

Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden

Teil 1: Grundlagen der Berechnung

DIN

4701-1

ICS 91.140.10

Rules for calculating the heat load of buildings –
Part 1: Basic rules for calculation

Einsprüche bis 30. Nov 1995

Anwendungswarnvermerk
auf der letzten Seiten beachten!

Vorgesehen als
Ersatz für Ausgabe 1983-03

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...*)

Ab*) müssen Heizlastberechnungen bei Bezugnahme auf DIN 4701 nach der vorliegenden Norm durchgeführt werden.

	Inhalt	Seite
	Vorwort	2
1	Anwendungsbereich	3
2	Formelzeichen	3
3	Übersicht über die Berechnungsverfahren und ihre Grundlagen	5
3.1	Übliche Fälle	6
3.2	Sonderfälle	6
3.3	Grundzüge des Berechnungsverfahrens für übliche Fälle	6
3.3.1	Allgemeines	6
3.3.2	Ausreichende Beheizung	7
3.3.3	Gleichmäßige Beheizung	7
4	Berechnung der Norm-Heizlast für übliche Fälle	8
4.1	Aufbau der Berechnung	8
4.2	Temperaturen	8
4.2.1	Norm-Außentemperatur	8
4.2.2	Norm-Innentemperatur	8
4.2.3	Temperatur unbeheizter Nebenräume	8
4.3	Norm-Transmissionsheizlast	9
4.3.1	Norm-Wärmedurchgangskoeffizient	9
4.3.2	Außenbauteile	10
4.3.3	Innenbauteile	10
4.3.4	Erdberührte Bauteile	10
4.3.4.1	Grundlagen	10
4.3.4.2	Vollbeheizte Kellergeschosse	12
4.3.4.3	Heizlast einzelner Räume	16

*) Wird bei Herausgabe als Norm festgelegt

Fortsetzung Seite 2 bis 56

Normenausschuß Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

4.4	Norm-Lüftungsheizlast	17
4.4.1	Lüftungsheizlast bei freier Lüftung	17
4.4.1.1	Grundlagen	17
4.4.1.2	Berechnungsansätze	19
4.4.1.3	Luftdurchlässigkeit des Bauwerks	20
4.4.1.4	Hauskenngroße	20
4.4.1.5	Höhenkorrekturfaktor	22
4.4.1.6	Raumkennzahl	22
4.4.1.7	Temperaturdifferenz	23
4.4.1.8	Mindestwert der Norm-Lüftungsheizlast	23
4.4.2	Lüftungsheizlast bei maschineller Lüftung	23
4.4.2.1	Anlagen ohne Abluftüberschuß	24
4.4.2.2	Anlagen mit Abluftüberschuß	24
4.4.3	Innenliegende Sanitärräume	24
4.5	Norm-Gebäudeheizlast	25
4.6	Durchführung der Berechnung	25
4.6.1	Unterlagen für die Berechnung	25
4.6.2	Berechnungsgang	26
4.6.3	Beispiel einer Heizlastberechnung für ein Gebäude mit einer Höhe unter 10 m	27
4.6.4	Zur Berechnung der Norm-Lüftungsheizlast bei Gebäuden über 10 m Höhe	40
4.6.4.1	Festlegung des ungünstigsten Windangriffs	40
4.6.4.2	Festlegung der Raumkennzahlen	41
4.6.4.3	Festlegung der Höhenkorrekturfaktoren	41
5	Berechnung des Wärmedurchgangswiderstandes	41
5.1	Bauteile mit hintereinanderliegenden Schichten	41
5.2	Bauteile mit nebeneinanderliegenden Elementen	41
5.3	Wärmebrücken	42
5.3.1	I-Träger bündig in einer Außenwand	42
5.3.2	Bauelement mit allseitig geschlossener metallischer Ummantelung	43
6	Hinweise für die Berechnung der Heizlast in besonderen Fällen	43
6.1	Heizlast selten beheizter Räume	43
6.2	Heizlast bei sehr schwerer Bauart	44
6.3	Heizlast von Hallen und ähnlichen Räumen	45
6.3.1	Transmissionsheizlast	45
6.3.2	Lüftungsheizlast	45
6.3.3	Norm-Heizlast	47
6.4	Heizlast von Gewächshäusern	47
6.4.1	Transmissionsheizlast	47
6.4.2	Lüftungsheizlast	47
6.5	Das instationäre thermische Verhalten von Räumen unterschiedlicher Schwere	48
Anhang A (normativ)	Formblatt zur Berechnung der Norm-Heizlast	49
Anhang B (informativ)	Erläuterungen	50
Anhang C (informativ)	Literaturhinweise	53

Vorwort

Das in der Ausgabe März 1983 enthaltene Rechenverfahren für die Wärmebedarfsberechnung (jetzt: Heizlastberechnung) wurde im wesentlichen beibehalten. Neben vereinzelt Klarstellungen und formalen Änderungen wurden folgende inhaltlichen Modifikationen vorgenommen:

Die in der Ausgabe März 1983 eingeführte Norm-Außentemperaturkorrektur, mit der die spitzenlastmindernde Wirkung der Wärmespeicherfähigkeit berücksichtigt wurde, ist aus folgenden Gründen wieder entfallen: Der seinerzeitig wesentliche negative Einfluß höherer Auslegungsleistungen auf den Jahresnutzungsgrad von Heizkesseln ist durch den hohen Stand der Kesselentwicklung nicht mehr gegeben. Außerdem hat die Erfahrung gezeigt, daß das Berechnungsverfahren in der Ausgabe März 1983 praktisch keine Sicherheitsreserven mehr enthält. Da die - heizlastmindernde - Außentemperaturkorrektur außerdem den Berechnungsaufwand deutlich erhöhte, erscheint dieser aus heutiger Sicht nicht mehr angemessen.

