Funktionsgläsern

Momentane Situation

Die Erwartungen, die an die Eigenschaften von Mehrscheiben-Isolierglas gestellt werden, sind stetig gewachsen. Mit verantwortlich für diese Entwicklung sind hauptsächlich steigende Anforderungen in den Normen und Regelwerken sowie die Forderung nach „Mehrfachfunktionen“ im Hinblick auf

- Wärmeschutz,
- Schallschutz,
- Sonnenschutz sowie
- Objektschutz.

Die überarbeitete Fassung der Wärmeschutzverordnung von 1995 hat mit dazu beigetragen, daß das Interesse der Verbraucher an den wärmetechnischen Kenngrößen der verschiedenen Glasstypen deutlich zugenommen hat.

Daten zum Wärmedurchgangskoeffizienten k_v in $W/(m^2K)$ und zum Schalldämmmaß R_w in dB werden von den Herstellern in den jeweiligen Produktinformationen angegeben. Die Betrachtung dieser Angaben führt bei bestimmten Aufbauten zu der Frage, inwieweit die Anforderungen an die Kenngrößen der Mehrfachfunktion „Wärme- und Schallschutz“ erfüllt werden können.

Vergleich von Produktinformationen mit Meßwerten

Am Beispiel eines bestimmten Aufbaus werden die Auswirkungen des Gasgemisches Argon/SF₆ auf den Wärme- und Schallschutz analysiert. Für den gewählten Scheibentyp mit dem Aufbau 6/16/4 mm sind in den Produktunterlagen die Werte $k_v = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und $R_w = 37 \text{ dB}$ angegeben.

Die meßtechnische Ermittlung der Kenngrößen dieser Scheibe hat zu folgenden Ergebnissen geführt:

| | | |
|----------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Wärmedurchgangskoeffizient k_v | = 1,4 W/(m ² K) | Messung nach DIN 52619 |
| bewertetes Schalldämmmaß R_w | = 34 dB | Messung nach DIN 52210 |
| Gasfüllung | = 90 % Argon | Gaschromatographie |
| Emissionsgrad ε_n | = 0,10 | Messung, IR-Spektrometer |

Es ist festzustellen, daß mit diesem Aufbau zwar der angegebene k_v -Wert, nicht aber das Schalldämmmaß erreicht wird. Die Differenz von $\Delta R_w = 3 \text{ dB}$ läßt sich allein durch die Auswirkung des Rundens von Meßwerten nicht mehr erklären.

Betrachtung der Einflußgrößen

Die Wärmedurchgangskoeffizienten k_v und die Schalldämmmaße R_w , die sich für die jeweiligen Funktionsgläser (Bild 15) ergeben, werden beeinflusst durch:

- Gaszusammensetzung,
- Füllgrad,
- Scheibenzwischenraum,
- Emissionsgrad der Beschichtung,
- Glasdicken sowie Glasart und
- Randverbundsystem.

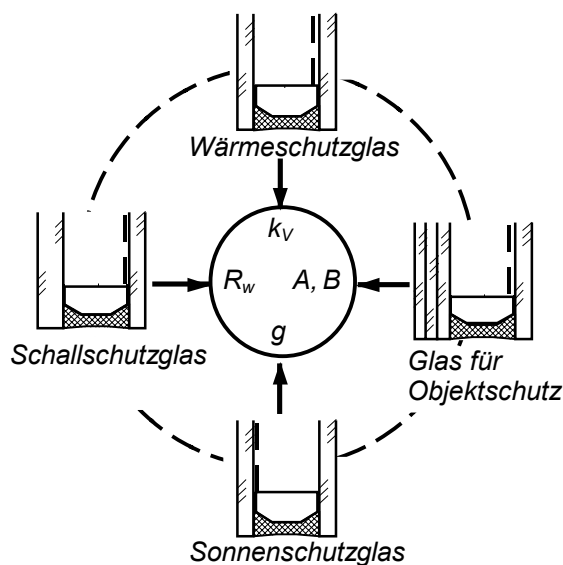


Bild 15 Merkmale von Funktionsgläsern

Zur Verbesserung des Wärmeschutzes werden die Gase Argon, Krypton und Xenon eingesetzt, während zur Erhöhung des Schalldämmmaßes SF₆ verwendet wird. Die Gase Argon und SF₆ führen zu gegenläufigen Auswirkungen auf den Wärmeschutz und den Schallschutz.

