

BEHAGLICHKEIT IN FENSTERNÄHE

Fensterentwicklungen im Hinblick auf thermisches Wohlbefinden



Obwohl der Wärmeschutz von Fenstern im Hinblick auf Heizenergieverluste allgemein deutlich verbessert worden ist, läßt er bezüglich der thermischen Behaglichkeit des Raumklimas häufig zu wünschen übrig. Niedrige Oberflächentemperaturen der Verglasung und Kaltluftabfall in Fensternähe können unter bestimmten Randbedingungen Unbehaglichkeit beim Nutzer hervorrufen.

Fenster mit verbessertem thermischem Komfort, die für unterschiedliche Nutzungsanforderungen entwickelt wurden, beruhen entweder auf dem Prinzip der extremen Wärmedämmung oder dem der Beheizung der Fensterinnenflächen. Die Systeme werden hinsichtlich Konstruktion und Funktion beschrieben und abschließend einer vergleichenden Bewertung unterzogen*).

Prof. Dr.-Ing.
Helmut F. O. Müller, Köln

Einflüsse des Fensters auf die Behaglichkeit des Raumklimas

Die charakteristische Funktion des Fensters als Öffnung in der geschlossenen Gebäudehülle für Licht- und Luftdurchlaß kann, abhängig von der baulichen Lösung, mit unerwünschten Einwirkungen auf die thermische Behaglichkeit des Raumklimas sowie den Blend- und Schallschutz verbunden sein.

Die thermische Behaglichkeit, d.h. der angemessene Wärmeaustausch zwischen menschlichem Körper und seiner Umgebung, wird durch folgende Eigenschaften des Fensters beeinflusst:

- ▶ Temperatur der Fensterinnenflächen,
- ▶ Durchlaß von Sonnenstrahlung,
- ▶ Strömungsgeschwindigkeit der Raumluft infolge Undichtigkeiten oder Öffnen des Fensters für Lüftungszwecke.

Temperatur der Fensterinnenflächen

Während die Luftströmung und die Sonneneinstrahlung vergleichsweise gut durch entsprechende Fensterlösungen kontrolliert werden können, erfüllen die Innenflächentemperaturen des Fensters während der Heizperiode häufig nicht die Mindestforderungen bezüglich thermischer Behaglichkeit. Niedrige Fensteroberflächentemperaturen, die aufgrund eines hohen Wärmedurchlasses des Fensterglases auftreten können, haben negative Auswirkungen auf folgende Teilaspekte der thermischen Behaglichkeit:

- ▶ Empfundene Raumtemperatur (Kombination von Oberflächen- und Lufttemperatur),
- ▶ Unterschiede zwischen den Oberflächentemperaturen einzelner raumbegrenzender Bauteile (asymmetrischer Wärmeaustausch des menschlichen Körpers),
- ▶ Zuglufterscheinungen, hervorgerufen durch den Kaltluftabfall in Fensternähe.

Die negativen Einflüsse des Fensters auf die thermische Behaglichkeit, wie sie unter den oben genannten Kriterien definiert ist [1, 2], können unter

bestimmten Bedingungen durch das System der Raumheizung kompensiert werden [3]. Das ist, abhängig von verschiedenen Einflüssen, allerdings nicht immer möglich [4, 5]:

- ▶ Art des Systems der Raumheizung oder -klimatisierung
- ▶ Anordnung der Heiz- und Lüftungseinrichtungen
- ▶ Position des Nutzers zum Fenster
- ▶ Größe und Form des Fensters
- ▶ Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters (k -Wert).

Große und hohe Fenster mit einem großen k -Wert, Position des Nutzers nahe dem Fenster und Heizkörper weit entfernt vom Fenster sind Bedingungen, welche thermische Unbehaglichkeit begünstigen. In Räumen mit hohem Temperaturniveau, wie z.B. in Hallenbädern, wirken sich niedrige Fensterinnenflächentemperaturen besonders nachteilig auf die thermische Behaglichkeit aus. Zusätzlich kann (abhängig von der relativen Luftfeuchte) unerwünschtes Tauwasser auf den Oberflächen auftreten.

