Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 98 (1980)

Heft: 46

Artikel: Fenster: Bericht über den "Window-Workshop" der Internationalen Energieagentur (IEA) in Delft

Autor: Brunner, Conrad U.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74247

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: 24.08.2025

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

Fenster

Bericht über den «Window-Workshop» der Internationalen Energieagentur (IEA) in Delft

Von Conrad U. Brunner, Zürich

Das Fenster nimmt im Energiehaushalt eines Gebäudes eine Schlüsselstellung ein: Es bildet die Stelle der grössten Verluste durch Transmission und Fugen und es wird durch die Sonneneinstrahlung zum «Sonnenkollektor» für den Winter. Aus diesen Gründen hat die IEA eine Gruppe von Forschern aus sieben Ländern zu einer Lagebeurteilung des gegenwärtigen Standes der Verbreitung und der Entwicklung von Fenstern nach Delft zu einem Erfahrungsaustausch eingeladen, der auch dazu dienen sollte, die weitere Forschungstätigkeit der IEA auf dem Gebiet der Energie-Einsparung in Gebäuden zu planen. Das Niveau der Beiträge war naturgemäss sehr unterschiedlich und von der verschiedenen Ausgangslage jedes Landes geprägt. An der Tagung waren folgende IEA-Länder vertreten: Belgien, Dänemark, Holland, Italien, Schweden, die Schweiz und die USA.

Situation in den verschiedenen Ländern

Die existierenden Fenstertypen und -systeme in den verschiedenen Ländern unterscheiden sich stark, wobei bisher nur grobe Schätzungen vorliegen:

Nach der Verglasung

a) Fenster mit relativ hoher Qualität (über 70 Prozent Doppelverglasung): Dänemark, Schweden, Schweiz.
b) Fenster mit mittlerer Qualität (etwa 50 Prozent Doppelverglasung): Holland.
c) Fenster mit schlechter Qualität (weniger als 30 Prozent Doppelverglasung): Belgien, Italien, USA.

Dreifachfenster sind in der ersten Gruppe bereits leicht vertreten (bis 10 Prozent). Alle Länder melden bei *Neubauten* eine höhere Quote der Doppel- und evtl. Dreifachverglasung.

Nach dem Rahmenmaterial

Grosse Unterschiede in der Verbreitung der Rahmenmaterialien, vor allem zwischen *Holz* und *Aluminium*, liegen vor. Neuerdings sind *Kunststoff-Rahmen* (z. B. Bundesrepublik Deutschland) stark im Vormarsch. Ungedämmte Alu-Profile sind immer noch stark in gewissen Ländern (z. B. USA) verbreitet.

