Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 96 (1978)
Heft: 18

Artikel: Der Wärmehaushalt von verglasten Gebäudeflächen
Autor: Eggenberger, Andreas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73687

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: 13.12.2025

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

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Der Wärmehaushalt von verglasten Gebäudeflächen

Von **Andreas Eggenberger**, Burgdorf

Fenster sind eine zwingende Notwendigkeit für ein Gebäude, das dem Aufenthalt von Menschen dienen soll. Ein Minimum an Fenstern ist die Voraussetzung für die körperliche und seelische Gesundheit der Bewohner. Dies ist zu bedenken, wenn bei der Analyse und Optimierung des Wärmehaushaltes von Gebäuden die verglasten Gebäudeflächen zur Diskussion stehen. Die folgenden Ausführungen über den Wärmeschutz des Fensters bezwecken einerseits den energetischen Aspekt von Lichtflächen zu durchleuchten, andererseits diesen Aspekt in den grösseren Zusammenhang der integralen Funktionen des Fensters zu stellen.

Funktionen des Fensters

Die Funktionen des Fensters stellen sich in zwei Gruppen dar, den Primärfunktionen und den Sekundärfunktionen. Die Primärfunktionen enthalten das Wesen der Fenster, und sind der Grund und die Ursache, weshalb gerade ein Fenster angeordnet wird, und nicht ein anderes Aussenwandelement. Die Sekundärfunktionen sind eigentliche Schutzfunktionen, die das Fenster wie jedes andere Aussenwandelement integral übernehmen muss. Dabei sind einige Schutzfunktionen beim Fenster in der konstruktiven Lösung problematischer als beim Aussenwandelement.

Im Bild 1 sind die Funktionen und ihre Wechselbeziehungen dargestellt. Auf eine detaillierte Besprechung wollen wir hier verzichten. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass der *Wärmeschutz des Fensters eine sekundäre Funktion* darstellt. Diese Schutzart darf nicht auf Kosten der andern, insbesondere nicht auf Kosten der Primärfunktionen maximiert werden. Die optimale Fensterplanung erfordert, dass in jedem einzelnen Realisationsfall alle wesentlichen Funktionen den objektspezifischen Verhältnissen entsprechend gewichtet und berücksichtigt werden. Es ist zu beachten: das Ganze ist grösser als ein Teil.

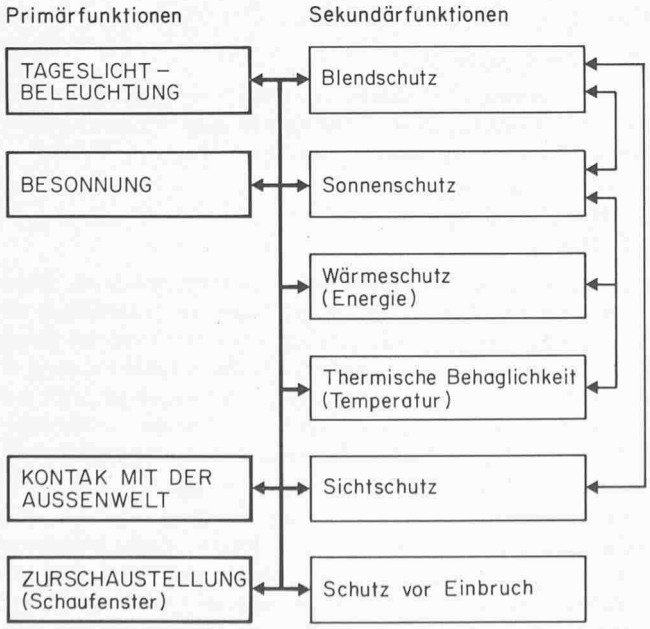


Bild 1. Funktionen des Fensters und ihre Wechselbeziehungen

Fenster und Wärmehaushalt von Gebäuden

Es ist allgemein bekannt, dass das Fenster an sich, sowie dessen Ausrüstung einen erheblichen Einfluss auf den Wärmehaushalt von Gebäuden ausüben. Dies gipfelt oft in der simplifizierenden Formel des Wärmeschutzes: Besser isolieren, kleinerer Fensterflächenanteil. Dies führt letztlich zur Erhebung des Wärmeschutzes des Fensters in eine Primärfunktion, was aus den im zweiten Abschnitt aufgeführten Gründen zu Fehlentscheiden führen kann.

Der Einfluss des Fensters auf den Wärmehaushalt eines Gebäudes sollte im Einzelfall immer anhand der Wärmebedarfsberechnung und -analyse überprüft werden. Als Beispiel sei hier ein Fabrikationsgebäude aufgeführt. Die Ergebnisse der Wärmeleistungsbedarfsrechnung sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Bedarfsrechnung für Wärmeleistung

Bauidentifikation. Es handelt sich um ein zweigeschossiges Fabrikationsgebäude im bernischen Mittelland. Sein Grundriss ist im Rastermass von 8,4 m eingeteilt.

Hauptausdehnung des Gebäudes:	50,4 m (≙ 6 Achsdistanzen)
Querausdehnung:	25,2 m (≙ 3 Achsdistanzen)
Geschoss- bzw. Gebäudehöhe:	4,2 m bzw. 8,4 m
Ausrichtung der Hauptfassaden:	SW, NE

Das Gebäude ist nur teilweise (Schutzräume) unterkellert (wird in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt).