Der Berechnungsgang für die Heizlast erdberührter Bauteile wurde dem neuesten Stand der Erkenntnisse angepaßt. Er ermöglicht jetzt auch eine vergleichsweise genaue Ermittlung der Heizlast für teilweise beheizte Keller.

Weitere Ergänzungen betreffen die Heizlastermittlung von Industriehallen.

DIN 4701 "Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden" besteht aus:

- | | |
|--------|---------------------------------------|
| Teil 1 | "Grundlagen der Berechnung" |
| Teil 2 | "Tabellen, Bilder, Algorithmen" |
| Teil 3 | "Auslegung der Raumheizeinrichtungen" |

Änderungen:

Gegenüber der Ausgabe März 1983 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm-Außentemperaturkorrektur wurde gestrichen.
- b) Berechnungsgang für erdberührte Bauteile wurde überarbeitet.
- c) Berechnungsgang für Hallen und ähnliche Räume wurde ergänzt.
- d) Mindestluftwechsel für Dachgeschosse wurde ergänzt.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Räume in durchgehend und voll bzw. teilweise eingeschränkt beheizten Gebäuden. Als vollbeheizt sind dabei solche Häuser anzusehen, bei denen mit Ausnahme weniger Nebenräume alle Räume mit üblicher Temperatur beheizt werden. Als teilweise eingeschränkt beheizt sind dabei solche Häuser anzusehen, bei denen in Nachbarräumen niedrigere Temperaturen auftreten können.

Heiztechnische Anlagen, die entsprechend der nach dieser Norm ermittelten Heizlast ausgelegt sind, können bei mildereren Witterungsbedingungen, als sie der Normberechnung zugrunde liegen, auch dann eine befriedigende Beheizung ermöglichen, wenn sie zeitweise (z. B. nachts) mit gewissen Einschränkungen oder Unterbrechungen betrieben werden.

Für selten beheizte Gebäude ist unter den Sonderfällen ein Berechnungsverfahren angegeben.

Wird in Ausnahmefällen bei Heizungsprojekten von den Angaben in dieser Norm abgewichen, so muß dies zwischen dem Auftraggeber und dem Auftragnehmer besonders vereinbart werden.

2 Formelzeichen

Formel- zeichen	Benennung	Einheit
A	Fläche	m ²
a	Fugendurchlaßkoeffizient	m ³ /(m·h·Pa ^{2/3})
b	Breite	m
c	spezifische Wärmekapazität	J/(kg·K)
d	Dicke	m
H	Hauskenngroße	W·h·Pa ^{2/3} /(m ³ ·K)
h	Höhe	m
h _G	Geschoßhöhe	m
h _{GW}	Grundwassertiefe	m
h _{KG}	Tiefe der Kellersohle	m
k	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² ·K)
k _N	Norm-Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² ·K)
l	Länge	m
p	Luftdruck	Pa
$\dot{Q}$	Wärmestrom	W
$\dot{Q}_{FL}$	Lüftungsheizlast für freie Lüftung	W
$\dot{Q}_L$	Norm-Lüftungsheizlast	W
$\dot{Q}_{L \min}$	Mindestlüftungsheizlast	W
$\dot{Q}_N$	Norm-Heizlast	W
$\dot{Q}_{N,Geb}$	Norm-Gebäudeheizlast	W
$\dot{Q}_T$	Norm-Transmissionsheizlast	W
$\dot{q}$	Wärmestromdichte	W/m ²
R _k = 1/k	Wärmedurchgangswiderstand	m ² ·K/W
R _a = 1/α _a	äußerer Wärmeübergangswiderstand	m ² ·K/W
R _i = 1/α _i	innerer Wärmeübergangswiderstand	m ² ·K/W

(fortgesetzt)

(abgeschlossen)

