Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 45

Artikel: Das Fenster - Wärmeloch oder Sonnenkollektor?
Autor: Brunner, Conrad U.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73487

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das Fenster — Wärmeloch oder Sonnenkollektor?

Von **Conrad U. Brunner**, Zürich

Glasfassaden sind neulich unter Beschuss geraten. Mit dem verständlichen Anliegen einer energiesparenden Bautechnik wird im Fenster der grosse Energieverschwender vermutet. Gesetzliche Bestimmungen zur Beschränkung des Fensteranteils an der Fassade sind auf kantonaler und nationaler Ebene im Gespräch. Was ist die Bedeutung des Fensters in dieser neuen Diskussion? Welches sind die richtigen Entwurfskriterien für den praktischen Gebäudeplaner?

Grundlagen

Fensterflächen haben im Gegensatz zu massiven Wandflächen drei besondere Eigenschaften:

- die Durchsichtigkeit
- die geringe Isolation
- die Undichtigkeit der Fugen.

Die Anordnung von zwei parallelen Glasscheiben – wie sie sich in unserem Klima allgemein durchgesetzt hat – bestimmt die Lichtdurchlässigkeit (rund 80%) und die *Isolation* (bei 3 cm Glasabstand rund 2,4 kcal/m² · h · °C, also 2 bis 6 mal soviel wie eine isolierte Aussenmauer. Diese Glasfläche zeichnet sich zudem durch eine sehr geringe Masse (rund 20–30 kg/m²) aus, d.h. die Glasflächen verfügen über eine sehr geringe Wärmespeicherfähigkeit. Die Erfahrung zeigt, dass die innere Oberfläche des Glases wesentlich kälter als die Oberflächen der Mauern ist, was sich in unangenehmem «Strahlungszug», Kaltluftabfall und Kondensation äussert. Der Isolationswert des Fensters wird dabei durch die Windgeschwindigkeit (Abkühlung der Aussenfläche [1]) und die atmosphärischen Verhältnisse (Abstrahlung an klare Himmelsfläche) stark beeinflusst. Der Fensterrahmen (Holz, Metall oder Kunststoff) weist im allgemeinen einen Isolationswert der gleichen Grössenordnung wie die Glasfläche auf, wobei Holz- und Kunststoffrahmen besser, unisolierte Metallrahmen (Stahl oder Aluminium) schlechter abschneiden und besonders zu Kondensationsbildung neigen. Unabhängig von der Isolation der Glasfläche und des Rahmens bestimmt die Dichtigkeit der Fugen (a-Wert, m³ Luft je m¹ und h) den zweiten wichtigen Aspekt des Wärmeschutzes, indem in Abhängigkeit vom Druckgefälle aussen/innen Luft durch die Fugen unkontrolliert hineinströmt und im Winter den Raum auskühlt und austrocknet.

Glas hat ausserdem eine spezifische Eigenschaft, die das gängige Bild der Wärmeloch-Vorstellung verändert. Glas ist für Licht (sichtbarer Bereich bei Wellenlängen von 380 bis $760 \cdot 10^{-9}$ m) durchsichtig, für Infrarotstrahlung aber sehr schlecht durchlässig. Von der Sonnenstrahlung gelangen damit rund 80% in Form von sichtbarem Licht durch das Fenster (die übrigen 20% werden reflektiert oder absorbiert), wo es auf Boden und Wänden absorbiert, d.h. in Wärmestrahlung umgewandelt wird. Diese infrarote Strahlung (Wellenlänge über $760 \cdot 10^{-9}$ m) kann durch das Glas nicht zurück und erwärmt dadurch die Raumbegrenzung und die Luft. Der Effekt der Wärmefalle wird in Treibhäusern und neuerdings in Sonnenkollektoren nutzbar gemacht. Jedes Haus mit Fenstern unterliegt diesem Effekt. Bei einem unbeheizten Haus bedeutet dies, dass die natürliche Innentemperatur [2] auch im kältesten Winter immer etwas über der Aussentemperatur liegt. Bei Wohnhäusern mit mittleren Fenstergrössen macht dieser Effekt im kalten Winter etwa 2° aus, in der Übergangszeit im Herbst und Frühling nahe der Heizgrenze etwa 8 bis 10 °C.

Globalstrahlung

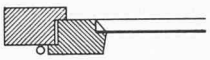
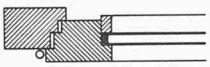
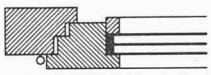
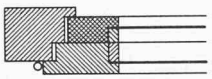
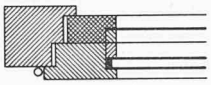
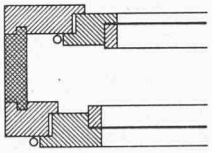
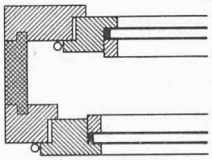
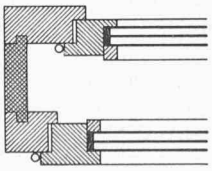
Die von der Sonne abgegebene Strahlung (Solarkonstante 1165 kcal/h · m²) wird durch die Witterung beeinflusst. Die Trübung der Atmosphäre (Trübungsfaktor *B*) bestimmt den Anteil der direkten und der diffusen Strahlung. Bei klarem Himmel macht der direkte richtungsgebundene Teil der Strahlung den Hauptanteil aus, bei trübem Wetter sinkt er ab, so dass praktisch ausschliesslich diffuse, d.h. richtungsunabhängige Strahlung auf die Erdoberfläche trifft. Über ein ganzes Jahr gesehen fallen somit folgende Globalstrahlungsmengen *G* (diffuse und direkte Strahlung) auf eine Fläche von 1 m²:

