

Zur Berechnung des Heizenergiebedarfs

Autor(en): **Petzold, Karl**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **11 (1980)**

PDF erstellt am: **11.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-11306>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

VI**Zur Berechnung des Heizenergiebedarfs**

On the Calculation of Heating Energy Demand

Calcul du besoin en énergie de chauffage

KARL PETZOLD

Professor Dr. sc. techn.

Technische Universität

Dresden, DDR

ZUSAMMENFASSUNG

Ein einfaches Verfahren zur Berechnung des Heizenergiebedarfs wird angegeben, das den Zusammenhang mit den Parametern des Gebäudes und mit dem Aussenklima deutlich macht. Der Einfluss des Strahlungsgewinns am Fenster wird diskutiert. Ein kritischer Wärmedurchgangskoeffizient wird angegeben, der unterschritten werden muss, damit der Strahlungsgewinn grösser wird als die Verluste.

SUMMARY

A simple procedure of calculating the heating energy demand is presented elucidating the relation between the parameters of the building and the outside conditions. The effect of the gain in radiation at the windows is discussed. A critical coefficient of heat transfer is given which must not be exceeded if the gain in radiation is to be greater than the loss.

RESUME

L'article présente un procédé simple pour calculer le besoin en énergie de chauffage d'un édifice. Ce procédé met en évidence la corrélation avec les paramètres de l'édifice et le climat extérieur. L'influence du gain de radiation à la fenêtre est discutée. Un coefficient critique de transfert de la chaleur est proposé: il représente la limite à ne pas dépasser pour que le gain de radiation soit plus grand que les pertes.



Um durch eine sinnvolle Gestaltung der Gebäude und durch baukonstruktive Maßnahmen gezielt Heizenergie einsparen zu können, um also energiefreundlich bauen zu können, muß der Heizenergiebedarf berechnet werden können. Ein solches Berechnungsverfahren muß hinreichend zuverlässig sein; es muß aber vor allem schnell und unkompliziert den Zusammenhang zwischen den Parametern des Gebäudes, dem Außenklima und dem Heizenergiebedarf erkennen lassen.

1. HEIZENERGIEBEDARF

Unter Heizenergiebedarf wird die Heizenergiemenge verstanden, die (im statistischen Mittel) jährlich aufzuwenden ist, um im Gebäude eine vorgegebene mittlere Raumlufttemperatur \mathcal{T}_{Rm} aufrechtzuerhalten.

Die Wärmeverluste des Gebäudes sind bekanntlich proportional dem Wärmewert des Abstromes (bezogen auf die Geschoßfläche A_B), der den Lüftungswärmebedarf und den Transmissionswärmebedarf der n Transmissionsflächen (Dach, Außenwände, Fenster, Kellerdecken und erdanliegende Flächen) erfaßt:

$$w_{\infty} = \left[\dot{V} \cdot \varrho_L c_L + \sum_n (k \cdot A_T)_n \right] / A_B \quad (1)$$

(\dot{V} Luftdurchsatz durch das Gebäude; ϱ_L Dichte der Luft; c_L spezifische Wärmekapazität der Luft; k Wärmedurchgangskoeffizient der Transmissionsfläche; A_T Größe der Transmissionsfläche; A_B Geschoßfläche). Für die Kellerdecken sind nicht die vollen Wärmedurchgangskoeffizienten k_K anzusetzen, sondern nur etwa ($0,5 \cdot k_K$), für erdanliegende Flächen (unmittelbar an das Erdreich angrenzende Flächen) statt k_E^i nur etwa ($0,7 \cdot k_E^i$). Damit wird berücksichtigt, daß Kellertemperatur und Temperatur des Grundwassers höher liegen als die Außenlufttemperatur, auf die die Wärmeverluste des Gebäudes bezogen sind.

Den Verlusten steht ein Wärmegewinn gegenüber, und zwar durch die sog. innere Wärmelast und durch Strahlungsgewinn. Die über die Heizperiode gemittelte innere Wärmelast \dot{q}_{Nm} setzt sich zusammen aus der Wärmeabgabe der im Gebäude befindlichen Personen, der Beleuchtung und der Maschinen. In Wohnbauten z.B. beträgt

sie etwa $\dot{q}_{Nm} = \dot{Q}_{Nm}/A_B = 4 \text{ W/m}^2$ (bezogen auf die Geschoßfläche A_B).