Das Diagramm in Bild 16 zeigt die Auswirkung der Gasfüllung (Gasgemisch) auf den Wärmedurchgangskoeffizienten k_V für Mehrscheiben-Isoliergläser mit einem Emissionsgrad der Beschichtung von $\varepsilon_n = 0,10$.

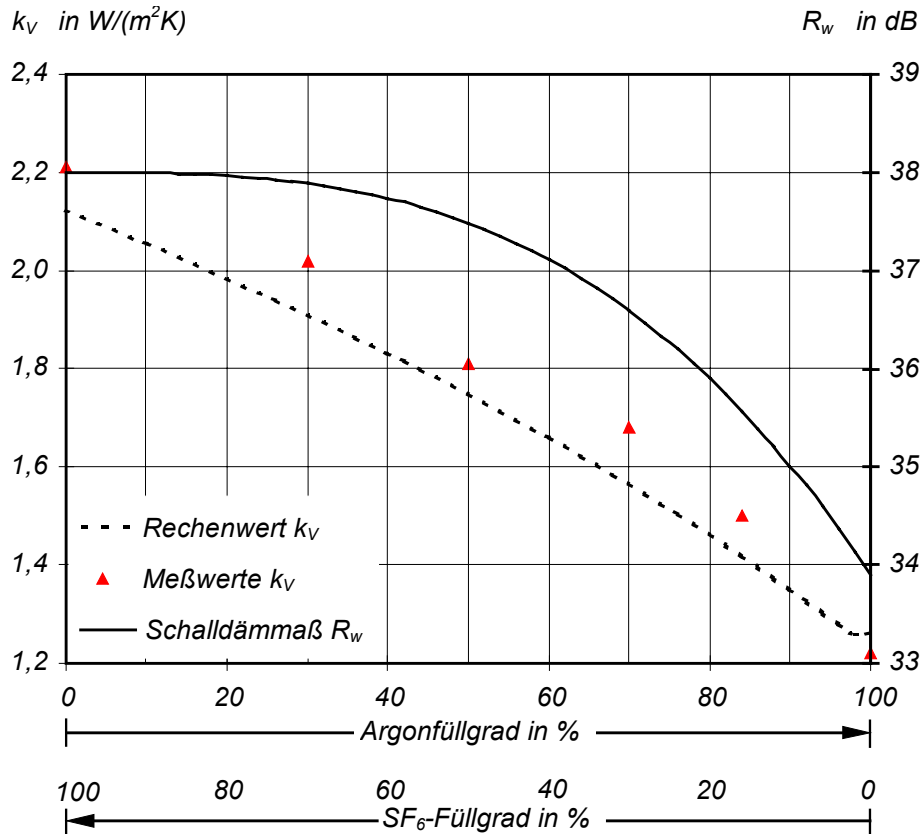


Bild 16 Einfluß des Gasgemisches Ar/SF₆ auf k_V und R_w für ein Mehrscheiben-Isolierglas mit dem Aufbau 6/16/4

Nach Berechnungen entsprechend prEN 673 und aufgrund von Messungen nach DIN 52619-2 ergibt sich bei 90 % Argonfüllung für den Aufbau 6/16/4 mm ein k_V -Wert von 1,3 bis 1,4 $W/(m^2K)$.

Das Diagramm verdeutlicht außerdem den Einfluß des Anteils von Argon und SF₆ auf das Schalldämmmaß. Bei 90 % Argon und 10 % SF₆ ist im Diagramm ein R_w -Wert von 35 dB abzulesen.

