

Wärmespeicherung, Halbwertzeit und gleichspeichernde Ziegeldicke

Von Dr. habil. Georg Hofbauer, Leiter der staatlichen Versuchsanstalt für Wärme- und Schalltechnik am Technologischen Gewerbemuseum, Wien

Der Begriff der Halbwertzeit der Speicherwärme ebener Wände und Rohrabdämmungen wird entwickelt und an Beispielen dargetan. Sodann wird der Wärmeschutz einer Wand durch die gleichdämmende Ziegeldicke und die gleichspeichernde Ziegeldicke umschrieben und an Beispielen erläutert.

I. Einleitung.

Die Gleichung für den Wärmeverlust durch ebene Wände und durch Rohrleitungen in der Fassung von Jakob (1)

$$q = \frac{\vartheta_i - \vartheta_a}{R}$$

$$R = \varphi \cdot \frac{d}{\lambda F} \dots \dots \dots (1)$$

- q = Wärmeverlust in kcal/h,
- ϑ_i = Temperatur der inneren Oberfläche,
- ϑ_a = Temperatur der äußeren Oberfläche,
- R = Wärmeleitwiderstand in $m^2 h \text{ } ^\circ C / kcal$,
- d = Wanddicke (Dämmdicke) in m,
- λ = Wärmeleitfähigkeit der Wand (Abdämmung) in $kcal / m h \text{ } ^\circ C$,
- F = mittlere Wandfläche (Dämmfläche) in m^2 ,
- φ = 1 für ebene Wände,
- $\varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{d_2 d_1 + 1}{d_2 d_1 - 1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}$ für Rohrabdämmungen

gilt nur für den Beharrungszustand des Wärmestromes; für veränderliche Wärmeströme, im besonderen für Anheiz- und Auskühlvorgänge zu Beginn und am Ende eines Heizvorganges verliert sie ihre Gültigkeit. Für diese letzteren haben Esser und Krischer (2) aus der allgemeinen Fourierschen Theorie ein praktisch brauchbares Näherungsverfahren entwickelt, das die beim Anheizen und Auskühlen auftretenden Verluste rasch und mit hinreichender Genauigkeit — mit einem größten Fehler von rd. 4 vH — zu berechnen gestattet.

II. Der Auskühlvorgang.

Bild 1 und 2 sind Ausschnitte aus einem Schreibstreifen, der gelegentlich der Durchmessung einer Rohrabdämmung aufgenommen

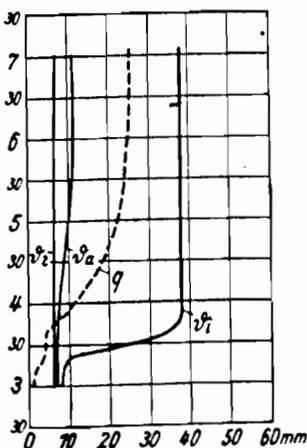


Bild 1. Anheizkurven.

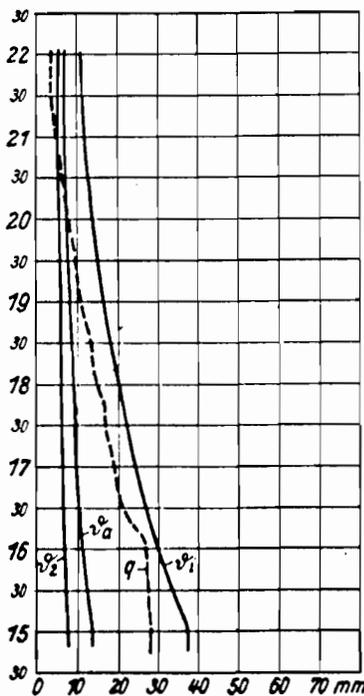


Bild 2. Auskühlkurven.

wurde. Er zeigt vier ausgeprägte Anheiz- und Auskühlkurven, und zwar

- q den Wärmeverlust der Abdämmung in $kcal / m^2 h$,
- ϑ_i die Temperatur des Rohres (Sattdampfes) in $^\circ C$,
- ϑ_a die Temperatur der Dämtoberfläche,
- ϑ_2 die Temperatur der Raumluft.

Die Auskühlkurven lassen sich nach Krischer darstellen durch die Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} q &= q_{st} \cdot e^{-\frac{q_{st}}{\psi \cdot W_{st}} \cdot (t - t_u)} \\ \vartheta &= \vartheta_{st} \cdot e^{-\frac{q_{st}}{\psi \cdot W_{st}} \cdot (t - t_u)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

Die Größen mit dem Zeiger st beziehen sich auf den Beharrungszustand des Wärmestromes und jene mit dem Zeiger fr auf den »freien« Wärmestrom nach erfolgter »Umlagerung« des Wärmestromes nach Ablauf der Umlagerungszeit t_u . q = Wärmefluß in $kcal / h$, ϑ = Temperatur in $^\circ C$, W = Wärmehalt der Wand in $kcal$, t = Zeit in h , t_u = Umlagerungszeit in h .

$$\psi = W_{fr} / W_{st}$$

ist jener Bruchteil des im Beharrungszustand vorhandenen Wärmehaltes, der nach erfolgter Umlagerung bei einsetzendem »freiem« Wärmestrom noch in der Wand gespeichert ist.

Für den Anheizvorgang gelten ähnlich beschaffene Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} q &= q_{st} \left[1 - e^{-\frac{q_{st}}{\psi \cdot W_{st}} \cdot (t - t_u)} \right] \\ \vartheta &= \vartheta_{st} \left[1 - e^{-\frac{q_{st}}{\psi \cdot W_{st}} \cdot (t - t_u)} \right] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

Die Auskühlung einer Wand läßt sich in zwei Teilvorgänge zergliedern:

1. Nach dem Abstellen der Heizung kühlen vom warmen »Kern« ausgehend die zunächst liegenden inneren Wandschichten aus. Nach einer gewissen Umlagerungszeit t_u ist der Auskühlvorgang bis an die äußere Wandoberfläche vorgedrungen. Diese Umlagerung vom Beharrungszustand in den abklingenden Vorgang ist mathematisch verhältnismäßig schwierig zu erfassen.

2. Nach Ablauf der Umlagerungszeit t_u klingen der Wärmehalt W und der Wärmestrom q sowie die Temperaturen ϑ der ganzen Wand in allen Schichten »frei« ab.

$$\left. \begin{aligned} W &= W_{fr} \cdot e^{-\frac{q_{fr}}{W_{fr}} \cdot (t - t_u)} \\ q &= q_{fr} \cdot e^{-\frac{q_{fr}}{W_{fr}} \cdot (t - t_u)} \\ \vartheta &= \vartheta_{fr} \cdot e^{-\frac{q_{fr}}{W_{fr}} \cdot (t - t_u)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

Ähnliche Überlegungen gelten auch für den einsetzenden Wärmestrom.