Der Strahlungsgewinn aus der Sonnenstrahlung wird durch den Faktor des Strahlungsgewinnes

$$\varnothing_S = \varnothing_{S,F} + \varnothing_{S,A} + \varnothing_{S,K} \quad (2)$$

beschrieben. Am Fenster ist der Faktor des Strahlungsgewinnes

$$\varnothing_{S,F} = \epsilon_m \cdot A_{FG}/A_B \quad (3)$$

A_{FG} ist die Glasfläche des Fensters, A_B die Geschoßfläche und ϵ_m der über die Heizperiode gemittelte Durchlässigkeitskoeffizient des Glases. Für unverschattete Fenster kann etwa $\epsilon_m = 0,6$, für zeitweilig verschattete Fenster (z.B. durch Bäume) $\epsilon_m = 0,3$ gesetzt werden, für vollverschattete Fenster ist etwa $\epsilon_m = 0,1$ (z.B. in dicht bebauten Altstädten). Diese Durchlässigkeitskoeffizienten gelten für klares Tafelglas. Für Sonnenschutzgläser ergeben sich bedeutend kleinere Werte; z. B. betragen die Durchlässigkeitskoeffizienten bei Absorptionsglas nur etwa $2/3$, bei Reflexionsglas sogar nur etwa $1/3$ der Werte, die für klares Tafelglas genannt wurden.

Die Außenkonstruktionsflächen (Außenwände, Dach) absorbieren Sonnenstrahlungsenergie, und zwar umso mehr, je dunkler ihre Oberflächen gefärbt sind, und diese Energie wird im Innenraum umso stärker wirksam, je größer der Wärmedurchgangskoeffizient k ist ($\varnothing_{S,A}$ s. Bild 1).

Sind zur Raumheizung Sonnenkollektoren eingesetzt, so ist

$$\varnothing_{S,K} = \eta_{K,H} \cdot A_K/A_B \quad (4)$$

A_K/A_B ist die Kollektoroberfläche je m^2 Geschoßfläche, $\eta_{K,H}$ der über die Heizzeit gemittelte Wirkungsgrad der Kollektoranlage (einschließlich des zugehörigen Versorgungssystems). Es ist etwa $\eta_{K,H} \leq 0,2$. Sind die Kollektoren auf dem Dach angeordnet, muß die durch die Kollektoren verschattete Fläche von der Außenkonstruktionsfläche A_T abgezogen werden. Damit wird $\varnothing_{S,A}$ kleiner, und der Nutzen der Kollektoren verringert sich wesentlich.

Die Klimaelemente, die über den Energieaustausch zwischen Gebäude und Umgebung bestimmen, sind die Außenlufttemperatur \mathcal{T}_{em} und die Intensität der Gesamtstrahlung der Sonne G_m . Letzere ist von der Himmelsrichtung stark abhängig. Zwischen den über die Heizdauer Z_H gemittelten Werten $G_{m,H}$ und $\mathcal{T}_{em,H}$ besteht der Zusammenhang [17]:

$$G_{m,H} = a + b \cdot \mathcal{T}_{em,H} \quad (5)$$

Für einige charakteristische Wärmedämmgebiete (WDG) Mitteleuropas sind die Werte a und b in Tafel 1 angegeben.

Tafel 1

| | | WDG 1: Mitteleuropa, Tiefland (Werte von Potsdam) | | | | WDG 3: Mitteleuropa, Mittelgebirgslagen > 500 m über NN | | | |
|---|--------------------|--|------|-------------|------|--|------|-------------|-------|
| | | Hori- zontal | Nord | Ost West | Süd | Hori- zontal | Nord | Ost West | Süd |
| a | W/m ² | 35,0 | 12,8 | 25,6 | 38,4 | 77,6 | 25,2 | 50,4 | 75,6 |
| b | W/m ² K | 9,5 | 2,8 | 5,5 | 8,3 | 13,2 | 3,5 | 7,0 | 10,5 |
| h | W/m ² | 59,0 | 19,0 | 39,4 | 59,2 | 110,0 | 34,0 | 68,0 | 102,0 |