Formel- zeichen	Benennung	Einheit
R_L	äquivalenter Wärmedurchgangs- widerstand für Fugenlüftung	$m^2 \cdot K/W$
R_Z	Aufheizwiderstand	$m^2 \cdot K/W$
R_λ	Wärmeleitwiderstand (auch Wärme- durchlaßwiderstand)	$m^2 \cdot K/W$
r	Raumkennzahl	-
ϑ	Temperatur	$^{\circ}C$
ϑ_a	Norm-Außentemperatur	$^{\circ}C$
ϑ_i	Norm-Innentemperatur	$^{\circ}C$
ϑ_i'	Temperatur im Nachbarraum	$^{\circ}C$
$\dot{V}$	Volumenstrom	m^3/s
V_R	Raumvolumen	m^3
α_a	äußerer Wärmeübergangskoeffizient	$W/(m^2 \cdot K)$
α_i	innerer Wärmeübergangskoeffizient	$W/(m^2 \cdot K)$
β	Luftwechsel	$m^3/(h \cdot m^3)$
Δk_A	Außenflächenkorrektur für Wärme- durchgangskoeffizient	$W/(m^2 \cdot K)$
Δk_S	Sonnenkorrektur für Wärmedurch- gangskoeffizient	$W/(m^2 \cdot K)$
$\Delta \dot{Q}_{RLT}$	zusätzliche Lüftungsheizlast für nachströmende Luft infolge maschineller Abluftanlagen	W
$\Delta \vartheta$	Temperaturdifferenz	K
ζ	gleichzeitig wirksamer Lüftungs- wärmeanteil	-
ϵ	Höhenkorrektur	-
λ	Wärmeleitfähigkeit	$W/(m \cdot K)$
ρ	Dichte	kg/m^3

3 Übersicht über die Berechnungsverfahren und ihre Grundlagen

Es wird unterschieden zwischen dem Berechnungsverfahren für übliche Fälle und denen für Sonderfälle.

3.1 Übliche Fälle

Das Verfahren für übliche Fälle ist auf die überwiegende Mehrzahl aller in der Praxis vorkommenden Gebäude anwendbar. Als Beispiele seien genannt: Wohngebäude, Büro- und Verwaltungsgebäude, Schulen, Bibliotheken, Krankenhäuser, Pflegeheime, Aufenthaltsgebäude in Justizvollzugsanstalten, Gebäude des Gaststättengewerbes, Waren- und sonstige Geschäftshäuser, Betriebsgebäude.

3.2 Sonderfälle

Es sind Berechnungsverfahren für folgende Sonderfälle angegeben:

- a) Selten beheizte Räume
- b) Räume mit sehr schwerer Bauart
- c) Hallenbauten mit großen Raumhöhen
- d) Gewächshäuser.

3.3 Grundzüge des Berechnungsverfahrens für übliche Fälle

3.3.1 Allgemeines

Als Norm-Heizlast eines Raumes wird die Wärmeleistung bezeichnet, die dem Raum unter Norm-Witterungsbedingungen zugeführt werden muß, damit sich die geforderten thermischen Norm-Innenraumbedingungen einstellen.

Für die Berechnung wird stationärer Zustand, d. h. zeitliche Konstanz aller Berechnungsgrößen, vorausgesetzt. Es wird ferner angenommen, daß die Oberflächen-temperatur der Umgrenzungsflächen zu beheizten Nachbarräumen der Lufttemperatur gleich sind und daß die Außenwände nur mit den inneren Raumumgrenzungsflächen im Strahlungsaustausch stehen.

Die Norm-Heizlast ist unter diesen Voraussetzungen eine Gebäudeeigenschaft. Sie kann mit hinreichender Genauigkeit der Auslegung üblicher Heizeinrichtungen zugrunde gelegt werden, auch wenn deren Wärmeübertragung an den Raum gewisse Abweichungen von den obigen Voraussetzungen ergibt. (Siehe Erläuterungen zu Tabelle 2 von E DIN 4701-2:1995-08)

Die Norm-Heizlast eines Raumes setzt sich aus der Norm-Transmissionsheizlast (Wärmestrom durch Wärmeleitung über die Umschließungsflächen) und der Norm-Lüftungsheizlast (Wärmestrom für die Aufheizung eindringender Außenluft bzw. Luft kälterer Nachbarräume) zusammen.

Die Norm-Transmissionsheizlast muß für alle Teilflächen mit unterschiedlichen Wärmedurchgangskoeffizienten bzw. Temperaturdifferenzen getrennt berechnet werden. Dabei werden behaglichkeitsmindernde Einflüsse kalter Außenflächen und die Auswirkung der Sonneneinstrahlung durch Korrekturen für die Wärmedurchgangskoeffizienten berücksichtigt. (Siehe Erläuterungen zu Tabelle 2 von E DIN 4701-2: 1995-08)

Die Berechnung der Norm-Lüftungsheizlast geht von einer vereinfachten Ermittlung der Luftmengen aus, die über die Fugenundichtheiten des Raumes unter bestimmten Bedingungen einströmen können. Sie berücksichtigt die wirksamen Druckdifferenzen am Gebäude für die bei Norm-Außentemperaturen anzusetzenden Windverhältnisse und die thermischen Drücke sowie die Widerstände in den durchströmten Fugen der Außen- und Innenbauteile des Gebäudes. Als Mindestwert für die Norm-Lüftungsheizlast wird der Wert bei einem 0,5fachen Raumlufwechsel zugrunde gelegt. Bei

Räumen mit maschineller Lüftung wird die zusätzliche Lüftungsheizlast für die infolge Abluftüberschuß eindringende Außenluftmenge berücksichtigt.

3.3.2 Ausreichende Beheizung

Eine ausreichende Bemessung der Heizanlagen wird dadurch sichergestellt, daß der Berechnung der Norm-Heizlast eine angemessen niedrige Außentemperatur und zugehörige Windgeschwindigkeit sowie hinreichend sichere Stoffwerte für die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe zugrunde gelegt werden. Sie berücksichtigen bei porösen Materialien mittlere Baufeuchtigkeiten.