Der Einfachheit halber mögen im folgenden nur »freie« Anheiz- und Auskühlvorgänge — also nach vollzogener Umlagerung des Wärmestromes — betrachtet werden.

III. Die Halbwertzeit der Speicherwärme.

Exponentiell abklingende Naturvorgänge, wie der radioaktive Zerfall, elektrische Ausschaltvorgänge, die Auskühlung einer Wand lassen sich durch ihre Halbwertzeit anschaulich kennzeichnen. In Verfolg dieses Gedankens soll auch die Speicherefähigkeit einer Wand bzw. Rohrabdämmung durch die Halbwertzeit t_H der Wärmespeicherung ausgedrückt werden, d. i. die Zeit in h , während der der Wärmehalt der Wand (Rohrabdämmung) bei »freier« Auskühlung auf die Hälfte abnimmt.

Gl. (4) für zwei um die Halbwertzeit t_H auseinander liegende Zeiten t_1 und t_2 lautet:

$$W_1 = W_{fr} \cdot e^{-\frac{q_{fr}}{W_{fr}} \cdot (t_1 - t_0)}$$

$$W_2 = W_1/2 = W_{fr} \cdot e^{-\frac{q_{fr}}{W_{fr}} \cdot (t_2 - t_0)}$$

Division der beiden Gleichungen ergibt

$$\left. \begin{aligned} 2 &= e^{\frac{q_{fr}}{W_{fr}} \cdot (t_2 - t_1)} = e^{\frac{q_{fr}}{W_{fr}} \cdot t_H} \\ t_H &= \ln 2 \cdot W_{fr} / q_{fr} \\ t_H &= 0,693 \cdot W_{fr} / q_{fr} \text{ (h)} \end{aligned} \right\} \dots \dots (5)$$

Für einfache ebene Wände ist in Gl. (5) einzusetzen:

$$W_{fr} = c \gamma F d \cdot \frac{\theta_i + \theta_a}{2} \text{ [kcal]}$$

$$q_{fr} = \frac{F \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{1/\alpha_i + d/\lambda + 1/\alpha_a} \text{ [kcal/h]}$$

- c = spezifische Wärme des Wandstoffes in kcal/kg °C,
- γ = Raumgewicht des Wandstoffes in kg/m³
- F = Wandfläche in m²,
- d = Wanddicke in m,
- $\theta_i > \theta_a$ = Temperaturen der Wandoberflächen,
- $\theta_1 > \theta_2$ = Lufttemperaturen,
- α_i, α_a = innere und äußere Wärmeübergangszahlen in kcal/m² h °C.

$$\begin{aligned} \frac{W_{fr}}{q_{fr}} &= \frac{c \gamma d \cdot (\theta_i + \theta_a)}{2 \cdot (\theta_1 - \theta_2)} \cdot (1/\alpha_i + d/\lambda + 1/\alpha_a) = \\ &= \frac{c \gamma}{2 \lambda} \cdot d^2 \cdot (\lambda/d \cdot \alpha_i + 1 + \lambda/d \cdot \alpha_a) \cdot \frac{\theta_i + \theta_a}{\theta_1 - \theta_2} \text{ (h)}. \end{aligned}$$

Die Halbwertzeit t_H ergibt sich hieraus:

$$t_H = 0,347 \cdot \frac{d^2}{a} \cdot (1 + \lambda/d \cdot \alpha_i + \lambda/d \cdot \alpha_a) \cdot \frac{\theta_i + \theta_a}{\theta_1 - \theta_2} \text{ (h)} \quad (6)$$

Die Halbwertzeit einer Wand hängt also mit ihrer Dicke d quadratisch und mit ihrer Temperaturleitzahl $a = \lambda/c\gamma$ im verkehrten Verhältnis zusammen. Weitere Einflußgrößen sind die innere und äußere Wärmeübergangszahl α_i, α_a , und zwar vereinigt mit der Wärmedurchlaßzahl der Wand zum Kehrwert der dimensionslosen sog. Nusseltschen Kenngröße $\alpha d/\lambda$, und schließlich die Luft- und Oberflächentemperaturen $\theta_1 > \theta_i > \theta_a > \theta_2$. Alle diese Stoffwerte und wärmetechnischen Annahmen sind erforderlich, um den Anfangszustand und die Wärmespeicherung der Wand eindeutig zu umschreiben. An einem einfachen Beispiel möge der Rechengang veranschaulicht werden.

1. Beispiel: Eine 38 cm dicke Ziegelmauer mit 1,5 cm innerem und 1,5 cm äußerem Verputz (gesamte Dicke 41 cm) grenzt innen an einen Raum von 20° Lufttemperatur und außen an Luft von -15°. Die innere und äußere Wärmeübergangszahl beträgt 7 und 20 (kcal/m² h °C). Die Stoffwerte des Ziegels sind: $\lambda = 0,75$ (kcal/m h °C), $c = 0,22$ (kcal/kg °C), $\gamma = 1600$ (kg/m³). Hieraus folgt der Wert der Temperaturleitzahl des Ziegels $a = 0,00213$ (m² h). Die Oberflächentemperaturen der Wand stellen sich im Beharrungszustand des Wärmeflusses derart ein, daß die Temperatursprünge den Wärmewiderständen verhältnismäßig sind, also:

$$(\theta_1 - \theta_i) : (\theta_i - \theta_a) : (\theta_a - \theta_2) = 1/\alpha_i : d/\lambda : 1/\alpha_a$$

Zur Berechnung von θ_i setzt man in

$$(\theta_1 - \theta_i) : (\theta_1 - \theta_2) = 1/\alpha_i : (1/\alpha_i + d/\lambda + 1/\alpha_a)$$

die angenommenen Werte ein (der Verputz kann der Einfachheit halber dem Ziegel gleichwertig angenommen werden):

$$(20 - \theta_i) : 35 = 1/7 : (1/7 + 0,41/0,75 + 1/20)$$

Hieraus folgt für $\theta_i = 13,2^\circ$ und in ähnlicher Weise für $\theta_a = -12,6^\circ$.