Liegt die Außenlufttemperatur \mathcal{T}_{em} unter der Heizgrenztemperatur \mathcal{T}_H , muß geheizt werden. Die Heizgrenztemperatur ergibt sich aus einer Energiebilanz. Wegen der Phasenverschiebung zwischen Außenlufttemperatur \mathcal{T}_{em} und mittlerer Gesamtstrahlung G_m [27] liegt sie im Herbst bei einem höheren Wert ($\mathcal{T}_{H,1}$ in Bild 2) als im Frühjahr ($\mathcal{T}_{H,2}$). Für die Berechnung des Heizenergiebedarfs kann diese Phasenverschiebung vernachlässigt werden – wie schon in Gl. (5) geschehen. Die Heizgrenztemperatur ist dann

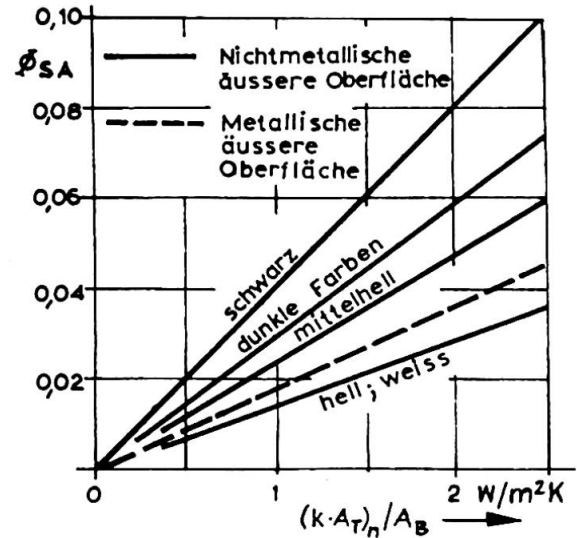


Bild 1 Faktor des Strahlungsgewinns $\phi_{S,A}$ an Außenkonstruktionsflächen (Außenwände, Dach)

$$\vartheta_H = \frac{\vartheta_{H,1} + \vartheta_{H,2}}{2} = \frac{w_\infty \cdot \vartheta_{Rm} - \dot{q}_{Nm} - \sum_n (\varphi_S \cdot a)_n}{w_\infty + \sum_n (\varphi_S \cdot b)_n} \quad (6)$$

Der Heizenergiebedarf $\dot{q}_{H,a}$, der je m^2 Geschoßfläche auftritt, ergibt sich dann aus einer Energiebilanz nach Bild 2 zu:

$$\begin{aligned} \dot{q}_{H,a} &= Z_H \left[w_\infty (\vartheta_{Rm} - \vartheta_{em,H}) - \dot{q}_{Nm} - \sum_n (\varphi_S \cdot G_{m,H})_n \right] \quad (7) \\ &= \left[w_\infty + \sum_n (\varphi_S \cdot b)_n \right] \cdot Z_H \cdot (\vartheta_H - \vartheta_{em,H}). \end{aligned}$$

Die Außenlufttemperatur

$\vartheta_{em,H}$, die sich im Mittel über die Heizperiode einstellt, kann als Funktion der Heizgrenztemperatur ϑ_H geschrieben werden [37], ebenso die Heizdauer Z_H (Bild 2):

$$\begin{aligned} \vartheta_{em,H} &= C_1 \cdot \vartheta_H^{n_1} \quad \text{bzw.} \\ Z_H &= C_2 \cdot \vartheta_H^{n_2} \quad (8) \end{aligned}$$

Für Mitteleuropa sind die Werte nach Tafel 2 einzusetzen. Damit erweist sich der auf den 1. Faktor in Gl. (7) bezogene Heizenergiebedarf $\dot{q}_{H,a}$ als eine eindeutige Funktion der Heizgrenztemperatur ϑ_H (Bild 3).