Von besonderer Bedeutung für die ausreichende Beheizung eines Raumes ist eine genügende Luftdichtigkeit der Außenbauteile. Es muß bauseits sichergestellt sein, daß die der Berechnung zugrunde gelegten Fugendurchlässigkeiten - auch unter Berücksichtigung der Einbaufugen zwischen Fenstern bzw. Türen und der Baukonstruktion - in der Ausführung nicht überschritten werden. Bei den Fugendurchlaßkoeffizienten für Fenster wird nach den Beanspruchungsgruppen in DIN 18 055 unterschieden.

3.3.3 Gleichmäßige Beheizung

Ziel der Heizlastberechnung ist es, neben einer ausreichenden Beheizung auch eine hinreichend gleichmäßige Beheizung der Räume eines mit einer zentral geregelten Heizanlage oder -gruppe ausgerüsteten Gebäudes auf die der Berechnung zugrunde gelegten Temperaturen zu erreichen. Dies ist jedoch nur innerhalb gewisser Grenzen möglich.

Selbstverständliche Voraussetzung für das Erreichen der gewünschten Temperaturen ist, daß alle Räume des Gebäudes berechnungsgemäß beheizt werden. Die Temperaturen, die sich in den einzelnen Räumen im Beharrungszustand einstellen, ergeben sich aufgrund des Gleichgewichtes zwischen der Leistung der Heizflächen und den Wärmeverlusten der Räume.

Theoretische Untersuchungen haben gezeigt, daß auch bei Beachtung dieser Gegebenheiten eine zentrale Regelung für Gebäude oder Gebäudezonen nur deshalb eine ausreichende Temperaturgleichmäßigkeit ergibt, weil die thermische Kopplung der Räume untereinander über Innenwände, Decken bzw. Fußböden und durch Luftaustausch wesentlich hierzu beiträgt [1]. Bei Räumen oder Gebäudeteilen mit schlechter thermischer Ankopplung an das übrige Gebäude (z. B. Anbauten o.ä.) ist daher die Frage einer sinnvollen Zonierung der Heizanlagen besonders sorgfältig zu prüfen.

Um den Nutzern der Heizanlagen in Wohngebäuden möglichst weitgehend die Möglichkeit einzuräumen, den Heizenergieverbrauch durch eingeschränkte Beheizung eines Teils der beheizbaren Räume zu senken, ist es zweckmäßig, die Heizflächen und gegebenenfalls einen Teil des Rohrnetzes der Räume so zu bemessen, daß eine ausreichende Beheizung auch dann erreicht wird, wenn angrenzende Räume (nach Tabelle 2 von E DIN 4701-2:1995-08) nur mit eingeschränkten Temperaturen betrieben werden. Die Heizflächen und gegebenenfalls ein Teil des Rohrnetzes ergeben sich dabei entsprechend größer. Der Frage einer gleichmäßigen Beheizung aller Räume des Gebäudes unter allen Betriebsbedingungen ist dabei besondere Aufmerksamkeit zu widmen (z. B. Einzelraumregelung).

Bei Erweiterung von zentral geregelten Heizanlagen, die nach früheren Ausgaben von DIN 4701 berechnet wurden, ist es empfehlenswert - wenn für die Erweiterung keine getrennte Regelzone vorgesehen wird -, den Erweiterungsteil nach der gleichen Ausgabe der Norm zu berechnen, nach der der Hauptteil bemessen wurde.

4 Berechnung der Norm-Heizlast für übliche Fälle

4.1 Aufbau der Berechnung

Die Norm-Heizlast $\dot{Q}_N$ setzt sich aus der Norm-Transmissionsheizlast $\dot{Q}_T$ und der Norm-Lüftungsheizlast $\dot{Q}_L$ zusammen:

$$\dot{Q}_N = \dot{Q}_T + \dot{Q}_L \quad (1)$$

4.2 Temperaturen

4.2.1 Norm-Außentemperatur

Der Berechnung der Norm-Heizlast wird für die Außentemperatur eines Ortes der niedrigste Zweitagesmittelwert zugrunde gelegt, der im Zeitraum von 20-Jahren zehnmal erreicht oder unterschritten wurde. Diese Norm-Außentemperaturen ϑ_a sind für alle Orte mit mehr als 20 000 Einwohnern und für solche mit einer Wetterstation, deren Daten mit ausgewertet wurden, in Tabelle 1 von E DIN 4701-2:1995-08 aufgeführt. Die Isothermenkarte in Bild 1 von E DIN 4701-2:1995-08 dient lediglich zur Orientierung bei Orten, die selbst in der Tabelle nicht enthalten sind.

4.2.2 Norm-Innentemperatur

Als Norm-Innentemperatur wird eine "empfundene Temperatur" eingesetzt, die sowohl die Lufttemperatur als auch die mittlere Umgebungsflächentemperatur berücksichtigt. Die Norm-Innentemperaturen für Räume unterschiedlicher Nutzung sind in Tabelle 2 von E DIN 4701-2:1995-08 festgelegt.