Der Wärmestrom mündet immer im Gebiet tiefster Temperatur, im vorliegenden Fall in der Außenluft von -15°. Auf diese Temperatur als Bezugspunkt sind die

übrigen (höheren) Temperaturen zu beziehen; man wird also am zweckmäßigsten die Außenlufttemperatur mit 0° annehmen und die übrigen Temperaturangaben um 15° vermehren. Für den ganzen Auskühlvorgang sind die beiden Temperaturfelder gleichwertig:

θ_1	θ_i	θ_a	θ_2 (°C)
20	13,3	-12,6	-15
35	28,2	+2,4	0

Letztere Temperaturwerte und die Kehrwerte $\lambda/d \cdot \alpha$ der Nusseltschen Kenngröße im Betrage 0,261 bzw. 0,092 in Gl. (6) eingesetzt, ergeben die Halbwertzeit

$$\begin{aligned} t_H &= 0,347 \cdot \frac{0,41^2}{0,00213} \cdot (1 + 0,261 + 0,092) \cdot \frac{28,2 + 2,4}{35} = \\ &= 0,347 \cdot 78,9 \cdot 1,353 \cdot 0,874 = 32,4 \text{ (h)}. \end{aligned}$$

Der Wärmehalt der 41-cm-Ziegelmauer nimmt demnach bei freier Auskühlung in 1 1/3 Tagen auf die Hälfte ab. Der Zeitpunkt, von wann ab man die Auskühlung zu zählen beginnt, ist gleichgültig, sobald nur der Wärmestrom vollständig umgelagert ist, also die Mauer »frei« abkühlt.

Einfacher gestaltet sich Gl. (6) bei der Annahme großer Wärmeübergangszahlen α_i und α_a , wie dies bei Flüssigkeiten oder Sattendampf beiderseits der Wand zutrifft. Es wird dann $\theta_1 = \theta_i$ und $\theta_2 = \theta_a$ und

$$t_H = 0,347 \cdot \frac{d^2}{a} \cdot \frac{\theta_i + \theta_a}{\theta_i - \theta_a} \dots \dots \dots (7)$$

Es geht dann die gesamte in der Wand gespeicherte Wärme unmittelbar in die angrenzende kalte Flüssigkeit über, so daß die Temperatur der äußeren Wandoberfläche als Bezugstemperatur mit $\theta_a = 0^\circ$ C gesetzt werden kann. Für die Halbwertzeit t_H folgt dann der einfachste Ausdruck:

$$t_H = 0,347 \cdot \frac{d^2}{a} \text{ (h)} \dots \dots \dots (8)$$

Dieser Ausdruck, der keine Temperaturangaben, sondern nur die Dickenabmessung d der Wand und ihre Temperaturleitzahl a enthält, erscheint zur Kennzeichnung der Speichereigenschaft einfacher Wände besonders geeignet. Selbstverständlich muß man die vereinfachenden wärmetechnischen Annahmen, unter denen die Formel entwickelt wurde, nämlich große Wärmeübergangszahlen α_i, α_a und Temperatur der äußeren Wandfläche $\theta_a = 0^\circ$ C, hiebei im Auge behalten.

2. Beispiel. Die Halbwertzeit der im 1. Beispiel berechneten 38-cm-Ziegelmauer mit 2 x 1,5 cm Verputz soll unter den Annahmen $\alpha_i = \alpha_a = \infty$ und $\theta_a = 0^\circ$ C berechnet werden. Gl. (8) ergibt unmittelbar

$$t_H = 0,347 \cdot \frac{0,41^2}{0,00213} = 27,4 \text{ (h)}.$$

Für die gleiche Mauer wurde unter anderen wärmetechnischen Voraussetzungen — höheres Temperaturniveau der Mauer — eine Halbwertzeit von 32,4 h gefunden (vgl. 1. Beispiel).

Bei zusammengesetzten ebenen Wänden lauten die Ausdrücke für den Wärmehalt W_{fr} und den Wärmestrom q_{fr}

$$\begin{aligned} W_{fr} &= c_1 \gamma_1 d_1 F \cdot \frac{\theta_1 + \theta_2'}{2} + c_2 \gamma_2 d_2 F \cdot \frac{\theta_2' + \theta_3'}{2} + \dots + \\ &+ c_n \gamma_n d_n F \cdot \frac{\theta_n' + \theta_a}{2} \end{aligned}$$

$$q_{fr} = \frac{F \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{1/\alpha_i + \Sigma d/\lambda + 1/\alpha_a}$$

worin

$$\Sigma d/\lambda = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_n/\lambda_n$$

den Gesamtwiderstand der Wand darstellt, der sich aus den Teilwiderständen der einzelnen Wandschichten zusammensetzt, $\theta_2', \theta_3', \dots, \theta_n'$ = die Temperaturen zwischen erster und zweiter, zweiter und dritter Schicht usw. Die Größen c_1, γ_1, d_1 beziehen sich auf die erste Wandschicht usw.

Diese Werte in Gl. (5) eingesetzt ergeben die Halbwertzeit einer zusammengesetzten Wand:

$$\begin{aligned} t_H &= 0,347 \\ &\times \frac{c_1 \gamma_1 d_1 \cdot (\theta_1 + \theta_2') + c_2 \gamma_2 d_2 \cdot (\theta_2' + \theta_3') + \dots + c_n \gamma_n d_n \cdot (\theta_n' + \theta_a)}{\theta_1 - \theta_2} \\ &\times (1/\alpha_i + d/\lambda + 1/\alpha_a) \dots \dots \dots (9) \end{aligned}$$

1) Bruckmayer (3) bezeichnet den Ausdruck W_{fr}/q_{fr} als »Durchflußzeit«. Die Halbwertzeit t_H unterscheidet sich von jener lediglich durch den Beiwert $\ln 2 = 0,693$.

3. Beispiel: Es soll die Halbwertzeit t_H einer zusammengesetzten Wand aus 25 cm Ziegel mit innen aufgebracht 2-cm-Dämmschicht aus Korkstein berechnet werden. Die Stoffwerte des Korksteines sind: $\lambda = 0,045$ (kcal/m h °C), $c = 0,40$ (kcal/kg °C), $\gamma = 280$ (kg/m³). Die wärmetechnischen Annahmen sind die gleichen wie im 1. Beispiel. Der Rechengang ist ähnlich wie im 1. Beispiel. Man erhält für den Ausdruck $W'/q^2 = 20,4$ (h) und hieraus die Halbwertzeit $t_H = \ln 2 \cdot W'/q = 14,1$ h.

Auch hier ist es wie in Gl. (8) möglich, durch entsprechende Wahl der wärmetechnischen Annahmen ($\alpha_i = \alpha_a = \infty$, $\vartheta_a = 0^\circ$ C) eine Formel zu gewinnen, die keine Temperatur, sondern nur Stoffwerte der Wand nebst ihren Dickenabmessungen enthält. Gl. (9) lautet für diese Annahmen:

$$t_H = 0,347 \cdot [c_1 \gamma_1 d_1 \cdot (\vartheta_i + \vartheta_2')/\vartheta_i + c_2 \gamma_2 d_2 \cdot (\vartheta_2' + \vartheta_3')/\vartheta_i + \dots + c_n \gamma_n d_n \cdot \vartheta_n'/\vartheta_i] \cdot \Sigma d/\lambda \quad (10)$$

