

Wärmeträgheit der Hohlräum-Deckenheizung

Autor(en): **Ziemba, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **74 (1956)**

Heft 32

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-62683>

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.

Wärmeträgheit der Hohlraum-Deckenheizung

DK 697.353

Von Dr. sc. techn. W. Ziemba, Zürich

A. Problemstellung

Die grosse Zahl verschiedener Heizungsarten, die heute von den Heizungsunternehmen entwickelt werden, stellen die Architekten und die Bauherren vor die immer schwieriger werdende Wahl des geeigneten Systems. Neben den üblichen Kriterien, wie: Preis der Anlage, Eignung des wärmeabgebenden Körpers für den betreffenden Raum, hygienische und physiologische Aspekte, Frage der gleichmässigen Raumtemperatur und anderes mehr, spielt die Wärmeträgheit der Heizung eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Beim Bau einer modernen Heizungsanlage wird weitgehend danach gestrebt, in den Räumen eine konstante Nenntemperatur während der ganzen Heizperiode aufrecht zu erhalten. Je grösser und je verschiedenartiger die Abkühlungsflächen eines Raumes im Verhältnis zum Rauminhalt sind, um so elastischer muss die Anpassung der Wärmeabgabe der Heizkörper an den variablen Wärmeverlust des Raumes sein.

Die Wärmeträgheit eines Heizungssystems lässt sich am besten durch die Berechnung der Anheizzeit beurteilen. Für den Fall der Radiatorenheizung geschieht dies auf Grund der von Kollmar¹⁾ aufgestellten Beziehung

$$(1) \quad z = \frac{W}{kF} \ln \frac{A+1}{A}$$

Darin bedeuten:

- z die Anheizzeit in h
 W der Wasserwert des Radiators in kcal/C
 F die Heizfläche des Radiators in m²
 k die Wärmedurchgangszahl des Radiators in kcal/h m² C
 A den Anheizzuschlag

Den Wasserwert W erhält man aus:

$$(2) \quad W = G_e c_e + G_w \text{ kcal/C}$$

Darin bedeuten:

- G_e das Eisengewicht des Radiators in kg
 c_e die spezifische Wärme des Eisens
 G_w der Wasserinhalt des Radiators in kg

Der Anheizzuschlag

$$(3) \quad A = \frac{Q - Q_0}{Q_0}$$

ist das Verhältnis zwischen der Anheizleistung Q und der stationären Wärmeabgabe des Heizkörpers Q_0 bei den Nennbedingungen, d. h. bei der mittleren Heizwasser-Nenntemperatur t_{wo} und der Nenn-Raumtemperatur t_{ro} . Ferner ist

$$(4) \quad Q_0 = kF(t_{wo} - t_{ro}) \text{ kcal/h}$$

Die Zahl A muss höher als 0 sein, damit die Anheizzeit endlich wird.

Die Formel (1) lässt sich mit bestimmter Näherung auch im Falle der Deckenheizung mit einbetonierten Heizröhren (Rohrdeckenheizung) anwenden¹⁾. Hier muss für die Bestimmung des Wasserwertes W das Gewicht der Betonmasse, der Röhren und des Wassers samt den entsprechenden spezifischen Wärmen berücksichtigt werden. Als Nenntemperatur t_{wo} darf nicht die Wassertemperatur, sondern es muss die mittlere Temperatur der ganzen Deckenmasse eingesetzt werden.

Bei der Hohlraum-Deckenheizung (Bilder 1 bis 4) vollzieht sich die Wärmeabgabe des Heizrohrregisters durch Strahlung und Konvektion an die Deckenplatte. Dabei besteht kein direkter Kontakt zwischen den Röhren und den Platten. Die erwärmte Platte teilt dann die Wärme dem darunterliegenden Raum wiederum durch Strahlung und Konvektion mit. Es ist klar, dass durch diese zwei Stufen der Wärmeabgabe (Rohr-Decke und Decke-Raum) bestimmte Verzögerungen bei der Aufheizung entstehen müssen.

Der Zweck dieser Arbeit besteht nun darin, die Gleichungen für die Anheizzeit zu finden, die bei der Hohlraum-

Deckenheizung gelten, und einen Vergleich zwischen den Anheizzeiten verschiedener Heizungssysteme durchzuführen.

B. Grundannahmen

Für die Berechnung wird nur das Speichervermögen des Heizwassers, des Rohrregisters, der Platten und der Aufhängevorrichtung in Rechnung gezogen. Der Wasserwert der Decken-Isolation und die Wärmeabgabe durch die über dem Hohlraum liegende Decke bleiben unberücksichtigt. Während der Anheizzeit ist die Raumtemperatur t_r als konstant angenommen.

