Energetische Beurteilung von Fenstern während der Heizperiode

K. Gertis, G. Hauser, H. Künzel, V. Nikolic, L. Rouvel, H. Werner

Kurzfassung

Darstellung einer für den Wohnungsbau oder für Bauten mit vergleichbarer Nutzung geltenden wärmetechnischen Beurteilungsgröße für Verglasungen, die neben dem transimmissionsbedingten Wärmeverlust auch den durch Einstrahlung bewirkten Wärmegewinn während der Heizperiode berücksichtigt. Dabei wird aufgezeigt, inwieweit meteorologische, gebäudespezifische, heizungs- und nutzungsspezifische Einflußgrößen von Bedeutung sind.

Einleitung

Der Heizenergieverbrauch von Gebäuden hängt in starkem Maße von der Größe, Art und Anordnung der Fenster ab. Die Transmissionswärmeverluste im Winter sind bei Fenstern im allgemeinen wesentlich größer als bei nicht transparenten Bauteilen. In den wärmetechnischen Regelwerken wie in der DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau [1] bzw. in der Wärmeschutzverordnung [2] werden Höchstwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern angegeben. Um den Energieverlust insgesamt einzuschränken, führen die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung durch Vorgabe limitierter mittlerer Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle zu begrenzten Fensterflächen, und zwar unabhängig von der Orientierung der Fassaden.

Die während der Heizperiode vorhandene Sonneneinstrahlungsenergie wird in den wärmeschutztechnischen Vorschriften nicht berücksichtigt, weil bisher nur wenig fundierte Kenntnisse vorlagen und eine praktische Handhabung wegen der Problematik der Fensterbeschattungen und der Überheizung von Räumen zunächst nicht möglich erschien.

Um zu zeigen, daß die tagsüber wirkende direkte bzw. diffuse Einstrahlung durch Verglasungen in den Wintermonaten bei der energetischen Beurteilung von Fenstern nicht vernachlässigt werden kann, haben sich Fachleute aus dem Gebiet der Bauphysik, Energiewirtschaft und Architektur zusammengefunden, um die energetische Wirkung der Sonneneinstrahlung durch Fenster während der Heizperiode zu untersuchen, mit dem Ziel, eine praktikable Kenngröße abzuleiten, welche die Strahlungsenergiegewinne durch Verglasungen berücksichtigt.

Wärmebilanz des Fensters unter Berücksichtigung des Gebäudes

Das energetische Verhalten von Fenstern während der Heizperiode wird im Unterschied zu den vereinfachten Betrachtungen in den wärmetechnischen Regelwerken nicht nur von den Transmissionswärmeverlusten bestimmt, sondern von weiteren Einflußgrößen, nämlich:

- meteorologische Einflüsse,
- gebäudespezifische Einflüsse,
- heizungsspezifische Einflüsse,
- nutzungsspezifische Einflüsse.

Mit Hilfe einer Wärmebilanz am Fenster wurde das wärmetechnische Verhalten dieses Einzelbauteils in Abhängigkeit meteorologischer Einflußgrößen – wie Sonneneinstrahlung und Gradtagszahl – und fensterspezifischer Kenngrößen – wie Wärmedurchgangskoeffizient, Gesamtenergiedurchlaßgrad und Rahmenanteil – untersucht. Die übrigen gebäude-, heizungs- und nutzungsspezifischen Einflüsse werden damit nicht erfaßt; sie können aber mit dem sogenannten „Strahlungsausnutzungsfaktor" in der Wärmebilanz des Fensters berücksichtigt werden.

Der Strahlungsausnutzungsfaktor beschreibt die sich infolge von Überheizungen ergebende geringere Ausnutzung der eingestrahlten Sonnenenergie. Steigen die Raumlufttemperaturen nicht über den gewünschten Sollwert (von z. B. 21° C) an, ist der Strahlungsausnutzungsfaktor gleich 1,0. Je größer die Überheizung ist, desto kleiner wird der Strahlungsausnutzungsfaktor.