Weiterentwicklung von Fenstersystemen

Zur Vermeidung unbehaglicher Innenflächentemperaturen von Fenstern kommen zwei Lösungsprinzipien in Frage:

- ▶ Verkleinerung des Wärmedurchganges durch besondere Wärmedämmverfahren für die Verglasung (k -Werte kleiner $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, ein typischer Wert für Zweischeiben-Wärmeschutzgläser mit infrarotreflektierender Beschichtung),
- ▶ Besondere Beheizung der Fensteroberflächen.

Auf der Grundlage dieser Prinzipien wurden verschiedene Fenstersysteme entwickelt (Bild 1) und während der letzten Jahre in zahlreichen Projekten angewendet.

Beschreibung der Fenstersysteme

Foliengedämmte Verglasungen

Diese besondere Wärmedämmtechnik für Fenster wurde sowohl im Hinblick auf eine Heizenergie-Einspa-

*) Die Untersuchung wurde als Beitrag zur „European Conference on Architecture“, 6. bis 10. April 1987 in München, vorgestellt.

rung als auch auf eine Verbesserung der thermischen Behaglichkeit entwickelt. Erste Prototypen waren mit mehreren unbeschichteten Folien ausgestattet, die eine kleine Lichttransmission bewirkten. Durch Beschichtungen mit kleinem Infrarot-Emissionsgrad (gleichbedeutend mit großem Reflexionsgrad) konnte die Folienganzahl reduziert werden. Heute werden ein bis zwei Polyesterfolien, 50 µm dick, beschichtet auf einer Oberfläche, Emissionsgrad 0,05 bis 0,15, benutzt. Besondere Rahmen mit Spannvorrichtungen für die Folien, die im Luftzwischenraum zwischen zwei Glasscheiben angeordnet sind, wurden entwickelt, die einen der Verglasung entsprechenden kleinen k -Wert erreichen.

Das System kann sowohl für Festverglasungen als auch für Öffnungsflügel in Fassaden angewendet werden. Die technischen Kennwerte für ein bestimmtes Produkt (Bild 2) sind wie folgt, wobei Variationen durch Glas- und Folientyp möglich sind [6]:

Dicke der Verglasung: 90 mm

Dicke des Rahmens: 150 mm

Wärmedurchgangskoeffizient (k):

0,6 W/m²K

Gesamtenergiedurchlaßgrad (g):

40/18%

Lichttransmissionsgrad (τ): 56/29%

Luftschalldämm-Maß (I_a): 44 dB.

Im Vergleich zu normalem Zweischeiben-Isolierglas ist die Schalldämmung groß, was auf den Scheibenabstand von etwa 85 mm zurückzuführen ist. Der solare Gesamtenergiedurchlaßgrad (g) ist wegen der Vielzahl von Stoffschichten (Glas, beschichtete Polyesterfolie) vergleichsweise klein. Für den Heizfall bedeutet das eine geringe Nutzung von Sonnenenergie. Für den Kühlfall, andererseits, tritt eine Überheizung des Raumes seltener auf, bzw. die Kühllasten sind kleiner. Für extreme Klimabedingungen kann zusätzlich eine separate Sonnenschutzvorrichtung zweckmäßig sein, die auch als Blendschutz einsetzbar ist.

Beheizte Profile des Fenstersystems

Diese Lösung wurde ursprünglich für Räume mit großen und hohen verglasten Fassaden, wie z.B. Hallenbäder, Atrien oder Eingangshallen, entwickelt, wo normale Heizsysteme unerwünschte Erscheinungen wie Kaltluftabfall und Oberflächenkondensat nicht verhindern konnten. Stahlhohlprofile, mit Warmwasser beheizbar, wurden als Pfosten und Riegel verwendet. Die Wärmeverluste vom Profil zum Außenraum wurden durch besondere