	12 Monate	*7 Heizmonate*
horizontal	1092 Mcal/m²	350 Mcal/m²
vertikal Süd	868	394
vertikal Ost	585	197
vertikal West	607	210
vertikal Nord	262	95

Diese mittleren Werte für Zürich-Kloten (Beobachtungszeitraum 1963–72, 50% Wahrscheinlichkeit [3]) unterliegen natürlich Schwankungen durch die tatsächlichen Witterungsverhältnisse. Immerhin kann bei diesen Werten gesehen werden, dass eine starke Orientierungsabhängigkeit besteht, wobei Ost und West mit etwa gleichen Werten zwischen den hohen Südwerten und den erwartungsgemäss niedrigeren Nordwerten stehen. Für die 12-Monatsperiode liegen die Werte der Horizontalfläche über denjenigen der Südfläche, für die 7monatige Heizperiode liegen die Werte der vertikalen Südfläche, bedingt durch den niedrigeren Wintersonnenstand, entsprechend höher [4]. Geneigte Flächen können die aufgenommene Strahlungsmenge wesentlich erhöhen: eine 45° geneigte Südwand erhält während der 7-Monatsperiode im Winter bereits über 500 Mcal/m².

Ungefähr 70% dieser Globalstrahlung wird von einem doppelt verglasten Fenster (DV) durchgelassen und erwärmt dadurch den dahinter liegenden Raum. Im Sommer führt dies rasch zu einer unerwünschten Übererwärmung, die nur mit einem wirksamen äusseren Sonnenschutz reduziert werden kann. In Frage kommen dafür fest eingebaute oder bewegliche Schattenspender in Form von Brise-Soleil oder verstellbaren Lamellenstoren aus reflektierendem Material. Neuerdings werden auch verspiegelte Gläser angeboten, die die Reflexion der äusseren Glasfläche stark erhöhen und damit nur noch einen Bruchteil der Globalstrahlung durchlassen. Der Nachteil dieser neuen Technik liegt darin, dass die Verspiegelung permanent wirksam ist, d.h. auch im Winter, wenn eine Sonneneinstrahlung erwünscht ist, und dass durch die Verspiegelung auch eine starke Einbusse der Lichtdurchlässigkeit (Lichtdurchlässigkeit 30 bis 40%) in Kauf genommen werden muss. Als praktisch unwirksam zum Schutz vor Übererwärmung müssen innere Lamellenstoren und getönte Glasflächen bezeichnet werden [5]. In beiden Fällen findet die unerwünschte Erwärmung im Sommer trotzdem statt, indem die innen umgeformte infrarote Strahlung nicht wieder nach aussen gelangen kann.

Neuerdings werden als Nebenprodukt der Sonnenkollektor-Entwicklung auch selektive Beschichtungen angeboten, die die Wirkung des Glases in einer Richtung und für einen bestimmten Spektralbereich noch verstärken. Als Folie aufgeklebt oder als Bedampfung der Glasfläche stellen sie eine Möglichkeit der Verbesserung der Wärmefallenwirkung dar, die allerdings wieder permanent wirksam ist, d.h. Sommer und Winter nicht verändert werden kann. Ein neues deutsches Glasprodukt erzielt dabei bei einer Lichtdurchlässigkeit von 65% eine Strahlungsdurchlässigkeit von 54% bei einem beachtlichen Isolationswert $k = 1{,}4$.

HOLZ / KUNSTSTOFFENSTER		k – Wert kcal/m² hgrd
Fensterbauart Verglasung	sinnbildliche Darstellung	Schalldämmmass R (dB) mit garantierter Dichtung (ohne Dichtung)
1 Einfachfenster einfach verglast		4,5 23 (18)
2 Einfachfenster doppeltes Isolierglas 12 mm Glasabstand		2,6 27 (21)
3 Einfachfenster dreifaches Isolierglas 2x12 m Glasabstand		1,7 28 (22)
4 Verbundfenster 2 Scheiben Fensterglas		2,2 29 (24)
5 Verbundfenster Fensterglas und doppeltes Isolierglas 12 mm Glasabstand		1,6 30 (25)
6 Doppelfenster 2 Scheiben Fensterglas		2,0 36 (29)
7 Doppelfenster 2 Scheiben doppeltes Isolierglas 12 mm Glasabstand		1,3 38 (30)
8 Doppelfenster 2 Scheiben dreifaches Isolierglas 2x12 mm Glasabstand		0,9 38 (30)

Übersicht gebräuchlicher Fenstertypen mit k-Wert (nach Hebgen, Heck)

Im Winter können während der Heizperiode (220 Heiztage in Zürich bei 20° Raumtemperatur) durch die Sonneneinstrahlung beträchtliche Wärmegewinne verbucht werden, die die notwendige Wärmezufuhr durch das Heizsystem entlasten. Dies setzt allerdings voraus, dass das Heizsystem regeltechnisch diesen Sonnenwärmebeitrag feststellt und entweder durch Aussenthermostaten mit Strahlungskomponente und/oder durch eine thermostatische Raumsteuerung der inneren Wärmeabgabe die Zufuhr entsprechend drosselt. Die Verwendung von thermostatisch gesteuerten Radiatorventilen ist eine einfache und kostengünstige Massnahme zur Nutzbarmachung des Fensters als Sonnenkollektor.