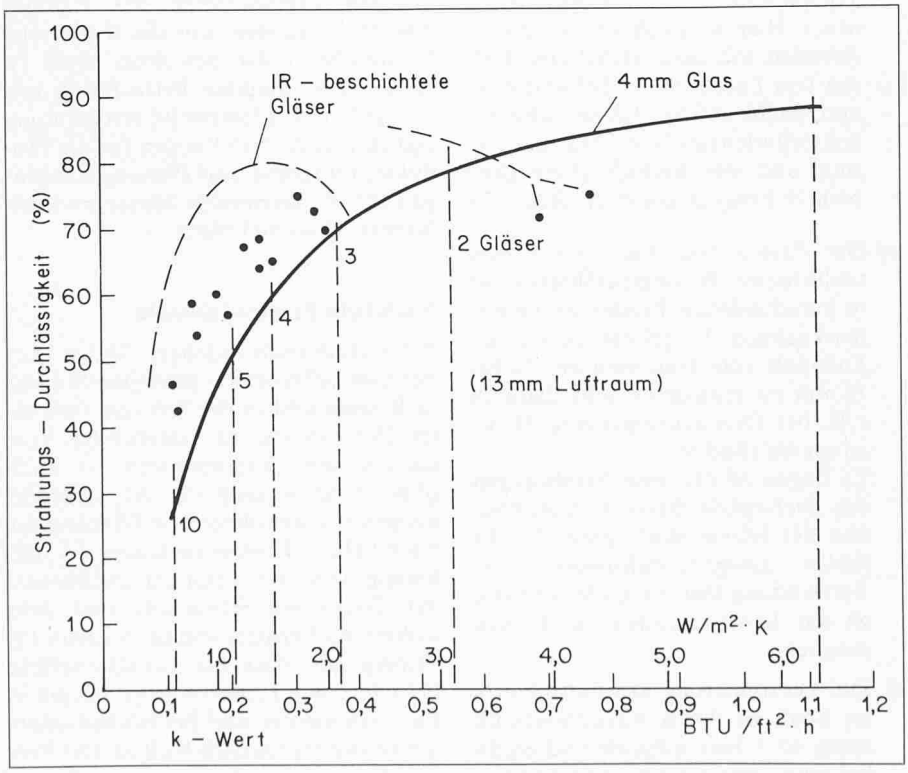

Bild 1. Solar-Durchlässigkeit gegenüber Wärmeverlust bei zunehmender Zahl von Gläsern und speziell mit IR-Schichten (nach Selkowitz [18])

Nach den Storen und Läden

Nur Belgien und die Schweiz melden eine grosse Verbreitung von Elementen für den nächtlichen Wärmeschutz, wobei das Motiv der Verbreitung häufiger Sichtschutz, Sicherheit und Sonnenschutz ist.

Das Fenster und seine Komponenten

Rahmen

Neuere Messresultate [1] bestätigen die Bedeutung der Rahmenmaterialien für die Transmission. Diese Empfindlichkeit nimmt bei einem Rahmenanteil von 20 bis 30 Prozent bei verbesserten Gläsern zu. Nur Holz, PVC und sehr gut getrennte Alu-Rahmen können einigermassen die Anforderungen einer guten Zwei- bis Dreifachverglasung erfüllen. Bessere Rahmen wurden bisher nicht erwähnt.

Die Dreifachverglasung erfordert dikkere Rahmenkonstruktionen, was sich – neben der Verteuerung – aber positiv auf die Windsteifigkeit auswirken kann.

Fugen

Verschiedene Untersuchungen [6] über die Wirksamkeit von Fugendichtungen wurden präsentiert, wobei Anpressdruck und Dichtigkeit in Abhängigkeit von der Spaltbreite und dem Druckunterschied geprüft wurden. Eine Reihe von schlauchförmigen oder lippenartigen Dichtungen genügt den Anforderungen für Fenster. Bei Türen wurden grössere Probleme wegen der Duchbiegung des Türblattes festgestellt.

Im Prinzip sind für neue Holz-, Alu- und PVC-Rahmen geeignete Fugendichtungen vorhanden. Für die Sanierung bestehender Rahmen ergeben sich aber Schwierigkeiten, weil der Einbau dauerhafter und wirksamer Dichtungen nicht möglich ist. Klassische Holzrahmenprofile mit direkter Dichtung Holz auf Holz haben z. T. keine Möglichkeit, die notwendige Spaltbreite für die Anpressung elastischer Dichtungen zu liefern.

Glas

Verschiedene systematische Wege zur *Verminderung der Glas-Transmission bei hoher Licht- und Strahlungsdurchlässigkeit* sind untersucht worden:

- Vervielfachung der Luftkammern durch mehrere Gläser oder gespannte Folien,
- Verminderung der Wärmeleitung des Gases im Spalt,
- Verminderung des Luftinhaltes des Spaltes bis zu Hochvakuum,
- selektive Beschichtung der Glasoberfläche zur Verminderung der Wärmeabstrahlung.