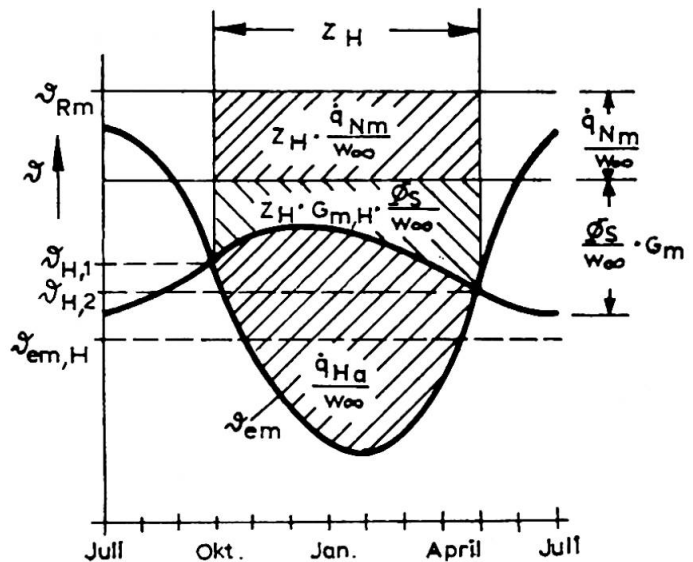


Bild 2 Heizenergiebedarf $\dot{q}_{H,a}$ während eines Jahres (schematisch)

Tafel 2

| | C_1 | C_2 | n_1 | n_2 | C_K [h/a] | ϑ_0 [°C] |
|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------------|--------------------|
| WDG 1 | 0,118 | 1315 | 1,40 | 0,565 | 4700 | 2,6 |
| WDG 3 | $2,54 \cdot 10^{-6}$ | 1550 | 5,65 | 0,678 | 8300 | 2,2 |

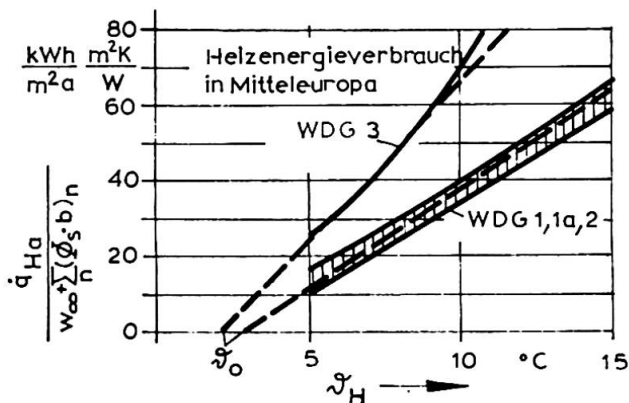


Bild 3 Heizenergiebedarf $\dot{q}_{H,a}$ nach Gl. (7) (ausgezogene Linie) und nach Gl. (9) (strichierte Linie)

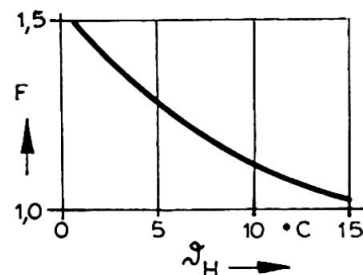


Bild 4 Faktor F , um den sich der Heizenergiebedarf eines leichten Gebäudes ($m_B = 100 \text{ kg/m}^2$) gegenüber einem schweren ($m_B = 800 \text{ kg/m}^2$) vergrößert (Heizperiode 1968, WDG 1; $w_\infty = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Diese Beziehung kann recht gut durch eine Gerade angenähert werden (Bild 3). Mit der Klimagebiets-Konstanten C_K nach Tafel 2 ist der Heizenergiebedarf in guter Näherung

$$\dot{q}_{H,a} = C_K \left[w_\infty (\vartheta_{Rm} - \vartheta_0) - g \right] . \quad (9)$$

Darin ist der Wärmegewinn mit den Werten nach Tafel 1 und 2:

$$g = \dot{q}_{Nm} + \sum_n (\phi_S \cdot h)_n \quad \text{mit } h = a + \vartheta_0 \cdot b . \quad (10)$$