Dach:	Flache Betondecke mit Warmdachaufbau gemäss Empfehlung SIA 271
Dachoblichter:	Zweischalige Lichtkuppeln in Akrylglas, mit Sonnenschutzbeschichtung
Fassade:	Vorgehängte Leichtbaufassade in Leichtmetall, Profile wärmegedämmt, Blechbrüstungskoffer hinterlüftet, Farbe dunkel
Fenster:	Zweifache Isolierverglasung mit Klarglas, zum grossen Teil festverglast, einzelne Lüftungsflügel, Rahmen: Holz/Metall. Sonnenschutz: horizontale Aussenlamellenstore, Farbe dunkel. Flächenverteilung: NE, SW je 230 m²; SE, NW je 70 m²
Boden:	Betonplatte, mit Wärmedämmung, Industrieholzboden
Lüftung:	Mechanische Lüftungsanlage mit Lufterhitzer, ohne Befeuchtung und Kühlung, Plattenwärmeaustauscher mit $\eta = 58\%$, Frischluftmenge: 21 000 m³/h

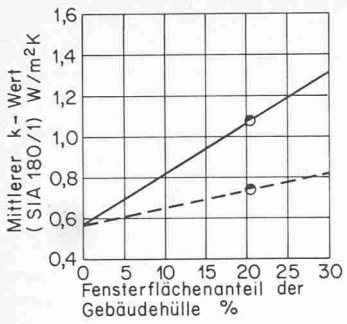


Bild 2. Einfluss des Fensteranteils der Gebäudehülle auf den mittleren k-Wert der Gebäudehülle des Fabrikationsgebäudes. Definition und Berechnung von $\bar{k}$ nach SIA 180/1

—— Übliche Berechnungsart

- - - Unter Berücksichtigung des Wärmegewinnes durch die Fenster

Eingetragen ist der Zustand gemäss Voraussetzung in Abschnitt «Bedarfsrechnung für Wärmeleistung»

Heizung: Grundlastheizkörper längs den Fenstern. Beheizung der Räume auf $T_i = 20$ °C

Standortangaben: Bernisches Mittelland
Höhe über Meer: 475 m
Auslegungstemperatur: $T_a = -11$ °C
Heizgradtage: 3660 °Cd

Zusammenstellung der Wärmeleistungsbedarfsrechnung

Der Wärmeleistungsbedarf kann nach Empfehlung SIA 380 ermittelt werden.

Tabelle 1. Zusammenstellung des Wärmeleistungsbedarfs

Bauteil	*Fläche A* m²	*k-Wert* W/m² K	*ΔT* °C	*Wärmeleistungsbedarf Q₀* W
Dach	1090	0,65	31	21 960
Oblichtkuppeln	180	3,5	31	19 530
Fenster (48 %)	600	2,6	31	48 360
Aussenwandteile	670	0,6	31	12 460
Boden	1270	0,9	10	11 430
Lüftungswärmeleistungsbedarf			31	135 930
Zuschlagsfreier Wärmeleistungsbedarf Q_0				250 kW

Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient der Gebäudehülle kann nach Empfehlung SIA 180/1 ermittelt werden. Unter-Verwendung der Rechenwerte in dieser Empfehlung ergibt sich für dieses Objekt der *mittlere k-Wert:*

$$\bar{k} = \frac{\Sigma k \cdot A}{\Sigma A} = \frac{4100}{3810} = 1{,}08 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Als *oberer Grenzwert* wird zurzeit für obiges Gebäude festgelegt bei

Grundwert $C_0 = 1{,}1$ W/m² K
Formfaktor $C_1 = 1{,}04$ (für $A/V = 0{,}36$ m⁻¹)
Klimafaktor $C_2 = 1{,}0$ (für 475 m ü. M.)
Nutzungsfaktor $C_3 = 1{,}0$ (für $T_i = 20$ °C)

$$\bar{k}_{zul.} = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 = 1{,}1 \cdot 1{,}04 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 = 1.14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Der Vergleich ergibt $\bar{k} < \bar{k}_{zul.}$ Die Empfehlung SIA 180/1 wird erfüllt.

Wärmebedarfsanalyse

Wir beziehen die zuvor ausgewiesenen Wärmeleistungsbedarfswerte auf *zwei Grundwerte:*

- Gesamtwärmeleistungsbedarf Q_0 (inkl. Lüftungsanteile): 250 kW ≙ 100 %
- Wärmeleistungsbedarf der Gebäudehülle: 113,7 kW ≙ 100 %

Die Zusammenstellung in Tabelle 2 zeigt deutlich den Einfluss der Lichtöffnungen auf den Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes.

Tabelle 2. Wärmeleistungsbedarfsanalyse

Bauteil	*%-Anteil am Gesamtwärmebedarf*	*Bedarf der Gebäudehülle*
Dach	8,8 %	19,3 %
Oblichtkuppeln	7,8 %	17,2 %
Fenster	19,4 %	42,5 %
Aussenwandteile	5,0 %	11,0 %
Boden	4,6 %	10,0 %
Lüftung	54,4 %	–
Total	100 %	100 %

Oblichter und Fenster: 27,2 % des Gesamtwärmeleistungsbedarfs, bzw. 59,7 % des Bedarfs der Gebäudehülle.