Der in den Produktinformationen genannte Wert von 37 dB läßt sich somit nur durch einen SF₆-Anteil von 30 bis 40 % erreichen. Das bedeutet aber gleichzeitig, daß sich der k_V -Wert von 1,4 auf 1,6 $W/(m^2K)$ erhöht.

Folgerung

Bedingt durch die unterschiedlichen Eigenschaften der Gase in Bezug auf den Wärme- und den Schallschutz ist es nicht möglich, mit einem bestimmten Typ von Mehrscheiben-Isolierglas einen sehr niedrigen k_V -Wert und gleichzeitig einen hohen R_W -Wert zu erreichen. Wird der Schalldämmwert durch den Einsatz von SF_6 verbessert, so verschlechtert sich der k_V -Wert. Wird der k_V -Wert durch den Einsatz von Argon an Stelle von SF_6 verbessert, dann verschlechtert sich der Schalldämmwert (Tabelle 1).

Tabelle 1 Auswirkungen der verschiedenen Einflüsse auf k_V und R_W

| Einflußgröße | Einfluß auf die Kenngröße | |
|---|----------------------------------|--------------------------------|
| | Wärmedurchgangskoeffizient k_V | Bewertetes Schalldämmmaß R_W |
| Füllung: Argon SF_6 | + | |
| | - | + |
| Scheibenzwischenraum SZR (Vergrößerung) | + | + |
| Emissionsgrad ϵ_n (Verringerung) | + | |
| Glasdicke, Glasart (Vergrößerung) | | + |
| Randverbundsystem | | + - |

- +** positiver Einfluß
- negativer Einfluß
- vernachlässigbarer Einfluß

Sollen möglichst gute Werte für beide Eigenschaften erzielt werden, ist eine Optimierung des Gasgemisches vorzunehmen.

Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit von Produkteigenschaften, die Verlässlichkeit der Angaben für den Verbraucher und die Frage der Produkthaftung ist eine sorgfältige Behandlung der Datenangaben in Produktinformationen von großer Wichtigkeit.

Angaben in Produktinformationen, die die Auswirkung der Gasgemische auf den k_V -Wert und den R_W -Wert nicht detailliert berücksichtigen, sind Fehlinformationen und führen zur Verunsicherung der Verbraucher, zu Unsicherheiten bei der Auftragsvergabe und zu Verzerrungen auf dem Markt.

Einbau der Fenster

Die Herstellung der Fenster wird seit mehr als 20 Jahren durch die RAL-Gütegemeinschaften Fenster überwacht. Auch wenn die Mitgliedschaft in der Gütegemeinschaft freiwillig ist, muß doch festgestellt werden, daß die Arbeit der Gütegemeinschaften das Qualitätsniveau der Fenster stark beeinflußt hat. Die bisherigen Probleme beim Einbau der Fenster sollen nun durch die Erweiterung der Gütesicherung auf die Montage gelöst werden. Die Auswirkungen der bisherigen Arbeiten zeigen sich positiv, wobei die angestrebte Umsetzung nur im Zusammenwirken von Auftraggeber und Auftragnehmer zum schnellen Erfolg führt.

