

# Wärmeverluste von Fenstern: Transmissionsverluste von verbesserten Konstruktionen

Autor(en): **Brunner, Conrad U. / Nänni, Jürg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **110 (1992)**

Heft 43

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77974>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Wärmeverluste von Fenstern

## Transmissionsverluste von verbesserten Konstruktionen

### Ausgang

Das Fenster erfüllt in den meisten Fällen die Aufgabe, die absolute Trennung der Gebäudehülle selektiv aufzuheben.

VON CONRAD U. BRUNNER,  
ZÜRICH, UND  
JÜRIG NÄNNI, BRUGG

Das Fenster begrenzt einerseits den Innenraum und soll andererseits den Kontakt mit der Aussenwelt ermöglichen. Dabei beinhalten aber die angestrebten Funktionen widersprüchliche Leistungen:

Licht und Sonne müssen aus hygienischen und psychologischen Gründen eingelassen werden, zuviel Sonnenlicht kann aber auch eine störende Wirkung erzeugen.

Fenster sollen die Durchsicht von innen nach aussen ermöglichen, der Ausblick wird gewünscht, der Einblick soll oft bei gleichzeitigem Lichteinlass verwehrt bleiben.

Der Luftaustausch kann durch das Fenster ermöglicht werden. Verbrauchte Raumluft wird gegen frische Aussenluft ausgetauscht. Die Austauschgeschwindigkeit muss aber kontrollierbar sein, denn von geschlossenen Fenstern wird eine hohe Dichtigkeit erwartet. Zugluft wirkt unbehaglich.

Dasselbe gilt für den Schallschutz: Die Störung durch Aussenlärm muss auf ein erträgliches Mass reduziert werden können. Nach Wunsch soll aber ein Schallkontakt mit aussen stattfinden.

In der kalten Jahreszeit muss das Fenster gegen Wärmeverluste schützen, bei Sonnenschein wird Einlass von Wärme gefordert. Im Sommer sind die Anforderungen umgekehrt.

Um diesem Forderungskatalog zu genügen, werden zusätzliche Komponenten wie Jalousien, Schiebeläden, Roll- und Raffstoren, Rouleaux, Vorhänge und Fliegengitter mit dem Bauteil Fenster, zu einem komplexen System kombiniert.

Für die Wirksamkeit des Fensters, sei es als Lichtquelle, als Aussichtsspender oder Kontaktelement Innenraum zu Aussenwelt, ist seine Grösse, seine Form und seine Lage im Raum massgebend. Durch den unterschiedlichen Einsatz können denn auch sehr differen-

zierte Wirkungen erzielt werden. Dabei korrelieren die physikalischen, die psychologischen und die ästhetischen Wirkungen nicht in gewünschtem Mass. Es müssen, selbst bei pointiertem Einsatz, die Wirkungsweisen der Teilaspekte mitberücksichtigt werden.

### Drei moderne Fenster im Quervergleich

Die Bilder 1, 2 und 3 zeigen drei ausgewählte Fensterkonstruktionen im Quervergleich. Die Mittelpartie ist für alle Fensterentwürfe ein geeigneter Testfall. Diese Stelle ist nämlich wärmetechnisch schwierig zu lösen.

Für den Quervergleich ausgewählt wurde:

Ein Holzfenster mit zweifacher Isolierverglasung, Glas-k-Wert 1.38 W/m<sup>2</sup>K und guten Schallschutzeigenschaften (Bild 1).

Ein Holzfenster mit dreifacher Isolierverglasung und Glas-k-Wert 0.79 W/m<sup>2</sup>K, welcher durch doppelte infrarotreflektierende Verspiegelung und Argonfüllung erreicht wird (Bild 2).

Ein Kunststofffenster mit demselben 3-IV-Wärmeschutzglas mit k-Wert 0.79 W/m<sup>2</sup>K (Bild 3).

Die beiden Holzfenster stehen stellvertretend auch für die wärmetechnisch gleichartigen Holz-Metallfenster.