Bei einer anzustrebenden Reduktion des Wärmeleistungsbedarfs müssten somit als erstes die beiden Hauptbedarfsträger Lüftung und Lichtöffnungen untersucht werden. Dabei ist jedoch das über die Primärfunktionen des Fensters Ausgesagte zu berücksichtigen. Mit obigem Beispiel wurde die Stellung des Fensters innerhalb des Wärmehaushaltes des Gebäudes an einem konkreten Gebäude ausgewiesen.

Die Wärmebilanz des Fensters

Die Wärmebilanz eines Gebäudes mit Fenstern ist aus den vorangegangenen Ausführungen nicht so einfach zu erstellen, wie es den Anschein macht. Das Fenster ist ein *strahlungsdurchlässiger Bauteil.* Die Verhältnisse sind deshalb komplizierter.

Im folgenden wird die *qualitative* Wärmebilanz des Fensters unter Einbezug der üblichen Wärmeströme und der Strahlungseinflüsse erstellt. Für konkrete Fälle werden im Sinne einer Globalabschätzung die Wärmeströme versuchsweise quantifiziert. Dabei müssen gewisse Vereinfachungen vorgenommen werden, die jedoch die Aussagekraft dieser Untersuchung nicht verringern.

Qualitative Wärmeströme

Für diese Betrachtung wird ein *Zweischeibenglas* gewählt. Die äussere Glasscheibe sei die Bilanzfläche. Wärmeströme zur Bezugsfläche werden positiv, Wärmeströme von der Bezugsfläche werden negativ gezählt. In Bild 3 sind die Wärmeströme eingetragen.

Wärmebilanz:

(1a) $Q_{1,9} + Q_2 + Q_3 + Q_0 - Q_{1,1} - Q_{1,2} - Q_{1,3} - Q_4 - Q_5 = 0$

Sonneneinstrahlung $Q_{1,0}$

Die Sonneneinstrahlung ist zeitlich in ihrer spektralen Zusammensetzung, ihrer Richtung wie auch im Betrag stark verschieden. Sie setzt sich aus den drei bekannten Anteilen

- Direkte Sonnenstrahlung I
- Diffuse Strahlung D
- Reflexstrahlung R

zusammen, wobei oft R in D enthalten dargestellt wird. Diese Komponenten werden im Begriff der *Globalstrahlung G* zusammengefasst. (Globalstrahlung wird hier nicht im Sinne der Atmosphärenphysik verstanden!) Die Globalstrahlung G (im Bild 3 mit dem Wärmestrom $Q_{1,0}$ gekennzeichnet) trifft auf die äussere Scheibe. Dabei wird je nach den strahlungstechnischen Eigenschaften des Glases in unterschiedlichem Mass

- ein Teil reflektiert (gekennzeichnet mit $Q_{1,1}$)
- ein Teil durchgelassen in den Raum, nach bekannter Art vom Bauwerk und vom Mobiliar absorbiert und allmählich der Raumluft als Wärme zugeführt (Kennzeichnung mit $Q_{1,2}$.) In diesem Term soll auch der Sekundärteil enthalten sein.

- ein Teil wird im Glas zum Teil direkt, zum Teil nach Mehrfachreflexionen innerhalb der Verglasung absorbiert, und bewirkt eine Temperaturanhebung der äusseren Scheibenoberfläche T_{wa} (Kennzeichnung mit $Q_{1,3}$)

Es ist $Q_{1,0} = Q_{1,1} + Q_{1,2} + Q_{1,3} \equiv G$

Die *Haupteinflussgrössen* auf die Wärmebilanz sind

- von der Seite der Verglasung
  - kalorimetrisch ermittelter Sonnenschutzfaktor der ganzen Verglasung (f)
  - Absorptionsvermögen der äusseren Scheibe (A)
- von der Seite der Klimatologie
  - Zusammensetzung und Betrag der Globalstrahlung
  - Häufigkeit der Globalstrahlung (wieviel um welche Zeit, wie oft)

Atmosphärische Strahlung: Q_2

Die atmosphärische Strahlung ist die *Gasstrahlung der Lufthülle*. Sie ist von langwelliger Natur und tritt auch in der Nacht auf. Ihr Betrag und ihre spektrale Zusammensetzung hangen einerseits von der Gastemperatur und der Meereshöhe, anderseits von der atmosphärischen Zusammensetzung ab. Z. B. wird die Strahlung grösser, je höher der Gehalt an Wasserdampf (das Emissionsvermögen wird grösser) ist. Nebel, Wolken, Luftverschmutzung verkleinern jedoch den Strahlungsdurchgang.

Die Atmosphäre ohne Wolken ist für den Wellenlängenbereich von rund 8–13 μm praktisch durchlässig, so dass von einem «Fenster» im Spektrum gesprochen wird.

Terrestrische Strahlung: Q_3

Die Erdoberfläche strahlt entsprechend ihrer Oberflächentemperatur und ihrem Emissionsvermögen nach dem Plankschen Strahlungsgesetz. Die Erdoberfläche ist praktisch ein grauer diffus strahlender Körper mit dem Strahlungsmaximum im langwelligen Bereich.

Abstrahlung der Glasoberfläche: Q_4

Die Glasoberfläche strahlt entsprechend ihrer Oberflächentemperatur T_{wa} und ihrem Emissionsvermögen im langwelligen Bereich nach aussen.

Konvektiver Wärmeentzug: Q_5

Der äusseren Scheibe wird durch die Luftbewegung in ihrem Bereich durch Konvektion Wärme entzogen. Die massgebenden Einflüsse sind der Windanfall und die Temperatur des Luftstromes T_a sowie der äusseren Scheibenoberflächentemperatur T_{wa}.