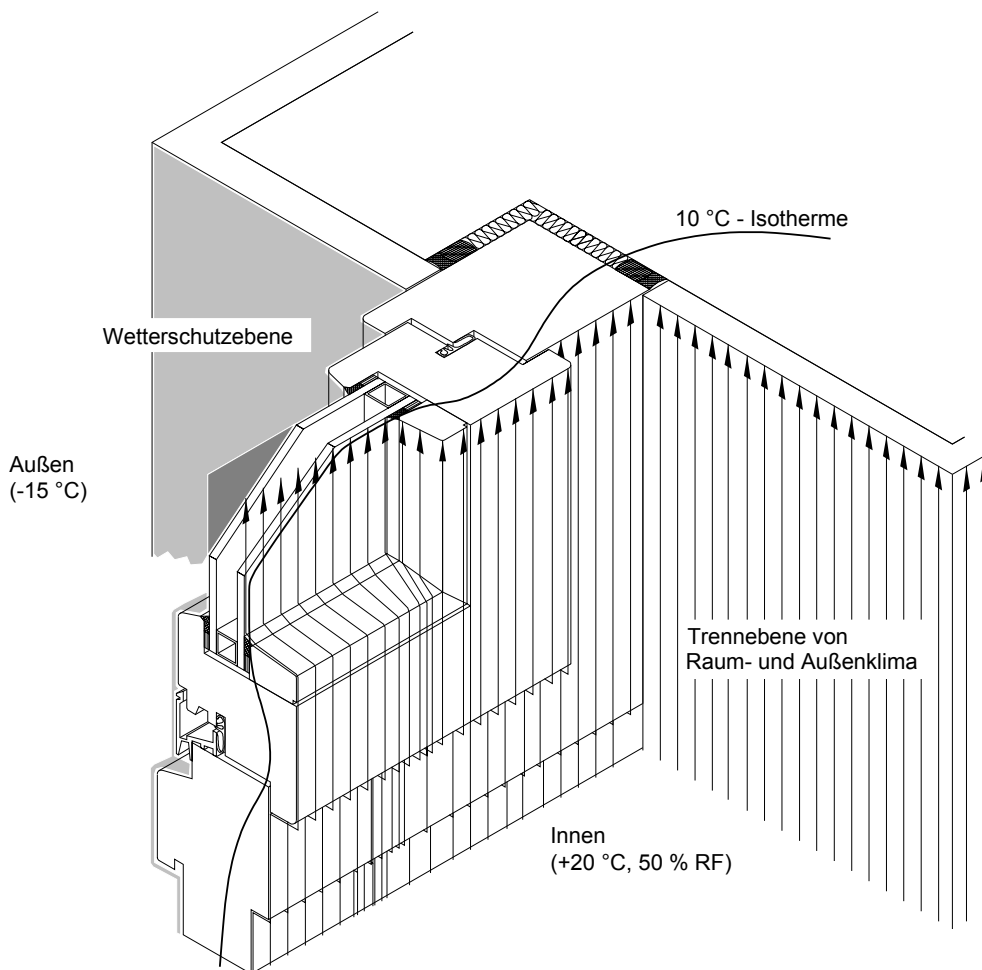


Bild 17 Darstellung eines Fensters in der Außenwand mit Angabe der Ebenen und der 10 C-Isotherme

Die Montage muß geplant sein, dies ist eine wichtige Voraussetzung für ein gebrauchstaugliche Montage. Für die Planung wird auf das Modell „Beurteilung der Fenster in der Außenwand“ (Bild 1) verwiesen. Auch für die Verbindung zwischen Fenster und Wand gilt der Grundsatz „raumseitig dichter als auf der Außenseite“. Dieser Grundsatz wird in der Bauphysik zwar allgemein beachtet, im Fugenbereich aber häufig übergangen.