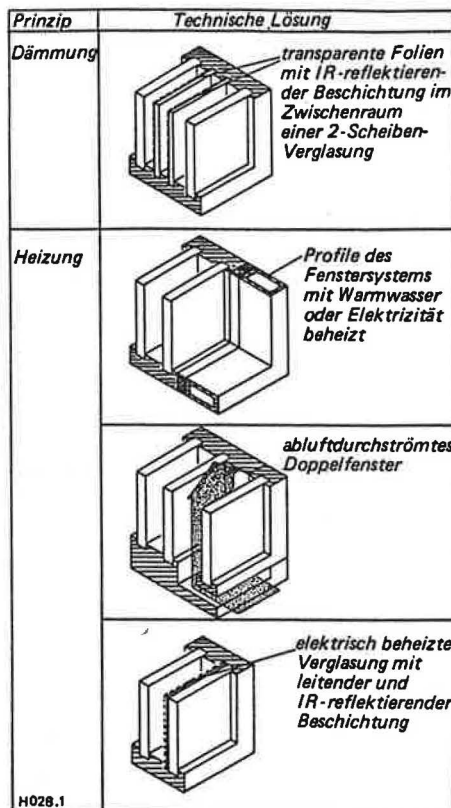
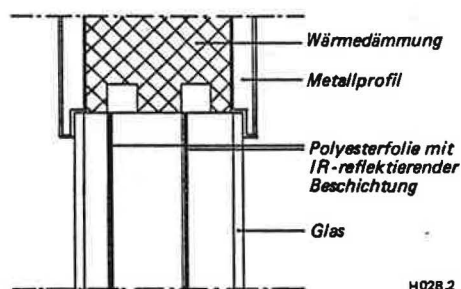


Bild 1: Lösungsprinzipien zur Anhebung der Fensterinnenflächentemperaturen

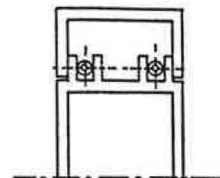


Wärmedämmprofile aus Kunststoff reduziert. Entsprechend können Rahmen- k -Werte bis ca. 1,5 W/m²K erreicht werden [7].

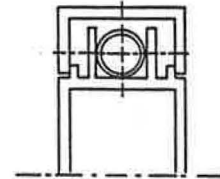
Es werden verschiedene Variationen dieses Systems angeboten (Bild 3): Stranggepreßte Aluminiumprofile, z.B. mit integriertem oder separatem Warmwasser-Heizungsrohr oder elektrisch beheizte Metallprofile. Heizkabel, wie sie als Begleitheizung für Wasserleitungen Verwendung finden, werden mit wärmeleitendem Kontakt in Stahl- oder Aluminiumprofilen befestigt. Überheizung wird durch eine Temperaturkontrolle für Metallkabel oder durch selbstregulierende Heizkabel aus leitenden Polymeren vermieden [8].

All diese Systeme gestatten die Regelung der Profilloberflächentemperaturen in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen. Die Glasoberfläche wird durch Wärmeabstrahlung

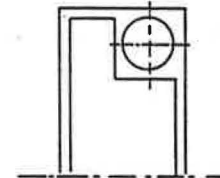
elektrische Heizkabel



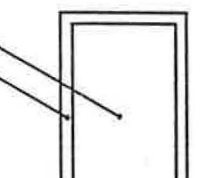
Warmwasser Heizungsrohr, getrennt installiert



Warmwasser Heizungsrohr, in stranggepreßtem Aluminiumprofil integriert



Warmwasserheizung Stahlhohlprofil



Wärmedämmung

Verglasung

Dichtungen

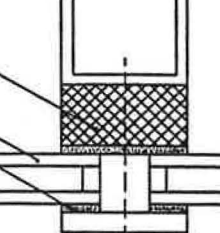


Bild 3: Prinzipskizzen von Varianten beheizter Fensterprofile

Bild 2: Prinzipskizze eines Fensters mit Füllendämmung zwischen Zweischeiben-Verglasung

der Profile aufgeheizt. Die für eine thermische Behaglichkeit erforderlichen Oberflächentemperaturen können auch unter extremen Klimaverhältnissen (Außentemperatur -10 bis -16 °C und Raumtemperatur +20 bis +30 °C) durch Profilloberflächentemperaturen zwischen 35 und 55 °C erreicht werden. Die beheizten Pfosten und Riegel tragen auch zur Raumheizung bei. Unter Umständen kann die Fassadenheizung auch als alleinige Raumheizung eingesetzt werden.

