Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 105 (1987)

Heft: 35

Artikel: Energiebilanz von Fenstern: Einfluss des Baukörpers und des Benutzerverhaltens

Autor: Gay, J.B. / Morel, N.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76685

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: 05.08.2025

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

Energiebilanz von Fenstern

Einfluss des Baukörpers und des Benutzerverhaltens

Von J.B. Gay und N. Morel, Lausanne

Die Energiebilanz eines Fensters ist von einer Vielzahl von miteinander vernetzten Faktoren abhängig. Mit Hilfe von dynamischen Simulationsmodellen ist es möglich, diese Wechselbeziehungen genauer zu analysieren. Der Einfluss der künstlichen Beleuchtung, des Glastyps, der Orientierung, des Aussenklimas und des Benutzerverhaltens werden im folgenden für Wohn- und Bürobauten näher untersucht.

Einleitung

Um den Einfluss der Fenster auf die Energiebilanz eines Gebäudes abschätzen zu können, müssen eine grosse Anzahl von Parametern, die das Fenster selbst, das Gebäude, die haustechnischen Anlagen und den Benutzer betreffen, bekannt sein.

Der Einfluss der verschiedenen Parameter sowie ihre gegenseitige Beeinflussung konnte über eine grosse Anzahl von Simulationsrechnungen mit dem Computerprogramm «PASSIM» erfasst werden [1]. Für jeden untersuchten Fall wurde eine vollständige Simulationsrechnung über die gesamte Heizperiode durchgeführt. Als Resultate liegen der Heizenergiebedarf, der Energiebedarf für Beleuchtung sowie die für die Behaglichkeit entscheidenden Oberflächen- und Lufttemperaturen vor.

Ziel der Studie

Referenzraum

Da sich die Studie vor allem auf das Fenster bezieht, wurde ein relativ einfacher Referenzraum gewählt. Es handelt sich um einen Eckraum mit einem Volumen von 75 m³. Orientierung, Nutzung, innere Masse, Fensterflächenanteil und Glastyp sind frei wählbar. Der Raum entspricht dem heutigen schweizerischen Durchschnitt bei Neubauten: k-Wert der Aussenwände = 0,4 W/m² K, mittlerer Luftwechsel = 0,6 pro Stunde.

Untersuchte Fenstertypen

5 verschiedene Fenstertypen wurden untersucht. Ihre thermischen und optischen Eigenschaften sind in Tabelle 1 enthalten. Die Auswahl der Fenster reicht von der gewöhnlichen 2-fach IV mit einem k-Wert von 3,1 W/m² K bis zu der sog. Hochisolationstechnologie mit einem HIT-S Fenster mit einem k-Wert von 0,6 W/m² K.

Die Simulationsrechnungen wurden für drei Fenstergrössen durchgeführt: Von 10% der Grundfläche, was dem üblichen gesetzlichen Minimum entspricht bis zu 30% der Grundfläche, d.h. einem sehr hohen Glasanteil. Der Rahmenanteil beträgt je nach Fenstergrösse 20 bis 30%.

Raumnutzung und Heizsystem

Es wurden zwei Nutzungsarten untersucht: Wohnraum und Büroraum. Die Unterschiede liegen vor allem in der Personenbelegung, der inneren Abwärme und den Beleuchtungsansprüchen. Die Tabelle 2 enthält die wichtigsten diesbezüglichen Angaben.

Klima und Orientierung

Die Simulationsrechnungen wurden mit dem Klima von Genf [2] von Oktober 1980 bis Mai 1981 durchgeführt. Als Orientierung wurden Süd, Ost-West und Nord gewählt. Während der gewählten Periode war die mittlere Aussentemperatur 7,3 °C und die Sonneneinstrahlung auf eine senkrechte Südwand betrug 1828 MJ/m².