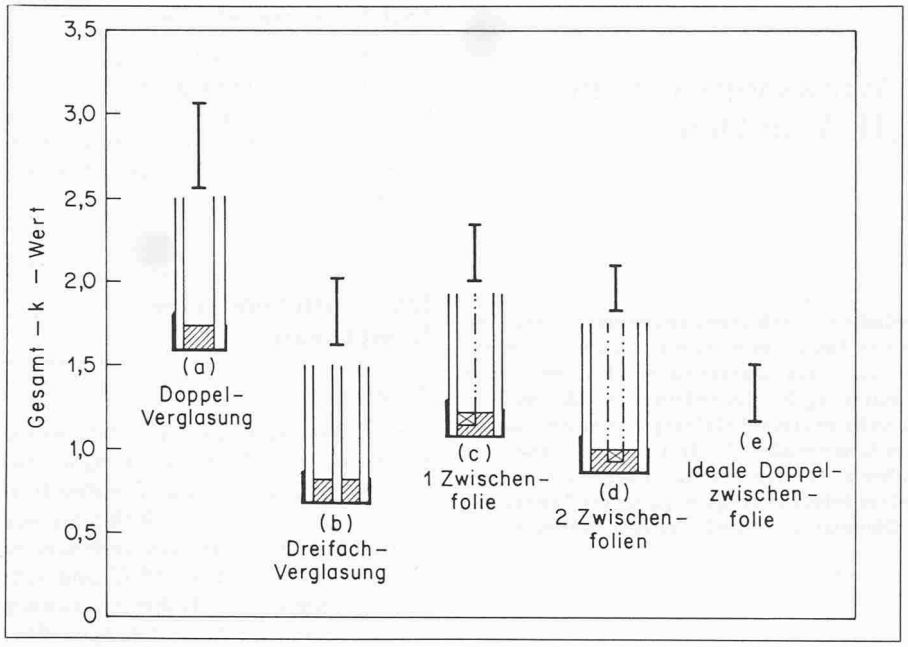

Bild 2. k-Wert-Vergleich verschiedener hochwertiger Fenstersysteme unter Verwendung hochtransparenter Polyester-Folien und IR-Beschichtung (nach Selkowitz [19])

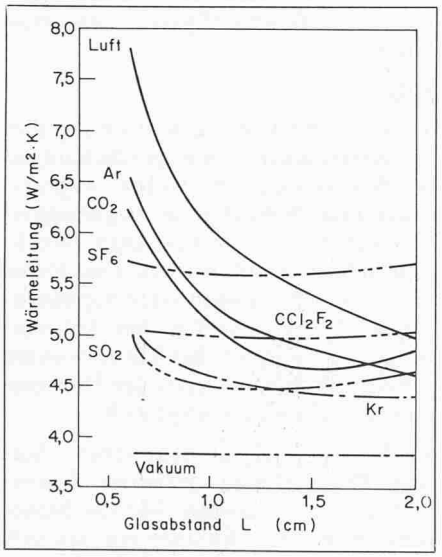

Bild 3. Gesamte Gas-Wärmeleitung gegenüber Glasabstand und Gasfüllung (nach Selkowitz [19])

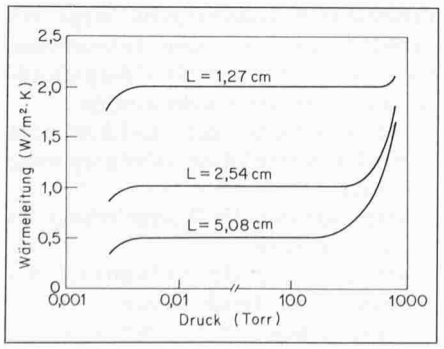

Bild 4. Luftspalt Wärmeleitung und Konvektion in Abhängigkeit des Druckes (nach Selkowitz [19])

Erst die systematische vergleichende Untersuchung der Wärmebilanz eines ganzen Gebäudes [*Adamson* 9 und *Gay* 12] lässt Schlüsse über die Wirksamkeit der einzelnen Schritte zu.

a) Die *Vervielfachung der Luftkammern* erfordert ab zwei Kammern den Einsatz von gespannten, hochlichtdurchlässigen Folien. *Selkowitz* [18, 19, 20] hat amerikanische Untersuchungen gezeigt, die aber noch nicht Marktreife erlangt haben (Schwinden, Kriechen der Folien, Vorspannung, Wärmedehnung usw.). Hier sei auch an die älteren Arbeiten mit dem Mehrfolien-Fenster von *Lueder* in der Schweiz erinnert. Mehr als drei Gläser scheinen aus Gründen des Gewichtes, der Kosten und der Lichtdurchlässigkeit nicht in Frage zu kommen (Bild 1, 2).