Der Wasserwert der Deckenplatte W_d setzt sich aus der Summe der Wasserwerte der Platte und der Aufhängungen zusammen. Der Wasserwert des Heizregisters W_h wird nach der Gleichung (2) bestimmt. Die spezifischen Wärmen können der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1. Spezifische Wärmen in kcal/C kg

Gusseisen	0,129	Gips	0,26
Eisen	0,114	Beton	0,21
Aluminium	0,214		

Für die weitere Berechnung müssen aus den bekannten Versuchswerten folgende zwei Grössen abgeleitet werden:

$$(5) \quad \alpha = \frac{Q_0(t_{do} - t_{ro})}{F} \text{ kcal/h m}^2 \text{ C}$$

$$(6) \quad X = \frac{Q_0(t_{wo} - t_{do})}{F} \text{ kcal/h m}^2 \text{ C}$$

α ist die Wärmeübergangszahl der Decke an den Raum. Sie umfasst die Wärmeabgabe durch Konvektion an die Raumluft und durch Strahlung an die Raumumfassungsflächen, wobei bei den Decken aus Gips oder bei isolierenden Platten die Wärmeleitung durch die halbe Plattenstärke berücksichtigt werden muss. Im letztgenannten Falle ist t_{do} die mittlere Temperatur der Deckenplatte. X ist die äquivalente Wärmedurchgangszahl des Wärmeflusses zwischen dem Rohrregister und der Deckenplatte. Diese Zahl bezieht sich auf 1 m² der Deckenoberfläche und berücksichtigt die Wärmeleitung durch die halbe Deckenplatte (bei Gips- oder ähnlichen Decken). t_{do} , t_{wo} sind die Nenntemperaturen der Decke, bzw. des Heizwassers.

C. Die Aufstellung der Anheizgleichung

Während des Anheizvorganges wird dem Heizregister eine konstante Wärmemenge Q (Anheizleistung) zugeführt. Diese Wärme dient der Erwärmung der Rohre sowie des Heizwassers und deckt die Wärmeabgabe der Rohre selbst.

$$(7) \quad Q = W_h \frac{dt_w}{dz} + X F (t_w - t_d) \text{ kcal/h}$$

Die vom Register abgegebene Wärme $X F (t_w - t_d)$ dient ihrerseits der Erwärmung der Deckenplatte und deckt die Wärmeabgabe der Platte an den darunterliegenden Raum.

$$(8) \quad X F (t_w - t_d) = W_d \frac{dt_d}{dz} + \alpha F (t_d - t_r) \text{ kcal/h}$$

Aus den beiden Gleichungen lässt sich t_w eliminieren, und es entsteht folgende Differentialgleichung des Anheizvorganges:

$$(9) \quad Q = \frac{W_h W_d}{X F} \frac{dt_d}{dz} + \left[W_h \left(1 + \frac{\alpha}{X} \right) + W_d \right] \frac{dt_d}{dz} + F \alpha (t_d - t_r) \text{ kcal/h}$$

Die Lösung dieser Gleichung lässt sich für den Fall der konstanten Raumtemperatur t_r und der konstanten Anheizwärme Q verhältnismässig leicht durchführen. Als Randbedin-

1) A. Kollmar, «Die Installation», Bd. 26 (1954), S. 191



Bild 1. Hohlräum-Strahlungsheizung. Glasfasermattenisolierung mit Al-fol, Rohraufhängeschienen, Rohre, Streckmetallgipsdecke (Gebr. Sulzer, Winterthur)

gungen werden angenommen: 1. Zur Zeit $z = 0$ sind die Decken-, Register- und Wassertemperaturen der Raumtemperatur gleich, 2. zu Beginn des Anheizvorganges wird die gesamte Anheizleistung zunächst zur Erwärmung des Registers verwendet!

$$Q = W_h \left(\frac{dt_w}{dz} \right)_{z=0} \quad \text{und} \quad \left(\frac{dt_d}{dz} \right)_{z=0} = 0$$

Bezeichnet man mit Q_d die augenblicklich an den Raum abgegebene Wärme

$$(10) \quad Q_d = F \alpha (t_d - t_r) \text{ kcal/h}$$

so lautet die Lösung der Gleichung (9)

$$(11) \quad \frac{Q - Q_d}{Q} = e^{-az} \left(Ch bz + \frac{a}{b} Sh bz \right)$$

Darin bedeuten:

$$(12) \quad a = \frac{F}{2} \left(\frac{\alpha + X}{W_d} + \frac{X}{W_h} \right)$$

$$(13) \quad b = \frac{F}{2} \sqrt{\left(\frac{\alpha + X}{W_d} + \frac{X}{W_h} \right)^2 - \frac{4\alpha X}{W_h W_d}}$$

Die Bedingung der konstanten Raumtemperatur t_r bei der Berechnung des Anheizvorganges kann in der Praxis für Räume mit grosser Wärmeträgheit als erfüllt gelten, sofern die Wärmeträgheit des Heizungssystems klein ist.