Der Teil 5 beinhaltet eine Untersuchung über den Einfluss des Benutzerverhaltens auf den Sonnenschutz. Für

Verglasung	*k* [W/m²K]	*Emissionsvermögen*								*Kenngrössen nach DIN 67 507*								
		ε_{11}	ε_{12}	ε_{21}	ε_{22}	ε_{31}	ε_{32}	ε_{41}	ε_{42}	α_1	α_2	α_3	α_4	ϱ_e	τ_e	q_i	g	τ
2 - IV (4/12/4)	3.1	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	-	-	0.09	0.06	-	-	0.14	0.71	0.05	0.76	0.81
2 - IV (selektiv) $(4/15/4)_{ir}$	1.6	0.9	0.9	0.1	0.9	-	-	-	-	0.10	0.19	-	-	0.21	0.50	0.17	0.67	0.78
3 - IV (4/12/4/12/4)	2.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	0.09	0.07	0.05	-	0.18	0.61	0.07	0.68	0.74
3 - IV (selektiv) $(4/12/4/12/4)_{ir}$	1.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.1	0.9	-	-	0.10	0.08	0.16	-	0.23	0.44	0.16	0.60	0.71
HIT - S $(4/35/f/35/f/20/4)_{ir}$	0.65	0.9	0.9	0.70	0.09	0.70	0.09	0.9	0.9	0.10	0.10	0.05	0.10	0.41	0.31	0.09	0.40	0.58

Tabelle 1. Thermische und optische Eigenschaften der untersuchten Fenstertypen. (Quelle: Glas 1 bis 4 Ref. (8), Glas 5 Ref. (9) und persönliche Mitteilung von Dr. B. Keller).

α_i: Strahlungsabsorptionsgrad der Scheibe i
ε_{ij}: Emissionsvermögen der Scheibe i (j = Aussen- [1] bzw. Innenoberfläche [2])
ϱ_e: Strahlungsreflexionsgrad der Verglasung
τ_e: Strahlungstransmissionsgrad der Verglasung
τ: Lichttransmissionsgrad der Verglasung
q_i: Sekundäre Wäremabgabe der Verglasung nach innen
g: Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g $= \tau_e + q_i$

Tabelle 2. Benutzerparameter

Nutzung	*Wohnraum*	*Büroraum*
Belegung	1 Person 12–18 h (P = 100 W) 3 Personen 18–22 h (P = 300 W)	2 Personen 8–18 h (P = 250 W)
Beleuchtung Einschaltschwelle Ausschaltschwelle	7,5 W/m² 200 Lux 300 Lux	15 W/m² 300 Lux 500 Lux
Heizung Regelung	Install. Leistung = 1 kW, 100% konvektiv Innentemperatursonde, T_{min} = 20 °C	
Nachtabsenkung T_{min} =	22 bis 6 h 15 °C	18 bis 6 h 15 °C

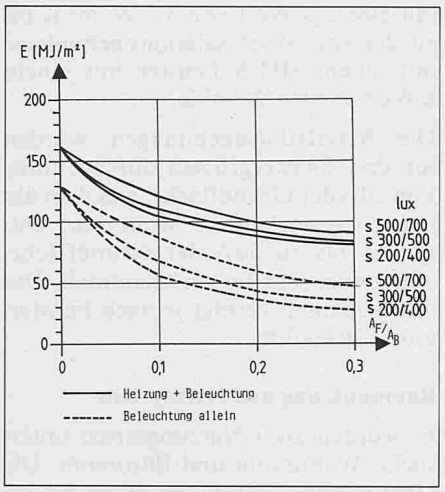
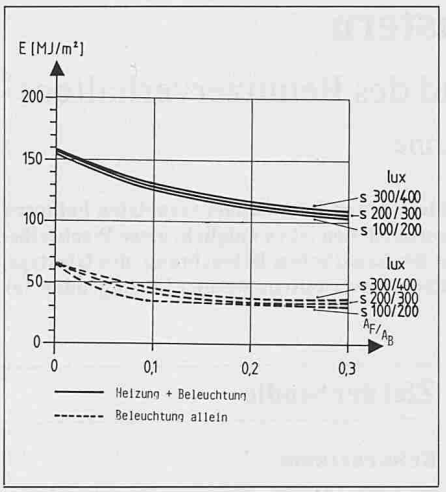
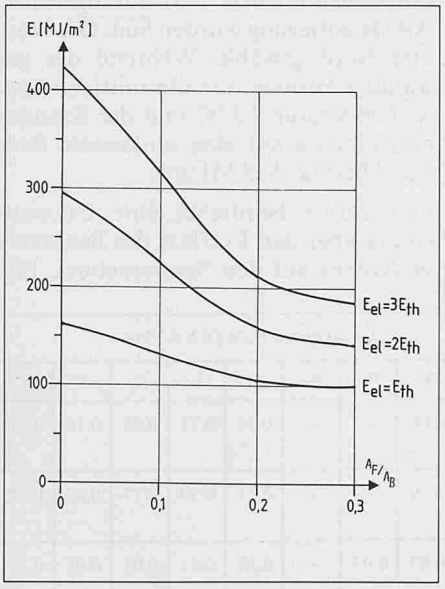