Die Gln. (7) und (9) sind im Bereich $5 < \vartheta_H < 15 \text{ }^\circ\text{C}$ (WDG 1) bzw. $5 < \vartheta_H < 12 \text{ }^\circ\text{C}$ (WDG 3) gültig. Oberhalb dieses Gültigkeitsbereiches muß das ganze Jahr über geheizt werden. Wird die untere Grenze unterschritten, wird die Heizdauer zu kurz als daß noch mit Monatsmittelwerten gearbeitet werden könnte. Dann ist auch das Wärmebeharrungsvermögen des Gebäudes bzw. seine Bauwerksmasse nicht mehr zu vernachlässigen. Leichtbauten haben unterhalb $\vartheta_H \approx 5 \text{ }^\circ\text{C}$ einen deutlich höheren Heizenergiebedarf als schwere Bauwerke (Bild 4).

2. GRADTAGZAHL

Der auf die Einheit des Wärmewertes des Abstromes bezogene Heizenergiebedarf ($\dot{q}_{H,a}/w_\infty$) hat die Dimension einer Gradtagzahl.

Die Gradtagzahl ist also nicht - wie vielfach angenommen - eine vom Gebäude unabhängige Größe, die für jedes Gebäude den Einfluß des lokalen Klimas auf den Heizenergiebedarf kennzeichnet. Sie ist von der Heizgrenztemperatur ϑ_H und damit von den Bauwerksparametern abhängig. Vernachlässigt man das, vergibt man sich die Möglichkeit zum zielgerichteten energiefreundlichen Bauen.

3. EINFLUß DER GEBÄUDEPARAMETER

Durch Vergrößerung der Gebäudetiefe wird die Transmissionsfläche A_T je m^2 Geschoßfläche A_B verringert, damit wird nach Gl. (1) w_∞ kleiner, und der Heizenergiebedarf verringert sich.

Im mehrgeschossigen Wohnungsbau bringt eine Vergrößerung der Gebäudetiefe z.B. von 12,0 auf 14,4 m nach Bild 3 eine Verminderung des Heizenergiebedarfes um 6...12 % (je nach Länge der Wohnblocks, nach der Anzahl der Geschosse, der Gebäudeorientierung u. dgl.). Bei Einfamilienhäusern ist zwar A_T/A_B um ein Mehrfaches größer als bei Reihenhäusern. Trotzdem erhöht sich der Heizenergiebedarf nicht proportional der Oberfläche, weil der Lüftungswärmebedarf ($\dot{V} \cdot \vartheta_L \cdot c_L$) etwa der gleiche ist, weil wegen der stärkeren nächtlichen Auskühlung [37] die mittlere Raumlufthtemperatur bei Einfamilienhäusern ($\vartheta_{Rm} \approx 17^\circ C$) niedriger liegt als bei Reihenhäusern ($\vartheta_{Rm} \approx 20^\circ C$) und weil der Strahlungsgewinn g nach Gl. (10) in der Regel größer ist. Anzustreben ist ein "Gebäude kleinster Oberfläche je Einheit Geschoßfläche".

Von großem Einfluß ist der Strahlungsgewinn durch das Fenster. Dieser kann sogar größer werden als die Wärmeverluste des Fensters, so daß die Wärmebilanz des Fensters im Mittel über die Heizperiode positiv wird (Bild 5). In diesem Falle wird im Mittel über die Heizperiode dem Raum durch Sonnenstrahlung mehr Energie zugeführt als ihm durch Transmission entzogen wird. Das ist zumindest bei Südfenstern (sowie bei Oberlichtern, die etwa die gleichen Werte liefern) möglich; bei nach Osten oder Westen (Bild 5), ganz besonders aber bei nach Norden orientierten Fenstern ist das jedoch praktisch nicht zu erreichen.

