Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109/110 (1937)
Heft: 15

Artikel: Methode zur Bestimmung der wirtschaftlichsten Stärke von Wärme- bezw. Kälteisolierungen
Autor: Kanziger, Hans
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-49131

Band 110 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 15

Methode zur Bestimmung der wirtschaftlichsten Stärke von Wärme- bezw. Kälteisolierungen

Von Dipl. Ing. HANS KANZIGER, Bern

Die Stärke einer thermischen Isolierung ist dann am wirtschaftlichsten bemessen, wenn die Summe aus dem in Geld umgerechneten jährlichen Wärmeverlust und den jährlichen Amortisationskosten des Isolierungspreises einen Kleinstwert ergibt. Andere Bedingungen, wie sie z. B. die Festsetzung einer zulässigen Höchst- oder Mindesttemperatur der an die Umgebung der Isolierung grenzenden Isolierungsoberfläche oder die Einhaltung eines bestimmten Temperaturabfalles des Wärme- bezw. Kälteträgers darstellen, spielen bei den nachfolgenden grundsätzlichen Betrachtungen keine Rolle.

A. Rohr-Isolierungen

Nach bekannter gebräuchlicher Methode zur Bestimmung der wirtschaftlichsten Stärke einer Rohrisolierung wird für einen gegebenen Betriebsfall der auf 1 Laufmeter (lfm) Rohrlänge bezogene jährliche Wärmeverlust für verschiedene Isolierstärken ausgerechnet, mit dem Wärmepreis multipliziert und der jährliche Kapitalaufwand k_1 dieses Verlustes in einem Koordinaten-System eingetragen (Abb. 1). Aus der durch die Tilgungszeit bezw. die Lebensdauer der Isolierung (in Jahren) und dem üblichen Zinsfuss bestimmten Amortisationsquote ergibt sich der Amortisationsbetrag k_2 für die auf einen Meter Rohrlänge bezogenen Kosten der Isolierung, welcher Betrag gleichfalls in Abhängigkeit von der Isolierstärke aufgezeichnet wird. Der gesamte jährliche Kapitalaufwand k ergibt sich durch Addieren der beiden Teilbeträge; bei einer bestimmten Isolierstärke, eben der wirtschaftlichsten, ist er minimal.

Dem Beispiel nach Abb. 1 sind die folgenden Verhältnisse zu Grunde gelegt: äusserer Rohrdurchmesser = 140 mm, $\lambda_{\text{Isolierung}} = 0{,}07$ kcal/m, h, °C, Innentemperatur $t_i = 100\,°$C, Aussen-Temperatur $t_a = 20\,°$C, Wärmepreis $W = 5{,}00$ Fr. für eine Million kcal, Amortisationsquote $= 20\,\% = 0{,}20$, jährliche Betriebsstundenzahl der Leitung = 8000. Ausserdem ist der auf die äussere Isolierungsoberfläche sich beziehende m²-Preis der Isolierung für verschiedene Isolierstärken bekannt. Aus diesen Daten ergibt sich folgende Tabelle:

Tabelle 1.

Isolierstärke	50	60	70	80	mm
Stündl. Wärmeverlust 1)	56,0	49,9	45,4	41,9	kcal/lfm. h
Jährl. Wärmeverlust	448 000	399 000	363 000	336 000	kcal/lfm. Jahr
Kapitalaufwand k_1	2,24	2,00	1,82	1,68	Fr./lfm. Jahr
m²-Preis der Isolierung	5,90	6,50	7,00	7,40	Fr./m²
Kosten der Isolierung pro lfm.	4,45	5,30	6,15	7,00	Fr./lfm.
Amortisationsbetrag k_2	0,89	1,06	1,23	1,40	Fr./lfm. Jahr
Gesamter Kapitalaufwand k	3,13	3,06	3,05	3,08	Fr./lfm. Jahr

Die wirtschaftlichste Isolierstärke beträgt nach Abb. 1 rund 67 mm. Praktisch wird man sich mit 60 mm begnügen, da für diese Isolierstärke der jährliche Kapitalaufwand k nur unwesentlich grösser als bei 67 mm, der momentane Geldbedarf für die Bestreitung der Isolierungskosten jedoch erheblich kleiner ist.

Diese graphische Methode kann durch die folgende Methode ersetzt werden, die eine Bedingungsgleichung zum Ausgangspunkt hat, welche die, die wirtschaftlichste Stärke bestimmenden Grössen in expliziter Form enthält, unter welchen Grössen auch

1) Entnommen aus dem Tabellenwerk: «Wärme- und Kälteverluste isolierter Rohrleitungen und Wände», herausgegeben von Grünzweig & Hartmann, G. m. b. H., Ludwigshafen a. Rh., Verlag Julius Springer, Berlin, 1928.