Bild 1. Energiebedarf für Beleuchtung während der Heizsaison in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils und der Ein- und Ausschaltschwellen. links = Büro; rechts = Wohnraum



Annahmen: - 2 IV Wärmeschutzglas - Orientierung Süd - Schwere Konstruktion mit Nachtabsenkung - Kein Sonnenschutz, Wärmeweglüften ab 26 °C

Bild 2. Energiebedarf für Beleuchtung während der Heizperiode in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils und der Gewichtung zwischen thermischer und elektrischer Energie. links = Süd; rechts = Nord



Annahmen: - 2 IV Wärmeschutzglas - Büroraum - Schwere Konstruktion mit Nachtabsenkung - Aussenliegender Sonnenschutz ab 23 °C

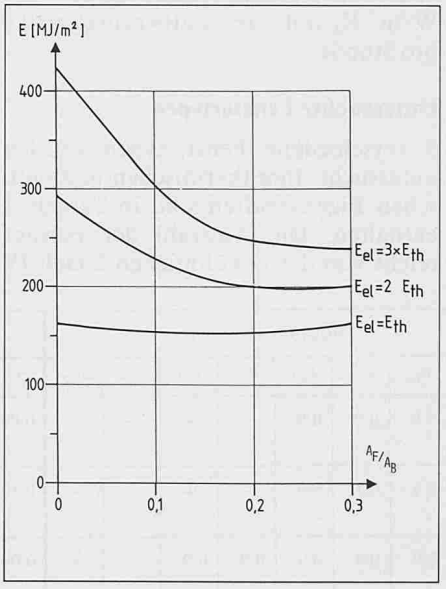
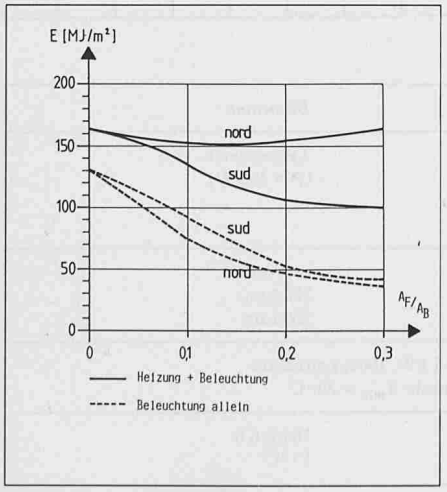
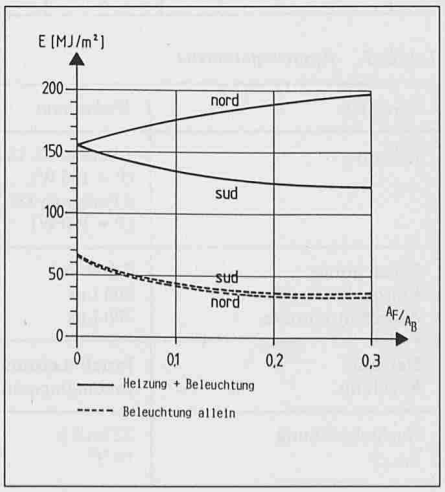


Bild 3. Gesamtenergiebedarf während der Heizperiode in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils und der Orientierung. links = Büro; rechts = Wohnraum



Annahmen: - 2 IV Wärmeschutzglas - Schwere Konstruktion mit Nachtabsenkung - Aussenliegender Sonnenschutz ab 23 °C



alle anderen Fälle wurde angenommen, dass der aussenliegende Sonnenschutz betätigt wird, sobald die Innentemperatur 23 °C überschreitet.

Einfluss der Beleuchtung

Der Energiebedarf für die Beleuchtung hängt stark von der Art des Raumes ab. Für Wohnräume ist der Bedarf relativ bescheiden [3, 4]: zwischen 4 und 5% des Gesamtenergiebedarfes. In der vorliegenden Untersuchung ist der Bedarf etwas höher aufgrund der Belegungsannahme von 50% (tagsüber). In den Büroräumen ist der Beleuchtungsenergiebedarf relativ hoch und spielt eine wichtige Rolle in der Gesamtenergiebilanz.