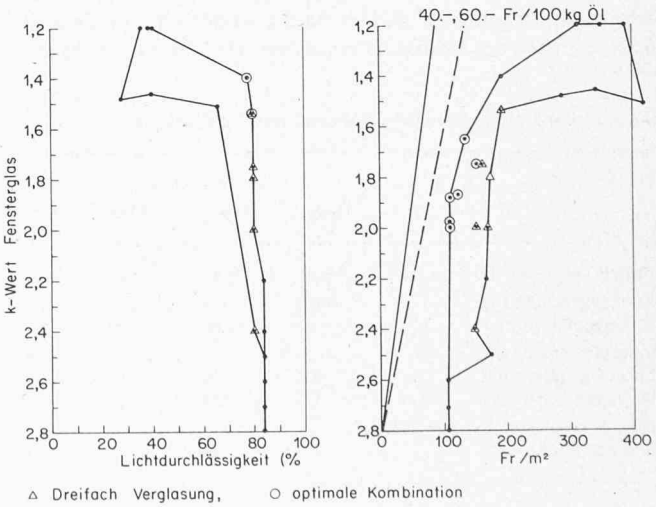
Orientierung

Je nach Fensterkonstruktion und Orientierung ist es damit möglich festzustellen, ob ein Fenster als *Wärmeloch* (Bilanz negativ —) oder als *Sonnenkollektor* (Bilanz positiv +) zu bezeichnen ist.

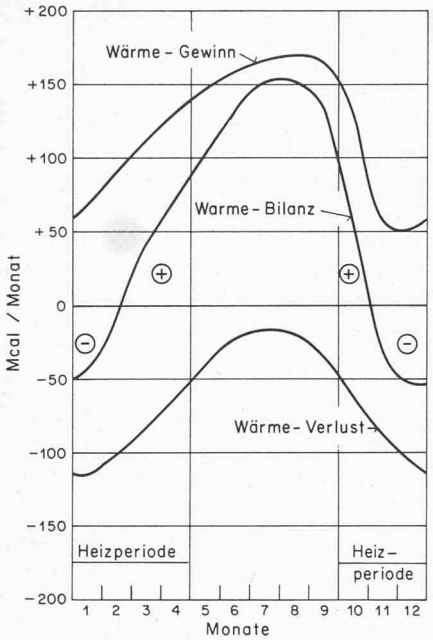
Rechnungsannahmen: Normale Fensterdimension 130/183 cm, Holzrahmen, 2,4 m² Fensterfläche, 7,6 m¹ Fugenlänge, Zürich, 20° Raumtemperatur, 12° Heizgrenze, 3660 Gradtage, $\Delta p = 1{,}0$ mm/WS, $k_{DV} = 2{,}4$; $k_{IV} = 2{,}6$; $k_{TV} = 1{,}8$; $a_0 = 2{,}5$; $a_1 = 1{,}0$, Nutzung von 70% der Globalstrahlung.

Die Ergebnisse der obenstehenden Tabelle verändern sich bei windstarker Gegend und bei Beschattung durch Bauten und Pflanzen der Umgebung zuungunsten, bei richtigem Einsatz von Rolladen und Vorhängen und bei geneigten Fenstern im Dachbereich zugunsten der Fensterfläche. Durch eine konsequente Bedienung von äusseren Roll- und Klappläden und durch den Einbezug eines einfachen oder doppelten Vorhanges innen können zusätzlich min. 60 Mcal für das berechnete Fenster während einer Heizperiode eingespart werden. Unter Berücksichtigung dieses Einflusses sind DV-Fenster auf der Südseite und TV-Fenster mit guter Fugendichtung sogar auf der Süd-, Süd-Ost- und Süd-Westseite als positiv in die Wärmebilanz einzusetzen. Sogar ein west- oder ost-orientiertes TV-Fenster mit guten Fugen ist immer noch besser als ein Mauerwerk mit $k = 1{,}0$. Die Tabelle zeigt auch den starken Einfluss der Verbesserung der Fugendichtung.

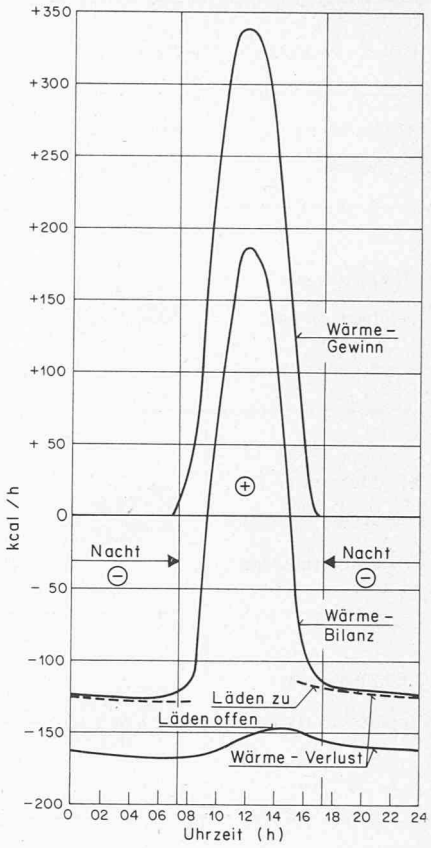
Die Auswertung der obigen Berechnung für die praktische Anwendung bedarf einiger Bemerkungen. Naturgemäss scheint die Sonne im Winter in einem Winkelbereich von 0° bis 20° vertikal und in einem Azimutbereich von ± 45° von Süd