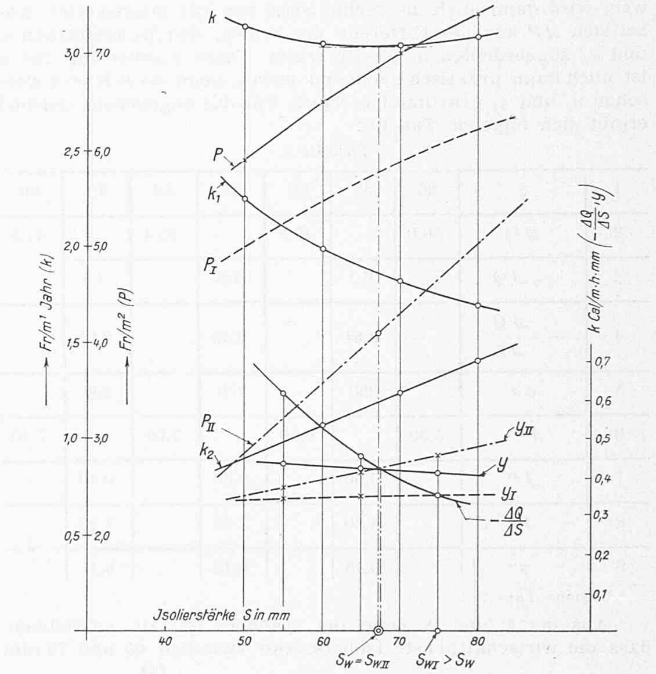

Abb. 1

der in der Isolierbranche stets gebrauchte m²-Preis der Isolierung und dessen auf eine Einheit (10 mm) bezogene Steigerung sich befinden. Es bezeichne: Q = Wärmeverlust in kcal pro lfm und Stunde, z = jährliche Betriebstundenzahl und W = Wärmepreis in Fr. für eine Million kcal. Der Kapitalwert des jährlichen Wärmeverlustes beträgt dann:

$$k_1 = \frac{Q\,z\,W}{10^6} \qquad (1)$$

Es bedeute ferner: s = Isolierstärke in mm, P = den auf einen m² äusserer Isolierungsoberfläche bezogenen m²-Preis der Isolierung, ΔP = Preissteigerung pro m² und 10 mm Isolierstärke, d_i = äusserer Rohrdurchmesser = innerer $\varnothing$ der Isolierung in mm, d_a = äusserer $\varnothing$ der Isolierung in mm, q = Amortisations-Quote, k_2 = jährlicher Kapitalaufwand für die Amortisation der Isolierungskosten, k = jährlicher Gesamtaufwand $= k_1 + k_2$.

Da die äussere Isolierungsoberfläche pro m Rohrlänge $\pi \frac{d_i + 2s}{1000}$ m² beträgt, ist:

$$k_2 = \pi \frac{d_i + 2s}{1000} P q \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad (2)$$

Für die wirtschaftlichste Isolierstärke s_w ist

$$\frac{dk}{ds} = \frac{dk_1}{ds} + \frac{dk_2}{ds} = 0; \qquad -\frac{dk_1}{ds} = \frac{dk_2}{ds}$$

d. h.

$$-\frac{dQ}{ds} = \frac{10^6}{zW}\frac{dk_2}{ds} = \frac{1000\,\pi q}{zW}\frac{d}{ds}\left\{(d_i + 2s)P\right\}. \qquad (3)$$

Es ist:

$$\frac{d}{ds}\left\{(d_i + 2s)P\right\} = 2P + (d_i + 2s)\frac{dP}{ds} = 2P + d_a\frac{\Delta P}{10}$$

Setzen wir den von s abhängigen Ausdruck

$$\frac{1000\,\pi q}{zW}\left[2P + d_a\frac{\Delta P}{10}\right] = y\,, \quad . \; . \; . \; . \qquad (4)$$

so lautet die Bedingungsgleichung (3):

$$-\frac{dQ}{ds} \backsim -\frac{\Delta Q}{\Delta s} = y \quad . \; . \; . \; . \; . \qquad (5)$$

s_w ist somit die Abszisse des Schnittpunktes der Kurve $-\frac{dQ}{ds}(s)$ bezw. $\frac{\Delta Q}{\Delta s}(s)$ mit der Kurve $y(s)$.