Abluftfenster

Diese Art der Fensterheizung ist in Gebäuden mit Klimatisierung oder geführter Lüftung einsetzbar. Ein Teil der Raumabluft (15 bis 50 m³/hm²) wird durch den Zwischenraum von Innen- und Außenflügel eines Doppelfensters gelenkt. Die Luftführung kann von unten nach oben oder umgekehrt durch

das Fenster erfolgen (Bild 4) und wird durch die Luftführung im Raum bestimmt. Bewegliche Vertikallamellen oder Rollos mit durchsichtigem Gittergewebe bzw. mit Folie können als Sonnen- und Blendschutz zwischen den zwei Fensterflügeln installiert werden.

Die Fensterinnenflächentemperaturen können bei extremen Außenbedingungen (-15°C) in dem behaglichen Bereich von weniger als 5 K unter der Raumlufttemperatur (22°C) gehalten werden.

Die Transmissionswärmeverluste vom Raum in das Fenster und die Lüftungswärmeverluste von der Abluft im Fensterzwischenraum nach außen sind abhängig vom Abluftvolumenstrom [9]. Die Größenordnung ist in Bild 5 dargestellt.

Im Kühlfall ist die Schattierung zwischen den Scheiben sehr wirkungsvoll, da die im Fenster absorbierte Sonnenstrahlung von der Abluft abtransportiert wird. Aus diesem Grund können auch Sonnenschutzvorrichtungen mit dunklen Außenflächen eingesetzt werden, ohne die Kühllasten nennenswert zu erhöhen (Bild 6).

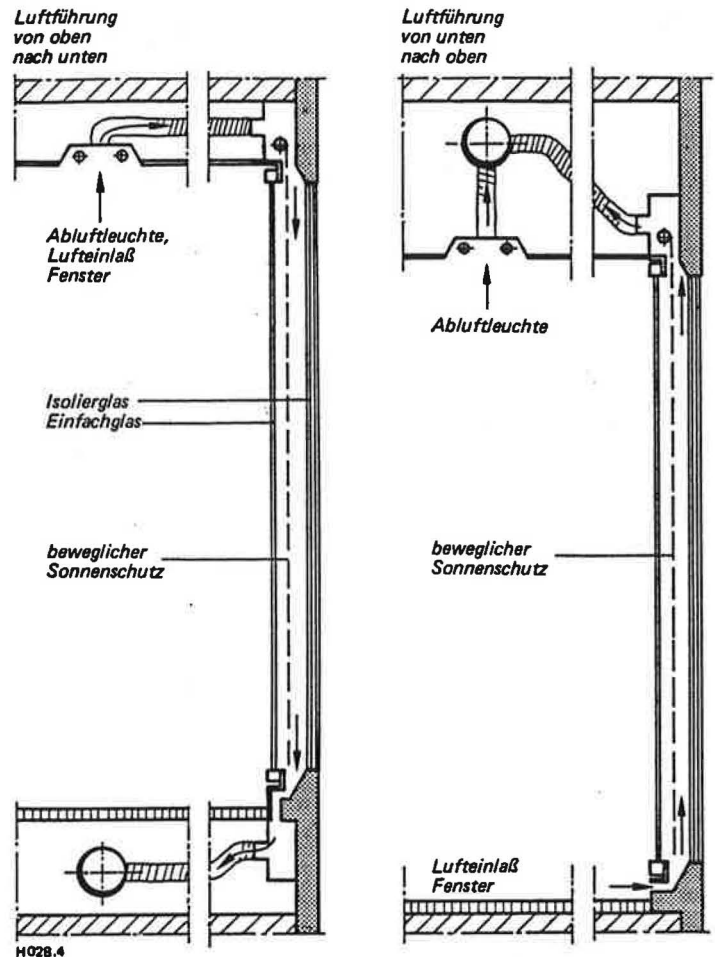
Elektrisch beheizte Gläser

Die raumzugewandte Scheibe von Zwei- oder Dreischeiben-Isoliergläsern, ein vorgespanntes Einscheibensicherheitsglas, kann durch eine elektrisch leitende Beschichtung auf der Oberfläche zum Scheibenzwischenraum beheizt werden. Hohe Wärmeverluste nach außen werden durch eine zweite Beschichtung mit kleinem Infrarot-Emissionsgrad ($\varepsilon \leq 0,15$) vermieden.