Abhängigkeit von Fenster-k-Wert, Lichtdurchlässigkeit und Flächenpreis (nach Spörri, GDI 1976



Rechts: Tagesgang der Wärmebilanz eines DV-Fensters, südorientiert, im Dezember in Zürich: positiv zwischen 9.30 und 15 h



Links: Jahresgang der Wärmebilanz eines DV-Fensters, südorientiert, in Zürich: positiv zwischen Mitte Februar und Ende Oktober

(SE/SW). Bei diesem flachen Sonneneinfallswinkel ist zeitweise die direkte Sonneneinstrahlung tief in den Raum hinein unerwünscht. Durch geeignete Schattenspender kann ein Blendschutz angebracht werden, wodurch aber zeitweise nicht die volle Einstrahlung genutzt werden kann. Durch nahestehende Gebäude, Bäume usw. werden häufig gerade im Winter die Fenster während einiger Stunden beschattet, so dass ebenfalls nur ein Teil der direkten Strahlung verfügbar ist. Zudem besteht gerade in den Wintermonaten (Dezember: 37 Sonnenstunden) eine grosse Unregelmässigkeit der direkten Sonnenstrahlung, d.h. zeitweise findet eine gehäufte intensive Einstrahlung statt, darauf folgen wieder mehrere Tage mit bedecktem Himmel und damit nur geringerer diffuser Strahlung. Eine massive Bauform kann durch die Massenträgheit gewisse Schwankungen im Zyklus Tag/Nacht und allenfalls auch über eine kurze Schlechtwetterperiode ausgleichen. Ein Ausgleich über mehrere Tage ist aber direkt nicht möglich und erfordert Speichermedien (isolierte Wärmespeicher, z.B. in Form von Wassertanks). Ferner ist die konsequente Bedienung von Läden und Vorhängen durch die Bewohner ein gewisser Unsicherheitsfaktor, d.h. erfahrungsgemäss werden nur rund die Hälfte der Läden nachts im Winter tatsächlich geschlossen. Die innere Vorhanganordnung ist zudem häufig ungünstig, so dass die Wärmeabgabe des Radiators erschwert wird. Wenn verbesserte

Energiebilanz eines Fensters während der Heizperiode

	Orientierung			
	Süd	Ost	West	Nord
doppelt verglastes Fenster (DV)	Mcal	Mcal	Mcal	Mcal
ohne Fugendichtung	—361	—692	—671	—864
mit Fugendichtung	— 51	—381	—360	—553
Isolierglasfenster (IV)				
ohne Fugendichtung	—404	—734	—713	—906
mit Fugendichtung	— 93	—424	—402	—595
dreifach verglastes Fenster (TV)				
mit Fugendichtung	+ 75	—255	—234	—427

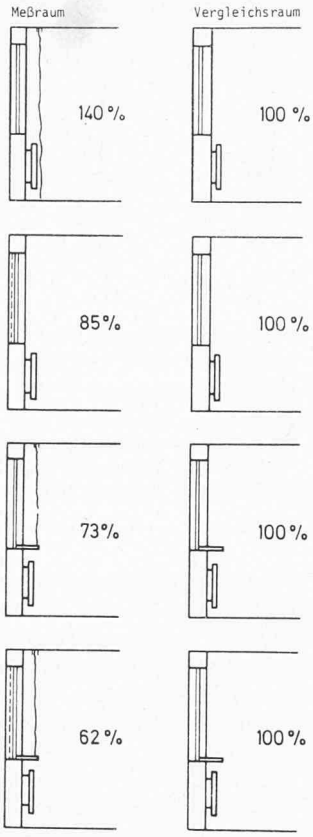
massive Aussenwand zum Vergleich:

2,4 m²	Mcal
k = 0,8	—169
k = 0,4	— 84

Isolatorläden und besondere Isoliervorhänge verfügbar sind, wird ihre konsequente Benutzung zur Bewirtschaftung des Fensters entsprechend attraktiv. Damit wird es möglich, in der dunklen Tageszeit (18 bis 7 Uhr) im Winter während rund 13 Stunden durch die Reduktion der Abstrahlung den Isolationswert des Fensters auf rund $k = 0{,}4$ zu reduzieren und gleichzeitig eine verbesserte Luftdichtigkeit zu erreichen.

Lüftung

Die individuellen Lüftungsgewohnheiten der Bewohner stellen einen weiteren Unsicherheitsfaktor dar. Immerhin kann festgestellt werden, dass die normale Wohnung mit etwa 100 m² Bruttogeschossfläche und etwa 220 m³ Luftvolumen bei im Mittel 3 Bewohnern ein grosses Luftvolumen pro Kopf von 60 bis 80 m³ aufweist. Dies bedeutet, dass innerhalb der Wohnung ein ständiger Luftaustausch durch Türen und Fugen stattfindet und damit die für Arbeitsplätze usw. massgebende kritische Geruchsgrenze nicht isoliert auf einen abgeschlossenen Raum bezogen berechnet werden darf. Auch wenn alle Bewohner im Wohnraum bei geschlossener Türe sitzen, verfügen sie über mehr als 15 m³ Luftvolumen pro Kopf und können dadurch ihre Frischluftrate auf rund 6–10 m³/h · Person beschränken. Neuere physiologische Untersuchungen im Wohnbereich fehlen aber, um präzise Frischluftangaben zu machen. Fest steht, dass nicht Sauerstoffmangel, sondern Geruchswahrnehmung (Raucher) die kritische Grenze bestimmt. Immerhin kann den erwähnten Fakten entnommen werden, dass die *Luftwechselraten* von $n = 3$ bis 10, wie sie aus dem Bürobau bekannt sind, und wo fremde Personen mit Rauchern zusammen bei Luftvolumen von 8 bis max. 20 m³ pro Kopf zusammenarbeiten, für den Wohnsektor weit übersetzt sind. Die noch vor kurzem vermutete Luftwechselrate für Wohnungen von $n = 2$ bis 3 pro Stunde dürfte heute in der Praxis um einen Faktor 5 überhöht sein. Dies insbesonders auch, da durch die gleichmässige Raumerwärmung der Zentral-