Die Auswertung von (5) erfolgt derart, dass für verschiedene Isolierstärken sowohl die linke als auch die rechte Seite von (5) ausgerechnet werden. $-\frac{\Delta Q}{\Delta s}$ wird je aus der Differenz der Wärmeverluste Q_1 und Q_2 zweier um den Betrag Δs verschiedener Isolierstärken s_1 und s_2 berechnet und dem Mittelwert $s_m = \frac{s_1 + s_2}{2}$ zugeordnet. Es ist zu bemerken, dass $\frac{dQ}{ds}$ (siehe Gleichung 5) nichts anderes ist als die Tangente an $Q = F(s)$, und diese Tangente ist für den Mittelwert s_m mit ausreichender Genauigkeit durch $\frac{Q_2 - Q_1}{s_2 - s_1} = \frac{\Delta Q}{\Delta s}$ gegeben. Für diesen Mittelwert wird dann auch die rechte Seite von (5) ausgewertet, wobei sich ΔP aus der Differenz der beiden, den Isolierstärken s_1 und s_2 zugeordneten m²-Preise ergibt. Diese Auswertung für y ist auch dann praktisch genügend genau, wenn die P-Kurve zwischen s_1 und s_2 gekrümmt verläuft. Für das angegebene Beispiel ergibt sich folgende Tabelle:

Tabelle 2.

1	s	50	55	60	65	70	75	80
2	Q [2])	56,0		49,9		45,4		41,9
3	$-\Delta Q$		6,1		4,5		3,5	
4	$-\frac{\Delta Q}{\Delta s}$		**0,61**		**0,45**		**0,35**	
5	$d\,a$		250		270		290	
6	P [2])	5,90		6,50		7,00		7,40
7	ΔP		0,60		0,50		0,40	
8	P		6,20		7,75		7,20	
9	y		**0,43**		**0,42**		**0,41**	

[2]) Siehe Tabelle 1.

Aus der 4. und 9. Zeile der Tabelle ist zu entnehmen, dass die wirtschaftlichste Isolierstärke zwischen 65 und 70 mm liegt, da in diesem Bereich an einer Stelle $-\frac{\Delta Q}{\Delta s} = y$ wird. In Abb. 1 sind die beiden, durch die Werte in besagten Zeilen bestimmten Kurven $y(s)$ und $-\frac{\Delta Q}{\Delta s}(s)$ eingetragen; sie überschneiden sich bei der wirtschaftlichsten Stärke $s_w = 67{,}5$ mm. (Praktisch wird man 65 oder 60 mm wählen).

Nach dem Gesagten hängt s_w vom Verlauf der Preischarakteristik $P(s)$ ab. Um dies zu veranschaulichen, sind in der Abbildung ausser der sich aus Tabelle 2 ergebenden Charakteristik $P(s)$ noch zwei weitere Charakteristiken $P_I(s)$ und $P_{II}(s)$ angenommen, denen die Funktionen $y_I(s)$ und $y_{II}(s)$ entsprechen. Die im Vergleich zu $P(s)$ niedriger und flacher verlaufende Kurve $P_I(s)$ ergibt eine grössere wirtschaftlichste Stärke: $s_{wI} > s_w$. Im gleichen Sinne wirkt gemäss Gl. (4) eine Verkleinerung des Quotienten $\frac{q}{zW}$ bezw. eine Vergrösserung von zW/q, d.h. eben eine Verbilligung der Isolierungskosten gegenüber den Wärmekosten. Das Beispiel der Charakteristik $P_{II}(s)$ zeigt, dass zwei verschiedene Charakteristiken $P(s)$ und $P_{II}(s)$ zu der gleichen wirtschaftlichsten Isolierstärke führen können — $s_{wII} = s_w$ —, nämlich dann, wenn der Ausdruck $\left(2P + d_a \frac{\Delta P}{10}\right)$ für $s = s_w$ den nämlichen Wert annimmt. Obwohl diese beiden Isolierungen gleiches s_w aufweisen, ist die bei s_w die grössere Preissteigerung ΔP aufweisende Isolierung II in ihrer Anschaffung und im Kapitalaufwand k vorteilhafter, also wirtschaftlicher als die Isolierung mit der Charakteristik $P(s)$.