Die mittleren Temperaturen der einzelnen Wandschichten $\frac{\vartheta_i + \vartheta_2'}{2}$, $\frac{\vartheta_2' + \vartheta_3'}{2}$, ... $\frac{\vartheta_n'}{2}$ stellen sich im Verhältnis der Wärmeleitwiderstände der vor und nach diesen Schichtmitten liegenden Wandteile ein. Für die Temperaturunterschiede der einzelnen Schichten gelten die Beziehungen:

$$\frac{\vartheta_i - \vartheta_2'}{\vartheta_i} = \frac{d_1/\lambda_1}{\Sigma d/\lambda}$$

$$\frac{\vartheta_2' - \vartheta_3'}{\vartheta_i} = \frac{d_2/\lambda_2}{\Sigma d/\lambda}$$

$$\dots$$

$$\frac{\vartheta_n'}{\vartheta_i} = \frac{d_n/\lambda_n}{\Sigma d/\lambda}$$

Nach einfacher Umformung ergeben sich für die Summen (doppelten Mittelwerte) die folgenden Ausdrücke:

$$\vartheta_i + \vartheta_2' = \vartheta_i \cdot \left(2 - \frac{d_1/\lambda_1}{\Sigma d/\lambda}\right)$$

$$\vartheta_2' + \vartheta_3' = \vartheta_i \cdot \left(2 - \frac{2 d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2}{\Sigma d/\lambda}\right)$$

$$\vartheta_3' + \vartheta_4' = \vartheta_i \cdot \left(2 - \frac{2 d_1/\lambda_1 + 2 d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3}{\Sigma d/\lambda}\right)$$

$$\dots$$

$$\vartheta_{n-1}' + \vartheta_n' = \vartheta_i \cdot \frac{d_{n-1}/\lambda_{n-1} + 2 d_n/\lambda_n}{\Sigma d/\lambda}$$

$$\vartheta_n' = \vartheta_i \cdot \frac{d_n/\lambda_n}{\Sigma d/\lambda}$$

die in Gl. (10) eingesetzt zu folgender endgültiger Fassung der Halbwertzeit einer zusammengesetzten Wand führen:

$$t_H = 0,347 \cdot \left[c_1 \gamma_1 d_1 \cdot \left(2 - \frac{d_1/\lambda_1}{\Sigma d/\lambda}\right) + c_2 \gamma_2 d_2 \cdot \left(2 - \frac{2 d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2}{\Sigma d/\lambda}\right) + c_3 \gamma_3 d_3 \cdot \left(2 - \frac{2 d_1/\lambda_1 + 2 d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3}{\Sigma d/\lambda}\right) + \dots + c_{n-1} \gamma_{n-1} d_{n-1} \cdot \frac{d_{n-1}/\lambda_{n-1} + 2 d_n/\lambda_n}{\Sigma d/\lambda} + c_n \gamma_n d_n \cdot \frac{d_n/\lambda_n}{\Sigma d/\lambda} \right] \cdot \Sigma d/\lambda \quad (11)$$

Für eine zweischalige Wand geht diese Gleichung über in

$$t_H = 0,347 \cdot [c_1 \gamma_1 d_1 \cdot (d_1/\lambda_1 + 2 d_2/\lambda_2) + c_2 \gamma_2 d_2^2/\lambda_2] = 0,347 \cdot [\Sigma d^2/a + 2 c_1 \gamma_1 d_1 d_2/\lambda_2] \quad (12)$$

und für eine dreischalige Wand in

$$t_H = 0,347 \cdot [c_1 \gamma_1 d_1 \cdot (d_1/\lambda_1 + 2 d_2/\lambda_2 + 2 d_3/\lambda_3) + c_2 \gamma_2 d_2 \cdot (d_2/\lambda_2 + 2 d_3/\lambda_3) + c_3 \gamma_3 d_3^2/\lambda_3] = 0,347 \cdot [\Sigma d^2/a + 2 \cdot (c_1 \gamma_1 d_1 d_2/\lambda_2 + c_1 \gamma_1 d_1 d_3/\lambda_3 + c_2 \gamma_2 d_2 d_3/\lambda_3)] \quad (13)$$

In dieser Gleichung kommen ebenfalls nur die Stoffwerte und Dickenabmessungen der einzelnen Wandschichten, jedoch keine Temperaturangaben vor.

^{*)} Ausführlich durchgerechnet in einer Veröffentlichung Bruckmayers in dieser Zeitschrift, vgl. Schrifttum unter (3).

4. Beispiel: Für die im 3. Beispiel berechnete 25-cm-Ziegelmauer mit innerer 2-cm-Korkplattendämmschicht soll die Halbwertzeit t_H nach Gl. (11) berechnet werden.

$$t_H = 0,347 \cdot \left[0,40 \cdot 280 \cdot 0,02 \cdot \left(2 - \frac{0,02/0,045}{0,02/0,045 + 0,25/0,75}\right) + 0,22 \cdot 1600 \cdot 0,25 \cdot \frac{0,25/0,75}{0,02/0,45 + 0,25/0,75} \right] \cdot (0,02/0,045 + 0,25/0,75) = 0,347 \cdot 40,9 \cdot 0,777 = 11,0 \text{ (h)}$$

Auch hier liegt die Halbwertzeit aus dem bereits im 2. Beispiel genannten Grund niedriger als im 3. Beispiel.

Bei Hohlzylindern (Rohrabdämmungen) ist der Wärmeinhalt dW eines ringförmigen Elementes vom Halbmesser ϱ , der Dicke $d\varrho$, der Länge l und der Temperatur ϑ gegenüber der Außenlufttemperatur ϑ_2

$$dW = c \gamma \cdot 2 \varrho \pi \cdot d\varrho \cdot l \cdot (\vartheta - \vartheta_2) \quad (14)$$

Diesen Temperaturunterschied erhält man durch Summierung der beiden Ausdrücke für den Wärmeleitvorgang im Hohlzylinder selbst und den Wärmeübergang vom Hohlzylinder an die Außenluft:

$$\vartheta - \vartheta_a = - \frac{q \cdot \ln(\varrho/R)}{2 \pi l \lambda}$$

$$\vartheta_a - \vartheta_2 = \frac{q}{2 R \pi l \cdot \alpha_a}$$

$$\vartheta - \vartheta_2 = \frac{q}{2 \pi l \lambda} \cdot \left(\frac{\lambda}{R \alpha_a} - \ln \frac{\varrho}{R} \right)$$

Man setzt in Gl. (14) ein und erhält:

$$dW = \frac{q}{a} \cdot \varrho d\varrho \cdot \left(\frac{\lambda}{R \alpha_a} - \ln \frac{\varrho}{R} \right)$$

Dieser Ausdruck ergibt nach Integration zwischen den Grenzen R und r den Wärmeinhalt eines Hohlzylinders

$$W = \int_r^R dW = \frac{q}{a} \cdot \left[\frac{\varrho^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{R \alpha_a} - \ln \frac{\varrho}{R} \right) + \frac{\varrho^2}{4} \right]_r^R = \frac{q}{a} \cdot \left[\frac{R^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{R \alpha_a} + \frac{1}{2} \right) - \frac{r^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{R \alpha_a} - \ln \frac{r}{R} + \frac{1}{2} \right) \right]$$