Die technischen Kennwerte werden vom Hersteller für ein Zweischeiben-Isolierglas wie folgt angegeben [10]:
 Maximale Größe $1700 \times 3100 \text{ mm}$
 Minimale Größe $500 \times 500 \text{ mm}$
 Wärmedurchgangskoeffizient k $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Gesamtenergiedurchlaßgrad g 63%
 Lichttransmissionsgrad τ 73%
 Farbwiedergabe neutral
 Spannung 220 V
 Widerstand 14 Ohm/m^2 .

Die Oberflächentemperatur wird in Abhängigkeit von der Raum- oder der Außenlufttemperatur geregelt und kann Werte deutlich über der Raumtemperatur erreichen. Aus diesem Grund kann das Glas sowohl für eine Verbesserung der thermischen Behaglichkeit als auch für eine Raumbeheizung verwendet werden.

Bild 4: Prinzipskizze von Abluftfenstern mit Variation der Luftführung



Bewertung

Die beschriebenen Fensterentwicklungen werden mit einer konventionellen Fensterlösung unter folgenden Gesichtspunkten verglichen:

- Innere Oberflächentemperaturen
- Spezifische Wärmeverluste
- Solarer Gesamtenergiedurchlaßgrad
- Tageslicht-Transmissionsgrad.

Da die meisten Fenstersysteme eine große Vielfalt ihrer Komponenten, z.B. der Verglasung oder des Sonnenschutzes aufweisen, werden typische Lösungen für den Vergleich ausgewählt (Bild 7). Bei den profilbeheizten Systemen wurden Pfosten im Achsabstand von $1,10 \text{ m}$ angenommen.

Innenflächentemperaturen

Die aufgezeigten Temperaturen gelten für eine Außentemperatur von -12°C und eine Raumlufttemperatur von $+22^{\circ}\text{C}$. Beim konventionellen Fenster (Zweischeiben-Isolierglas mit $k = 3,0$ bzw. $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) weicht die Innenflächentemperatur ($8,7$ bzw. $15,4^{\circ}\text{C}$) stark von der Raumlufttemperatur ab, wodurch thermische Unbehaglichkeit hervorgerufen werden

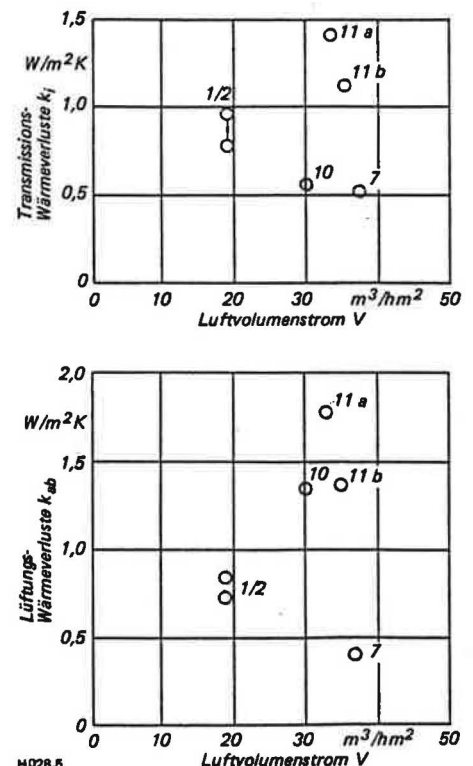


Bild 5: Spezifische Wärmeverluste von Abluftfenstern in Abhängigkeit vom Luftvolumenstrom: k_i Transmissionswärmeverluste vom Raum zum Fenster, k_{ab} Lüftungswärmeverluste vom abluftdurchströmten Zwischenraum nach außen

kann. Die weiterentwickelten Fenster zeigen Temperaturdifferenzen zwischen Raumluft und Oberfläche von kleiner 5 K, und das elektrisch beheizte Glas kann sogar auf Raumlufttemperatur oder darüber gehalten werden.

Aus den Oberflächentemperaturen läßt sich die maximale Raumluftfeuchte zur Vermeidung von Tauwasser auf den Fensteroberflächen ableiten. Hier sind im konkreten Einzelfall mögliche Wärmebrücken zu berücksichtigen.