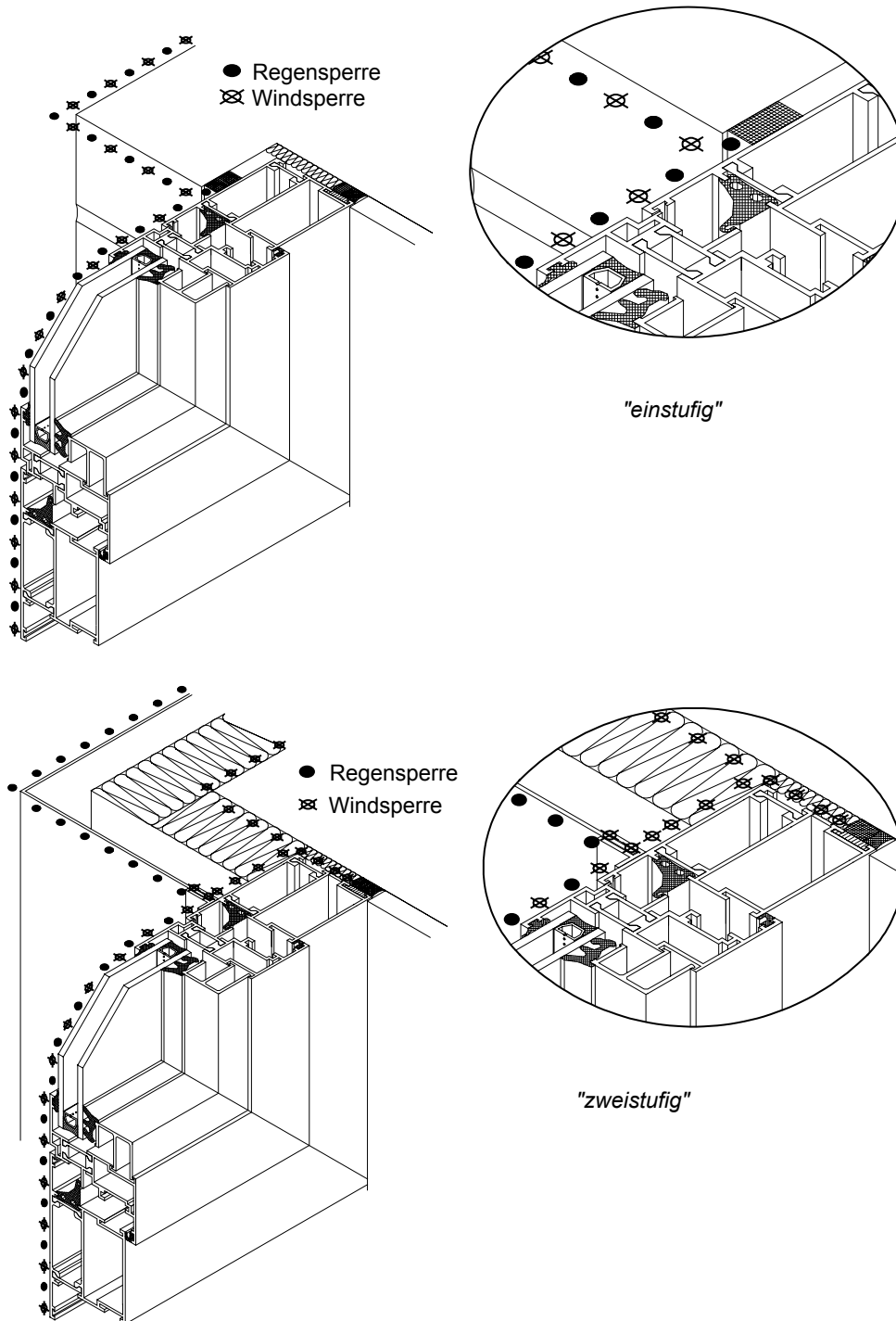


Bild 18 Gegenüberstellung eines ein- und zweistufigen Abdichtsystems für den Anschluß von Fenstern zur Außenwand

Bei der äußeren Abdichtung ist die Belastbarkeit der Haftflächen z. B. in Verbindung mit der Anwendung von Dichtstoffen zu prüfen. So weit möglich, sollte bei der Wahl des Abdichtsystems einer zweistufigen Abdichtung der Vorzug gegeben werden.

Die Beachtung der Temperaturfelder im Anschlußbereich von Fenster und Wand ist nicht nur bei der Planung von Neubauten wichtig. Bei der Sanierung alter Gebäude und damit auch bei historischen Fassaden ist die Optimierung der Einbaulage der Fenster zur Vermeidung von Tauwasser und Schimmelpilzbildung besonders wichtig.

Durch neue Fenster, die aus Gründen des Wärmeschutzes und des Raumklimas im geschlossenen Zustand nur wenig Luftaustausch über die Fälze ermöglichen, kommt es häufig zu einer Auskühlung und Durchfeuchtung an der Fensterleibung. Dies kann nur dadurch vermieden werden, daß die Einbaulage des Fensters in der Wand mit Hilfe der Berechnung von Temperaturfeldern optimiert wird. Die raumseitige Oberfläche sollte dabei mit Rücksicht auf die Taupunkttemperatur des Raumklimas 20 °C, 50 % Luftfeuchte, nicht unter 10 °C liegen. Wird dies nicht erreicht, muß auch bei üblicher und planmäßiger Raumnutzung mit Tauwasser gerechnet werden.