Wärmefluss durch Bauteil: Q_6

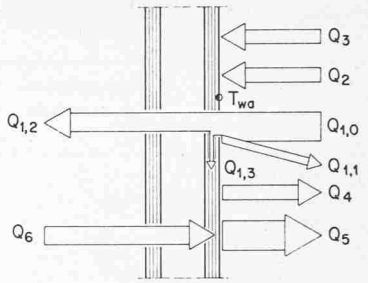
Vom Innenraum aus besteht ein Wärmetransport mittels Strahlung und Konvektion aus der Raumluft und den Raumumschliessungsflächen auf die innere Scheibe der Verglasung. Von hier wird die Wärme weitergegeben durch das Bauteil über Leitungs-, Konvektions- und Strahlungsvorgänge bis an die äussere Glasscheibe. Die treibende Ursache sind die Temperaturdifferenz zwischen Innenraum (T_i) und der äusseren Glasscheibe (T_{wa}), sowie der Bauteilkennwert k-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient). Auf die Leitungs-, Konvektions- und Strahlungsvorgänge innerhalb der Verglasung wird hier nicht eingegangen. Der k-Wert des Glassystems wird als gegeben vorausgesetzt.

Die Wärmebilanz des Fensters aus der Sicht des Raumes

Ordnet man die Glieder der Wärmebilanz, wie sie in Bild 3 dargestellt sind nach den Anteilen, die vom Raum herrühren, so erhält man

$$(1b) \quad Q_{1,2} - Q_6 = (Q_{1,0} - Q_{1,1} - Q_{1,3}) + Q_2 + Q_3 - Q_4 - Q_5$$

Bild 3. Wärmeströme an einem Fenster



$Q_{1,0}$ = Sonneneinstrahlung
$Q_{1,1}$ = Reflektierter Teil von $Q_{1,0}$
$Q_{1,2}$ = Transmittierter Teil von $Q_{1,0}$
$Q_{1,3}$ = Absorbierter Teil von $Q_{1,0}$
Q_2 = Atmosphärische Strahlung
Q_3 = Terrestrische Strahlung
Q_4 = Abstrahlung Glasoberfläche
Q_5 = Konvektiver Wärmeentzug
Q_6 = Wärmefluss durch Bauteil

Dies stellt den Energieanteil dar, der durch den Raum aufgebracht werden muss, damit die Bilanz des Fensters ausgeglichen ist. In dieser Untersuchung interessiert aber gerade diese Differenz $Q_{1,2} - Q_6$. Sie lässt sich unter der Voraussetzung gewisser Annahmen und Vereinfachungen berechnen.

Konkrete Beispiele von Wärmebilanzen

Untersuchte Beispiele

Für vier Fälle haben wir die Wärmebilanzen für einen Wintertag (15. Januar) erstellt und mit einem Iterationsverfahren ausgewertet.

Fall 1: Sonniger, wolkenloser Himmel, nachts ebenfalls klarer Himmel, ohne Sonnenschutz (Tag und Nacht ungeschützt)

Fall 2: Hochnebel, bedeckt, Fenster Tag und Nacht ungeschützt

Fall 3: Sonniger, wolkenloser Himmel, nachts ebenfalls klarer Himmel, tagsüber Fenster ohne Sonnenschutz, nachts Aussenlamellenstore geschlossen

Fall 4: Hochnebel, bedeckt, Fenster tags ungeschützt, nachts Aussenlamellenstore geschlossen

Die Untersuchung wird für ein normales Zellenglas mit 12 mm Luftzwischenraum vorgenommen. In Bild 4 sind die wichtigsten Randbedingungen zusammengestellt.

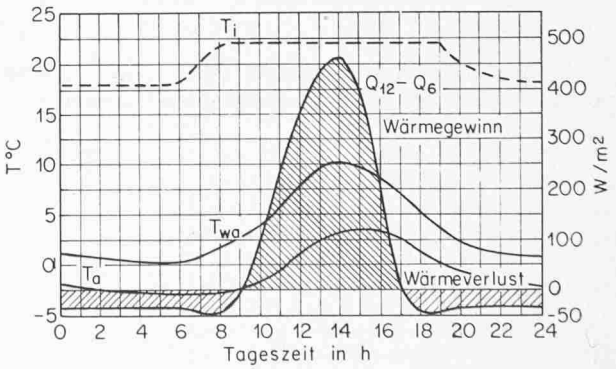


Bild 4. Zeitlicher Verlauf der Temperatur und Wärmestrombilanz für den Fall 3. Aussenlamellenstoren dicht geschlossen von 18.30 bis 06.30 h. $Q_{1,2}$–Q_6 stellt die zeitliche Differenz des Wärmegewinnes durch Strahlung und des Wärmeverlustes dar

k-Werte
tags k = 3,0 W/m²K
nachts k = 2,1 W/m²K

Sonnenschutzfaktor
(Strahlungsschirm)
tags f = 0,72
nachts f = 0,05

Windverhältnisse
w = 2 m/s

Tabelle 3. Summierte Wärmeströme über einen Wintertag, SW-Fenster

Untersuchte Fälle	*Transmissionswärmeverluste* ΣQ_6	*Strahlungswärmegewinne* $\Sigma Q_{1,2}$	*Energiebelastung des Raumes* [1] $\Sigma Q_6 - \Sigma Q_{1,2}$
1 Sonniger Tag, nachts ungeschütztes Fenster	4 830	10 800	− 5 970
2 Bedeckter Himmel, nachts ungeschütztes Fenster	6 120	1 110	+ 5 020
3 Sonniger Tag, nachts Aussenlamellen geschlossen	4 120	10 800	− 6 680
4 Bedeckter Himmel, nachts Aussenlamellen geschlossen	4 910	1 110	+ 3 800
	kJ/d	kJ/d	kJ/d

[1]) Das Minusvorzeichen bedeutet, dass der Raum einen Wärmegewinn, summiert über einen ganzen Tag, zu verzeichnen hat.