Spezifische Wärmeverluste

Bild 7 zeigt die auf die Fassadenfläche bezogenen Wärmeverluste vom Raum und von Heizquellen im Fenster nach außen. Das Minimum tritt erwartungsgemäß bei foliengedämmter Verglasung auf. Für die Gruppe der restlichen Fenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung, $k = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, treten die maximalen Wärmeverluste mit zusätzlichen ca. 30% bei dem elektrisch beheizten Glas auf. Für das Abluftfenster wurde berücksichtigt, daß die Wärmeverluste aus der Abluft bei Annahme einer zentralen Wärmerückgewinnung mit etwa 70% zu Buche schlagen.

Im Hinblick auf den jährlichen Heizenergieverbrauch ist zu unterscheiden, ob die Fassadenheizung permanent als Teil der Raumheizung eingesetzt wird oder nur zeitweise zur Erzielung behaglicher Oberflächentemperaturen während extremer Klimabedingungen (z.B. ab Außentemperaturen unter -3°C) betrieben wird.

Solare Wärmegewinne

Die solaren Wärmegewinne werden durch den Gesamtenergiedurchlaß-

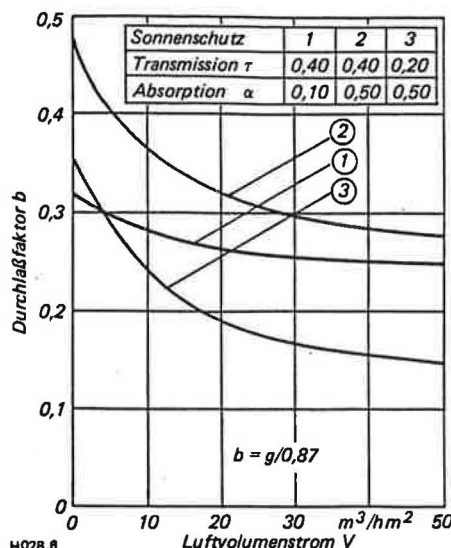


Bild 6: Rechnerisch ermittelter Durchlaßfaktor b für unterschiedliche Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Luftvolumenstrom; äußere Fensterverglasung $k = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 77\%$

grad für zwei unterschiedliche Zustände des Fensters aufgezeigt (Bild 7):

- Fenster ohne Sonnen- oder Blendschutzvorrichtung (g_s),
- Fenster mit geschlossener Sonnen- oder Blendschutzvorrichtung (g_s), wobei die jeweils typische Anordnung innen oder außen für jedes Fenstersystem gewählt wurde. Folgende Abminderungsfaktoren (z) wurden für die Schattierung angenommen: 0,25 für Außenanordnung und 0,50 für Innenanordnung.

Für den nicht schattierten Fall gibt g Aufschluß über die Möglichkeiten der passiven Sonnenenergienutzung für Heizzwecke. Die thermische Behaglichkeit, d.h. der mögliche Schutz gegen Einstrahlung und Überheizung,

wird durch g_s charakterisiert. Für alle Fenstersysteme kann ein g_s -Wert von 15% oder weniger erreicht werden. Aber nur bei zwei Systemen ist das mit innenliegenden, witterungsgeschützten Systemen möglich: Das foliengedämmte Fenster mit solarreflektierenden Folien ($g = 0,18$) und das Abluftfenster. Als Blendschutz eingesetzt erlaubt die innere Schattierung in der Regel eine bessere passive Nutzung der Sonnenenergie für Heizzwecke als die außenliegende.

Tageslicht

Der Transmissionsgrad der nicht schattierten Fenster für Tageslicht zeigt auffallende Unterschiede (Bild 7): Während das foliengedämmte Fenster nur 29 bis 56% durchläßt, liegen die anderen Systeme im Bereich von 70 bis 80%. Ein kleineres Tageslichtangebot kann zu längeren Einschaltzeiten der künstlichen Beleuchtung und in der Folge zu häufigerer Überheizung bzw. zu höheren Kühllasten führen. Ein Fenster mit hohem Tageslichtdurchlaß und effektivem Blendschutz bietet dem Nutzer dagegen die freie Auswahl der jeweils behaglichsten Beleuchtungssituation.