Die drei Fenster werden in einer Konstruktionszeichnung definiert und mit k-Wert-Angaben über das Glaspaket ergänzt. Die zugehörigen Bilder der thermischen Analyse gelten für das Standardklima (Lufttemperatur innen 20 °C und aussen -10 °C) und zeigen einerseits die ganzzahligen Temperaturkurven (Isothermen) und andererseits die senkrecht zu den Isothermen verlaufenden Wärmestromlinien. Zwischen zwei benachbarten Linien der zweiten Schar fliesst eine konstante Wärmeleistung von 0.2 Watt pro Laufmeter zum Aussenraum. Fünf solche Linien markieren somit eine Wärmeabflussleistung von einem Watt pro Meter. Mit wachsender Zahl dieser Wärmestromlinien steigt auch der Energieverbrauch.

Metallteile, welche warme mit kalten Zonen verbinden, scheinen diese Wärmestromlinien anzuziehen. Sehr dicht verlaufende Linien erzeugen Schwärzungen im Wärmestromlinienbild und liefern einen optischen Indikator für Wärmebrücken. Der metallische Glasrandverbund und die Stahlprofile im Kunststoffrahmen erzeugen beispielsweise solche Schwärzungen mit unerwünschtem erhöhten Energieabfluss. Eine wärmebrückenfreie Konstruktion müsste gleichmässig verteilte Wärmestromlinien aufweisen.

Zur Quantifizierung des Wärmebrückeneffekts einer Konstruktion dient der Linienzuschlag  $k_{lin}$ , welcher die Zahl der zusätzlichen Wärmestromlinien pro Kelvin Lufttemperaturdifferenz im Vergleich zum Wärmeabfluss der ungestörten Regelquerschnitte (durchgehendes Glaspaket) repräsentiert. Der

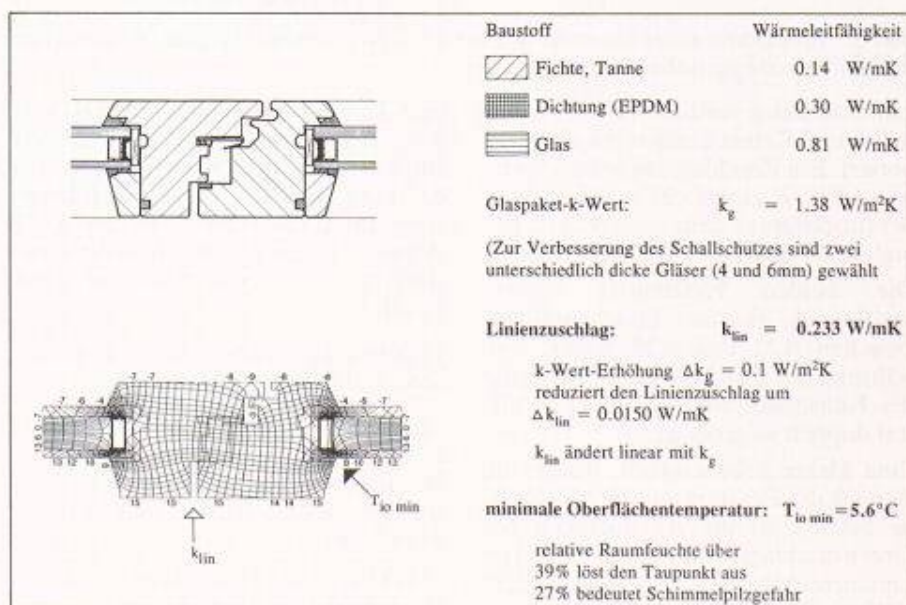


Bild 1. Mittelpartie eines Holzfensters mit 2-IV-Schallschutzglas, Konstruktion und thermisch-thermische Analyse