Die Wärmebilanz eines Raumes während der Heizperiode setzt sich im einzelnen aus folgenden Teilen zusammen:

- Wärmezufuhr durch diffuse und direkte Sonneneinstrahlung auf die transparenten und nicht transparenten Außenflächen,
- Wärmeabgabe der Heizung in den Raum,
- Wärmezufuhr durch interne Wärmequellen,
- Wärmeverlust infolge Transmission durch die Raumumschließungsflächen,
- Lüftungswärmeverlust infolge konstruktiv- und nutzungsbedingter Lüftung,
- Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes.

Entsprechend der Bedeutung in der Energiebilanz eines Raumes sind die Wärmegewinne durch Fenster wesentlich detaillierter zu betrachten als die Wärmegewinne durch Einstrahlung auf nicht transparente Außenflächen und durch innere Wärmequellen.

Vorschlag zur Berücksichtigung des strahlungsbedingten Wärmegewinns durch Fenster in wärmetechnischen Regelwerken

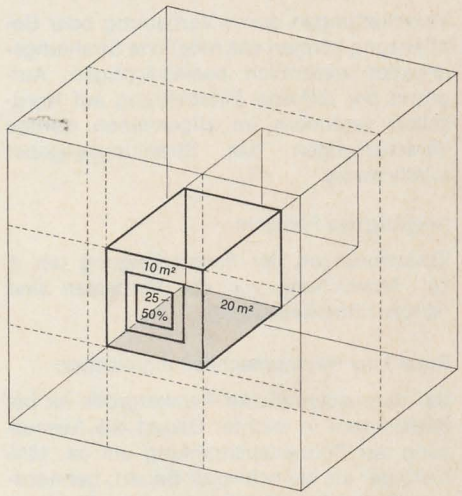
Meteorologische Randbedingungen

Die wesentlichen meteorologischen Einflußgrößen sind die Strahlungsangebote auf die verschiedenen Orientierungen sowie die Außenlufttemperaturen in den einzelnen Monaten. Um einen Überblick über die zu erwartenden meteorologischen Daten zu bekommen, wurden von elf annähernd gleichmäßig über die Bundesrepublik Deutschland verteilten und in verschiedenen Höhen liegenden Orten langjährige Mittelwerte von Globalstrahlungsintensitäten und Außenlufttemperaturen miteinander verglichen. Es zeigte sich, daß in Deutschland von Süden nach Norden das Strahlungsangebot abnimmt und die mittlere winterliche Außenlufttemperatur in dieser Richtung ansteigt. Diese gegenläufige Tendenz bewirkt eine Angleichung der Heizenergieverbräuche, da Orte in Nord- und Westdeutschland gegenüber Orten im Süden Deutschlands neben geringeren Strahlungswerten auch kleinere Heizgradtagzahlen aufgrund der höheren Außenlufttemperaturen aufweisen.

Auf der Basis dieser Auswertung werden für die Wärmebilanzen klar begründbare mittlere Tiefstwerte der in Deutschland zu erwartenden Strahlungsangebote und Außenlufttemperaturen zugrunde gelegt.

Gebäudespezifische Randbedingungen

Untersuchter Raum:



Der Fensterflächenanteil variiert zwischen 25% und 50% mit zwei Fenstertypen (im Bereich von k_F = 3,3 W/m²K bis k_F = 1,9 W/m²K) bei einem angenommenen Rahmenanteil von ca. 25%.

Heizungs- und nutzungsspezifische Randbedingungen

Zur Aufrechterhaltung einer möglichst konstanten Raumlufttemperatur von 21° C wurde eine Heizung mit thermostatischer Einzelraumregelung vorausgesetzt.