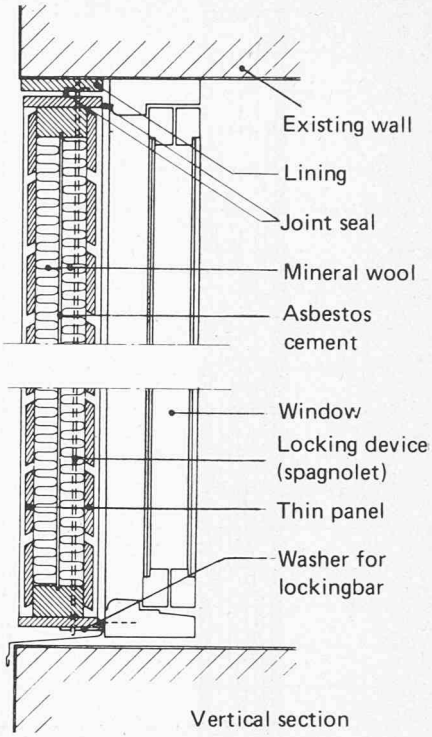
Langer Vorhang ohne Fensterbretter

Aussenrollo geschlossen, ohne Fensterbretter

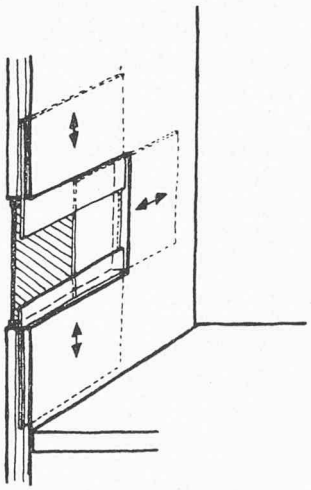
Kurzer Vorhang, mit Fensterbrettern

Kurzer Vorhang, Aussenrollo geschlossen, mit Fensterbrettern

Auswirkung der Vorhangposition auf die Radiatorheizleistung (nach Gösele 1976)



Isolatorladen aussen, seitlich verschiebbar (nach Hagmann, Schweden 1975)



Isolatorladen innen zur seitlichen und vertikalen Einstellung der nötigen Lichtfläche. k-Wert im geschlossenen Zustand inkl. Fenster: $k = 0.4$ (nach PLENAR 1974)

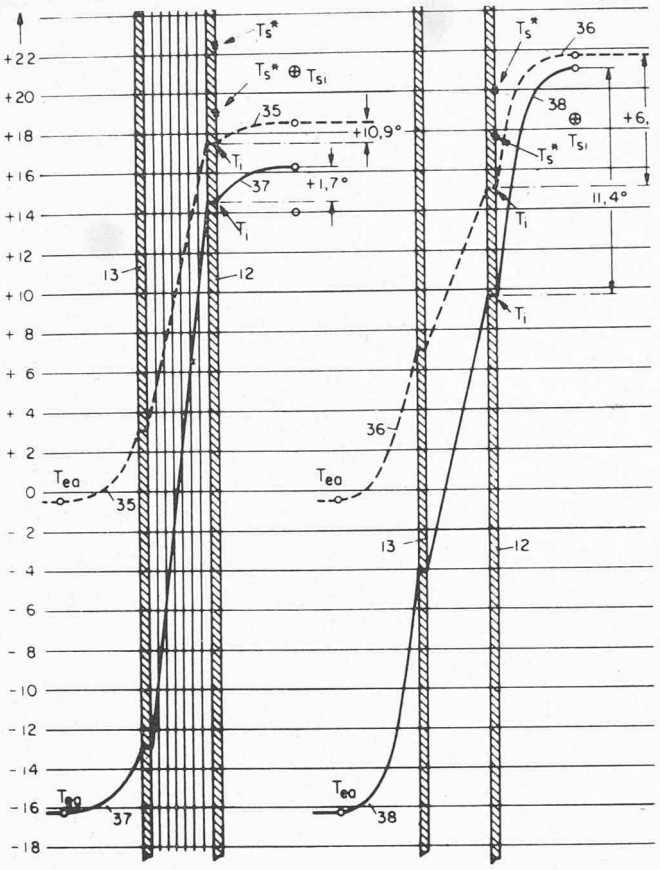
heizung das Kondensationsproblem vermindert und durch den Wegfall von Ofenheizungen der für die Feuerung notwendige Sauerstoffbedarf reduziert wurde. Die heutigen Lüftungsgewohnheiten sind aber noch von der Zeit der Ofenheizung geprägt und führen zum Teil zu unsinnigem Verhalten (offenes Schlafzimmerfenster ohne Radiatordrosselung usw.). Dies bedeutet, dass die Frischluftzufuhr für die Wohnung im Winter durch die Undichtigkeit der Fugen etwa einen Luftwechsel von 0,1 bis 0,3 pro Stunde erreicht und die gezielte Fensterlüftung einige Minuten morgens und abends ihrerseits noch etwa 0,2 bis 0,4 beitragen. Damit liegt die Wohnung bei einer Luftwechselrate von insgesamt $n = 0{,}5$ je Stunde vernünftig, was mit neuen Fensterkonstruktionen mit dichten Fugen eine entsprechend gute Regulierung je nach Bedarf zulässt.