b) Der Ersatz von Luft mit Gasen schlechterer Wärmeleitfähigkeit ist in verschiedenen Produkten bereits marktgängig. Es gelingt damit, den Luftspalt vom Optimum bei 12 bis 15 mm zu reduzieren und dadurch z.B. bei Dreifachverglasung Dicke zu sparen (Bild 3).
Es liegen relativ gute Erfahrungen der Dichtigkeit dieser Konstruktionen der letzten fünf Jahre vor. Es *fehlen Langzeiterfahrungen*. Die Verwendung thermisch idealer Gase ist aus Kostengründen meist nicht möglich.

c) Die Verminderung des Luftinhaltes im Spalt ist durch Vakuumtechnik unter 10^{-3} Torr möglich und ergibt bei sehr schmalen Spaltkonstruktionen sehr günstige Transmissionswerte (k = 0,3 mit IR-Beschichtung). Die Dichtigkeit der Konstruktion und die Aufrechterhaltung des Vakuums erfordert zusätzliche Massnahmen. Bisher einzige gezeigte Konstruktion zur drastischen Verminderung der Transmissionsverluste [11] (Bild 4).

d) Die *selektive Beschichtung* der Glasoberflächen ist in gewissen Produkten (z.B. Thermoplus) bereits seit drei Jahren marktüblich. Langzeiterfahrungen der Lebensdauer aufgedampfter Schichten fehlen. Sie erfordern auf jeden Fall einen Schutz durch ein zweites Glas (Bild 5).
Die Wirksamkeit verschiedener IR-Schichteigenschaften wurde von *Adamson* [9] rechnerisch untersucht. Eine optimale Kombination liegt bei einer Durchlässigkeit von 0,6 bis 0,8 bei einer Emissivität von 0,10 bis 0,15.

Alle vier Schritte sind mit *Mehraufwendungen* verbunden. Die Möglichkeiten a, b und d erzielen Maximal-Resultate um k = 1,0 bis 1,5 W/m² · K bei noch guten Lichtdurchlässigkeiten. Einzig die neuartige Kombination c und d [11] ergibt k-Werte, wie sie von gut gedämmten Mauern bekannt sind (k = 0,3 W/m² · K).

Strahlungsgewinn

Verschiedene Autoren [9, 12, 18] bemühen sich heute, die Optimierung zwischen *Reduktion der Verluste* (k-Wert) und *Vergrösserung der Gewinne* (Durchlässigkeit) voranzutreiben. Das Problem ist komplex, weil nicht nur die Glaseigenschaften, sondern die dynamischen Eigenschaften des Raumes eine Rolle spielen, um die thermische Behaglichkeit der Bewohner nicht zu stören. Die integrale Betrachtung von *Gay* [12] und *Adamson* [9] erscheint geeignet, hier Hilfestellungen für die Produktoptimierung *und* Planungsunterlagen für die thermische Masse und den Sonnenschutz zu liefern.

Nächtliche Fenster-Isolation

Wärmetechnisch nutzbare *Storen, Läden* usw. scheinen im grösseren Stil nur in Belgien und in der Schweiz verbreitet. Der Einsatz von bestehenden Vorhängen und Sonnenstoren ist auch ohne Umbau möglich. Er erfordert *kooperative Bewohner*. Die Wirkung der nächtlichen Fenster-Isolation ist abhängig von der Temperaturdifferenz, der Dauer der Benützung und dem k-Wert des Fensters und des Ladens. Im Prinzip gilt, dass der Isolationseffekt bei schlechten Fenstern gross, bei guten Fenstern kleiner und bei höchstisolierten Fenstern praktisch Null ist. Die Verwendung *thermisch optimierter Storen*, wie sie laut Selkowitz [20] in den USA

vorgeschlagen wurden, ist sehr aufwendig und benützerabhängig. Häufig wäre eine zusätzliche Glasscheibe wirksamer und billiger. (Vergleiche auch [7]).