Bei Deckenheizung mit einbetonierten Rohren ist aber die Trägheit des Raumes mit der Trägheit des Heizungssystems vergleichbar. Hier wird man in der Praxis etwas kürzere Anheizzeiten erhalten, als sie sich aus der Gleichung (1) ergeben.

D. Die Anheizzeit der Hohlräum-Deckenheizung

Im stationären Zustand gibt die Decke eine Wärme Q_{do} an den Raum ab. Bezeichnen wir mit A das Verhältnis

$$(14) \quad A = \frac{Q - Q_{do}}{Q_{do}}$$

so kann für eine bestimmte Leistung Q_{do} die Anheizzeit z_0 aus der Gleichung (11) ermittelt werden. Man erhält:

$$(15) \quad \frac{Q - Q_{do}}{Q} = \frac{A}{A+1} e^{-az_0} \left(Ch bz_0 + \frac{a}{b} Sh bz_0 \right)$$

In den meisten Fällen interessiert uns das Erreichen einer verhältnismässig grossen Leistung Q_{do} . In diesen Fällen ist



Bild 2. Hohlräumheizung mit Gipsplattendecke (Isolog, Zürich)

$bz_0 > 2$, und man kann mit grosser Genauigkeit folgende Näherung benutzen:

$$Ch bz_0 \approx Sh bz_0 \approx \frac{e^{bz_0}}{2}$$

Mit dieser Vereinfachung erhält man

$$(16) \quad z_0 = \frac{\ln \left[\frac{A+1}{A} \cdot \frac{1+a/b}{2} \right]}{a-b} h$$

E. Berechnungsbeispiele

1. Deckenheizung mit einbetonierten Rohren

Rohrabstand 20 cm, Rohre $\frac{1}{2}$ ". Betonstärke 12 cm, spez. Gewicht 2200 kg/m³. Aufheizung der Decke auf eine mittlere Temperatur von 38,5° C, wobei es sich bei dieser Temperatur um einen Mittelwert der Betonmasse, der Rohre und des Wassers handelt.

Die Wärmeübergangszahl der Decke zum Raum beträgt total $\alpha = 8,2 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}$ bei einer Deckenunterseite-temperatur von 36° C, einer Raumtemperatur von 18° C und einer Umfassungsflächentemperatur von 15° C. Dieser α -Wert muss aber auf die mittlere Aufheiztemperatur von 38,5° C korrigiert werden

$$\alpha_{Korr} = \alpha \frac{36^\circ - 18^\circ}{38,5^\circ - 18^\circ} = 7,2 \text{ kcal/h m}^2 \text{ C}$$

Dieser α_{Korr} -Wert wird in die Gleichung (1) eingesetzt.

$$\frac{W}{F} = 58,2 \text{ kcal/C m}^2$$

2. Metallplatten-Hohlräumheizung

Rohrabst. 20 cm, $\frac{1}{2}$ "-Rohre 6,25 kg
Rohrgewicht pro m² Decke
Wassergewicht pro m²

Decke 0,975 kg
Wasserwert $W_h/F = 1,69 \text{ kcal/C} \cdot \text{m}^2$
Aluminiumgewicht pro m²

Decke 0,15 kg (Aufhängungen)
Eisengewicht pro m² Decke 6,70 kg (Aufhängungen u. Platte)

Wasserwert $W_d/F = 0,795 \text{ kcal/C} \cdot \text{m}^2$

Die Werte α und X sind aus den Messungen der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt in Zürich (EMPA) ermittelt und den praktischen Verhältnissen angepasst worden. Die Gleichungen (5) und (6) ergeben

$$\alpha = 7,7 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}; \quad X = 2,55 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}$$

Aus den Gleichungen (12) und (13) berechnet man a und b und erhält $a/b + 1 = 2,18$ und $a - b = 2,1$.