Die Berechnung des Energiebedarfs für Beleuchtung beruht auf folgenden Annahmen:

- Ein- und Ausschaltschwelle der künstlichen Beleuchtung
- Installierte Beleuchtungsleistung
- Belegung des Raumes
- Anteil Tageslicht

Ein spezielles Unterprogramm wurde entwickelt und in das Programm PASSIM eingebaut. Damit konnte der Beleuchtungsenergiebedarf für die verschiedenen Varianten Stunde für Stunde berechnet werden.

Bild 1 enthält die Angaben über den spezifischen Zusatz-Energiebedarf für die Beleuchtung (in MJ/m² EBF) in Funktion des relativen Fensteranteils an der Energiebezugsfläche (EBF) und der Ein- und Ausschaltschwellen. (S1/S2 in Lux).

Die thermische und die elektrische Energie wurden in der Abbildung 1 gleich gewichtet (d.h. 1 MJ thermisch = 1 MJ elektrisch). Man kann diese Gewichtung jedoch auch anders wählen, um z.B. dem Energiepreis oder der Exergie Rechnung zu tragen. Bild 2 zeigt den Einfluss der Wahl verschiedener Gewichtungsfaktoren auf den Energiebedarf in Abhängigkeit von Orientierung und Fenstergrösse.

Für eine Nordorientierung ist der Energiebedarf unabhängig von der Fenstergrösse, solange der Gewichtungsfaktor 1 ist. Sobald man jedoch eine andere Gewichtung einführt, wird der Bedarf für kleine Fensteranteile (Fensteranteil unter 20% der EBF) grösser. Dieser Effekt ist grösser für den Büroraum als für den Wohnraum, bei dem die Beleuchtung eine geringere Rolle spielt.

Im weiteren Verlauf der Untersuchung wird aus Gründen der Einheitlichkeit der Gewichtungsfaktor 1 angewendet.

Bild 3 zeigt den Verlauf des Gesamtenergiebedarfes (Heizung und Beleuchtung) für einen Wohn- und einen Büroraum sowie den Anteil der künstlichen Beleuchtung.

Einfluss des Fenstertyps

Der Einfluss des Fenstertyps und der Orientierung wurde für den Fall des Wohnraums näher untersucht. Die Bilder 4 bis 8 enthalten die Entwicklung des Gesamtenergiebedarfes (Heizung und Beleuchtung) in Funktion des Fensterflächenanteils, des Fenstertyps und der Orientierung. Für alle Abbildungen gelten:

- Wohnraum
- Schwere Konstruktion mit Nachtabsenkung
- Aussenliegende Sonnenstoren ab T index = >23 °C

Sonnenschutz und Komfort

Die mehr oder weniger intensive Betätigung des Sonnenschutzes hat einen direkten Einfluss auf den Heizenergiebedarf des Raumes. Die Betätigung des Sonnenschutzes hängt vom Behaglichkeitsempfinden der Benutzer und von sekundären Faktoren, wie z.B. dem Willen, die Möbel zu schützen, ab.

Da man den wirklichen Benutzer nicht «modellieren» kann, wurden mehrere typische Verhaltensweisen untersucht. Es wurde dazu die «resultierende Komfort-Temperatur», T-index angewandt [5]. Diese Grösse hängt von der Lufttemperatur, von der mittleren Strahlungstemperatur der Oberflächen und von der direkten Sonnenbestrahlung ab.

Bei jedem Rechenschritt wurde diese Temperatur mitberechnet und es konnte dann entschieden werden, ob die Sonnenschutzeinrichtung betätigt werden sollte oder nicht. 4 Fälle wurden untersucht:

(I) kein Sonnenschutz, Weglüften der Wärme durch Fensteröffnen ab einer Innenlufttemperatur von 26 °C
(II) Sonnenschutz ab T-index >26 °C
(III) Sonnenschutz ab T-index >23 °C
(IV) Sonnenschutz ab T-index >21 °C

Die Variante (III) entspricht der Referenzvariante in allen anderen Untersuchungen. Die zwei Extremfälle (I) und (IV) entsprechen einem Benutzerverhalten, welches sehr grosse oder sehr geringe Temperaturschwankungen zulässt.