Die Sanierung von Fenstern

Die Frage der Sanierung von Fenstern in bestehenden Gebäuden ist aus zwei Gründen vordringlich: Erstens bestehen im IEA-Raum wohl stark über 50 Prozent der Fenster in beheizten (und z.T. auch gekühlten) Gebäuden nur aus *einem Glas*, d.h. sie erfüllen die heutigen energetischen Anforderungen (samt Behaglichkeitsanforderungen) bei weitem nicht, und zweitens besteht bei *Holzrahmen* und bei *Verbundfenstern* (Typ Thermopane usw.) ein *Ersatzbedürfnis* wegen regelmässig vorkommender Schäden oder beim Erreichen der geplanten Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren.

Verschiedene Sanierungstechniken [5, 8, 10] wurden gezeigt. Allen gemeinsam ist der relativ grosse Aufwand durch die Massanfertigung.

Die Situation in der Schweiz ist hier weniger kritisch: Wohl über 80 Prozent der Fensterflächen sind doppelt verglast (Verbundglas IV, Doppelverglasung DV oder Winterfenster WF). Die Umrüstung lohnt höchstens, wenn ein drittes Glas aufgebracht werden kann. Andere Motive sind: verfaulte oder undichte Holzrahmen, Kondensat im Isolierglas usw.

Die Resultate von Reihenuntersuchungen [5] über die langfristige Dichtigkeit von Isoliergläsern zeigt eine sehr grosse Streuung von Jahr zu Jahr bei einer insgesamt zu hohen Schadenanfälligkeit. Feuchtigkeitswanderung im Dichtungsbereich der Verklebung/Verlötung wurden als Ursachen angegeben. Diese Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

Messtechnik

Verschiedene Formen von stationären und mobilen *k-Wert-Messkammern* wurden gezeigt, bei denen Glas, Glasrand und Rahmen geprüft werden können. Gewisse internationale Vereinheitlichungen der Prüftechnik sind hier dringend notwendig.

Eine amerikanische Studie [17] und die schweizerische Anlage [12] zeigen Möglichkeiten, Fenster mit Verlust und Gewinn *im Felde* unter realen Bedingungen zu messen und den dahinterliegenden Raum als Absorber mit in die Betrachtung einzubeziehen (Bild 6).

Schlussfolgerungen

Das Fenster, sein Glas, der Rahmen und die Fugen sind wohl für etwa einen Drittel des Raumwärmebedarfes verantwortlich. Drei Stufen der Verbesserung liegen vor uns:

a) *Sofort – kostenlos (fast)*
- Erziehung und Ausbildung der Bewohner (Lüften, Vorhänge, Läden), Anreiz der direkten Heizkostenerfassung;
- Planung der Fenster, ihre Grösse und Orientierung nach energetischen Grundsätzen bei Neubauten;
- Verbesserung der Fugendichtigkeit.

b) *Massnahmen mit Investition*
- Ersatz aller Einfachgläser durch Zwei- oder Dreifach-Fenster;
- Sukzessiver Einsatz von Dreifachgläser und IR-beschichteter Fenster;