Neue Fenstertypen

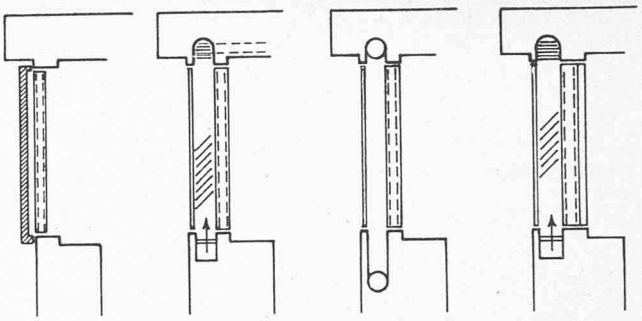
Die Erfindung stark verbesserter Fensterkonstruktionen ist in den letzten Jahrzehnten nicht über das Prototypenstadium herausgekommen. Das von Lueder vorgeschlagene Mehrfolienverbundfenster [6] ist heute noch kompliziert, schwerfällig und unsicher in der Lebenserwartung. Versuche mit Edelgasfüllungen [7] oder Vakuum im Glaszwischenraum scheiterten bisher an den Aufwendungen für die Sicherstellung der 20- bis 40jährigen Dichtung. Das dreifach verglaste Fenster (TV) ist immer noch nicht zum Serienprodukt geworden und dadurch selten konkurrenzfähig. Nur die gleichzeitige Verbesserung des Schallschutzes lässt heute zum Teil die Mehrkosten tragen.

Altbauten

Paradoxerweise werden bei Altbausanierungen häufig die alten Winterfenster durch neue IV-Fenster ersetzt, die isolationsmässig und dichtungsmässig meistens schlechter sind. Die konstruktiv bedingten Luftzwischenräume von 6 bis 15 mm liegen denn auch deutlich unter den heute für klares Glas als optimal bezeichneten 30 bis 40 mm. Die altmodische Verwendung von zwei unabhängigen Rahmen hat den Vorteil, dass mit einfachen Fugenkonstruktionen durch den Druckausgleich im Zwischenraum eine relativ gute Dichtung erzielt wird. Bei Umbauten muss daher immer eine wärmetechnisch bessere Konstruktion gesucht werden, was zum Beispiel mit dem Ersatz des einfachen Vorfensters durch ein neues fest eingebautes DV-Fenster zusammen mit dem alten Fenster möglich wird. Ausserdem ist bei verschiedenen Systemen ein nachträglicher Dichtungseinbau möglich. Bekanntlich wird die Fensterverbesserung gegenwärtig nicht nur wärmetechnisch versucht, sondern verschiedene Entwicklungen zur Verbesserung der Schalldämmung und der Schlagregensicherheit sind im Gang. Im Vordergrund steht der Bauteil Fenster, der gleichzeitig Verbesserungen verschiedener bauphysikalischer Eigenschaften erzielen muss, bei denen sich die Wirkungen nur *integral* erzielen lassen.



Temperaturmessungen am Mehrfolien-Verbundfenster (links) und am Zwei-Scheiben-Verbundfenster (rechts) bei –0,5 °C und –16,2 °C Aussentemperatur (nach Lueder 1967)



4 neue Fensterkonstruktionen mit äusseren Isolatoren, IR-Gläsern und Luftkreislauf (nach Panzhauser, Fantl 1976).

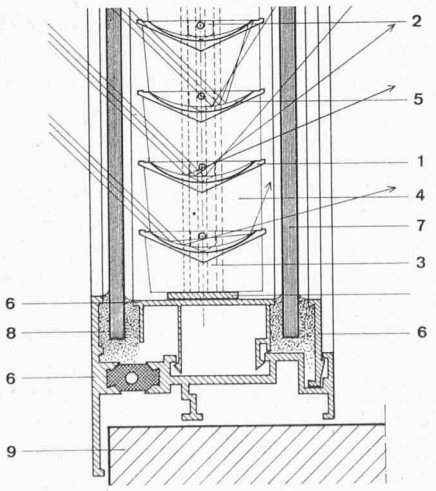
Von links nach rechts:

IR-Reflektor, Isoliergläser und wärmedämmende Rolläden
IR-Reflektor, Isoliergläser und Einfach-Luftkollektor
IR-Reflektor, Isoliergläser und Partikelfüllung des 2. LZR
IR-Reflektor, Vakuumröhren und Einfach-Luftkollektor