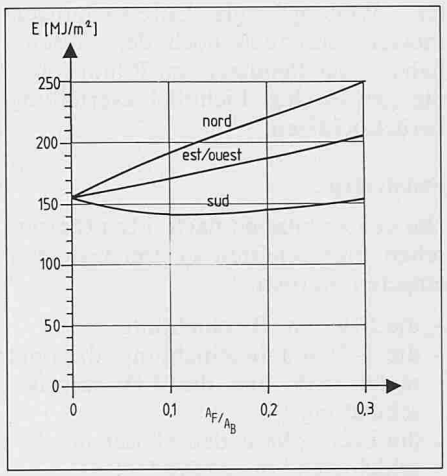


Bild 4. 2-IV Verglasung

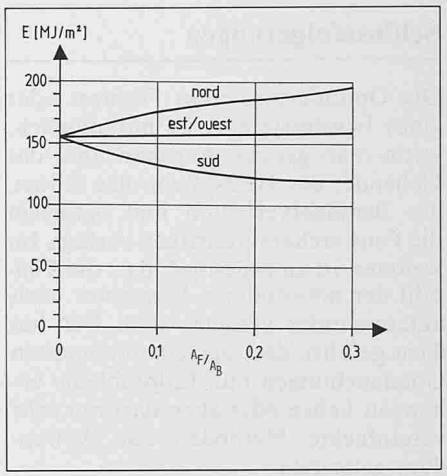


Bild 5. 2-IV mit selektiver Beschichtung (Wärmeschutzglas)

Bild 6. 3-IV Verglasung

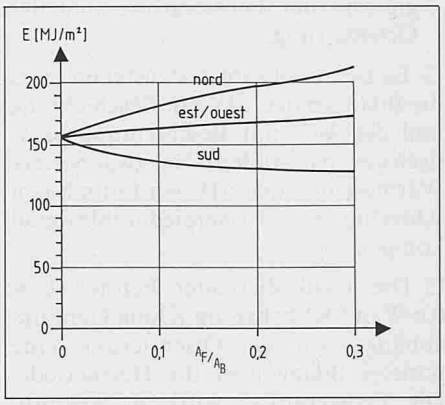


Bild 7. 3-IV mit selektiver Beschichtung (Wärmeschutzglas)

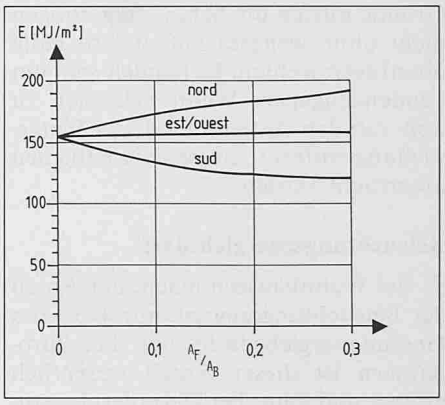


Bild 8. HIT-S Fenster

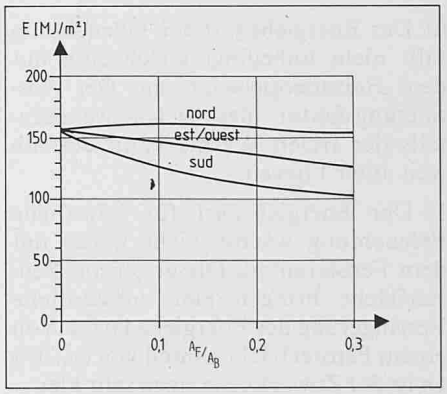
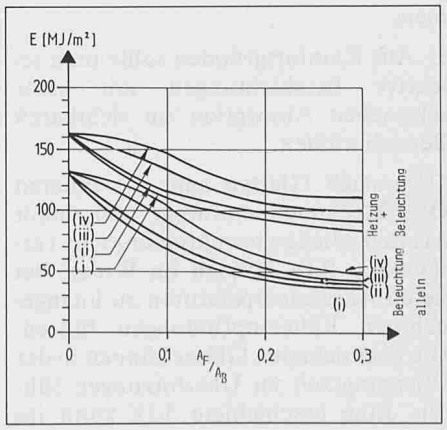
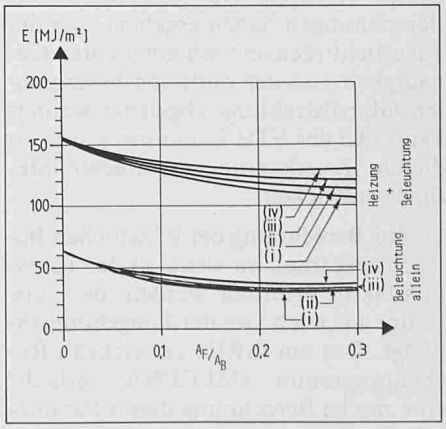


Bild 9 zeigt den Einfluss des Benutzerverhaltens auf den Energieverbrauch im Falle eines Wohn- und eines Büroraumes. Die grössten Unterschiede treten dabei bei den Büroräumen auf und können bis zu 35% des Energiebedarfs ausmachen gegenüber 23% bei Wohnräumen.