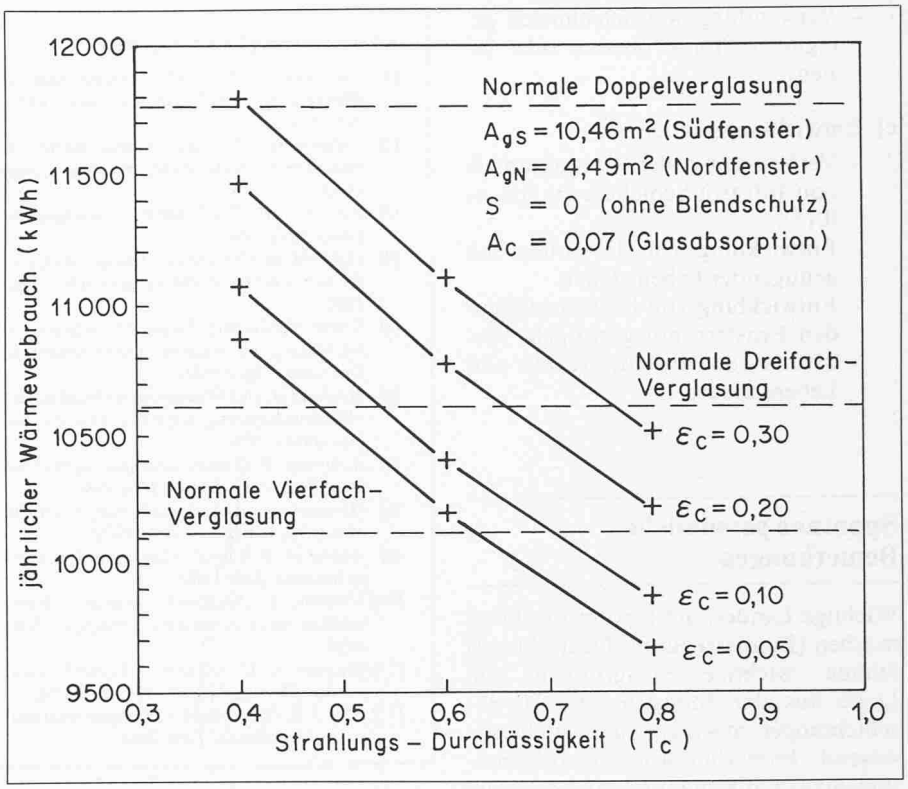

Bild 5. Jährlicher Raumheizungsbedarf eines Standard-Haustyps (147 m² Wohnfläche) in Stockholm, Schweden, in Abhängigkeit von verschiedenen Durchlässigkeiten/Emissivitäten (ε_c) der Glas-IR-Beschichtung (nach Adamson [9])

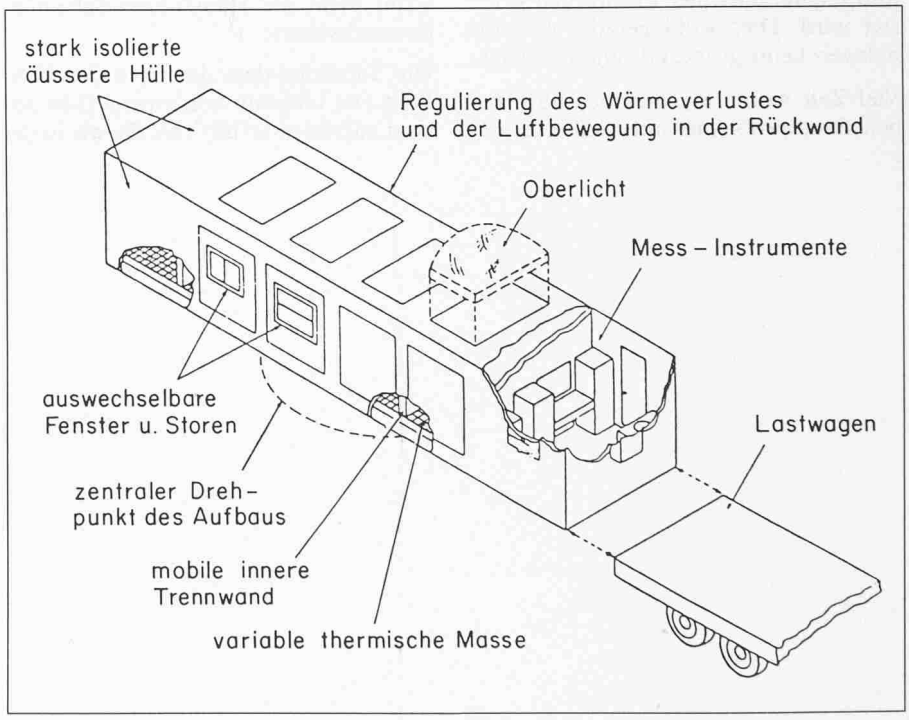

Bild 6. Fahrbare Fenster-Testanlage mit Klimakammern (nach Klems [17])

- Verwendung wärmetechnisch geeigneter Storen (aussen oder innen).

c) Entwicklungstendenzen
- Verbesserung der Charakteristik von Infrarot-Schichten ($\tau > 0{,}6$, $\varepsilon < 0{,}15$);
- Entwicklung von IR-Folien mit genügender Lebensdauer;
- Entwicklung von höchstisolierenden Fenstern mit günstigem Verhältnis von Kosten, Nutzen und Lebensdauer.