Für die Wärmezufuhr durch interne Wärmequellen, wie z. B. Beleuchtung, Personen, liegen die für Wohnräume typischen Werte zugrunde. Jede Wärmequelle im Raum vermindert in der Regel den Heizwärmebedarf, die Heizzeiten sowie den Anteil der nutzbaren Sonneneinstrahlung und vermehrt die Wärmeüberschüsse in den Übergangsmonaten. Der Luftwechsel beträgt 0,8 h^{-1}. Mit einer Heizgrenztemperatur der Außenluft von 16° C ergibt sich für Deutschland eine Heizperiode, die im allgemeinen in der zweiten Hälfte im September beginnt und in der ersten Hälfte des Monats Mai endet.

Wirkung der untersuchten Einflußgrößen auf die Ausnutzbarkeit der Sonneneinstrahlung

Orientierung der Fenster

Wegen des unterschiedlichen Strahlungsangebotes der vier Haupthimmelsrichtungen hängt der mögliche strahlungsbedingte Wärmegewinn stark von der Orientierung des Fensters ab.

Leider kann das Strahlungsangebot in den Übergangsmonaten nicht in allen Fällen genutzt werden. Während, je nach zugrunde liegenden Randbedingungen, die durch Südverglasungen eingestrahlte Energie zwischen 50% und 90% genutzt werden kann, ist die in den Raum gelangte Nordstrahlung zwischen 90% und 100% wärmetechnisch verwendbar.

Größe der Fenster

Der Einfluß der Fenstergröße hängt wiederum von der Orientierung der Fenster ab. Bei

Südfenstern z. B. bewirkt die Verdoppelung des Fensterflächenanteils von 25% auf 50% eine Reduzierung der Strahlungsausnutzung um ca. 20%; bei Nordfenstern bedingt diese Vergrößerung der Fenster eine Abnahme der Strahlungsausnutzung von weniger als 10%.

Äußere Verschattung der Fenster

Verschattungen durch Verbauung oder Bepflanzung können das mögliche Strahlungsangebot wesentlich beeinträchtigen. Aufgrund der diffusen Einstrahlung auf Nordseiten verändern im allgemeinen dortige Verschattungen das Strahlungsangebot relativ wenig.

Neigung des Fensters

Veränderungen der Fensterneigung um ± 10° Abweichung von der Vertikalen sind nahezu ohne Bedeutung.

Bauart der Raumumschließungsflächen

Bei durchschnittlicher Fenstergröße ist bei Südfenstern in leichter Bauart die Ausnutzung der Sonneneinstrahlung um ca. 15% niedriger als bei schwerer Bauart; bei nordorientierten Fenstern beträgt diese Differenz weniger als 7%.

Wärmebedarf

Veränderungen des Wärmebedarfes eines Raumes, bedingt durch unterschiedliche Wärmedämmungen der Raumumschließungsflächen bzw. interner Wärmequellen, wirken sich hinsichtlich der Größenordnung der Ausnutzbarkeit der Sonneneinstrahlung in ähnlicher Weise aus wie entsprechende Variationen des Fensterflächenanteils. Die Veränderungstendenz ist jedoch umgekehrt: Mit Zunahme des Wärmebedarfs steigt auch die Ausnutzbarkeit der Sonneneinstrahlung an.

Klimatische Bedingungen

Die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen in Deutschland bewirken keine wesentlichen Unterschiede im wärmetechnischen Verhalten von Fenstern, da im allgemeinen Orte mit einem relativ hohen Strahlungsangebot (z. B. in Süddeutschland) meist auch größere Heizgradtagzahlen aufweisen als Orte, die verhältnismäßig wenig Strahlung erhalten (z. B. in Norddeutschland). Der infolge größerer Strahlung bedingte höhere Wärmegewinn wird durch die niedrigeren mittleren Außenlufttemperaturen zum großen Teil wieder kompensiert.