4.2.3 Temperatur unbeheizter Nebenräume

Die Temperaturen unbeheizter Nebenräume sind in Tabelle 5, 6 und 7 von E DIN 4701-2:1995-08 für einige wesentliche Fälle angegeben:

Allgemein ergibt sich die Temperatur aus:

$$\vartheta_{uR} = \frac{\sum(k \cdot A \cdot \vartheta)_i + \sum(k \cdot A \cdot \vartheta)_a + 0,36 \cdot V_R \cdot \beta \cdot \vartheta_a}{\sum(k \cdot A)_i + \sum(k \cdot A)_a + 0,36 \cdot V_R \cdot \beta} \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

ϑ_i	Norm-Innentemperaturen der angrenzenden beheizten Räume	in $^\circ\text{C}$
ϑ_a	Norm-Außentemperatur	in $^\circ\text{C}$
ϑ_{uR}	Temperatur des unbeheizten Raumes	in $^\circ\text{C}$
V_R	Raumvolumen	in m^3
β	Luftwechsel	in $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$
A	Fläche	in m^2
k	Wärmedurchgangskoeffizient	in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Index a Bauteile, mit denen der unbeheizte Raum an die Außenluft grenzt
Index i Bauteile, mit denen der unbeheizte Raum an beheizte Räume grenzt.

4.3 Norm-Transmissionsheizlast

Die Norm-Transmissionsheizlast ist die Summe der Wärmeströme, die der Raum durch Wärmeleitung über Wände, Fenster, Türen, Decken, Fußboden abgibt:

$$\dot{Q}_T = \sum_j A_j \cdot \dot{q}_j \quad (3)$$

Hierin bedeuten:

A_j Fläche des Bauteils j

$\dot{q}_j$ Wärmestromdichte des Bauteils j

Für die Bauteile, die an die Außenluft oder an Nachbarräume grenzen, ergibt sich:

$$\dot{q} = k_N \cdot \Delta\vartheta \quad (4)$$

Hierin bedeuten:

k_N Norm-Wärmedurchgangskoeffizient

$\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz

4.3.1 Norm-Wärmedurchgangskoeffizient

Für den Wärmedurchgangswiderstand R_k eines Bauteils gilt:

$$R_k = R_i + \sum_j R_{\lambda j} + R_a = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_a} \quad (5)$$

Hierin bedeuten:

R_i innerer Wärmeübergangswiderstand
 R_a äußerer Wärmeübergangswiderstand
 $R_{\lambda j}$ Wärmeleitwiderstand (auch: Wärmedurchlaßwiderstand) der Schicht j
 α_i innerer Wärmeübergangskoeffizient
 α_a äußerer Wärmeübergangskoeffizient
 d_j Dicke der Bauteilschicht j
 λ_j Wärmeleitfähigkeit der Schicht j

Den Wärmedurchgangskoeffizienten k erhält man aus:

$$k = \frac{1}{R_k} \quad (6)$$

An den Wärmedurchgangskoeffizienten sind bei Außenbauteilen Korrekturen zum Ausgleich der behaglichkeitsmindernden niedrigen Oberflächentemperaturen [2] und

bei Fenstern außerdem solche zum Ausgleich der Sonneneinstrahlung anzubringen [3]. Mit diesen Korrekturen ergibt sich der Norm-Wärmedurchgangskoeffizient k_N^1) zu:

$$k_N = k + \Delta k_A + \Delta k_S \quad (7)$$

Hierin bedeuten:

Δk_A Außenflächenkorrektur für Wärmedurchgangskoeffizienten

Δk_S Sonnenkorrektur für Wärmedurchgangskoeffizienten

Die Außenflächenkorrektur Δk_A ist, abhängig vom Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenfläche, nach Tabelle 3 von E DIN 4701-2:1995-08 zu ermitteln.

Die Sonnenkorrektur berücksichtigt den Wärmegewinn durch diffuse Strahlung (bedeckter Himmel). Sie ist daher immer negativ und abhängig vom Gesamtenergiedurchlaßgrad der Verglasung, nicht jedoch von der Himmelsrichtungsorientierung des Fensters. Sie ist nach Tabelle 4 von E DIN 4701-2:1995-08 zu entnehmen.

4.3.2 Außenbauteile

Die Wärmestromdichte $\dot{q}$ in Gleichung (9) ist für Außenbauteile zu ermitteln nach:

$$\dot{q} = k_N \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \quad (8)$$

4.3.3 Innenbauteile

Für Innenbauteile ergibt sich die Wärmestromdichte $\dot{q}$ zu:

$$\dot{q} = k \cdot (\vartheta_i - \vartheta_i') \quad (9)$$

Hierin bedeutet:

ϑ_i' Norm-Innentemperatur im Nachbarraum.