Bild 9. Gesamtenergiebedarf während der Heizperiode in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils und der Bedienung des Sonnenschutzes. links = Büro; rechts = Wohnraum



Annahmen: - 2 IV Wärmeschutzglas - Schwere Konstruktion mit Nachtabsenkung - Klima Genf - Orientierung Süd



Schlussfolgerungen

Die Optimierung eines Fensters oder eines Fenstersystems ist nur möglich, wenn man genaue Angaben über das Gebäude, das Heizsystem, das Klima, das Benutzerverhalten und natürlich die Fenstercharakteristiken verfügt. Im weiteren ist zu bedenken, dass die Vielzahl der notwendigen Parameter noch untereinander vernetzt sind. Das hat dazu geführt, dass bis jetzt die meisten Untersuchungen nur Teilprobleme behandelt haben oder aber, dass nur sehr vereinfachte Methoden zur Anwendung gelangten.

Die im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Parameterstudien betreffen zwei Raumtypen: einen Wohn- und einen Büroraum. Aus diesem Grunde dürfen die Schlussfolgerungen nicht ohne weiteres auf andere Fälle übertragen werden. Es handelt sich um Tendenzangaben. Wenn man sich zu weit von den Annahmen dieser Untersuchung entfernt, müssen die Fälle neu untersucht werden.

Beleuchtungsenergiebedarf

□ Bei Wohnhäusern macht der Anteil der Beleuchtungsenergie nur 4–5% des Gesamtenergiebedarfes aus. Bei Bürohäusern ist dieser Anteil wesentlich grösser und kann bei Optimierungsstudien nicht vernachlässigt werden.

□ Der Energiebedarf für Beleuchtung fällt nicht unbedingt gleichzeitig mit dem Heizenergiebedarf an. Der Ausnützungsfaktor des Beleuchtungsanteils der freien Wärme kann deshalb weit unter 1 liegen.

□ Der Energiebedarf für künstliche Beleuchtung wächst nicht linear mit dem Fensteranteil. Die ersten m² Fensterfläche bringen eine substantielle Verringerung des Energiebedarfes. Von einem Fensterflächenanteil von ca. 20% an ist der Zuwachs nur noch sehr klein.

□ Um die künstliche Beleuchtung berechnen zu können, muss man über Angaben zur Tageslichtintensität im Freien verfügen. Die Messungen und Berechnungen haben ergeben, dass die Tageslichtintensität mit einer guten Genauigkeit von der mittleren horizontalen Globalstrahlung abgeleitet werden kann. An der ETH Lausanne wurde zu diesem Zweck eine vereinfachte Methode entwickelt.

□ Zur Berechnung der künstlichen Beleuchtung muss im weiteren der Tageslichtfaktor ermittelt werden, der vom Raum wie auch von der Umgebung abhängt. Das am GRES entwickelte Rechenprogramm «MECENA» erlaubt eine rasche Berechnung dieses Parameters. Weitergehende Untersuchungen müssen zusätzlich noch den Aufenthaltsort des Benutzers im Raum sowie die gewünschte Lichtdichteverteilung berücksichtigen.

Fenstertyp

Die Gläser können nach ihren thermischen Eigenschaften in drei Gruppen eingeteilt werden:

- die 2-IV ohne Beschichtung
- die 2-IV mit Beschichtung, die normalen 3-IV und die 3-IV mit Beschichtung
- die hochisolierenden Gläser mit beschichteten Folien (Typ HIT-S).

Die Unterschiede zwischen den Gruppen a) und b) sind ungefähr gleich gross wie diejenigen zwischen den Gruppen b) und c) und das unabhängig von der Fenstergrösse und der Orientierung.

□ Es ist interessant festzustellen, dass die Bilanzen der 2-IV mit Beschichtung und der 3-IV mit Beschichtung praktisch gleich ausfallen. Der etwas bessere Wärmeschutz der 3-IV wird durch den schlechteren Energiedurchlassgrad kompensiert.