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse

Berücksichtigt man die durchschnittliche Sonneneinstrahlung und deren Häufigkeit für die Heizperiode mit 3660 Heizgradtagen, sowie die Bedienung der Sonnen- und Blendschutzanlage, so ergibt sich für die untersuchten Fälle folgendes Bild:

Tabelle 4. Summierte Wärmeströme über eine Heizperiode

Untersuchte Fälle	*Transmissionswärmeverluste* ΣQ_6	*Strahlungswärmegewinne* $\Sigma Q_{1,2}$	*Energiebelastung des Raumes* $\Sigma Q_6 - \Sigma Q_{1,2}$	*Mittlerer wirksamer k-Wert* [1]
Fall 1 und 2				
Tag und Nacht ungeschütztes Fenster	1075 MJ	840 MJ	235 MJ	0,75 W/m² K
Fall 3 und 4				
Tags teilweise ungeschützt[2], nachts geschütztes Fenster	861 MJ	631 MJ	230 MJ	0,73 W/m² K

[1]) Energiebelastung des Raumes, bezogen auf die Heizgradstunden der gleichen Periode.

[2]) Während rund ⅓ der Sonnenscheindauer sind die Lamellen unten.

Es mag vielleicht auf den ersten Blick erstaunen, dass die mittleren wirksamen Wärmedurchgangskoeffizienten für das Fenster derart tief liegen. Es ist aber zu bedenken, dass die Untersuchung für ein SW-Fenster mit seinem bekannten grossen Strahlungsgewinn durchgeführt wurde. Um dieses Ergebnis zu relativieren, wird im übernächten Abschnitt das erwähnte Fabrikationsgebäude auf diese Weise untersucht.

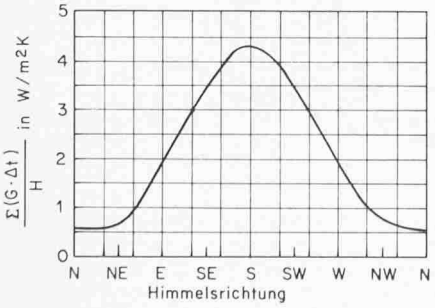


Bild 5, Abhängigkeit $\frac{\Sigma(G \cdot \Delta t)}{H}$ von der Himmelsrichtung, Standort Bern. Monate Oktober–April: Für horizontale Lichtöffnungen ist $\frac{\Sigma(G \cdot \Delta t)}{H} = 3{,}05$ W/m²k

Wärmegewinn von Fenstern

Verallgemeinerung

Die im vorausgehenden Abschnitt an praktischen Beispielen vorgenommenen Berechnungen kann man verallgemeinern und für alle Himmelsrichtungen vornehmen. Dazu vereinfachen wir die Wärmebilanz. Der Wärmeverlust Q_F durch ein Fenster ist

$$(2) \qquad Q_F = Q_{1,2} - Q_6 = k_m \cdot \Sigma([T_i - T_a] \cdot \Delta t) - f_m \cdot \Sigma(G \cdot \Delta t)$$

wobei

k_m ≙ zeitlich gemittelter wirksamer Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

f_m ≙ zeitlich gemittelter wirksamer Sonnenschutzfaktor der Verglasung

$\Sigma([T_i - T_a] \cdot \Delta t)$ ≙ Anzahl der Heizgradstunden über eine Heizperiode (Kurzbezeichnung: H)

$\Sigma(G \cdot \Delta t)$ ≙ Summierte Globalstrahlung über eine Heizperiode

Beziehung (2) schreibt sich mit den Abkürzungen

$$(3) \qquad Q_F = k_m \cdot H - f_m \, \Sigma(G \cdot \Delta t)$$

Postuliert man einen mittleren k-Wert k_e für die Verglasung, der den Wärmegewinn infolge Sonneneinstrahlung mit dem richtigen Gewicht berücksichtigt, so kann man (3) schreiben

$$(4) \qquad Q_F = k_e \cdot H \qquad \text{mit } k_e = Q_F/H$$

k_e bestimmt sich aus (3) und (4)

$$(5) \qquad k_e = k_m - f_m \frac{\Sigma(G \cdot \Delta t)}{H}$$

Bezieht man k_e auf den k-Wert des Glases, so erhält man

$$(6) \qquad \frac{k_e}{k_m} = 1 - \frac{f_m}{k_m} \cdot \frac{\Sigma(G \cdot \Delta t)}{H}$$

Die Beziehungen (5) und (6) zeigen deutlich, dass bei Gläsern nicht nur der k-Wert minimalisiert werden darf, sondern dass der Sonnenschutzfaktor in einem ausgewogenen Verhältnis zum k-Wert stehen muss, um den Wärmeschutz im Winter zu optimieren.