3. Gipsplatten-Hohlräumheizung

Rohrabstand 20 cm, $\frac{1}{2}$ " Rohre 6,25 kg
Rohrgewicht pro m² Decke 0,975 kg
Wassergewicht pro m² Decke

Wasserwert $W_h/F = 1,69 \text{ kcal/C} \cdot \text{m}^2$

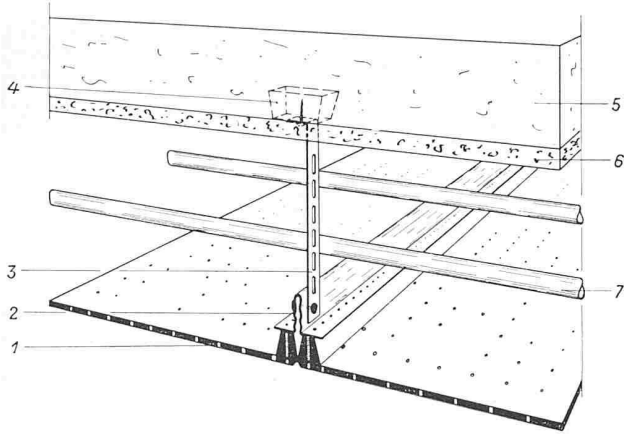


Bild 3. Hohlraumheizung mit Gipsplattendecke. Montage der Rohre und Platten (Isolag, Zürich)

- 1 Isolag-Platten, Typ S; Formate 60/60/3 cm oder 62,5/62,5/3 cm; Lochdurchmesser 4,5 mm, Lochfläche 15 %
- 2 Blechprofilschiene, Breite 43 mm, Höhe 35 mm
- 3 Schlitzbandeisen-Aufhängung
- 4 Dübel oder Gewindebolzen
- 5 Decke
- 6 Glas- oder Mineralwolle als Schall- und Wärmeisolierung
- 7 Heizregister 1/2", frei oder auf Profilschienen verlegt, Abstand nach Angaben des Heizungsunternehmers

Aufhängungen wie bei Metalldecke:

Aluminium pro m ² Decke	0,15 kg
Eisengewicht pro m ² Decke	0,4 kg
Gipsplatte pro m ² Decke	8,35 kg
Wasserwert	$W_{d/F} = 2,250 \text{ kcal/C} \cdot \text{m}^2$

Angepasste Werte für α und X

$\alpha = 8,2 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \text{ C}; X = 2,87 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \text{ C}$

In gleicher Weise wie beim 2. Beispiel erhält man $a/b + 1 = 2,5$ und $a - b = 1,13$.

4. Radiatorenheizung (als Vergleich)

Gussgewicht	3,7 kg
Oberfläche	0,15 m ²
Wasserinhalt	0,52 l
W/F	$= 6,66 \text{ kcal/C} \cdot \text{m}^2$
k	$= 7,5 \text{ kcal/h} \cdot \text{C} \cdot \text{m}^2$