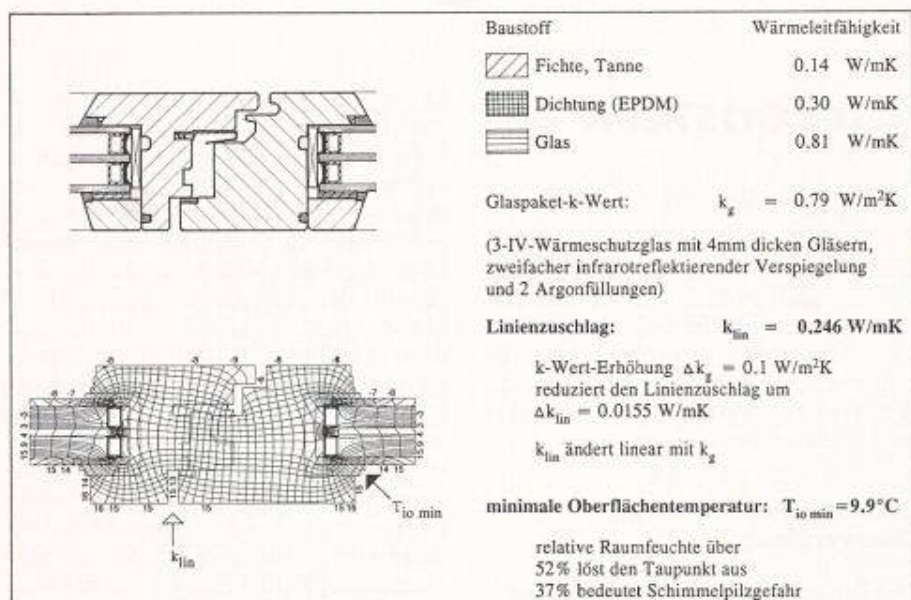


Bild 2. Mittelpartie eines Holzfensters mit 3-IV-Wärmeschutzglas, Konstruktion und thermisch-hygrische Analyse

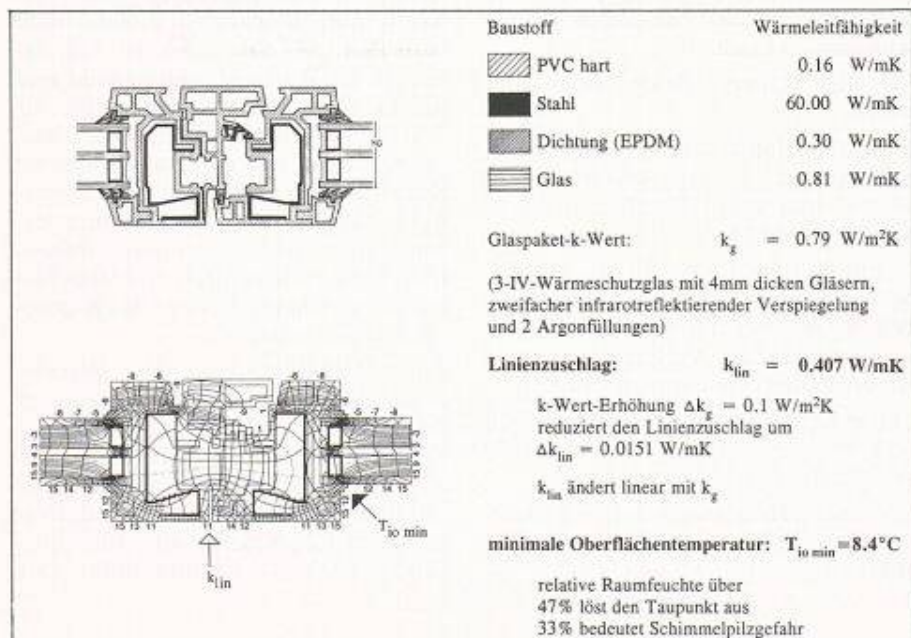


Bild 3. Mittelpartie eines Kunststofffensters mit 3-IV-Wärmeschutzglas, Konstruktion und thermisch-hygrische Analyse

Linienzuschlag wird in Watt pro Laufmeter und Kelvin Temperaturdifferenz notiert. Ein Zuschlag von beispielsweise 0.4 W/mK entspricht bei 30 K Temperaturdifferenz dem zusätzlichen Energieverbrauch von  $0.4 \times 30 = 12 \text{ W/m}$ . Die beiden Holzfenster weisen annähernd gleiche Linienzuschläge zwischen 0.23 und 0.25 W/mK auf, während der Zuschlag der Mittelpartie des Kunststofffensters um 0.41 W/mK fast doppelt so gross ist.