Wärmebrücken

Der Anschluß eines Fensters bzw. einer Fensterwand an einen Baukörper stellt sowohl im Hinblick auf erhöhte Wärmeverluste als auch im Hinblick auf mögliche Tauwasserschäden als Folge von niedrigeren Oberflächentemperaturen eine Schwachstelle dar. Durch eine genaue Untersuchung der jeweiligen Anschlußsituation können bereits in der Planungsphase – dies gilt sowohl bei der Erstellung eines Neubaus als auch bei der Altbausanierung – thermische Schwachstellen (Wärmebrücken) erkannt und Alternativen für eine wärmetechnisch verbesserte konstruktive Auslegung des Baukörperanschlusses erarbeitet werden.

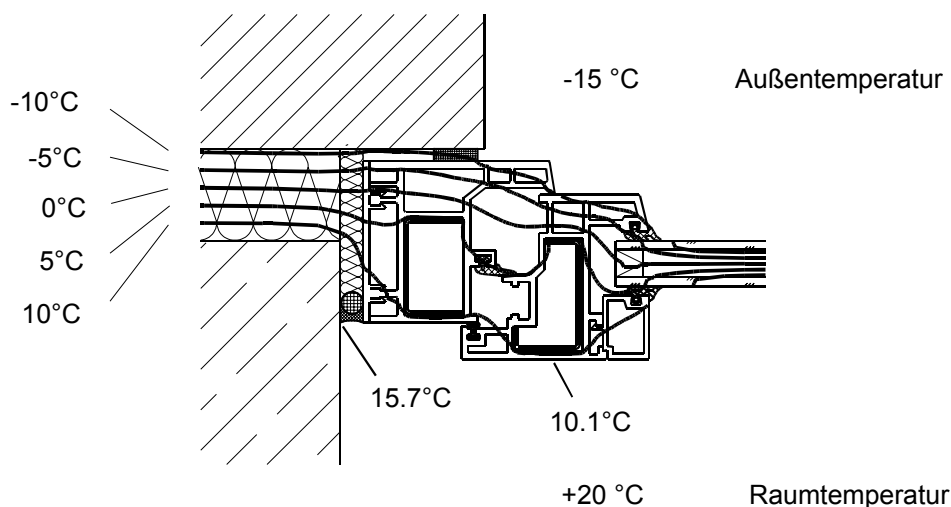


Bild 19 Isothermenverlauf bei einem Kunststofffenster in zweischaliger Außenwand

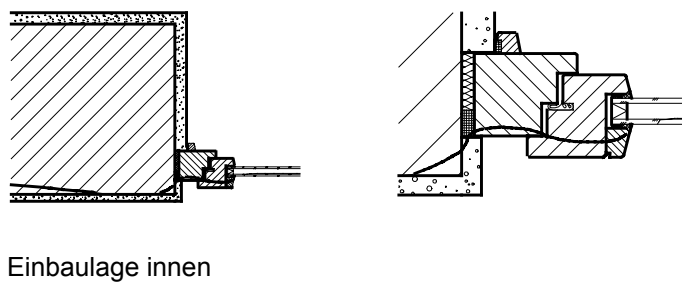
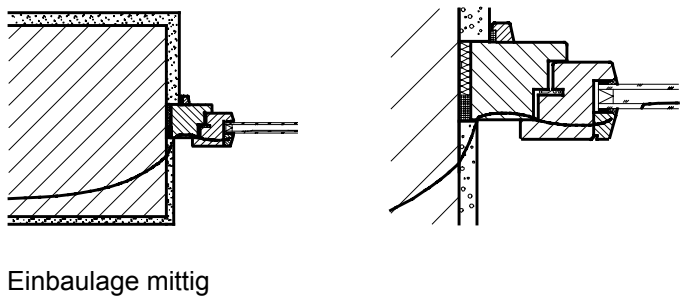
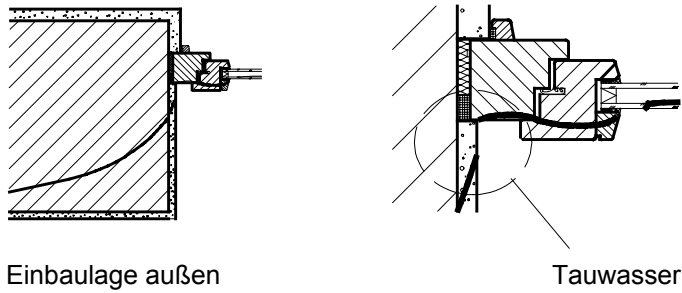