Zusammenfassung

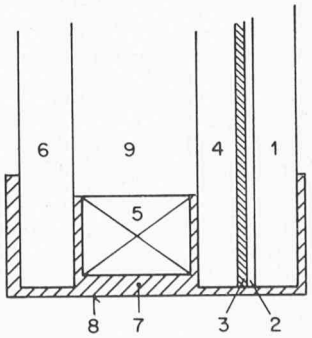
Das gut isolierte, gut gedichtete Fenster mit konsequenter Handhabung von äusseren Isolatoren nachts und inneren Vorhängen ist damit im Süd-Bereich eindeutig *als positiver Beitrag zur Wärmebilanz* zu werten. Thermostatisch regulierte und rasch wirksame Heizsysteme mit genügend grossem Stellbereich sind notwendig, um den vollen Wärmegewinn nutzbar zu machen. Die Synthese von Bautechnik und Heizungssystemen wird zum Angelpunkt integraler Gebäudeplanung. Zusammen mit Niedertemperatur-Strahlungsheizungen (Decke, Boden, Wand, Türe), bei denen die Wärmezufuhr nicht an der kältesten Raumseite (Fensternische der Aussenwand) erfolgt, wird das gut isolierte Haus *gleichzeitig Komfort und Energieverbrauch* verbessern. Die Abstimmung von Fenster, Heizsystem und Gebäudesystem erfordert eine genauere Plazierung des Fensters in der Wand, eine Abstimmung der Wärmespeicherung der Aussenwand und der inneren Wände und Decken. Massive äussere und innere Bauteile bilden den notwendigen Ausgleich für kurzfristige, witterungsabhängige Strahlungsschwankungen. Ein guter äusserer Sonnenschutz (Vordach) ist notwendig gegen die sommerliche Übererwärmung und zum Teil auch gegen unerwünschte flache Sonneneinfallswinkel im Winter. Künftige Wärmebedarfsberechnungen müssen diesen Faktoren Rechnung tragen und je nach Fensterkonstruktion, Orientierung und Beschattung das Fenster in die Kalkulation einsetzen.

Die *gute Lichtausbeute* für eine angemessene Tageslichtbeleuchtung erfordert in den meisten Fällen die Verwendung von *klaren Gläsern,* die optimal plaziert sein müssen, um die gleichmässige Ausleuchtung von Wohn- und Arbeitsräumen zu ermöglichen. Falls aus energetischen Gründen die Fensterflächen im Nord-Bereich klein gehalten werden, erfordert dies präzise Tageslichtuntersuchungen, damit nicht unerwünschte

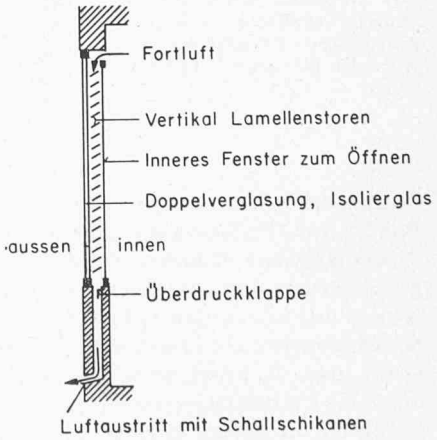


Fensterkonstruktion mit verstellbarer Reflexionscharakteristik (nach Talium). 1 Trägerelement, 2 Befestigungsteil, 3 Gleitschienenrahmen, 4 Distanzhalter, 5 Reflektorelement, 6 Fensterrahmen, 7 Glasscheiben, 8 Kittfugen, 9 Sims

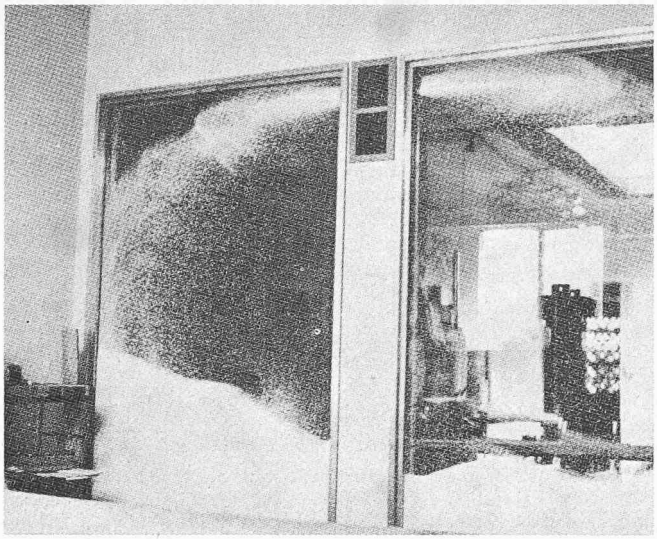
Elektrisch heizbares Fenster zur Verminderung der «Kältestrahlung» in Fensternähe (nach Glaverbel).



1 inneres Glas, 2 plastischer Film, 3 Heizschicht, 4 Glas, 5 Metallzwischenrahmen, äusseres Glas, 7 Dichtungskitt, 8 Metallrahmen, 9 Luftzwischenraum



Klimafenster: Dreifachverglasung mit Erwärmung des inneren Glaszwischenraumes mit der Fortluft (nach Protecta-Sol)



Fensterkonstruktion mit einblasbaren Schaumstoffkügelchen (Bead-Wall nach Baer 1974)

künstliche Beleuchtung statt dessen verwendet wird. In keinem Fall soll damit kleinen, schlecht plazierten, getönten oder verspielten Fenstern das Wort geredet werden, die unweigerlich schlechte Tageslichtquotienten und damit *höhere* elektrische Lichtleistungen erfordern. Die hohen Beleuchtungsanforderungen von Arbeitsräumen (500 bis 800 lux) werden fast immer in winterlichen Randstunden eine elektrische Zusatzbeleuchtung erfordern. Dies soll aber – aus physiologischer und energetischer Sicht – kein Freipass für künstliche Dauerbeleuchtung am fensterlosen Arbeitsplatz sein.