4.3.4 Erdberührte Bauteile [4]

4.3.4.1 Grundlagen

Bei erdberührten Bauteilen tritt ein Wärmeverlust über das Erdreich sowohl an die Außenluft als auch an das Grundwasser auf. Im Gegensatz zu den direkt

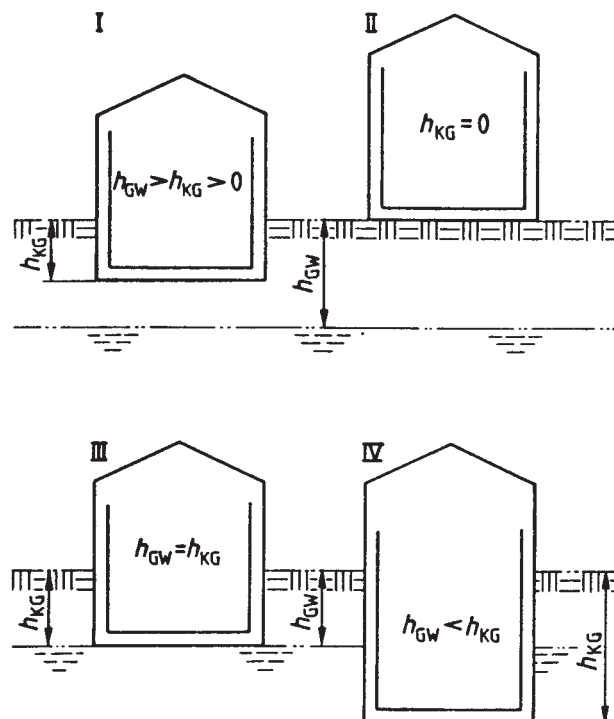
¹⁾ Für nachgewiesenen Wärmedurchgangskoeffizienten kann k_N unterschritten werden

außenluftberührten Bauteilen kann hier zur Berechnung der Wärmeströme der übliche eindimensionale Ansatz nicht verwendet werden. Weiterhin ist aufgrund der hohen thermischen Speicherkapazität des umgebenden Erdreiches die Außentemperatur nicht mit dem üblichen Normwert anzusetzen, sondern mit einem Mittelwert über einen längeren Zeitraum, der für Deutschland - ortsunabhängig - mit $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ anzunehmen ist.

Entscheidende geometrische Einflußgrößen für den Wärmeverlust an das Grundwasser sind die Grundfläche des Gebäudes und der Abstand des Kellerbodens bis zum Grundwasser, für die Wärmeverluste an die Außenluft der Umfang des Gebäudes und die Grundwassertiefe.

Weitere Einflußgrößen sind die Form des Gebäudes, die Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches und der Wärmeleitwiderstand evtl. vorhandener Dämmschichten.

Je nach Grundwassertiefe h_{GW} und Tiefe der Kellersohle h_{KG} sind 4 verschiedene Fälle bei der Berechnung zu unterscheiden (siehe Bild 1).



h_{GW} Grundwassertiefe
 h_{KG} Tiefe der Kellersohle

Bild 1: 4 Fälle des Wärmeverlustes an das Erdreich

4.3.4.2 Vollbeheizte Kellergeschosse

Die Heizlast von Räumen über die erdberührten Bauteile beträgt:

$$\dot{Q}_E = \dot{Q}_{AL} + \dot{Q}_{GW} \quad (10)$$

Hierin bedeuten:

$\dot{Q}_{AL}$ Wärmeverlust an die Außenluft

$\dot{Q}_{GW}$ Wärmeverlust an das Grundwasser

Wärmeverlust an die Außenluft

Für im Erdreich stehende Gebäude (Bild 1: I, III, IV) gilt:

$$\dot{Q}_{AL} = k_{äq,AL,n} \cdot U \cdot h_{AL,n} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{AL}) \quad (11)$$

Hierin bedeuten:

$k_{äq,AL,n}$ äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient für den Wärmeverlust an die Außenluft für die Fälle I, III und IV nach Bild 1

U Gebäudeumfang

$h_{AL,n}$ Höhe der Außenluft-Einflußzone für die Fälle I, III und IV nach Bild 1

ϑ_i Norm-Innentemperatur

ϑ_{AL} mittlere Außentemperatur ($\vartheta_{AL} = 0 \text{ °C}$)

Für den äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten gilt:

$$k_{äq,AL,n} = \frac{1}{\frac{h_{AL,n}}{f_{AL} \cdot \lambda_E} + \left(\sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} \right)_W + R_i} \quad (12)$$

Hierin bedeuten:

f_{AL} Außenluft-Geometriefaktor für den Wärmestrom an die Außenluft (nach Bild 2 von E DIN 4701-2:1995-08)

$\left(\sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} \right)_W$ Wärmeleitwiderstand der erdberührten Seitenwände

R_i Innerer Wärmeübergangswiderstand nach Tabelle 16 von E DIN 4701-2:1995-08

λ_E Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs nach Tabelle 17 von E DIN 4701-2:1995-08

Die Höhe der Außenluft-Einflußzone beträgt:

für $h_{KG} < h_{GW}$ (Bild 1:I)

$$h_{AL} = h_{KG}$$

für $h_{KG} \geq h_{GW}$ (Bild 1:III und IV)

$$h_{AL} = h_{GW}$$

Hierin bedeuten (siehe Bild 1):

h_{KG} Tiefe der Kellersohle

h_{GW} Grundwassertiefe

Für auf dem Erdreich stehende Gebäude (Bild 1:II) gilt:

$$\dot{Q}_{AL} = k_{äq,AL,II} \cdot U \cdot b_{AL} (\vartheta_i - \vartheta_{AL}) \quad (13)$$

Hierin bedeuten:

$k_{äq,AL,II}$ äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient für den Wärmeverlust für den Fall II nach Bild 1

b_{AL} Breite der Außenluft-Einflußzone

Für den äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten gilt hier:

$$k_{äq,AL,II} = \frac{1}{\frac{b_{AL}}{f_{AL} \cdot \lambda_E} + \left(\sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} \right)_B + R_i} \quad (14)$$

Für b_{AL} gilt:

$$b_{AL} = \text{niedrigster Zahlenwert von } h_{GW} \text{ oder } \frac{A_B}{U} \quad (15)$$

Hierin bedeuten:

A_B Grundfläche des Gebäudes

$\left(\sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} \right)_B$ Wärmeleitwiderstand des Kellerbodens

Wärmestrom an das Grundwasser

Bei im oder auf dem Erdreich stehenden Gebäuden (Bild 1: I und II) berechnet sich der Wärmestrom an das Grundwasser wie folgt:

$$\dot{Q}_{\text{GW}} = k_{\text{äq,GW}} \cdot A_{\text{B}} \cdot (\vartheta_{\text{i}} - \vartheta_{\text{GW}}) \quad (16)$$

Hierin bedeuten:

$k_{\text{äq,GW}}$ äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient für den Wärmestrom an das Grundwasser

A_{B} Bodenfläche des Gebäudes

ϑ_{GW} Grundwassertemperatur

Die Grundwassertemperatur ϑ_{GW} entspricht im allgemeinen der jahresmittleren Außenlufttemperatur. Sie kann mit $\vartheta_{\text{GW}} \approx 9 \text{ °C}$ eingesetzt werden.

Für den äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten gilt:

$$k_{\text{äq,GW}} = \frac{1}{\frac{(h_{\text{GW}} - h_{\text{KG}})}{f_{\text{GW}} \cdot \lambda_{\text{E}}} + \left(\sum_{\text{j}} \frac{d_{\text{j}}}{\lambda_{\text{j}}} \right)_{\text{B}} + R_{\text{i}}} \quad (17)$$

Hierin bedeuten:

f_{GW} Grundwasser-Geometriefaktor für den Wärmestrom an das Grundwasser nach Bild 3 von E DIN 4701-2:1995-08

$\left(\sum_{\text{j}} \frac{d_{\text{j}}}{\lambda_{\text{j}}} \right)_{\text{B}}$ Wärmeleitwiderstand des Kellerbodens

R_{i} innerer Wärmeübergangswiderstand nach Tabelle 16 von E DIN 4701-2:1995-08

Bei Gebäuden mit grundwasserberührten Bauteilen (Bild 1: III und IV) teilt sich der Wärmestrom an das Grundwasser auf in einen direkten Wärmestrom über diese Bauteile und einen indirekten, über das Erdreich fließenden Wärmestrom durch die trockenen Bauteile:

$$\dot{Q}_{\text{GW}} = \dot{Q}_{\text{GW,naB}} + \dot{Q}_{\text{GW,trocken}} \quad (18)$$

Hierin bedeuten:

$\dot{Q}_{\text{GW,naB}}$ direkter Wärmestrom über die grundwasserberührten Bauteile

$\dot{Q}_{\text{GW,trocken}}$ indirekter Wärmestrom über die trockenen Bauteile

Der direkte Wärmestrom über die grundwasserberührten Bauteile wird nach dem üblichen, für außenluftberührte Bauteile benutzten, eindimensionalen Ansatz berechnet (siehe Bild 2).

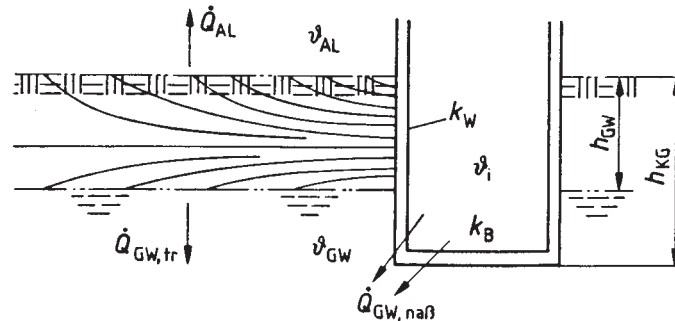


Bild 2: Im Grundwasser stehendes Gebäude ($h_{KG} \geq h_{GW}$)

Es gilt:

$$\dot{Q}_{GW,naß} = [k_B \cdot A_B + k_W \cdot U \cdot (h_{KG} - h_{GW})] \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{GW}) \quad (19)$$

Hierin bedeuten:

k_B Wärmedurchgangskoeffizient des Kellerbodens

k_W Wärmedurchgangskoeffizient der Seitenwände

Es gelten für den Kellerfußboden:

$$k_B = \frac{1}{\left(\sum_{(j)} \frac{d_j}{\lambda_j} \right)_B + R_i} \quad (20)$$

und für die Wände:

$$k_W = \frac{1}{\left(\sum_{(j)} \frac{d_j}{\lambda_j} \right)_W + R_i} \quad (21)$$

Hierin bedeuten:

$\left(\sum_{(j)} \frac{d_j}{\lambda_j} \right)_{B/W}$ Wärmeleitwiderstand der Bauteile Boden bzw. Wände

R_i innerer Wärmeübergangskoeffizient nach Tabelle 16 von E DIN 4701-2:1995-08

Über die nicht grundwasserberührten trockenen Bauteile fließt neben einem Wärmestrom an die Außenluft (nach Gleichung (11)) ein weiterer Wärmestrom an das Grundwasser (siehe Bild 2). Diese Wärmeströme stehen aus Symmetriegründen untereinander im Verhältnis der jeweiligen Temperaturdifferenzen Innen-Außen bzw. Innen-Grundwasser, und es gilt der gleiche äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient.