Bild 20 Isothermenverlauf bei verschiedenen Einbauebenen

In Bild 20 ist der Isothermenverlauf in Abhängigkeit der Lage im Baukörper dargestellt. Eine äußere fassadenbündige Lage der Fenster ist in Bezug auf die Tauwassergefahr ungünstig. Berechnungen zeigen, daß aus Gründen des Wärmeschutzes bei einschaliger Außenwand eine Einbaulage im mittleren Bereich anzustreben ist.

Bei mehrschaligem Wandaufbau ergibt sich aus der Isothermenberechnung, daß der Fenstereinbau innerhalb der Dämmzone am günstigsten ist.

Die Gebrauchstauglichkeit des Fensters

Gebrauchstauglich heißt geeignet für den Verwendungszweck und angewandt auf Fenster bedeutet dies, daß auch das Fenster in seinen Eigenschaften geplant sein muß. Auch wenn im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht alle Anforderungen an das Fenster behandelt werden konnten, so wird doch verständlich, daß eine Abstimmung zwischen dem Bauherrn als Auftragnehmer und dem Fensterhersteller als dem Auftragnehmer notwendig ist. Zu groß ist in der Regel der Unterschied zwischen der Erwartungshaltung des Bauherrn und der Leistungsbereitschaft oder auch der Leistungsmöglichkeit des Fensterherstellers. Die technischen Regelwerke bieten für die einzelnen Anforderungen eine ausreichende Grundlage. Es fehlt aber eine übersichtliche Zusammenstellung, die auch dem Bauherrn und dem Bauplaner die Gewißheit gibt, daß er alle wesentlichen Kriterien erfaßt hat.

Für die Regelwerke im gemeinsamen EG-Markt wurde deshalb eine Matrix erarbeitet, welche einen Beitrag zur Lösung dieses Problems darstellt. Ausgehend von der großen Bandbreite in den einzelnen Eigenschaften ist eine Klassifizierung vorgesehen, um auch dem unterschiedlichen Anforderungslevel in den verschiedenen Ländern der Gemeinschaft gerecht zu werden. Als Beispiel sind hier nur die unterschiedlichen Anforderungen an den Wärmeschutz genannt, die sich aus der geographischen Lage der Länder ergeben.

Die Anwendung dieses Vorschlages wird sicher nicht alle Probleme zwischen Bauherrn und Fensterhersteller lösen, aber er macht die gesamte Problematik deutlich und zeigt auf, daß Vereinbarungen in jedem Einzelfalle erforderlich sind. Damit ist ein wesentlicher Beitrag zur Versachlichung der Gespräche zwischen den beiden Vertragspartnern, dem Bauherrn und dem Fensterhersteller gegeben.