Ergebnis

Das wärmetechnische Verhalten von Fenstern kann unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung während der Heizperiode allgemein mit dem sogenannten „äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten" $k_{eq,F}$ gemäß folgender Beziehung beschrieben werden (Lit. 3, 4, 5):

$$k_{eq,F} = k_F - g \cdot S \qquad (1)$$

Dabei ist k_F der bisher üblich verwendete Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters nach DIN 4108 [1], g der in DIN 67507 definierte Gesamtenergiedurchlaßgrad und S der hier neu eingeführte „Strahlungsgewinnkoeffizient", der nach Beziehung [2] vom mittleren Strahlungsangebot I, der jeweiligen Orientierung, von der Heizgradtagzahl Gt und von einem Korrekturfaktor c abhängt, in dem wiederum die Strahlungsausnutzung, der Rahmenanteil und der Verschmutzungsgrad der Scheiben wie folgt eingeht:

$$S = \frac{c \cdot I}{Gt \cdot 24\,h/d} \quad [W/m^2K] \qquad (2)$$

Da bei diffuser Strahlung (I_{diff}) der Korrekturfaktor c in Abhängigkeit der einzelnen Randbedingungen relativ geringfügig variiert, kann der Strahlungsgewinnkoeffizient S_{diff} eng eingegrenzt werden. Unter Zugrundelegung mittlerer Tiefstwerte ergibt sich für S_{diff}:

$$S_{diff} = 1{,}2\,W/m^2K \qquad (3)$$

Es wird vorgeschlagen, in wärmetechnischen Regelwerken statt des bisher benützten Wärmedurchgangskoeffizienten k_F, den equivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten $k_{eq,F}$ zu verwenden, der folgendermaßen berechnet wird:

$$k_{eq,F} = k_F - g \cdot S_{diff} \qquad (4)$$

Für die verschiedenen Verglasungen sind die Gesamtenergiedurchlaßgrade entsprechend der folgenden Tabelle zugrunde gelegt:

Gesamtenergiedurchlaßgrade verschiedener Verglasungen [1]

Verglasung	g
Doppelverglasung aus Klarglas	0,8
Dreifachverglasung aus Klarglas	0,7
Glasbausteine	0,6
Sonnenschutzverglasungen	0,2 bis 0,7

Das Beispiel einer Zweifach-Isolierverglasung mit $k_F = 3{,}0\ W/m^2K$ und $g = 0{,}8$ ergibt nach der Formel [4]

$$k_{eq,F} = 3{,}0 - 0{,}8 \cdot 1{,}2 = 2{,}0\,W/m^2K$$

Praktische Konsequenzen

Aus dem „äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten" für Fenster ergeben sich wesentliche Gesichtspunkte, die bei praktischen Planungsaufgaben berücksichtigt werden sollten:

□ Der äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient umfaßt neben dem Transmissionswärmeverlust eines Fensters aus Sicherheitsgründen lediglich den möglichen Wärmegewinn infolge diffuser Strahlung. Da Fenster in der Heizperiode auch direkte Strahlung erhalten können, werden sie und dieser Vorschlag häufig zu ungünstig, aber niemals zu günstig bewertet. Vor allem südorientierte Fenster hätten einen kleineren günstigeren äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten, falls in $k_{eq,F}$ das gesamte (direkte und diffuse) Strahlungsangebot berücksichtigt werden würde. Zur Abschätzung der durchschnittlichen Strahlungsgewinne für Überschlagsrechnungen kann größenordnungsmäßig für die einzelnen Orientierungen von folgenden Strahlungsgewinnkoeffizienten ausgegangen werden:

$$S_{Süd} \approx 2 \cdot S_{diff} \qquad (5)$$

$$S_{West} \approx S_{Ost} \approx 1{,}5 \cdot S_{diff} \qquad (6)$$

$$S_{Nord} \approx S_{diff} \qquad (7)$$

Diese Strahlungsgewinnkoeffizienten bewirken beispielsweise, daß

- ein Südfenster mit k_F = ca. 3 W/m²K,
- ein Ost- bzw. Westfenster mit k_F = ca. 2,5 W/m²K,

ein Nordfenster mit k_F = ca. 2 W/m²K

den gleichen effektiven Wärmeschutz aufweisen wie eine nicht transparente Außenwand mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von ca. 1 W/m²K.