Eine kleine Schwierigkeit, welche im Bereich des Fensters nur die Mittelpartie betrifft, ist die Abhängigkeit des Linienzuschlags vom Glas-k-Wert. Die Linienzuschläge sinken mit steigendem k-Wert. Die Zuschlagsreduktion pro k-Wert-Erhöhung um  $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ist in den Bildern 1 bis 3 für alle drei Fälle no-

tiert. Der Verlauf ist proportional. Verdoppelt sich beispielsweise der k-Wert von 0.8 auf  $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , so reduziert sich der Linienzuschlag des 3-IV-Holzfensters um 0.124 (von 0.246 auf  $0.122 \text{ W/mK}$ ), derjenige des Kunststofffensters um 0.121 (von 0.407 auf  $0.286 \text{ W/mK}$ ).

Verallgemeinerungen dieser Erkenntnisse lauten folgendermassen:

- Der Wärmebrückeneffekt (Linienzuschlag) einer gegebenen materiellen Störung der Dämmzone ist umso grösser, je besser die flankierende Wärmedämmung ist.
- Löcher in der Dämmzone sind umso gravierender, je besser der Wärmeschutz ist.
- Wärmebrücken in Bauhüllen mit tie-

fen k-Werten zerstören die guten k-Wert-Eigenschaften.

Die hygrische Bewertung einer Wärmebrücke basiert auf der Bestimmung der minimalen raumseitigen Oberflächentemperatur bei Standardbedingungen. Die drei Temperaturen in den Bildern 1, 2 und 3 sind  $5.6^\circ\text{C}$ ,  $9.9^\circ\text{C}$  und  $8.4^\circ\text{C}$ . An den entsprechenden Stellen entstehen Tautropfen, wenn die relativen Raumfeuchten die diesen lokalen Temperaturen zugeordneten kritischen Raumfeuchten für Tauwasser übersteigen. Die kritischen Raumfeuchten für Pilzbefall sind wesentlich niedriger. Pilzentstehung setzt nicht unbedingt Tauwasser voraus; eine relativ hohe lokale Feuchtigkeit (über 70% während mehrerer Tage) genügt bereits und bietet das für Schimmelpilzentstehung notwendige tropische Mikroklima. Die hier verwendete kritische Raumfeuchte für Pilzbefall erzeugt an der kritischen Stelle definitionsgemäss eine lokale Feuchtigkeit von 70%.

Die drei Temperaturen und zugeordneten kritischen Raumfeuchten liegen bei den drei Beispielen insgesamt zu tief. Das Holzfenster mit dem 3-IV-Glas bleibt wenigstens tauwasserfrei, falls die Raumfeuchte nicht über 52% ansteigt. Der Hauptgrund des allgemein schlechten hygrischen Befundes der Mittelpartie ist der metallische Glasrandverbund – die bekannte versteckte Wärmebrücke im Mikrobereich dieses Bauteils.

In der Bauphysikliteratur [2] wird der minimalen Innenoberflächentemperatur oft ein dimensionsloses Temperaturdifferenzverhältnis  $\Theta$  zugeordnet. Diese Angabe hat den Vorteil, unabhängig von den Klimadaten zu sein. Ordnet man der Aussenlufttemperatur die Zahl 0%, der Innenlufttemperatur die Zahl 100% zu, so ist der kritischen Stelle der Innenoberfläche der Temperaturpegel  $\Theta\%$  zugeordnet. Die  $\Theta$ -Werte der drei Mittelpartien sind nach dieser Definition 0.52, 0.66 und 0.61. Bei vielen hier nicht erwähnten z.B. aus südlicheren Ländern importierten Fensterkonstruktionen liegen die  $\Theta$ -Werte noch tiefer und die Linienzuschläge noch höher. Der Taupunkt wird im Winter zu oft ausgelöst. Kondensatfreiheit ist jedoch eine wichtige Voraussetzung für eine lange Lebensdauer dieser Bauteile und zur Erfüllung der hygienischen Anforderungen, die an einen modernen Wohnraum gestellt werden.