Nach Division durch q und Multiplikation mit $\ln 2$ folgt gemäß Gl. (5) die Halbwertzeit der in einem Hohlzylinder gespeicherten Wärme

$$t_H = \frac{0,693}{a} \cdot \left[\frac{R^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{R \alpha_a} + \frac{1}{2} \right) - \frac{r^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{R \alpha_a} + \frac{1}{2} + \ln \frac{R}{r} \right) \right] \quad (15)$$

Wenn man wieder die vereinfachende Annahme einer großen Wärmeübergangszahl macht ($\alpha_a = \infty$), geht Gl. (15) über in

$$t_H = \frac{0,347}{a} \cdot \left(\frac{R^2 - r^2}{2} - r^2 \cdot \ln \frac{R}{r} \right) \quad (16)$$

Auch diese Gleichung enthält lediglich Stoffwerte und Halbmesser des Hohlzylinders.

5. Beispiel: Auf einem Rohr 57/50 sei eine Abdämmung aus Korkschalen von 5 cm Dicke aufgebracht, deren Wärmeleitzahl bei der in Betracht kommenden mittleren Temperatur der Abdämmung 0,035 (kcal/m h °C) betrage. Das Raumgewicht der Korkschalen sei $\gamma = 120$ (kg/m³), ihre spezifische Wärme $c = 0,42$ (kcal/kg °C), ihre Temperaturleitzahl $a = \lambda/c\gamma = 0,0000695$ (m²/h). $R = 0,107$, $r = 0,057$ m. Aus Gl. (16) gewinnt man die Halbwertzeit der Speicherwärme dieser Abdämmung:

$$t_H = \frac{0,347}{0,0000695} \cdot \left(\frac{0,0115 - 0,00325}{2} - 0,00325 \cdot \ln \frac{0,107}{0,057} \right) = \frac{0,347}{0,0000695} \cdot (0,00413 - 0,00205) = 10,4 \text{ (h)}$$

zu kennzeichnen. Es ist dies die Dicke (cm) einer Vollziegelmauer, die der fraglichen Wand hinsichtlich ihrer Wärmespeicherung gleichwertig ist. Diese vortreffliche Einführung ermöglicht es nun, den Wärmeschutz einer Wand durch die zwei anschaulichen Angaben vollständig zu umschreiben:

- a) die gleichdämmende³⁾ Ziegeldicke d_z , d. i. die Dicke einer Ziegelmauer von gleicher Wärmedämmung wie die fragliche Wand,
- b) die gleichspeichernde Ziegeldicke s_z , d. i. die Dicke einer Ziegelmauer von gleicher Wärmespeicherung wie die fragliche Wand.

Die Beziehung zwischen gleichspeichernder Ziegeldicke s_z und Halbwertzeit t_H ist aus Gl. (8) sofort abzulesen, wenn man für die fragliche Wand und die Ziegelmauer die zutreffenden wärmetechnischen Annahmen (große Wärmeübergangszahlen α_i, α_a und $\vartheta_1 = \vartheta_i, \vartheta_a = \vartheta_2$) macht und die Temperaturleitzahl des Ziegels $a_z = 0,00213$ (m²/h) einsetzt:

$$t_H = 0,347 \cdot \frac{s_z^2}{a_z} = 163 \cdot s_z^2 \dots \dots \dots (17)$$

$$s_z = 0,0784 \cdot \sqrt{t_H} \text{ (m)} = 7,84 \cdot \sqrt{t_H} \text{ (cm)} \dots \dots (18)$$

6. Beispiel: Die gleichspeichernde Ziegeldicke einer Wand mit der Halbwertzeit 27,4 h beträgt laut Gl. (15)

$$s_z = 7,84 \cdot \sqrt{27,4} = 41 \text{ cm.}$$

Es ist dies die 1½ Stein dicke, beiderseits verputzte Ziegelmauer von 41 cm Gesamtdicke, deren Halbwertzeit im 2. Beispiel zu 27,4 h bestimmt wurde.

Gl. (8) auf die fragliche Wand und die Vergleichsziegelmauer angewandt lautet:

$$t_H = 0,347 \cdot \frac{d^2}{a} = 0,347 \cdot \frac{s_z^2}{0,00213}$$

Hieraus folgt eine weitere Gleichung der gleichspeichernden Ziegeldicke einer einfachen Wand

$$s_z = 0,0462 \cdot \frac{d}{\sqrt{a}} \text{ (m)} = 4,62 \cdot \frac{d}{\sqrt{a}} \text{ (cm)} \dots \dots (19)$$

selbstverständlich unter der gleichen Voraussetzung wie bei Gl. (8) und (10) ($\alpha_i = \alpha_a = \infty$). Die Gleichung zeigt die gleichspeichernde Ziegeldicke s_z einer Wand ihrer Dicke d unmittelbar und der Quadratwurzel aus ihrer Temperaturleitzahl a verkehrt proportional.

³⁾ Die ältere Kurzbezeichnung „gleichwertige Ziegeldicke“ genügt nach Einführung einer gleichspeichernden Ziegeldicke nicht mehr. Es wird sich empfehlen, die „gleichwertige“ in „gleichdämmende“ Ziegeldicke umzubenennen.

7. Beispiel: Die gleichspeichernde Ziegeldicke einer 7,5 cm dicken Holzwand zu berechnen.

Die Stoffwerte sind: $\lambda = 0,15$ (kcal/m h °C), $c = 0,65$ (kcal/kg °C), $\gamma = 550$ kg/m³, $a = 0,00042$.

$$s_z = 4,62 \cdot \frac{0,075}{0,0205} = 17 \text{ cm.}$$

Auch bei zusammengesetzten Wänden, deren Halbwertzeit nach Gl. (11) bestimmt wurde, wird die gleichspeichernde Ziegeldicke aus Gl. (18) berechnet.