Das Fenster als Lichtspender, als Ausblick und direkte Verbindung mit der Natur wird damit wieder wichtigstes Gestaltungselement der Architektur, in der der Mensch, seine psychischen und physischen Bedürfnisse, im Zentrum stehen. Energiebewusste Architektur wird sorgsam das Fenster als kostbarstes Element der Gebäudeplanung verwenden, um Energie, Komfort und Ästhetik ins Gleichgewicht zu bringen.

Literaturverzeichnis

[1] *Daniels K.*: «Schwitzwasserbildung an Fenstern und anderen Bauelementen». Bauwelt, Berlin, Nr. 15, 1971.

[2] *Venosta F.* u.a.: «Unsere 30 Jahre Erfahrungen im Bau von hochisolierten Wohnungen». SIA Nr. 16, Energiehaushalt im Hochbau, Zürich, 1976.

[3] *Valko P.*: «MZA Zürich», 1975, PLENAR, Teufen 1975.

[4] *Valko P.*: «Meteoplan», Sonnenbestrahlung von Gebäuden». Bern 1975.

[5] *Winkler U.* und *Geiger W.*: «Sonnenschutz und moderne Bauphysik», SBHL, Zürich, 1972.

[6] *Lueder H.*: «Grossflächen-Strahlungsheizung», Elektrizitätsverwertung, Zürich, 1974.

[7] *Panzhauser E.* und *Fantl K.*: «Die bautechnische Gestaltung von Sonnenhäusern». Heizen mit Sonne, München, 1976.

Adresse des Verfassers: *Conrad U. Brunner*, dipl. Arch. ETH, M. Arch. SIA, PLENAR, Arbeitsgruppe Planung-Energie-Architektur, Fortunagasse 20, 8001 Zürich.

Anwendung der Thermographie im Bauwesen

Von **R. Ginsig**, Zürich

Unter Thermographie versteht man die Ausführung folgender Operationen:

- Infrarotaufnahme von Objekten,
- kontaktfreie Temperaturmessung von Oberflächen auf Distanz,
- Sichtbarmachung von Temperaturdifferenzen.

Es handelt sich dabei um eine *Messtechnik*, die unsichtbare *Infrarot-Wärmestrahlen* aufgrund der Temperatur von Objekten in ein *sichtbares Bild umformt*, wobei helle Zonen einer erhöhten Temperatur entsprechen. Das früher nur für wissenschaftliche Zwecke verwendete Verfahren ist durch die Anwendung im militärischen Bereich weiterentwickelt worden und wird seit einiger Zeit mit Erfolg als *diagnostisches Hilfsmittel* in der Medizin (Erkennung innerer Entzündungen) und zur Lokalisierung von erwärmten, schad- oder mangelhaften Geräten in der *Elektrotechnik* verwendet (Bild 1).

Im folgenden soll das Prinzip der Thermographie erläutert und auf seine Anwendung im Bauwesen eingegangen werden.

Prinzip

Alle Gegenstände, deren Temperatur über dem absoluten Nullpunkt (—273 °C) liegt, emittieren elektromagnetische Strahlen, deren Intensität und Wellenlänge von der jeweiligen Temperatur abhängig ist (Bild 2). Fast alle Gegenstände, die uns normalerweise umgeben, sind zu kühl, um sichtbares Licht abzustrahlen. Um für das Auge im Dunkeln sichtbar zu werden, muss ein Gegenstand mindestens auf Rotglut erhitzt werden. Die Wellenlänge der von Menschen, Gebäuden, Bäumen usw. abgegebenen Strahlung liegt im fernen, für unser Auge unsichtbaren Infrarotbereich. Zur Sichtbarmachung bedarf es besonderer Detektoren, welche die Strahlung in elektrische Signale umwandeln. Zudem muss zur thermographischen Abbildung von Gegenständen ein dem Fernsehen ähnliches Abtastverfahren verwendet werden, wobei die Gegenstände zeilenweise abgetastet werden. Dabei werden die Bildpunkte einer nach dem anderen auf den Detektor fokussiert, dessen Ausgangssignal die Strahlenintensität einer synchron laufenden Bildröhre steuert.

In Bild 3 ist eine handliche Infrarot-Messausrüstung mit Kamera und Fernseh-Monitor abgebildet, die imstande ist, Infrarotbilder von 4,5 cm auf 5 cm bei einer Genauigkeit von 0,2 °C bei 30 °C wiederzugeben. Ausserdem können durch Temperaturvorwahl am Gerät Punkte oder Flächen gleicher Temperatur festgehalten werden.

Anwendung im Bauwesen

Die Thermographie wird grundsätzlich dann verwendet, sobald eine Temperaturverteilung oder Temperaturdifferenzen auf der Oberfläche eines Objektes zu messen sind oder aus diesen Werten indirekt Schlüsse abgeleitet werden können, zum Beispiel:

- Auffinden fehler- oder mangelhafter Isolation,
- Lokalisierung von Kältebrücken,
- Feststellen des inneren Aufbaus von Wandkonstruktionen, wie Lokalisieren von Riegel-Fachwerk unter Fassaden (Altbausanierung, Denkmalschutz),
- Lokalisierung von Undichtigkeiten von Fenstern und Türen,