Beim HIT-Fenster der Firma Geilinger sind diese Probleme weitgehend gelöst. Die Wärmebrücke am Glasrand ist eliminiert, und die kritische Temperatur liegt etwa  $3^\circ\text{C}$  höher als bei der besten der hier behandelten Konstruktionen (Bild 2). Der  $\Theta$ -Wert ist 0.75 und der Li-

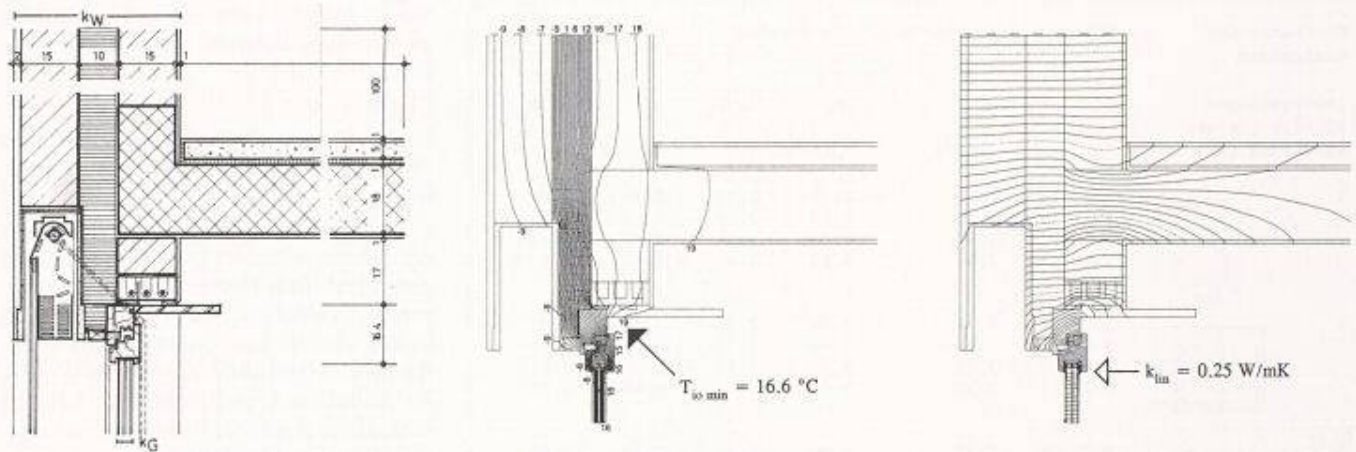


Bild 4. Sturzdetail für ein Zweischalenmauerwerk mit thermisch-hygrischer Analyse

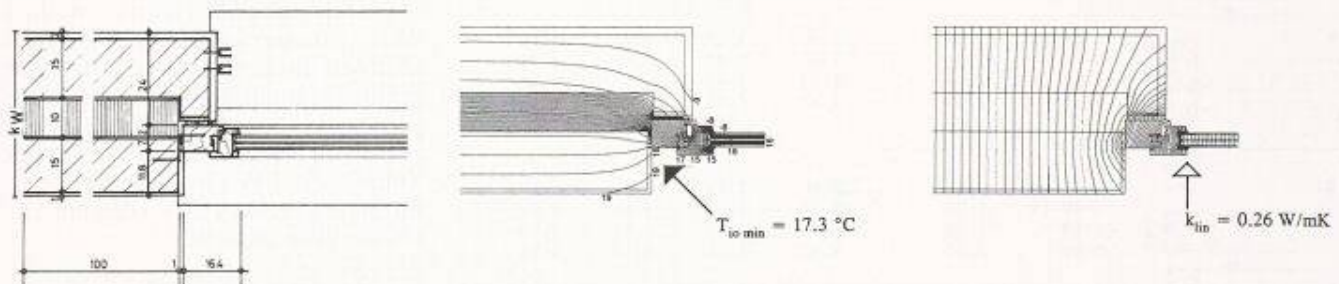


Bild 5. Leibungsdetail für ein Zweischalenmauerwerk mit thermisch-hygrischer Analyse