8. Beispiel: Eine 25 cm dicke Ziegelmauer mit innerer 2-cm-Dämmschicht aus Korkplatten hat laut 4. Beispiel die Halbwertzeit $t_H = 11,0$ h. Ihre gleichwertige Ziegeldicke bestimmt sich gemäß Gl. (18) zu

$$s_z = 7,84 \cdot \sqrt{11,0} = 26 \text{ cm.}$$

Gl. (11) in Verbindung mit Gl. (18) ergibt die gleichspeichernde Ziegeldicke einer mehrschichtigen Wand ausgedrückt durch ihre Dickenabmessungen $d_1, d_2 \dots$ und Stoffwerte $c_1, \gamma_1, d_1, c_2, \gamma_2, d_2 \dots$:

$$s_z = 0,0462 \sqrt{\left\{ \left[c_1 \gamma_1 d_1 \cdot \left(2 - \frac{d_1/\lambda_1}{\Sigma d/\lambda} \right) + c_2 \gamma_2 d_2 \cdot \left(2 - \frac{2 d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2}{\Sigma d/\lambda} \right) + c_3 \gamma_3 d_3 \cdot \left(2 - \frac{2 d_1/\lambda_1 + 2 d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3}{\Sigma d/\lambda} \right) + \dots + c_{n-1} \gamma_{n-1} d_{n-1} \cdot \left(2 - \frac{2 d_1/\lambda_1 + 2 d_2/\lambda_2 + \dots + d_{n-1}/\lambda_{n-1}}{\Sigma d/\lambda} \right) + c_n \gamma_n d_n \cdot \frac{d_n/\lambda_n}{\Sigma d/\lambda} \right] \Sigma d/\lambda \right\}} \text{ (m)} \quad (20)$$

Die Halbwertzeiten t_H und gleichspeichernden Ziegeldicken s_z der mehrschichtigen Wände in Zahlentafel 1 wurden nach Gl. (11) und (18) bzw. (20) berechnet.

Als Mindestwert der Wärmespeicherung schlägt Bruckmayer (3) 17 cm und Reiher (4) 20 cm Vollziegeldicke vor. Diesen Angaben entspricht laut Gl. (17) eine Halbwertzeit von 4,7 bzw. 6,5 h. Mit einer Halbwertzeit von 5 h wird man also Verhältnisse schaffen, die den Vorschlägen der beiden vorgenannten Verfasser nahekommen.

In Zahlentafel 1 sind von mehreren Wandarten die Halbwertzeiten sowie die gleichdämmenden und gleichspeichernden Ziegeldicken mitgeteilt, die an Hand der obengenannten Formeln bestimmt wurden. Es sind dies die gleichen Wandkonstruktionen, die sich auch in Zahlentafel 4 der Arbeit Bruckmayers finden. Die wärmetechnischen Annahmen ($\alpha_i = \alpha_a = \infty$) weichen jedoch von den Annahmen Bruckmayers ab, so daß die mitgeteilten Halbwertzeiten und gleichspeichernden Ziegeldicken nicht ohne

Zahlentafel 1. Wärmespeicherung von Wänden (ohne Verputz).

a	b	c		d	e	f
		Gleichdämmende Ziegeldicke	Gleichspeichernde Ziegeldicke			
Nr.	Wandbauart			Halbwertzeit (h)	Speicherung	
1	51 cm Vollziegel	51	51	42,4	Speicherung ausreichend	
2	37 cm Vollziegel-Novadommauer	68	50	40,9		
3a	41 cm Vollziegel	41	41	27,4		
3	38 cm Vollziegel	38	38	23,5		
4	34 cm Vollziegel-Novadommauer mit Luftschicht	55	43	30,5		
5	25 cm Dreiloch-Hohlziegelmauer	52	31	16,0		
6	25 cm Zweiloch-Hohlziegelmauer	38	25	10,1		
7	25 cm Ziegel + 2,5 cm Luft + 2,5 cm Leichtbauplatten innen	59	27	12,1		
8	25 cm Vollziegel + 25 cm Kork innen	58	26	11,0		
9	25 cm Vollziegel	25	25	10,2		
10	20 cm Vollziegel	20	20	6,5		
11	10 cm Luft außen + 10 cm Leichtbauplatten innen	73	21	7,2		
12	17 cm Vollziegel	17	17	4,7	Grenze bei $t_H = 5$ h, $s_z = 17,5$ cm	
13	5 cm Leichtbauplatten + 10 cm Luft + 5 cm Leichtbauplatten	73	19	5,9		
14	7,5 cm Holzwand	38	17	4,7	Speicherung ungenügend	
15	15 cm Vollziegel	15	15	3,7		
16	10 cm Leichtbauplatten außen + 10 cm Luft innen	73	17	4,6		
17	5 cm Leichtbauplatten außen + 10 cm Luft + 2 cm Holzschalung innen	54	16	4,4		
18	12 cm Vollziegel	12	12	2,3		
19	5,5 cm Leichtbauplatten	38	9	1,4		

weiteres mit den Bruckmayerschen »Durchflußzeiten« verglichen werden können. Die Reihung bleibt jedoch nahezu unverändert. Dort, wo Umstellungen (z. B. bei der Nr. 6, 7 und 11, 12) sich ergeben, sind sie unerheblich und ändern das Gesamtbild praktisch überhaupt nicht. Auch die Grenze, bei der die Wärmespeicherung ungenügend zu werden beginnt, ist die gleiche (Nr. 12). Sie liegt bei einer Halbwertszeit von 5 h. Dieser entspricht eine gleichspeichernde Ziegeldicke von 17,5 cm.

In diesem Zusammenhang dürften weitere Ergebnisse von Belang sein, die vom Verfasser gelegentlich der Durchmessung einer größeren Zahl von Wänden und Decken eines Versuchshauses gewonnen wurden. Das Versuchshaus selbst, ein Holzbau mit 10 verschiedenen Außenwand-, 11 Innenwandkonstruktionen und mit 5 unteren und 7 oberen Deckenkonstruktionen, und außerdem die Mittel zur Durchführung der Versuche waren vom Berliner Fachausschuß für Holzfragen in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt worden. Die Wärmeverluste der einzelnen Bauteile wurden mit großen Wärmeflußmessern eigener Bauart (5) unmittelbar gemessen und die Luft- und Wandtemperaturen

mit Mehrfachthermoelementen bestimmt. Mit den Wandtemperaturen und den bekannten Stoffwerten der Wandschichten konnten die Speicherwärmern der Wände bzw. Decken berechnet und zusammen mit den gemessenen Wärmeverlusten die Halbwertszeiten sowie die gleichdämmenden Ziegeldicken der untersuchten Wand- und Deckenbauweisen ermittelt werden. Auch diesen Rechnungen liegen die vereinfachenden Annahmen ($\alpha_a = \infty$ und $\theta_a = 0^\circ\text{C}$) zugrunde. Die Ergebnisse lassen sich daher mit denen der Zahlentafel 1 unmittelbar vergleichen.

Sämtliche in Zahlentafel 2 zusammengefaßten Bauweisen sind durch sehr hohe Wärmedämmung ausgezeichnet; die gleichdämmenden Ziegeldicken liegen in allen Fällen weit über der Mindestgrenze von 38 cm. Auch die gleichspeichernden Ziegeldicken liegen durchwegs beträchtlich über der zuvor festgesetzten Mindestgrenze von 17,5 cm. Wände und Decken des untersuchten Holzhauses vereinen somit sehr hohe Wärmedämmung mit vollauf genügender Wärmespeicherung.