Praktische Berechnungen

Der Quotient $\frac{\Sigma(G \cdot \Delta t)}{H}$ wurde im folgenden für *Bern* berechnet. Bei $\Sigma(G \cdot \Delta t)$ wurden die Monate *Oktober bis April* berücksichtigt. H ist aus Empfehlung SIA 380 entnommen. Die Abhängigkeit von der Himmelsrichtung ist in Bild 5 gezeigt.

Für den Quotienten k_e/k_m wurde ein Diagramm (Bild 6) entwickelt, um für verschiedene Glassysteme in Abhängigkeit von f_m/k_m die Ausnützung der Sonneneinstrahlung zu berechnen. Für verschiedene typische Glassysteme sind die Werte f_m/k_m in Tabelle 5 aufgeführt.

Die allgemeine Darstellung der Wärmegewinnungsverhältnisse bei Verglasungen in Abhängigkeit der Himmelsrichtung erlaubt es, diesen Effekt bei der Wärmebedarfsanalyse zu berücksichtigen, und bei der Planung von Lichtöffnungen den Einfluss der Himmelsrichtung auf den Wärmehaushalt des Gebäudes abzuschätzen.

Tabelle 5. Werte für typische Glassysteme

Glassystem, Sonnenschutzvorrichtung	*k*-Wert	f_m	f_m/k_m
Isolierverglasung (4 + 12 + 4) mm			
ohne Sonnenschutz	3,0	0,72	0,24
mit Aussenlamellenstore	2,4 [2])	0,55 [1])	0,23
Isolierverglasung (4 + 10 + 4 + 10 + 4) mm			
ohne Sonnenschutz	2,0	0,7	0,35
mit Aussenlamellenstore	1,6 [2])	0,52 [1])	0,33
Sonnenschutzglas, reflektierend	1,7	0,3	0,18
Sonnenschutzglas, absorbierend	3,0	0,5	0,17
	W/m² K	–	m² K/W

[1]) Unter Berücksichtigung der zeitlich unterschiedlichen Stellung der Sonnen- und Blendschutzanlage.
[2]) Unter Berücksichtigung, dass die Aussenlamellenstoren nachts geschlossen sind.

Wärmebilanz aller Fenster eines Gebäudes

Der Kreis dieser Untersuchung wird geschlossen, indem im folgenden die gefundenen Ergebnisse und Untersuchungsmethoden auf das schon erwähnte konkrete Fabrikationsgebäude übertragen werden. Daraus können dann die Schlüsse für die Planung von Fenstern gezogen werden.

Wärmebilanz über alle Lichtöffnungen

Die Summierung der Wärmeströme über eine Heizperiode von 3660 Heizgradtagen ergibt die Werte in Tabelle 6.

Tabelle 6. Wärmebilanz der Fenster des Fabrikationsgebäudes über eine Heizperiode

Lichtöffnung	A	f_m [1])	*Transmission* [2]) ΣQ_6	*Einstrahlung* $\Sigma Q_{1,2}$	*Energiebelastung des Raumes* $\Sigma Q_6 - \Sigma Q_{1,2}$	*Mittlerer wirksamer k-Wert* [3]
Fenster NE	230		197,8	25,6	172,2	2,37
SE	70	0,55	60,2	44,6	15,6	0,70
SW	230		197,8	145,2	52,6	0,73
NW	70		60,2	9,8	50,4	2,28
Alle Fenster zusammen	600	0,55	516,0	225,2	290,8	1,53
Oblichtkuppeln	180	0,3	193,5	54,7	138,8	2,44
	m²	(–)	GJ	GJ	GJ	W/m² K

[1]) Unter Berücksichtigung der zeitlich unterschiedlichen Stellung der Sonnen- und Blendschutzanlage.
[2]) Unter Berücksichtigung, dass die Aussenlamellenstoren nachts geschlossen sind.
[3]) Energiebelastung des Raumes, bezogen auf die Heizgradstunden der gleichen Periode.

Aus Tabelle 6 geht hervor, dass

- der Wärmegewinn der Fenster gross ist
- der mittlere wirksame *k*-Wert der Fenster für das konkrete Beispiel etwa um den Faktor 2 kleiner ist, als in der Heizungsberechnung vorausgesetzt wird
- der Einfluss der Fensterorientierung auf den Wärmehaushalt beträchtlich ist.

Wärmebedarfsanalyse mit Strahlungsgewinn

Erstellt man die Wärmebedarfsanalyse für das konkrete Fabrikationsgebäude unter Einbezug des Strahlungsgewinnes durch die Fenster, so ergibt sich für eine Heizperiode folgendes Bild (Tabelle 7):

Die Wärmebedarfsanalyse zeigt, dass

- der Lüftungswärmebedarf den grössten Anteil am Wärmehaushalt hat (60,7%),
- die Lichtöffnungen zusammen 18,8% Anteil am Gesamtwärmebedarf bzw. 47,9% am Bedarf der Bauhülle haben