Eine positive Energiebilanz ist im allgemeinen nur zu erreichen, wenn die Fenster unverschattet sind und keine Sonnenschutzgläser verwendet werden ($\epsilon_m = 0,6$) und wenn der Wärmedurchgangskoeffizient k_F des Fensters hinreichend klein ist. Aus Gl. (7) ergibt sich der Wärmestrom $\dot{q}_{Ha,F}$, der (im Mittel über die Heizdauer) infolge der Wärmeverluste und des Wärmegewinns durch das Fenster fließt, zu (Bild 5)

$$A_B \cdot \dot{q}_{Ha,F} = Z_H \left[\epsilon_m \cdot A_{FG} \cdot G_{m,H} - k_F \cdot A_F (\vartheta_{Rm} - \vartheta_{em,H}) \right] \quad (11)$$

Darin ist A_{FG} die Glasfläche des Fensters und A_F die Fensterfläche, auf die der Wärmedurchgangskoeffizient k_F bezogen ist. Ist $\dot{q}_{Ha,F} > 0$, überwiegt der Wärmegewinn des Fensters, bei $\dot{q}_{Ha,F} < 0$ überwiegen die Verluste. Der kritische Wärmedurchgangskoeffizient $k_{F,0}$, für den die Wärmebilanz gerade ausgeglichen, d.h. für den $\dot{q}_{Ha,F} = 0$ ist, ergibt sich mit Gl. (5) zu

$$k_{F,0} = \epsilon_m \cdot \frac{A_{FG}}{A_F} \cdot \frac{(a + b \cdot \vartheta_{em,H})}{(\vartheta_{Rm} - \vartheta_{em,H})} \quad (12)$$

Die Wärmebilanz am Fenster ist also nicht unabhängig vom Gebäude aufzustellen. Außer der mittleren Raumlufttemperatur ϑ_{Rm} nimmt mit Gl. (8) auch die Heizgrenztemperatur ϑ_H darauf Einfluß. Letztere bestimmt die Länge der Heizperiode, und der Strahlungsgewinn ist umso bedeutender, je länger die Heizperiode, d.h. je größer die Heizgrenztemperatur ϑ_H ist. Im Gebirge ist die Heizperiode länger als im Binnentiefland, und folglich muß dort auch in Zeiten geheizt werden, in denen eine außerordentlich intensive Sonnenstrahlung vorhanden ist. Deswegen ist (bei gleicher Heizgrenztemperatur ϑ_H) die Energiebilanz im WDG 3 bereits bei größeren Wärmedurchgangskoeffizienten k_F positiv als im WDG 1 (Bild 5). Ein gleiches ist auch in Nordeuropa und in anderen Zonen mit längeren Heizperioden zu erwarten.

Der Wärmedurchgangskoeffizient k_F des Fensters muß schon sehr klein sein, wenn die Bilanz positiv sein soll. Andere Maßnahmen zum energiefreundlichen Bauen (kleinere äußere Oberfläche, bessere Wärmedämmung usw.) werden in Zukunft offensichtlich dazu führen, daß sich die Heizgrenztemperatur unter die gegenwärtig

üblichen Werte verringert. Das schränkt den Strahlungsgewinn durch das Fenster ein, und es dürfte in Mitteleuropa nur in Ausnahmefällen möglich sein, an den Fenstern eine positive Energiebilanz zu realisieren. Je energiefreundlicher, je wärmedichter ein Gebäude gebaut wird, umso niedriger ist seine Heizgrenztemperatur und umso kürzer ist auch seine Heizdauer Z_H , umso weniger fällt dann auch der Strahlungsgewinn ins Gewicht.