Die Zahlentafeln 1 und 2 geben hinsichtlich der wärmetechnisch einwandfreien Bauweisen von mehrschichtigen

Zahlentafel 2. Wärmespeicherung der Wände und Decken eines Holzhauses.

$\Delta\theta$ = Temperaturunterschied zwischen den Begrenzungsflächen der einzelnen Wandschichten bzw. der ganzen Wand in $^\circ\text{C}$,
 θ_m = mittlere Temperaturen der einzelnen Wandschichten in $^\circ\text{C}$,
 $c \cdot \gamma$ = spez. Wärme in $\text{kcal/m}^3 \cdot \text{h}$,

d = Schichtdicke bzw. Wanddicke in m,
 W = Speicherwärme in kcal/m^2 ,
 q = Wärmeverlust der Wand in $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h}$,
 t_H = Halbwertszeit in h,
 d_z = gleichdämmende Ziegeldicke der Wand in cm,
 s_z = gleichspeichernde Ziegeldicke der Wand in cm.

a	b	c	d	e	f	g	h	i
Nr.	Wandbauart	$\Delta\theta$	θ_m	$c \cdot \gamma$	d	W	$\frac{q}{d_z}$	$\frac{t_H}{s_z}$
1	A) Außenwände.							
	Innenschalung gehobelt	1,3	11,9	350	0,016	67	12,0 83	12,5 28
	Schlacke (Riegelhölzer)	7,8	7,3	155	0,100	113		
	Pappe. Außenschalung gehobelt	3,4	1,7	350	0,032	18		
		12,5			0,148	198		
2	Putz auf Staußgewebe	0,7	14,5	420	0,022	134	11,8 97	16,3 32
	Luftschicht (Staffelgerippe)	2,5	13,0	—	0,025	—		
	Innere Riegelwandschalung	1,9	10,8	350	0,018	68		
	Luftschicht (Riegelhölzer)	2,7	8,5	—	0,064	—		
	Äußere Riegelwandschalung	1,9	6,2	350	0,018	39		
	Pappe. Außenschalung gehobelt	5,2	2,6	350	0,042	36		
		14,9			0,189	277		
3	Sperrholz	0,5	19,2	410	0,0045	35	12,4 118	18,0 33
	Luftschicht (Staffelgerippe)	2,5	17,8	—	0,018	—		
	Innere Riegelwandschalung	1,9	15,6	350	0,018	98		
	Schlacke (Riegelhölzer)	9,5	9,9	155	0,100	154		
	Pappe. Außenschalung gehobelt	5,1	2,6	350	0,042	36		
		19,5			0,183	323		
4	Putz auf Staußgewebe	0,6	14,4	420	0,022	133	10,5 104	25,1 39
	Innere Riegelwandschalung	1,6	13,3	350	0,018	84		
	Schlacke (Riegelhölzer)	8,1	8,5	155	0,100	132		
	Pappe. Außenschalung gehobelt	4,4	2,2	350	0,042	32		
		14,7			0,182	381		
5	Täfelung verstemmt	1,7	9,2	350	0,025	80,5	8,4 90	16,6 32,
	Luftschicht (Staffelgerippe)	1,7	8,5	—	0,025	—		
	Pappe. Blockwand moosgedichtet	6,4	3,4	350	0,102	119		
	Spaltschindel (übergreifend)	0,2	0,1	350	0,012	0,5		
		10,0			0,164	200		
6	Putz auf Staußgewebe	0,8	16,8	420	0,022	155	14,4 89	21,5 36
	Innere Riegelwandschalung	2,2	15,3	350	0,018	96		
	Staffelgerippe bzw. Luftschicht	3,1	12,7	—	0,040	—		
	Blockwand	11,1	5,6	350	0,100	196		
		17,2			0,180	447		
7	Innenputz	0,2	12,6	430	0,010	54	9,2 104	13,0 28
	Neusiedlerplatten (Schilf)	6,5	9,2	175	0,050	81		
	Luftschicht (Riegelhölzer)	1,9	5,1	—	0,082	—		
	Äußere Riegelwandschalung, Pappe, Außenschalung	4,1	2,1	350	0,050	37		
			12,7			0,192		

Zahlentafel 2 (Forts.).

a	b	c	d	e	f	g	h	i
Nr.	Wandbauart	ρ	ρ_m	$c \cdot \gamma$	d	W	q d_z	t_m s_z
8	Innenputz	0,2	14,2	430	0,010	61	11,7 93	13,9 29
	Heraklithplatten	4,4	11,9	230	0,025	68		
	Innere Riegelwandschalung	1,7	8,9	350	0,018	56		
	Luftschicht (Riegelhölzer)	2,4	6,8	—	0,100	—		
	Außere Riegelwandschalung, Pappe, Außenschalung	5,6	2,8	350	0,050	49		
		14,3			0,203	234		
9	B) Untere Decken.						10,64 102	20,3 35
	Schiffboden	2,2	13,2	350	0,025	115		
	Blindboden	1,6	11,4	350	0,018	72		
	Schlacke	4,6	8,3	155	0,056	72		
	Sturzschalung	2,1	5,0	350	0,024	42		
	Luftschicht (Trambalken 12/20)	2,1	2,9	—	0,200	—		
	Stukkatorschalung	1,1	1,3	350	0,012	6		
Außenputz auf doppelter Rohrung	0,7	0,4	438	0,025	4			
		14,4			0,360	311		
10	Brettelboden (Eiche); Blindboden	2,4	12,6	420	0,040	212	6,84 151	43,2 52
	Schlacke	7,7	7,6	155	0,155	183		
	Sturzschalung	1,3	3,1	350	0,024	26		
	Luftschicht (Trambalken 12/20)	1,3	1,8	—	0,101	—		
	Stukkatorschalung	0,7	0,7	350	0,012	3		
	Außenputz auf doppelter Rohrung	0,4	0,2	438	0,025	2		
		13,8			0,357	426		
11	Riemenboden (Lärche)	2,1	11,8	480	0,026	147	7,84 120	25,5 40
	Schlacke	5,1	8,2	155	0,074	94		
	Sturzschalung	2,0	4,6	350	0,024	39		
	Luftschicht (Trambalken 12/20)	2,0	2,6	—	0,200	—		
	Stukkatorschalung	1,0	1,1	350	0,012	5		
	Außenputz auf doppelter Rohrung	0,6	0,3	438	0,025	3		
		12,8			0,361	288		
12	Schiffboden	1,6	6,1	350	0,026	56	7,5 69	7,7 22
	Heraklithplatten	2,8	3,9	230	0,025	22		
	Luftschicht (Trambalken 12/20)	1,5	1,8	—	0,273	—		
	Stukkatorschalung	0,7	0,7	350	0,012	3		
	Außenputz auf doppelter Rohrung	0,3	0,2	438	0,025	2		
		6,9			0,361	83		
13	C) Obere Decken.						10,4 113	18,5 34
	Deckenschalung gefalzt	1,4	14,9	350	0,016	84		
	Luftschicht (Trambalken 12/18)	2,1	13,2	—	0,100	—		
	Sturzschalung	2,1	11,1	350	0,024	93		
	Schlacke	9,6	5,2	155	0,120	97		
	Beton	0,4	0,2	440	0,040	4		
		15,6			0,300	277		
14	Innenputz auf doppelter Rohrung	0,8	14,7	420	0,022	136	13,7 83	15,9 31
	Stukkatorschalung	1,4	13,6	350	0,012	57		
	Luftschicht (Trambalken 12/18)	2,7	11,6	—	0,051	—		
	Sturzschalung	2,7	8,9	350	0,024	75		
	Schlacke	5,9	4,6	155	0,056	41		
	Pappe, Beton	1,6	0,8	440	0,042	4		
		15,1			0,207	313		
15	Innenputz auf Staußgewebe	0,9	14,0	420	0,022	129	12,7 86	14,7 30
	Stukkatorschalung	1,6	12,8	350	0,012	54		
	Luftschicht (Trambalken 12/18)	3,2	10,4	—	0,180	—		
	Sturzschalung	3,2	7,2	350	0,024	61		
	Schlacke	5,0	3,1	155	0,040	19		
	Beton	0,6	0,3	440	0,040	5		
		14,5			0,318	268		
16	Innenputz	0,2	14,4	430	0,010	62	11,9 87	12,2 27
	Heraklith- bzw. Siliglitplatten	4,6	12,0	230	0,025	69		
	Luftschicht (Trambalken 12/18)	2,4	8,5	—	0,180	—		
	Sturzschalung	2,4	6,1	350	0,024	51		
	Schlacke	3,7	3,1	155	0,040	19		
	Hohlziegelpflaster	1,2	0,6	340	0,040	8		
		14,5			0,319	209		