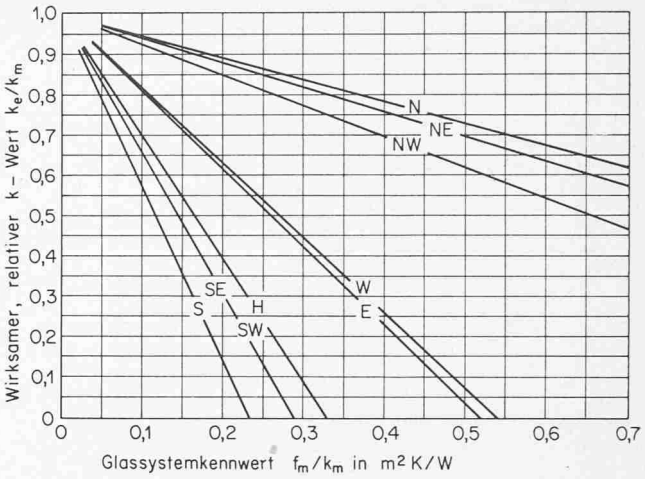


Bild 6. Abhängigkeit des wirksamen, relativen *k* - Wertes k_e/k_m von Verglasungen von Glassystemkennwert f_m/k_m und den Himmelsrichtungen

Tabelle 7. Wärmebedarfsanalyse des Fabrikationsgebäudes mit Strahlungsgewinn

Bauteil	*%-Anteile am Gesamtwärmebedarf*		*Bedarf der Bauhülle*	
Dach	9,8%	(8,7)	24,9%	(19,3)
Oblichtkuppeln	6,1%	(5,4)	15,5%	(12,0)
Fenster	12,7%	(11,4)	32,4%	(25,0)
Aussenwandteile	5,6%	(5,0)	14,2%	(11,0)
Boden	5,1%	(4,6)	13,0%	(10,0)
Lüftung	60,7%	(54,4)	–	
Total	100%	(89,5 Total)	100%	(77,3)
	≙ 2284 GJ		≙ 897 GJ	

Werte in Klammern sind bezogen auf Wärmebedarf ohne Strahlungsgewinn.

- die Wärmebilanz des ganzen Gebäudes unter Einbezug der Strahlungsgewinne durch die Fenster um rund 10%, die der Bauhülle um rund 23% besser ausfällt
- der mittlere *k*-Wert der Gebäudehülle unter Einbezug der Strahlungsgewinne durch die Fenster für das konkrete Objekt jetzt $\bar{k} = 0{,}74$ W/m² K wird (anstatt von 1,08 W/m² K gemäss SIA 180/1).

Schlussfolgerungen für die Planung von Lichtöffnungen

Aus der vorliegenden Untersuchung lassen sich verschiedene qualitative und quantitative Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Planung von Lichtöffnungen hinsichtlich des optimalen Wärmeschutzes erarbeiten. Es sei aber nochmals betont, dass der *Wärmeschutz nur ein Aspekt des Fensters* ist. Er ist immer in Zusammenhang mit den übrigen integralen Funktionen des Fensters zu stellen.

Vorgehen bei der Fensterplanung

Das optimale Vorgehen bei der Fensterplanung ist sicher bei jedem Bauvorhaben etwas anders. Es können aber doch allgemeingültige Hinweise gegeben werden. Als wichtig erachten wir die objektspezifische Abgrenzung und Unterscheidung der Primärfunktionen des geplanten Fensters, d.h. die Beantwortung der Frage: Warum soll ein Fenster eingeplant werden? Eine Auswahl der möglichen Antworten und der darauffolgenden notwendigen Reaktionen des Planers sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Die Fensterplanung sollte im Baukonzept enthalten sein (z.B. Tageslichtkonzept). Dadurch wird vermieden, dass zu

Tabelle 8. Vorgehen bei der Fensterplanung

Warum wird ein Fenster vorgesehen?	*Notwendige Reaktion des Planers*
1 Tageslichtbeleuchtung des Raumes bzw. der Arbeits- und Aufenthaltsplätze	Erarbeiten und Zusammenstellen des Tageslichtbeleuchtungskonzeptes, d.h.: – Wo wird welche Tätigkeit zu welcher Zeit vorgenommen? (Festlegung der Sehanforderungen) – Wie gross soll das Beleuchtungsniveau sein? – Welches soll die Beleuchtungsrichtung sein? – Kontraste, Schattigkeit, Blendung Auf Grund dieser Angaben und von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen lassen sich die Tageslichtquotienten T für die einzelnen Arbeitsplätze festlegen. Dabei müssen die gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden.
2 Kontakt mit der Aussenwelt	– Festlegen, was gesehen werden soll, von welchem Arbeitsplatz aus – Aufstellen der Anforderungen an den evtl. notwendigen Einsichtsschutz
3 Besonnung der Aufenthaltsräume	– Erarbeiten und Festlegen der Besonnungsanforderungen – Feststellen der bestehenden Beschattungen durch die Umgebung und Nachbarschaft – Ausscheiden, welche Himmelsrichtungen die Besonnungsanforderungen nicht mehr erfüllen (wegen Nachbarschaftsbeschattungen) bzw. erfüllen

einem späteren Zeitpunkt getroffene Lösungen zu unverantwortlichen Sachzwängen führen. Hohe Kosten und unerfreuliche Bauten sind oft die Folge davon. Frühzeitig konsultierte Fachleute machen sich oft schnell bezahlt.

Anordnung der Fenster und Lichtöffnungen

Im zweiten Schritt der Fensterplanung geht es um die Frage: Wo soll das Fenster angeordnet werden? Die Antwort wird abgeleitet aus den in Tabelle 8 zusammengestellten Gesichtspunkten.

Beim Wärmeschutz ist sowohl der winterliche wie auch der sommerliche Wärmeschutz zu überprüfen.