□ Um ein Strahlungsangebot vor allem von Süden möglichst voll ausnutzen zu können, sollte bereits in den Bebauungsvorschlägen und in den Bebauungsplänen auf die spätere Ausrichtung der Gebäude geachtet werden. Bei der Gebäudeplanung sollten im Süden große, im Norden kleine Fensterflächen vorgesehen werden.

Für die Gewährleistung eines effektiven sommerlichen Wärmeschutzes müssen an allen Fenstern entsprechende gut funktionierende Sonnenschutzvorrichtungen vorgesehen werden. Ein nicht ausreichender Sonnenschutz kann im Sommer oder in der Übergangszeit das Raumklima infolge übermäßiger Einstrahlung entscheidend verschlechtern.

□ Temporäre Wärmeschutzvorrichtungen können während der Nacht den Wärmeverlust durch Fenster deutlich erniedrigen, ohne daß die möglichen Wärmegewinne durch die Sonneneinstrahlung tagsüber beeinträchtigt werden. Für den Sommer konzipierte Sonnenschutzverglasungen können im Winter im Sinne der Energieeinsparung ungünstiger sein als nicht beschichtete Verglasungen, da Sonnenschutzverglasungen im Vergleich zu Wärmeschutzverglasungen bei annähernd gleichen k_F-Werten wesentlich geringere Gesamtenergiedurchlaßgrade aufweisen. Dadurch wird der mögliche, durch die Sonne bedingte Wärmegewinn bei annähernd gleichem Wärmeverlust verringert.

Die bisherigen sowohl theoretisch als auch experimentell gewonnenen Ergebnisse deuten an, daß die passive Solartechnik gegenüber der aktiven an Bedeutung gewinnen wird. Im Zusammenhang mit dieser Entwicklung ist auch der hier gemachte Vorschlag für eine Bewertung des strahlungsbedingten Wärmegewinns beim Fenster zu sehen.

Literatur

[1] DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau. Entwurf November 1979.

[2] Wärmeschutzverordnung: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz in Gebäuden, Bundesregierung August 1977.

[3] Hauser, G.: Die wärmetechnische Beurteilung von Fenstern unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung während der Heizperiode. Bauphysik 1 (1979) Nr. 1, S. 12–17.

[4] Rouvel, L. und Wenzel, B.: Kenngrößen zur Beurteilung der Energiebilanz von Fenstern während der Heizperiode. HLH 30 (1979) Nr. 8, S. 285–291.

[5] Werner, H.: Auswirkungen meteorologischer Einflußgrößen auf die Wärmebilanz von Fenstern während einer Heizperiode. Beilage zum Gutachten und wird demnächst im GI veröffentlicht.

[6] DIN 67507: Lichttransmissionsgrade, Strahlungstransmissionsgrade und Gesamtenergiedurchlaßgrade von Verglasungen, Entwurf April (1978).

veröffentlicht in „Deutsches Architektenblatt“:

Gertis, G.,
G. Hauser,
H. Künzel,
V. Nikolic,
L. Rouvel,
H. Werner:

Energetische Beurteilung von Fenstern während der Heizperiode

Deutsches Architektenblatt 12 (1980) H. 2,, S.201/202

PROF. DR.-ING. HABIL. LOTHAR ROUVEL
FACHGEBIET ENERGIETECHNIK UND -VERSORGUNG · THERMISCHE GEBÄUDESIMULATION

SÄULINGSTRASSE 4
80686 MÜNCHEN

TEL.: 089-576804 FAX: 089-5706641
ROUVEL@GEBSIMU.DE WWW.GEBSIMU.DE