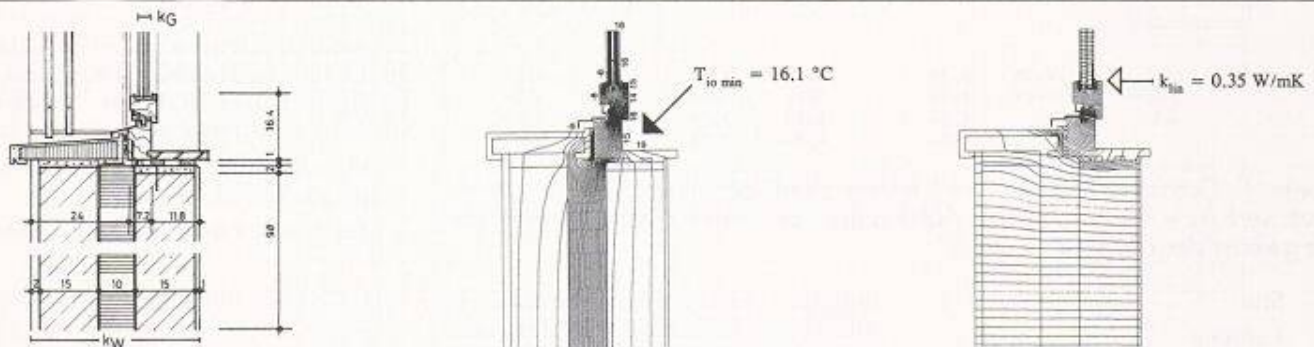


Bild 6. Brüstungsdetail für ein Zweischalenmauerwerk mit thermisch-hygrischer Analyse

nienzuschlag beträgt bei einem Glas-k-Wert von  $0.72 \text{ W/m}^2\text{K}$  nur noch  $0.16 \text{ W/mK}$ . Die relativ klobige Konstruktion ist im Wohnungsbau aber nur bedingt einsetzbar und kann höchstens als Vorläufer einer befriedigenden Zukunftslösung bezeichnet werden.

### Fenster im Zweischalenmauerwerk

Die Beurteilung eines einzelnen Fensters eingebaut in einem gegebenen Mauerwerk setzt die Analysen der Fensteranschlüsse voraus. Die Bilder 4, 5 und 6 zeigen voroptimierte Sturz-, Leibungs- und Brüstungsdetails mit dem 3-IV-Holzfenster von Bild 2, eingebaut in ein Zweischalenmauerwerk mit k-Wert  $0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$  (vgl. [1]). Die Temperaturkurven und die Wärmestromlinien sind hier im Gegensatz zu den Bildern

1 bis 3 entflochten. Die Linienzuschläge beziehen sich auf den Glasrand, d.h. der Wand-k-Wert  $k_W$  gilt in der Basisberechnung bis zum Glasrand, anschliessend gilt der Glas-k-Wert  $k_G$ . Die Wahl dieser Bezugsstelle hat bei diesem Wandanschluss den grossen Vorteil, dass der angegebene Linienzuschlag auch für andere Glas-k-Werte Gültigkeit hat. Im Gegensatz zur Mittelpartie sind keine Umrechnungen notwendig.

Die hygrischen Probleme des Fenstereinbaus sind mit Ausnahme des bekannten Problems am Glasrand gelöst, da die minimalen Oberflächentemperaturen ausserhalb des Glasrandes genügend hoch liegen. Das Brüstungsdetail hat mit  $k_{lin} = 0.35 \text{ W/mK}$  einen verhältnismässig grossen Linienzuschlag, welcher durch Optimierung im Fensterbankbereich für die Zukunft zweifellos weiter verbessert werden könnte. Wer-

den die Holz- durch Kunststoffrahmen ersetzt, so weisen alle Einbaudetails einen gleichmässig schlechten Linienzuschlag von etwa  $0.35 \text{ W/mK}$  auf. Die Temperaturminima am Blendrahmen fallen um 6 bis  $7 \text{ °C}$  auf etwa  $10 \text{ °C}$  und verursachen unerwünschte hygrische Probleme.