- *Winterlicher Wärmeschutz* (insbesondere bei nichtklimatisierten Räumen): Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass vom winterlichen Wärmeschutz aus die Fenster und Lichtöffnungen nach SE bis SW ausgerichtet oder horizontal angeordnet werden sollten, um den Wärmegewinn zu maximieren. (Vergl. hiezu Tabelle 4, Bild 5, Bild 6, Tabelle 6.)
- *Sommerlicher Wärmeschutz:* Die winterliche Wärmegewinnung darf nicht zu thermisch instabilen Räumen im Sommer führen. Die Überprüfung dieses Aspektes ist sehr zu empfehlen. Horizontale, richtig dimensionierte Blenden, Pergola oder dergleichen ergeben bei hohem Sonnenstand im Sommer oft genügend Abschattung, ohne im Winter bei flachem Sonnenwinkel die Wärmegewinnung zu verhindern.

Die widersprüchlichen Forderungen für den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz bedürfen einer objektspezifischen Untersuchung, um Fehlentscheide zu vermeiden. Bei klimatisierten Bauten ist eine Jahresbilanz der Energieaufwendungen zur Klärung der Fensterfrage zu erstellen. Ein entsprechender Fachmann ist frühzeitig beizuziehen.

Die *äussere Lärmsituation* kann und wird oft die Lage der Fenster und Lichtöffnungen mitbestimmen. Ein fachgerecht und frühzeitig erstelltes Schallschutzkonzept ermöglicht sichere Entscheide in der Fensterplanung hinsichtlich des Schallschutzes.

Grösse der Fenster

Die Grösse der Fenster steht in direktem Zusammenhang mit der Antwort auf die Fragen
- warum wird ein Fenster eingeplant? und
- wo soll es angeordnet werden?.

Die Fenstergrösse kann bemessen werden aus den Anforderungen der entsprechenden Konzepte wie Tageslichtbeleuchtung, Besonnung usw. Z.B. kann und sollte die Wechselbeziehung Tageslicht- und Wärmeeinfall im Sommer optimalisiert werden.

Allgemeine Angaben lassen sich nicht machen. Es sollte immer geprüft werden, wie gross der «Mehrwertzuwachs» bei der Vergrösserung oder Verkleinerung der Fensterfläche ist. Die entsprechenden Konzepte (Licht, Wärme, Schall) können hier zur Beantwortung herbeigezogen werden.

Wahl des Glassystems

Es ist zu bedenken, dass die Glassystemeigenschaften einen entscheidenden Einfluss auf die Lage und Grösse der Lichtöffnungen haben. Allgemein können nur qualitative Angaben gemacht werden:
- Das Glassystem muss die objektspezifisch gestellten Anforderungen (alle Sekundärschutzfunktionen wie Schall, Blendung, Sonne, Wetter, Wärme usw.) integral erfüllen können
- Fenster mit einem möglichst grossen Wert des Quotienten f_m/k_m bringen die kleinsten Energieaufwendungen im Winter. Der Sommerfall ist ebenfalls zu berücksichtigen und wenn nötig, ist über eine Jahresenergiebilanz die Entscheidung zu untermauern
- Der Wärmedurchgangskoeffizient k eines Glassystems sagt zu wenig über den effektiven Wärmeschutz des Fensters aus. Eine Wärmebedarfsanalyse unter Einbezug des Wärmegewinnes infolge der Sonneneinstrahlung ergibt die richtigen Schlüsse
- Die thermische Behaglichkeit erfordert einen tiefen k-Wert und tiefe Strahlungstemperaturen der inneren Oberfläche im Sommer.

Zusammenfassung

Es wurde versucht, den Wärmehaushalt von verglasten Gebäudeflächen qualitativ zu beschreiben und für praktische Fälle quantitativ zu berechnen. Durch eine Verallgemeinerung wurde ein Verfahren angegeben, das erlaubt, den Einfluss der Wärmegewinnung durch verglaste Flächen bei der Wärmeleistungsbedarfsanalyse zu berücksichtigen. Die Methode wurde an einem konkreten Bauvorhaben angewandt. Die Schlussfolgerungen zeigen, dass es für die *optimale Fensterplanung keine Patentrezepte* gibt. Durch die fachgerechte Erarbeitung von Konzepten (Licht, Wärme, Schall, Besonnung usw.) kann für jedes Objekt das spezifisch optimale Fenster evaluiert werden. Dabei wird der Wärmeschutz als ein Teil der übrigen Anforderungen integral vom Fenster gelöst.

Literaturhinweise

Empfehlung SIA 180/1: «Winterlicher Wärmeschutz im Hochbau», 1977.

Empfehlung SIA 380: «Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden», 1975.

Schaal R.: «Glas und Energiehaushalt». Schweizer Baublatt Nr. 15, 1977.

Frank W.: «Beeinflussung der Wärmebilanz von Gebäuden durch die atmosphärische Strahlung». Ges. Ing. 87, H. 1, 1966.

Frank W.: «Wärmeverbrauch und Gradtagzahlen besonnter Räume in Abhängigkeit von Fensterrichtung und Fenstergrösse.» HLH 12, H. 1, 1961.

Eggenberger A.: «Energiehaushalt im Verwaltungsbau: Energiebedarfsanalyse als Planungsgrundlage». Planen+Bauen, 12, 1975.

Winkler U.E., Eggenberger A.: «Optimierung der Wärmeisolationsmassnahmen». Unirenova-Magazin, H. 3, 1975.

Adresse des Verfassers: *A. Eggenberger*, Bauphysik AG, Kirchbergstrasse 62, 3400 Burgdorf.