B. Ebene Wände

Besonders einfach wirkt sich die neue Methode zur Bestimmung der wirtschaftlichsten Isolierstärke auf ebene Wände aus, wo als Bezugsgrösse, auf die der Wärmeverlust und die Kosten der Isolierung bezogen werden, der m² gilt (bei den Rohren war es der lfm.). Mit Q = stündlicher Wärmeverlust pro m² und P = Preis der Isolierung pro m² ergibt sich unter Verwendung oben genannter Bezeichnungen:

$$k_1 = \frac{QzW}{10^6}; \qquad k_2 = Pq$$

Hieraus:

$$\frac{dk_1}{ds} = \frac{dQ}{ds}\,\frac{zW}{10^6}; \qquad \frac{dk_2}{ds} = q\frac{dP}{ds} = q\frac{\Delta P}{10}$$

Der minimale Gesamtkapitalaufwand ist durch die Bedingung $\frac{dk_1}{ds} + \frac{dk_2}{ds} = 0$ bestimmt, woraus folgt:

$$-\frac{dQ}{ds} \backsim -\frac{\Delta Q}{\Delta S} = 10^5 \frac{q}{zW}\Delta P \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Diese Formel sagt aus, dass für die Bestimmung der wirtschaftlichsten Isolierstärke die Kosten der Isolierung keine Rolle spielen, wohl aber die auf eine Einheit bezogene Steigerung des m²-Preises.

Beispiel: Gesucht ist die wirtschaftlichste Stärke der Isolierung eines von ebenen Wänden begrenzten, während des ganzen Jahres, d. h. während $z = 8760$ Stunden im Betrieb befindlichen Behälters, dessen Innentemperatur $= -20°$ sei, bei einer mittleren Aussentemperatur von $+10°$; $q = 0{,}2$, $W = 50$ Fr. pro 1 Million kcal. Aus diesen Werten ergibt sich nachstehende Tabelle:

Tabelle 3.

s	100	110	120	130	140	150	160 mm
P	10		12,50		14,80		16,80
Q [3])	9,43		7,99		6,94		6,12
ΔP		1,25		1,15		1,00	
$-\Delta Q$		1,44		1,05		0,82	
$-\frac{\Delta Q}{\Delta s}$		0,072		**0,052**		0,041	
$10^5 \frac{q}{zW}\Delta P$		0,057		**0,052**		0,045	

Wie aus den Zeilen 6 und 7 der Tabelle ersichtlich, ist die Gleichung (6) für die Isolierstärke $s = s_w = 130$ mm erfüllt.

[3]) Dem bereits in Fussnote 1) erwähnten Tabellenwerk entnommen ($\lambda_{\text{Isolierung}} = 0{,}035$ kcal/m. Std. °C.).

Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee

(Schluss von S. 170)

V. Ueberprüfung des Geschiebegesetzes und der Berechnungsmethode der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H. mit Hilfe der direkten Geschiebemessungen am Rhein

Von Dipl. Ing. ROBERT MÜLLER

1. Einleitung.

Die im Kapitel II B («SBZ» Bd. 109, S. 212*) beschriebene rechnerische Behandlung des Rheinproblems stützt sich auf das Geschiebetriebgesetz und die Berechnungsmethode der Versuchsanstalt für Wasserbau in Zürich. Die Durchführung dieser Berechnungen fällt zeitlich mit dem Beginn der Geschiebemessungen am Rhein zusammen, also in das Jahr 1934, sodass damals eine Ueberprüfung dieser Grundlagen mit Hilfe von Geschiebemessungen in der Natur selbst nicht möglich war. Wegen der Dringlichkeit der Aufgabe musste man sich damit begnügen, die Richtigkeit der Berechnungsmethode auf Grund der im Kapitel II A (Bd. 109, S. 199*) beschriebenen Rheinmodellversuche nachzuweisen. Diese Versuche waren also ein Ersatz für die damals noch fehlenden Geschiebemessungen in der Natur selbst. Die Uebereinstimmung von Messung und Berechnung liefert nun den ersten *Nachweis* für die Anwendbarkeit der Methode auf stationäre Zustände.

Die bestehenden Verhältnisse am Rhein selbst ermöglichten dann eine indirekte Kontrolle mit Hilfe der gemessenen Ablagerungen in der Zwischenstrecke und im Diepoldsauer Durchstich. Die Differenz der für die beiden Musterstrecken berechneten Geschiebefrachten musste aus Kontinuitätsgründen gleich sein der Summe aus den gemessenen Ablagerungen zwischen den beiden Strecken und der Verminderung des Geschiebes durch Abrieb. Nach dem ersten Nachweis durch die Modellversuche konnte die erfüllte Kontinuität als Beweis für die Anwendbarkeit der Methode auf die Natur betrachtet werden. Wegen der teilweise ungenügenden Berechnungsgrundlagen für die beiden Musterstrecken konnte dieser Beweis nicht in aller Strenge erbracht werden. Bei der Auswertung der morphologischen Untersuchungen der Rheinbauleitung Bregenz zeigte sich, dass die zahlreichen Messungen noch nicht genügen, um die mittlere Kornzusammensetzung des Rheingeschiebes und