Wänden — besonders von Leichtwänden — einige bemerkenswerte Fingerzeige. Der Wärmeverlust durch die Wand ist sowohl aus wirtschaftlichen Gründen als wegen der bes-

seren Wärmespeicherung möglichst gering zu halten. Dies bedeutet also einen kleinen Nenner in Gl. (5) der Halbwertzeit. Es möge nun die Wand keine allzu große Wärme-

speicherung besitzen. Dieser Fall wird dann gegeben sein, wenn die Wand eine kurze Anheizzeit aufweisen soll und die damit verknüpfte kurze Auskühlzeit unbedenklich ist. Die dann erforderliche geringe Wärmespeicherung erreicht man durch vorzugsweise Verwendung leichter Baustoffe wie Leichtbauplatten und Luftschichten, die man vor allem innenseitig im Gebiet der höheren Wandtemperaturen anbringen wird. Die Innenschichten z. B. der Wand Nr. 3 in Zahlentafel 2 — Sperrholz und Luft — haben eine sehr geringe Wärmespeicherung von nur 35 kcal/m^2 . Im Gegensatz hierzu wird man die schweren Wandschichten innenseitig im Gebiet der höheren Wandtemperaturen und die leichten Schichten wie Leichtbauplatten, Luft usw. außenseitig im Gebiet der niedrigen Wandtemperaturen anordnen, wenn die Wand eine hohe Wärmespeicherung besitzen soll (z. B. die Decke Nr. 10 in Zahlentafel 2).

Abschließend möge zu der Frage, welche der beiden Größen: Halbwertzeit oder gleichspeichernde Ziegeldicke nunmehr bevorzugt werden soll, kurz Stellung genommen werden. Beide haben den Vorzug großer Anschaulichkeit. Die gleichspeichernde Ziegeldicke dürfte sich neben der Halbwertzeit vornehmlich zur Kennzeichnung der Wärmespeicherung von Wänden eignen. Zur Kennzeichnung der Speicherung von Rohrabdämmungen ist sie hingegen nicht geeignet. Für letztere wird lediglich die Halbwertzeit anwendbar sein. Demnach dürften als hauptsächliche Anwendungsgebiete in Betracht kommen: das Bauwesen (ebene Wände) für die gleichspeichernde Ziegeldicke und das Maschinenwesen (Rohrabdämmungen) für die Halbwertzeit der Speicherwärme.

V. Zusammenfassung.

Anknüpfend an die Krischerschen Gleichungen der Auskühlung von Wänden werden Formeln für die Halbwertzeit der Speicherwärme ebener Wände und Rohrabdämmungen entwickelt. Es wird gezeigt, daß diese Formeln besonders einfach werden, wenn man große Wärmeübergangszahlen und als Temperatur der kalten Oberfläche der Wand 0° annimmt. Die Gleichungen enthalten dann neben den Dickenabmessungen der Wand bzw. der Wandschichten nur noch Stoffwerte der Wandbaustoffe (Rohrabdämmung) und sind deshalb zur Kennzeichnung der Wärmespeicherung der fraglichen Wand (Rohrabdämmung) besonders geeignet. Auch für die von Bruckmayer eingeführte gleichspeichernde Ziegeldicke werden unter den obengenannten vereinfachenden Annahmen Formeln entwickelt und der Zusammenhang zwischen gleichspeichernder Ziegeldicke und Halbwertzeit dargetan. Der Gebrauch der Formeln wird an mehreren Beispielen aufgezeigt. In 2 Zahlentafeln werden die Halbwertzeiten sowie die gleichdämmenden und gleichspeichernden Ziegeldicken zahlreicher Wandbauweisen mitgeteilt und einige Folgerungen für die Bauweise wärmespeichernder Mehrfachwände (besonders Leichtwände) gezogen.

Für die Kennzeichnung der Wärmespeicherung von Wänden eignet sich neben der Halbwertzeit die ebenfalls sehr anschauliche gleichspeichernde Ziegeldicke. Die Wärmespeicherung von Rohrabdämmungen wird durch ihre Halbwertzeit gekennzeichnet.

VI. Schrifttum.

- (1) Jakob, M. Zur Definition der Wärmewiderstände. Z. ges. Kälteind. (1927) S. 141/145.
- (2) Esser, W. u. Krischer, O. Die Berechnung der Anheizung und Auskühlung ebener und zylindrischer Wände. Berlin 1930.
- (3) Bruckmayer, F. Die »gleichspeichernde« Ziegeldicke. Gesundh.-Ing. 63 (1940) H. 6 S. 61/65.
- (4) Reiler, H. Entwurf für Forderungen im Wohnungsbau hinsichtlich Schallsicherheit und Wärmeschutz. Gesundh.-Ing. 51 (1928) H. 46 S. 737/738.
- (5) Hoffbauer, G. Ein hochempfindlicher selbstschreibender Wärmeflußmesser. Arch. Wärmewirtsch. 10 (1929) S. 398/402.