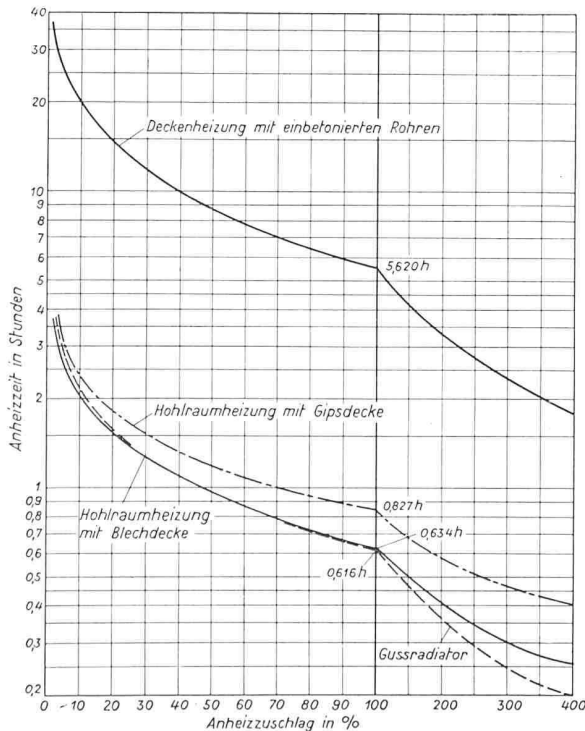


Bild 5. Wärmeträgheit verschiedener Heizsysteme

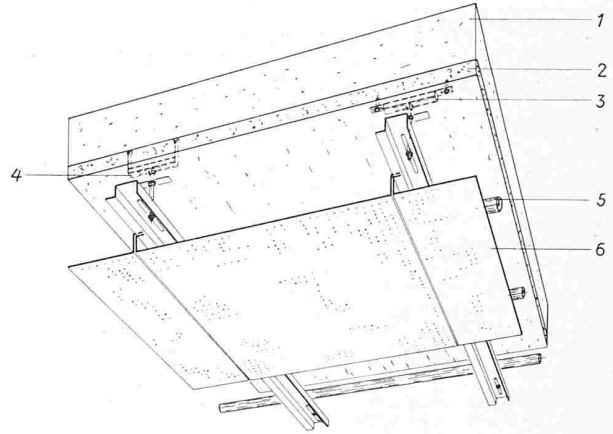


Bild 4. Hohlraumheizung mit Metallplatten (Gema, St. Gallen)

- 1 Decke
- 2 Wärmeisolation
- 3 Geschossene Aufhängung
- 4 Einbetonierte Aufhängung
- 5 Heizregister
- 6 Metallene Strahlungsplatte

Ergebnisse

Die Resultate der Berechnung der vier Beispiele zeigt Bild 5, wo auf der Abszisse der Anheizzuschlag A [nach Gl. 3 bzw. 14] und in der Ordinate die Anheizzeit z_0 [nach Gl. 1 bzw. 16] aufgetragen sind. Wir sehen zunächst, dass die Kurve für die Blechdecken-Hohlraumheizung bei grösseren A -Werten flacher verläuft als diejenige für die Radiatorenheizung. Die beiden Kurven schneiden sich bei etwa $A = 50 \%$.

Berücksichtigt man den logarithmischen Masstab der Ordinate in Bild 5, so kann man sagen, dass bei Werten unter 100 % Hohlraumheizungen und Radiatorenheizungen Anheizzeiten von gleicher Grössenordnung ergeben. Die praktische Auswertung des Diagrammes kann am besten am folgenden Beispiel gezeigt werden:

Ein Raum wird normalerweise den ganzen Winter auf +20° C gehalten. Die Nennleistung der Heizflächen ist so ausgelegt, dass diese Temperatur bis zu einer Aussentemperatur von -20° C gehalten werden kann. Die Kesselleistung ist also bei -20° C vollständig ausgenützt. Da bei -20° C keine Leistungsreserve besteht, ist der Anheizzuschlag $A = 0 \%$, und man sollte alsdann die Heizung auf keinen Fall unterbrechen, sonst entstünde theoretisch eine unendlich lange Anheizzeit.

Die gleiche Anlage bei einer Temperatur von 0° C nützt rund die halbe Kesselleistung aus. Der Anheizzuschlag ist jetzt $A = 100 \%$. Würde man jetzt die Heizungsanlage abstellen, so würden sich die Temperaturen der Heizkörper und des Heizwassers bis an die herrschende Raumtemperatur abkühlen. Bei Räumen mit grosser Wärmeträgheit würde die Temperatur von +20° C nur wenig sinken.

Nach erfolgtem Temperaturausgleich aller Teile auf rd. 20° C und erneutem Anstellen der Heizungsanlage mit Betrieb des Kessels bei voller Leistung erhalten wir folgende Anheizzeiten:

Radiatorenheizung	$z_0 = 0,616 \text{ Std.}$
Deckenheizung mit einbetonierten Spiralen	$z_0 = 5,620 \text{ Std.}$
Hohlraumheizung mit Blechdecke	$z_0 = 0,634 \text{ Std.}$
Hohlraumheizung mit Gipsdecke	$z_0 = 0,827 \text{ Std.}$

Während also die Deckenheizung mit einbetonierten Rohren über fünf Stunden zur Anheizung braucht, liegen die Anheizzeiten der übrigen Heizsysteme unter einer Stunde. Das heisst praktisch, dass Deckenheizungen mit einbetonierten Rohren bei Aussentemperaturen von 0° C nicht mehr abgestellt werden dürfen, da sonst die Stabilisierung der Temperaturverhältnisse zu lange dauern würde.

Demgegenüber weisen die Hohlraum- und die Radiatorenheizungen bei 0° C gut annehmbare Anheizzeiten auf, und es lässt sich eine unterbrochene Heizweise sehr wohl verantworten. Bei allen diesen Vergleichen muss aber immer wieder die Wärmeträgheit berücksichtigt werden. Räume mit grossen Fensterflächen und kleinem Speichervermögen müssen elastische Heizsysteme aufweisen; Räume mit grosser Eigen-trägheit können die trägeren Systeme erhalten.

Adresse des Verfassers: Dr. W. Ziemba, im Ingenieurbüro A. Eigenmann, Seestrasse 105, Zürich 2