Damit ergibt sich:

$$\dot{Q}_{\text{GW,trocken}} = k_{\text{äq,AL,n}} \cdot U \cdot h_{\text{GW}} \cdot (\vartheta_{\text{i}} - \vartheta_{\text{GW}}) \quad (22)$$

$$h_{\text{AL,n}} = h_{\text{GW}} \quad (\text{siehe Bild 1: III und IV})$$

4.3.4.3 Heizlast einzelner Räume

Ist ein Kellergeschoß in mehrere Einzelräume unterteilt, wird mit den oben beschriebenen Gleichungen gerechnet, wobei näherungsweise von einer Proportionalität des Wärmestroms an das Grundwasser zur Bodenfläche des Raumes und des Wärmestroms an die Außenluft zur erdberührten Fassadenbreite des Raumes ausgegangen wird.

Wärmestrom an die Außenluft

Für im Erdreich stehende Gebäude (Bild 1: I, III, IV) gilt:

$$\dot{Q}_{\text{AL}} = k_{\text{äq,AL,n}} \cdot b \cdot h_{\text{AL,n}} \cdot (\vartheta_{\text{i}} - \vartheta_{\text{AL}}) \quad (23)$$

Hierin bedeutet:

b erdberührte Außenwandbreite einschließlich halber Grenzwanddicke

Bei auf dem Erdreich stehenden Gebäuden (Bild 1: I und II) gilt:

$$\dot{Q}_{\text{AL}} = k_{\text{äq,AL,II}} \cdot b \cdot b_{\text{AL}} \cdot (\vartheta_{\text{i}} - \vartheta_{\text{AL}}) \quad (24)$$

Wärmestrom an das Grundwasser

Bei Räumen mit erdberührten (nicht grundwasserberührten Räumen (Bild 1: I und II) gilt:

$$\dot{Q}_{\text{GW}} = k_{\text{äq,GW}} \cdot A_{\text{B,Raum}} \cdot (\vartheta_{\text{i}} - \vartheta_{\text{GW}}) \quad (25)$$

Hierin bedeutet:

$A_{\text{B,Raum}}$ Bodenfläche des Raumes

Bei Räumen mit grundwasserberührten Bauteilen (Bild 1: III und IV) gilt:

$$\dot{Q}_{\text{GW}} = \dot{Q}_{\text{GW,naß}} + \dot{Q}_{\text{GW,trocken}} \quad (26)$$

$$= [k_{\text{B}} \cdot A_{\text{B,Raum}} + k_{\text{W}} \cdot b \cdot (h_{\text{KG}} - h_{\text{GW}})$$

$$+ k_{\text{äq,AL,n}} \cdot b \cdot h_{\text{GW}}] \cdot (\vartheta_{\text{i}} - \vartheta_{\text{GW}})$$

$$h_{\text{AL,n}} = h_{\text{GW}} \quad (\text{siehe Bild 1: III und IV})$$

Werden nur einzelne Räume eines unterteilten Kellergeschosses beheizt, gelten die vorstehenden Gleichungen (23) bis (26) unverändert.

4.4 Norm-Lüftungsheizlast

Für die Norm-Lüftungsheizlast $\dot{Q}_L$ gilt:

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{FL} + \Delta\dot{Q}_{RLT} \quad (27)$$

bzw.

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_L \text{ min} \quad (28)$$

Hierin bedeuten:

$\dot{Q}_{FL}$ Lüftungsheizlast für freie Lüftung nach Gleichung (32) oder (33)

$\Delta\dot{Q}_{RLT}$ zusätzliche Lüftungsheizlast für nachströmende Luft infolge maschineller Abluftanlagen nach Gleichung (32)

$\dot{Q}_L \text{ min}$ Mindestwert der Norm-Lüftungsheizlast nach Gleichung (34).

4.4.1 Lüftungsheizlast bei freier Lüftung

4.4.1.1 Grundlagen

Gebäude üblicher Bauart sind in begrenztem Rahmen luftdurchlässig [5], [6]. Die eindringende Außenluft muß auf Raumlufttemperatur (näherungsweise Norm-Innentemperatur) erwärmt werden.

Für diese Heizlast, die Lüftungsheizlast, gilt allgemein:

$$\dot{Q}_{FL} = \dot{V} \cdot c \cdot \rho \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \quad (29)$$

Hierin bedeuten:

$\dot{V}$ Luftvolumenstrom

c spezifische Wärmekapazität der Luft

ρ Dichte der Luft

Für die Luftströmung durch Fugen kann angesetzt werden:

$$\dot{V} = \sum(a \cdot l) \cdot (p_a - p_i)^n. \quad (30)$$