Die Tabelle 1 enthält die Gesamt-k-Werte von einigen in der Schweiz häufig vorkommenden Fensterformaten. Die Berechnung des Gesamt-k-Wertes wird gemäss folgender Formel ausgeführt:

$$k_F = k_G + \frac{k_{lin}^S * l_S + k_{lin}^L * l_L + k_{lin}^B * l_B + k_{lin}^M * l_M}{A}$$

mit:

$k_F$ : Gesamt-k-Wert des eingebauten Fensters

$k_G$ : k-Wert des Glaspaketes in  $\text{W/m}^2\text{K}$

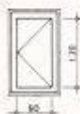



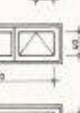
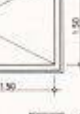
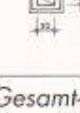
Geometrie des Glasrandes  (Bezugsängen für die Linienzuschläge [m])	Glastyp	Glas-k-Wert	Holzrahmen		Kunststoffrahmen	
		$k_g$ [W/m <sup>2</sup> K]	$k_p$ [W/m <sup>2</sup> K]	$k_p/k_g$ [-]	$k_p$ [W/m <sup>2</sup> K]	$k_p/k_g$ [-]
	3-IV-IR	0,79	2,16	2,73	2,54	3,22
	2-IV-IR	1,38	2,75	1,99	3,13	2,27
	3-IV	2,10	3,47	1,65	3,85	1,83
	2-IV	2,90	4,27	1,47	4,65	1,60
	3-IV-IR	0,79	1,88	2,38	2,23	2,82
	2-IV-IR	1,38	2,46	1,78	2,77	2,01
	3-IV	2,10	3,03	1,44	3,38	1,61
	2-IV	2,90	3,80	1,31	4,11	1,42
	3-IV-IR	0,79	1,80	2,27	2,13	2,70
	2-IV-IR	1,38	2,37	1,72	2,66	1,93
	3-IV	2,10	2,90	1,38	3,24	1,54
	2-IV	2,90	3,67	1,26	3,95	1,36
	3-IV-IR	0,79	2,82	3,57	3,47	4,40
	2-IV-IR	1,38	3,41	2,47	4,06	2,94
	3-IV	2,10	4,13	1,97	4,78	2,28
	2-IV	2,90	4,93	1,70	5,58	1,93
	3-IV-IR	0,79	2,80	3,54	3,30	4,17
	2-IV-IR	1,38	3,37	2,44	3,83	2,77
	3-IV	2,10	3,90	1,86	4,41	2,10
	2-IV	2,90	4,67	1,61	5,11	1,76
	3-IV-IR	0,79	1,54	1,95	1,72	2,18
	2-IV-IR	1,38	2,13	1,54	2,31	1,68
	3-IV	2,10	2,85	1,36	3,03	1,44
	2-IV	2,90	3,65	1,26	3,83	1,32
	3-IV-IR	0,79	4,52	5,73	5,46	6,91
	2-IV-IR	1,38	5,11	3,71	6,05	4,38
	3-IV	2,10	5,83	2,78	6,77	3,22
	2-IV	2,90	6,63	2,29	7,57	2,61

Tabelle 1. Gesamt-k-Werte  $k_r$  verschiedener Fensteröffnungen im Zweischalenmauerwerk ( $k_w = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) in Abhängigkeit des Glas-k-Wertes; Anschlussdetails gemäss den Bildern 4, 5 und 6

S: Sturz

L: Leibung

B: Brüstung

M: Mittelpartie

$k_{lin}^L$ : Linienzuschlag mal Bezugslänge

A: Glasfläche inkl. Mittelpartie

Die Linienzuschläge  $k_{lin}^S$ ,  $k_{lin}^L$  und  $k_{lin}^B$  sind in Bild 4, 5 und 6 für das Holzfenster notiert und haben beim Kunststofffenster den gemeinsamen Wert  $0,35 \text{ W/mK}$ .

Die Zuschläge  $k_{lin}^M$  hängen vom k-Wert des Glaspaketes ab und werden gemäss Anweisung in den Bildern 1, 2, und 3 berechnet. Die Abmessungen  $l_S$ ,  $l_L$ ,  $l_B$  und  $l_M$  sind den Skizzen der Tabelle 1 zu entnehmen. In diesen einfachen Fällen gilt  $l_S = l_B$  und  $l_L = l_M$ .