□ Die hochisolierenden Fenster (k = 0,6 W/m² K) haben im Klima Genf unabhängig von der Orientierung, eine positive Bilanz über die Heizperiode. Die Fenstergrösse wird im wesentlichen durch Beleuchtungskriterien festgelegt. Der Heizenergiebedarf ist bei diesen Fenstern kein Problem mehr, dagegen muss der Überhitzung des Raumes grössere Beachtung geschenkt werden. Die innere Abwärme, die Regelung und der Sonnenschutz müssen sorgfältig untersucht werden.

Benutzerverhalten und Komfort

□ Der Benutzer beeinflusst den Energiebedarf durch sein Verhalten (akzeptable Temperaturen, Lüftung, Bedienung der Sonnenschutzanlage) in beträchtlichem Masse. Die Abweichungen aufgrund von verschiedenen Benutzerverhalten machen beim Fremdenergiebedarf bis zu 23% aus bei Wohnräumen und bis zu 35% bei Büroräumen.

□ Aus Komfortgründen sollte man selektive Beschichtungen mit einer schwachen Absorption im sichtbaren Bereich wählen.

□ Je nach Glastyp sind die inneren Oberflächentemperaturen, und damit das Behaglichkeitsempfinden, sehr verschieden. 2-IV können im Winter bei tiefen Aussentemperaturen zu unangenehmen Kälteempfindungen führen. Die beschichteten Gläser können in der Übergangszeit zu Überhitzungen führen. Eine beschichtete 3-IV kann im April innere Oberflächentemperaturen von 34 °C aufweisen.

□ Alle beschichteten Gläser können in der Übergangszeit und im Sommer hohe Oberflächentemperaturen aufweisen. Das kann vor allem bei Ost und West orientierten Gläsern zu Problemen führen, da sich ein baulicher Sonnenschutz bei niedrigem Einstrahlungswinkel kaum verwirklichen lässt. Einen wesentlichen Beitrag kann in dieser Lage das Anbringen des beschichteten Glases an der Aussenseite bringen. Das verringert zwar geringfügig die Leistungen im Winter, verbessert aber den Komfort während der übrigen Jahreszeiten.

Wärmeschutzgläser sollten deshalb über eine wirksame aussenliegende Sonnenschutzvorrichtung verfügen.

□ Bei sehr guten Gläsern ist es ohne Komfortverlust möglich, auf das Anbringen der Radiatoren oder Konvektoren unter den Fenstern zu verzichten. Genauere Angaben zu diesem Themenkreis sind in den Untersuchungen [8] und [9] enthalten.

Literatur

[1] *N. Morel*, «PASSIM» – Mode d'emploi, GRES – EPFL (1984)

[2] *O. Guisan* et *P. Ineichen* Données météorologiques de Genève: 1.1.80–31.12.81 GAP – Université de Genève (1983)

[3] *B. Wick*, Statistiques des consommations d'énergie des bâtiments en Suisse – MSEE (1984)

[4] *B. Saugy, D. Bonnard* et *F. Vuille*, Consommation d'électricité des ménages. Ingénieurs et architectes Suisses (oct. 1980), p. 325-330

[5] *P.O. Fanger*, Thermal Comfort, Krieger publishing company 1982

[6] *Ch. Eriksson, J.-B. Gay* et *N. Morel*, Influence de la fenêtre sur le bilan énergétique d'une construction, GRES – EPFL (décembre 1986)

[7] *J.-B. Gay, T. Frank, B. Keller*, «Fenêtres et systèmes de fenêtres» – Rapport de synthèse 1983–1986 sur la participation suisse à l'annexe XII EPFL (1986)

[8] *Th. Frank, T.W. Püntener, R. Huber*, Oberflächentemperaturen von besonnten Fensterglasscheiben und ihre Auswirkungen auf Raumklima und Komfort. EMPA – IBE (Juni 1986)

[9] *B. Keller, P.-A. Francelet, C.-A. Roulet*, Der Einfluss von hochisolierenden Fenster- und Fassadensystemen auf Raumklima und Energiebedarf. EPFL – Geilinger AG (1985)

Adresse der Autoren: Dr. *Jean-Bernhard Gay*, dipl. Phys. ETH, und Dr. *Nicholas Morel*, dipl. Phys. ETH, EPFL – GRES, Bâtiment LESO, 1015 Lausanne.