Schallschutz

Ein Nebeneffekt des großen Scheibenabstandes beim foliengedämmten Fenster ist das vergleichsweise hohe Luftschalldämm-Maß (44 dB). Normales Zweischeiben-Isolierglas erreicht Werte von etwa 32 dB, aber durch besondere Maßnahmen sind auch Werte von 40 bis 50 dB möglich. Der Schallschutz des abluftdurchströmten Doppelfensters, der aufgrund von Scheibenanzahl und -abstand eigentlich

Bild 7: Vergleich konventioneller und weiterentwickelter Fenstersysteme

Fenstersystem	Oberflächen-temperatur ($^\circ\text{C}$)	max. relative Raumluftfeuchte (%)	spezifische Wärmeverluste (W/m^2)	Tageslichttransmission τ (%)	Gesamtenergiedurchlaßgrad g/g_s (%)
konventionelles Fenster, 2-Scheiben-Isolierglas, Außenschattierung, $-k = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ $-k = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	22	22	22	22	22
foliengedämmtes Fenster $k = 0,6 \text{ W/m}^2$ $-g = 40\%$, Außenschattierung $-g = 18\%$, Innenschattierung	22	22	22	22	22
beheizte Fensterprofile (Kühlung möglich) $k = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ Außenschattierung	22	22	22	22	22
Abluftfenster, Außenverglasung mit $k = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 65\%$, Schattierung im Luftspalt, Luftvolumenstrom $V = 30 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	22	22	22	22	22
elektrisch beheiztes 2-Scheiben-Isolierglas, $k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	22	22	22	22	22

hoch sein sollte, wird durch die Lüftungsöffnungen des Innenflügels beeinträchtigt. Aus diesem Grund liegt der Schallschutz gerade 1 bis 2 dB über den Werten vergleichbarer konventioneller Fenster.

Schlußfolgerungen

Es gibt verschiedene Fenstersysteme am Markt, die allen Anforderungen bezüglich thermischer Behaglichkeit gerecht werden. Unter extremen Klimabedingungen können die Oberflächentemperaturen der Fenster so nahe an der Raumlufttemperatur und den übrigen Raumboberflächentemperaturen gehalten werden, daß Unbehaglichkeit durch asymmetrischen Wärmeaustausch und Kaltluftabfall für den Nutzer ausgeschlossen ist.

Dies gilt insbesondere für sehr große und hohe Fensterflächen in Wänden sowie für Glasdächer. Weiterhin sind diese Systeme prädestiniert für Räume mit großen Heizflächen in Boden, Decke oder Wand, z.B. auch bei sonnenbeheizten Außenwänden mit transparenter Wärmedämmung

[11]. Ferner empfiehlt sich der Einsatz für Räume mit besonders hoher Lufttemperatur und/oder relativer Luftfeuchte.

Die sehr niedrigen Wärmeverluste der Fenster mit Foliendämmung werden begleitet von einer vergleichsweise niedrigen Lichttransmission. Für heizbare Fenster gibt es eine Vielzahl von Lösungen, bei denen entweder die Rahmenprofile oder die Glasflächen direkt erwärmt werden. Die Beheizung kann sowohl zeitlich begrenzt zur Vermeidung unbehaglicher Oberflächentemperaturen als auch permanent zur Unterstützung der Raumheizung betrieben werden. Der Einsatz von Strom für die Fassadenbeheizung ist derzeit wenig erprobt und muß im Einzelfall auf Wirtschaftlichkeit und energietechnische Zweckmäßigkeit überprüft werden.

Die Auswahl des jeweils geeigneten Fenstersystems kann nur unter einer gesamtheitlichen Berücksichtigung aller raumklimatischen, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte sowie der besonderen Bedingungen des Einzelfalls vorgenommen werden.