Der Gesamt-k-Wert berücksichtigt nach diesem Konzept alle Wärmebrückeneffekte im Bereich der Verglasung. Je näher das Verhältnis  $k_p/k_g$  bei 1 liegt, desto geringer ist der mittlere Wärmebrückeneffekt des betreffenden Fensters im betrachteten Mauerwerk. Kennt man die Gesamt-k-Werte der

einzelnen Fenster einer Fassade, so müssen zur Berechnung der Transmissionsverluste in W/K diese mit den Glasflächen multipliziert und zum Produkt von Wand-k-Wert und Restfläche addiert werden. Im Idealfall weist die Fassade nur noch geometrische Wärmebrücken am Rand (Sockel, Ecken, Traufe, Ort) auf.

### Kommentare zu den Resultaten

Die Wärmeschutzanalysen der verschiedenen Fenstertypen mit verschiedener Geometrie und vier verschiedenen Glaspaketten enthüllen überraschende Ergebnisse (vgl. Tabelle 1):

□ Der Einsatz des kostspieligen sehr guten Wärmeschutzglases mit  $k_g = 0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$  führt nur bei grossflächiger quadratähnlicher Geometrie zu annehmbaren Gesamt-k-Werten unter  $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Der entsprechende Verlust bei  $30\text{K}$  Temperaturdifferenz wird in diesen Fällen durch eine eindringende Globalstrahlung von mehr als  $60 \text{ W/m}^2$  (bedeckter Himmel) vollständig wettge-

macht, und das Fenster wird wenigstens an strahlungsreichen Tagesstunden zur Energiequelle.

□ Die Wärmebrückenanteile (vgl.  $k_p/k_g$ ) sind umso grösser, je besser die Wärmeschutzeigenschaften des Glases sind.

□ Kunststofffenster weisen allgemein schlechtere Gesamt-k-Werte auf als die vergleichbaren Holzfenster. Die Differenzen bezüglich Holzfenster nehmen in der Tabelle mit zunehmender Glasfläche von  $0,94 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$  ab, wobei die Verschlechterung bei den schlanken Rechteckformaten viel ausgeprägter ist. Die Differenzen sind unabhängig vom Glas-k-Wert, falls das Fenster keine Mittelpartie hat.

□ Bei fehlender Mittelpartie sind die k-Wert-Verbesserungen der Glaspaketes identisch mit den k-Wert-Verbesserungen des Gesamt-k-Wertes. Die Mittelpartien reduzieren den «Energiebonus» vor allem beim Austausch eines gewöhnlichen 3-IV-Glases durch ein infrarotverspiegeltes 2-IV-Glas mit Gasfüllung ganz deutlich.

### Konsequenzen für den Fenstereinbau am Niedrigenergiehaus

Folgende Konsequenzen gelten, solange die hier beschriebenen Konstruktionsseigenschaften (Rahmen, Glasrandverbund, Fenstereinbau) gelten.

- möglichst grosse Verglasungen mit guten k-Werten wählen
- Mittelpartien wenn möglich vermeiden
- Holzfenster mit gutdimensionierten Flügel- und Blendrahmen bevorzugen
- wärmetechnisch verbesserte Fensteranschlüsse vorsehen
- wärmetechnisch optimierte Einbauelemente (Fensterbank, Sonnenschutz) wählen
- wärmetechnisch optimierte Fensterrahmen bevorzugen
- doppelte Lippendichtungen im Fensterüberschlag fordern.

Adresse des Verfassers: C. U. Brunner, dipl. Arch. ETH/SIA, Lindenhofstrasse 15, 8001 Zürich, und Prof. Dr. Jürg Nänni, HTL Brugg-Windisch

### Literatur

- [1] Brunner C.U. und Nänni J.: Wärmebrücken: Verbesserte Neubaudetails, Zürich, 1992 (Publikation in Vorbereitung, erscheint im SIA-Verlag als SIA-Dokumentation Dok. 078).
- [2] Heindl, Krec et al.: Wärmebrücken, Wien, 1987