| | Allgemein technische Anforderungen | Kurzzeichen | steigende Anforderungen (0 keine Anf. - 7 höchste Anf.) | | | | | | | Einheit | Normen und Richtlinien | | |
|-----|--|------------------|--|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|------------------------|------------------|---|
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | 7 |
| 1.1 | Windlasten | w | | 0,6 | 0,96 | 1,32 | | | | | kN/m ² | DIN 1055 | X |
| 1.2 | Horizontallast | H | | 0,5 | 1,0 | | | | | | kN/m | DIN 1055 | X |
| 1.3 | Vertikallasten | V | | 0,5 | | | | | | | kN/m | DIN 18056 | |
| 2.1 | Schlagregendichtheit | BG | | A 150 | B 300 | C 600 | D | | | | Pa | DIN 18055 | X |
| 2.2 | Fugendurchlässigkeit | BG | | A 150 | B 300 | C 600 | D | | | | Pa | DIN 18055 | X |
| 3.1 | Wärmeschutz des Fensters genauer Wert (≤)** | k _F | | >2,2 | 2,1- 2,2 | 1,9- 2,0 | 1,7- 1,8 | 1,5- 1,6 | 1,3- 1,4 | ≤1,2 | W/m ² K | WVO | |
| 3.1 | Gesamtenergiedurchlaßgrad (Wärmegewinne) genauer Wert (≥)** | g | | <0,2 | 0,20- 0,35 | 0,36- 0,50 | 0,51- 0,60 | 0,61- 0,70 | 0,71- 0,80 | >0,8 | | WVO DIN 67507 | |
| 3.2 | Rahmenmaterialgruppe | RG | | 3 ≥4,5 | 2,3 ≤4,5 | 2,2 ≤3,5 | 2,1 ≤2,8 | 1 ≤2,0 | | | W/m ² K | DIN 4108 | X |
| 3.3 | Wärmeschutz der Verglasung genauer Wert (≤)** | k _V | | >3,0 | 2,0- 3,0 | 1,7- 1,9 | 1,4- 1,6 | 1,2- 1,3 | 1,0- 1,1 | <1,0 | W/m ² K | DIN 4108 | |
| 3.4 | Gesamtenergiedurchlaßgrad (Sommerlicher Wärmeschutz) genauer Wert (≤)** | g _F | | >0,8 | 0,71- 0,80 | 0,61- 0,70 | 0,51- 0,60 | 0,36- 0,50 | 0,20- 0,35 | <0,2 | | WVO DIN 4108 | |
| 3.5 | Lichtdurchlässigkeit | τ | | ≤0,3 | ≤0,4 | ≤0,5 | ≤0,6 | ≤0,7 | ≤0,8 | >0,8 | | DIN 67507 | |
| 4.1 | Schalldämm-Maß des Fensters * genauer Wert (≥)** | R _{w,R} | | 30-34 | 35-36 | 37-39 | 40-41 | 42-44 | 45-49 | ≥50 | dB | DIN 4109 | |
| 5.1 | Einbruchhemmung | EF | | 0 | 1 | 2 | 3 | | | | | DIN V 18054 | X |

* Die angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf die Lärmpegelbereiche gemäß DIN 4109 Tabelle 8. Der R_{w,R}-Wert der Fenster muß für die Aufenthaltsräume so festgelegt werden, daß der in der Tabelle geforderte R_{w,res} für das Gesamtbauteil erreicht wird.

** Genaue Werte aus der Ausschreibung, falls die Einteilung in die Gruppen nicht ausreichend genau ist.

Bild 21 Vorschlag zur Klassifizierung der technischen Eigenschaften der Fenster mit der Eintragung eines Anforderungsprofils als Grundlage der Auftragsvergabe

Dies ist insbesondere im Altbau und bei historischen Fassaden wichtig. Denn gerade hier gehen die Vorstellungen der Architekten, der Bauherrn und Nutzer sowie der Fensterhersteller weit auseinander.

Hier sind die formalen Wünsche und die sich daraus ergebenden technischen Möglichkeiten häufig im Widerspruch zu der Erwartungshaltung des Bauherrn und des Nutzers.

Eine klare Abstimmung der technischen Möglichkeiten mit den Belangen der Architekten und den Wünschen des Bauherrn muß einer Ausschreibung und einer Freigabe der Konstruktionen für die Fertigung vorausgehen. Nur dann ist eine Basis geschaffen, die zu einem gebrauchstauglichen Fenster führt, wobei in alle diese Überlegungen die notwendige Instandhaltung und Instandsetzung der Fenster mit einbezogen werden muß.