[H 028]

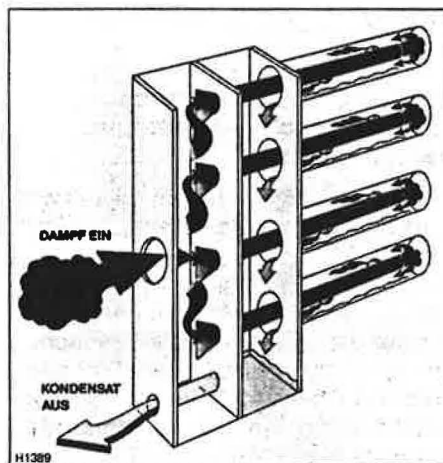
Literaturangaben

- [1] Fanger, P.O.: Thermal comfort. Mc Graw-Hill Book Company, New York, Düsseldorf, Toronto (1970).
- [2] Frank, W.: Die Erfassung des Raumklimas mit Hilfe des richtungsempfindlichen Frigometers. GI 89 (1968), Nr. 10, S. 301–308.
- [3] Erhorn, H., M. Szermann, u. K. Gertis: Wie beeinflußt die Heizkörperanordnung im Raum die thermische Behaglichkeit und den Wärmeverlust? Bauphysik 5 (1986), S. 146–153.
- [4] Esdorn, H., u. P. Schmidt: Einfluß der Heizflächenanordnung auf die empfundene Temperatur in beheizten Räumen. AIF-Forschungsbericht Nr. 3328/1978.
- [5] Kröling, P.: Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden. W. Zuckschwerdt Verlag, München, Bern, Wien (1985).
- [6] Keller, B.: Der Einfluß von hochisolierenden Fenster- und Fassadensystemen auf Raumklima und Energiebedarf. Geillinger AG, Winterthur, CH (1986).
- [7] Gockell, B.: Integrierte Fassaden-Heizungen. VDI-Berichte Nr. 296 (1978), S. 37–43.
- [8] Claßen, C.-D.: Temperaturregelung bei Rohr-begleitheizungen. CAV, Nr. 3 (1983), S. 40–44.
- [9] Müller, H., u. M. Balkowski: Abluftfenster in Bürogebäuden. HLH 34 (1983) Nr. 10, S. 412–417.
- [10] Hager, W.: Elektra – keine Tragödie, nein, ein beheizbares Isolierglas. glas + rahmen 6 (1986).
- [11] Goetzberger, A., u.a.: Transparente Wärmedämmung, Schlußbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des BMFT 03E-8411-A. Fraunhofer Institute für Solare Energiesysteme und für Bauphysik (1987).

DAMPFHEIZREGISTER ERWÄRMEN RAUMLUFT

Dampfheizregister werden zur Erwärmung der Raumluft in Lüftungskanäle eingebaut. Wichtig bei der Konstruktion solcher Register ist, daß auch im Teillastbetrieb, also bei temperaturge-regeltem Dampfdurchsatz, eine gleichmäßige Erwärmung der durchströmenden Luft über die gesamte Fläche des Registers erreicht wird.

Das Bild zeigt den inneren Aufbau von Dampfheizregistern, die nach den genannten Kriterien konstruiert sind. Über einen Verteiler strömt der Dampf gleichmäßig in die jeweils vorhandene Anzahl gerader Heizrohre, welche mit strömungsgerechten und richtungsgebenden kinetischen Öffnungen ver-



Innerer Aufbau der Dampfheizregister
Werkbild

sehen sind. Durch diese wird der Dampf gleichmäßig in ein das Primärrohr umgebendes Außenrohr geleitet.

In diesem Außenrohr kondensiert der Dampf bei gleichzeitiger Erwärmung der Luft, die durch das Register strömenden Außen-

rohr zu einem Sammler und wird von dort abgeleitet.

Die Wärmeaustauscher sind mit durchgehenden Aluminium- oder Kupferlamellen als Sekundäroberfläche ausgestattet.

Wesentliche Merkmale dieser so aufgebauten Register sind: Keine Einfriergefahr bei 100% bis 0% modulierendem Betrieb, keine Temperaturschichtungen (max. $\pm 1^\circ\text{C}$ bei allen Lastzuständen), keine Dehnungsspannungen, Korrosionsbeständigkeit, gute Wärmeübertragungsleistung (ARI-Meßmethode).

Die Rahmen bestehen aus verzinktem Stahlblech mit vorbereiteten Bohrungen zum Einbau in Luftkanäle oder zum Aufbau von Heizbatterien. Verschiedene Größen mit Dampfein- und Kondensataustritt auf der gleichen oder gegenüberliegenden Seite werden angeboten. Die Normalausführungen dieser werkgeprüften Dampfheizregister sind für Dampf bis 14 bar und 200°C geeignet. [H 1389]