Spontane persönliche Bemerkungen

Wichtige Länder, die Fensterforschung machen (Bundesrepublik Deutschland) fehlten, wichtige Fachgruppen, wie Leute aus der Industrie, die IR-Beschichtungen machen, waren nicht anwesend. Immerhin war das Informationsniveau allgemein relativ hoch. Die Schweizer Beiträge (ich entschuldige mich für die Überheblichkeit) waren die interessantesten des ganzen Seminars und zeigen, dass hier Frontarbeit geleistet wird. Dies wohl gerade, weil die Schweiz keine grosse Glasindustrie hat.

Viel Zeit wurde am Seminar über Lebensdauerprobleme mit Isoliervergla-

Am Seminar verteilte Arbeitspapiere

[1] *Caluwaerts, P.* and *Verougstraete, P.* (Bruxelles): «U-value of windows». October 1979

[2] *Caluwaerts, P.* and *Verougstraete, P.* (Bruxelles): «State of the art report». June 1980

[3] *Van As, W.* (TNO Delf): «Standard details». June 1980

[4] *Dubbeld, M.* (Holland): «Energy saving by the use of curtains and window sills». June 1980

[5] *Svane, P.* (Tastrup, Denmark): «Survey of retrofitting by window improvement in Denmark». June 1980

[6] *Höglund, J.* and *Wanggren, B* (Stockholm): «Weatherstripping windows and doors». November 1979

[7] *Adamson, B.* (Lund): «Additional thermal insulating of windows». June 1980

[8] *Olsson-Jonsson, A.* (Lund): «Improvement of existing windows». June 1980

[9] *Adamson, B.* (Lund): «Design of low energy houses». June 1980

[10] *Nyström, F.* (Skultuna, Sweden): «Extra window pane in existing windows». June 1980

[11] *Brunner, C. U.* (Zürich) «Superinsulated windows k = 0,3 W/m² · K». June 1980

[12] *Gay, J. B.* (Lausanne) «Dynamic heat balance of windows». June 1980

[13] *Selkowitz, S* and *Bazjanac V.* (Berkeley, USA) «Thermal performance of managed window system». June 1980

[14] *Rubin, M.* (Berkeley, USA): «Algorithms for calculating the solar optical properties of advanced window designs». February 1980

[15] *Weidt, J. L.* et al. (Berkeley, USA): «Field air leakage of newly installed residential windows». June 1980

[16] *Klems, J. H.* (Berkeley, USA): «A calibrated hot box for testing window systems». October 1979

[17] *Klems, J. H.* and *Selkowitz, S.* (Berkeley, USA): «The mobile window thermal test facility». October 1979

[18] *Selkowitz, J.* (Berkeley, USA): «Transparent heat mirrors for passive solar heating applications», January 1979

[19] *Selkowitz, S.* (Berkeley, USA): «Thermal performance of insulating window systems». 1979

[20] Department of Energy (editor): «Windows for energy efficient buildings». Vol. 1, No 1, January 1979, Vol. 1, No 2, January 1980

[21] *Selkowitz, S.* (Berkeley, USA): «Overview of window standards». May 1980

sungen gesprochen. Fast wäre man bereit, das alte Schweizer Doppelverglasungs-Fenster wieder zu glorifizieren – wenn nicht die Hausfrauen Scheibenputzen hassten!

Die Tatsache, dass das Gros der IEA-Welt erst langsam von einem Glas auf zwei aufrüstet, erfüllt uns, die wir in der Schweiz vom zweiten auf das dritte oder sogar noch weiter springen wollen, mit einem müden Lächeln: Wir sind uns Schnee gewöhnt!

Adresse des Verfassers: *C. U. Brunner*, dipl. Arch. ETH, Lindenhofstr. 15, 8001 Zürich