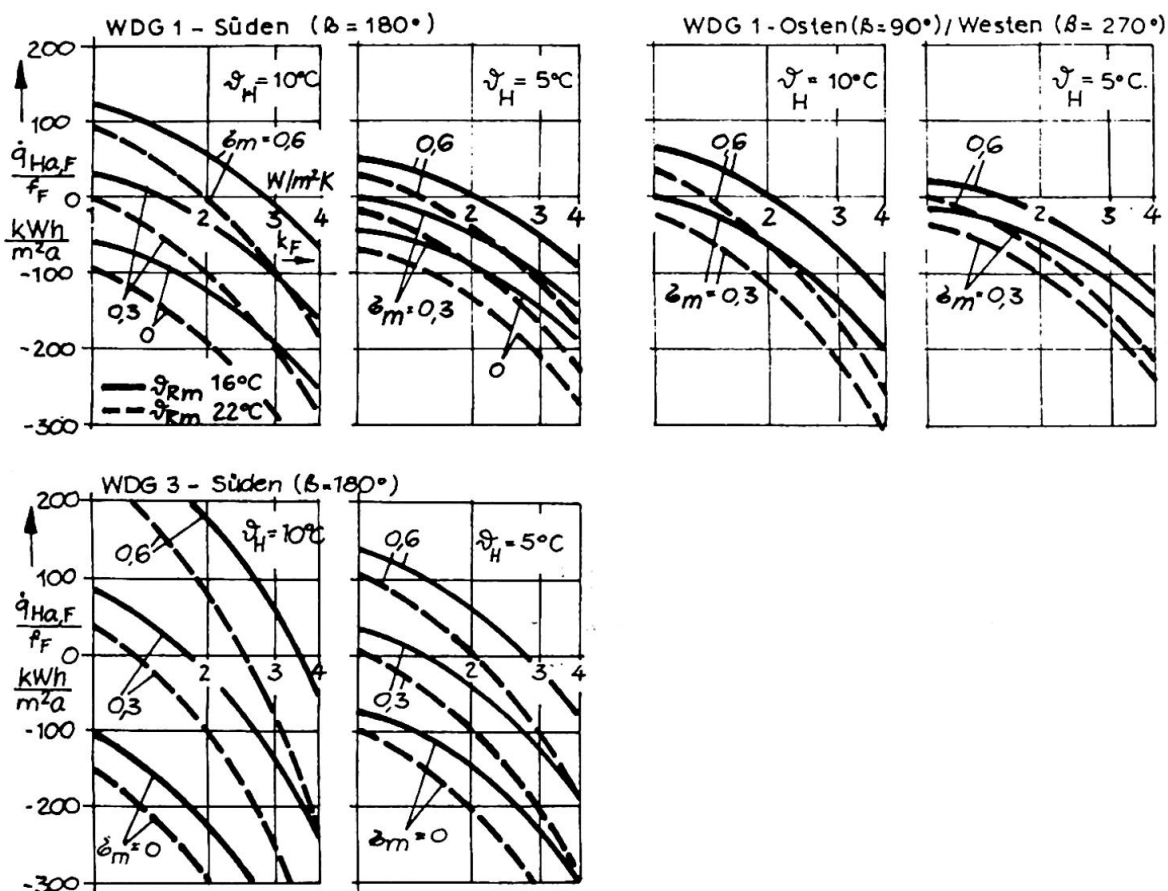


Bild 5 Heizenergiebedarf $\dot{q}_{Ha,F}$, der durch das Fenster entsteht, bezogen auf die Fensterfläche $f_F = A_F/A_B$ (positive Werte: der Strahlungsgewinn ist im Mittel über die Heizperiode größer als die Wärmeverluste; bei negativen Werten überwiegen die Verluste). k_F Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters; $A_{FG}/A_F = 0,9$.



Deswegen kann nicht für große Fensterflächen plädiert werden. Auch andere Gründe (Diskomfortzonen in Fensternähe, sommerliche Raumluffttemperaturen) sprechen gegen große Fensterflächen. Deswegen gilt wohl nach wie vor die Regel: Die Fenster sollten nicht größer gemacht werden als erforderlich; Räume, die große Fensterflächen benötigen, sollten möglichst auf die Südseite verlegt werden; und im übrigen sollten möglichst wärmedichte Fenster (mit kleinem Wärmedurchgangskoeffizienten k_F) eingesetzt werden, da die Fenster wohl immer eine große Verlustquelle für Heizenergie sind.

Literatur

1. PETZOLD, K.; KUNZE, W.: Eine Verallgemeinerung der Beziehung zur Berechnung des jährlichen Heizenergieaufwandes. Luft- und Kältetechnik 9 (1973) 2, S. 75-77.
2. PETZOLD, K.: Wärmelast. Berlin: Verlag Technik 1975, S. 33 f.
3. PETZOLD, K.: Der Einfluß des Gebäudes auf den Energieverbrauch bei unterbrochenem Betrieb von Heizungsanlagen. Stadt- und Gebäudetechnik 32 (1978) 10, S. 289-293; 11, S. 327-329.