

WÄRMEVERLUSTE DER MODERNEN HEISSWASSER-FERNLEITUNGEN

Von

J. MENYHÁRT und G. HOMONNAY

Lehrstuhl für Heizung, Lüftung und Bauinstallation I, Technische Universität Budapest
(Eingegangen am 9. Januar, 1976)

In der heftigen Diskussion über die Installation von Fernheizungsanlagen spielen die Kosten für die Fernleitung eine bedeutende Rolle. Bisher beschäftigte man sich im allgemeinen nur mit den Anlagekosten, Investitionskosten — in der Sprache des Ökonomen — mit den einmaligen Aufwendungen, und versuchte, diese durch neue Verlegungsarten zu vermindern. Durch die Energiekrise und den Energiemangel von heute werden jedoch auch die Fragen des Wärmeverlustes — also der ständigen Aufwendungen — in den Mittelpunkt des Interesses gerückt.

In Ungarn beschäftigt man sich immer mehr mit der Entwicklung und Einführung zeitgemäßer Verlegeweisen von Fernleitungen. Unser Lehrstuhl erhielt die Aufgabe — in Zusammenarbeit mit den Bau- und Betreiberzweigen — die Wärmeverluste der nach verschiedenen Verfahren verlegten Rohrleitungen zu ermitteln und einen Vergleich derselben zu ermöglichen, andererseits die Aufmerksamkeit den Energieeinsparungsmöglichkeiten zuzuwenden.

1. Die geprüften Verfahren zur Verlegung von Fernleitungen

Als Ergänzung unserer früheren Untersuchungen wurden in den Jahren 1972/75 die Wärmeverluste der Fernleitungen in herkömmlichen Stahlbeton-Schutzkanälen (Abb. 1a), der in einem wasserabweisenden staubförmigen Wärmeisolierstoff verlegten (Abb. 1b) und der vorgefertigten Fernleitungen (Abb. 1c) meßtechnisch ermittelt.

Früher wurde auch ein ohne Wärmedämmstoff in ein Asbestzementrohr eingezogenes Rohrpaar geprüft (Abb. 1d).

Wie es in der Abbildung dargestellt ist, wurden zwei verschiedene wasserabweisende Stäube verwendet: wasserabweisender Perlit ungarischer Herstellung und französischer »Gilso-Therm-70«.

Auch die vorgefertigte Fernleitung wurde nach zwei unterschiedlichen Verfahren, nach dem österreichischen »KELIT« Verfahren und nach der sowjetischen »Kiewer« Bitumoperlitmethode hergestellt.

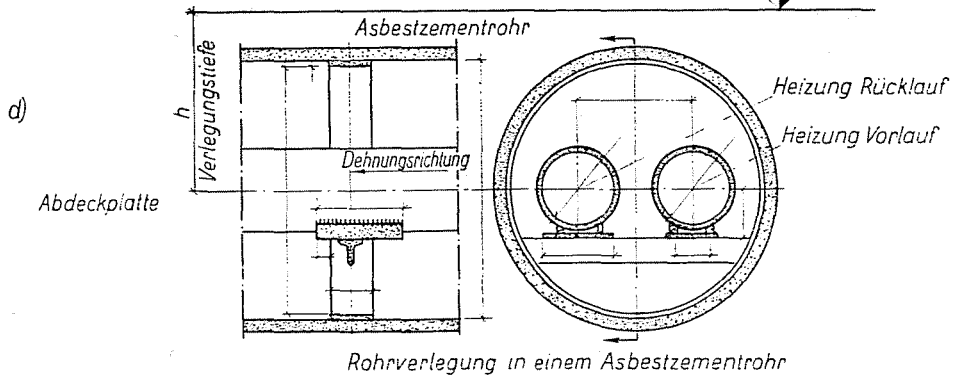
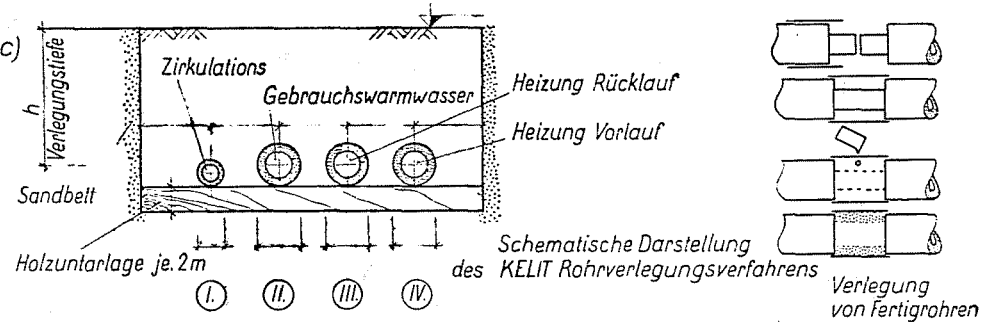
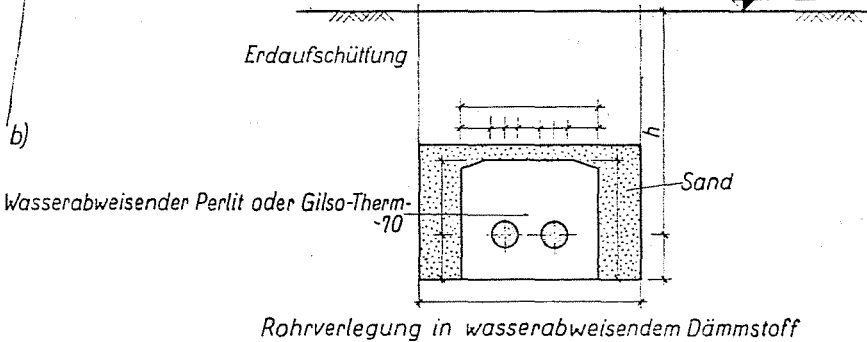
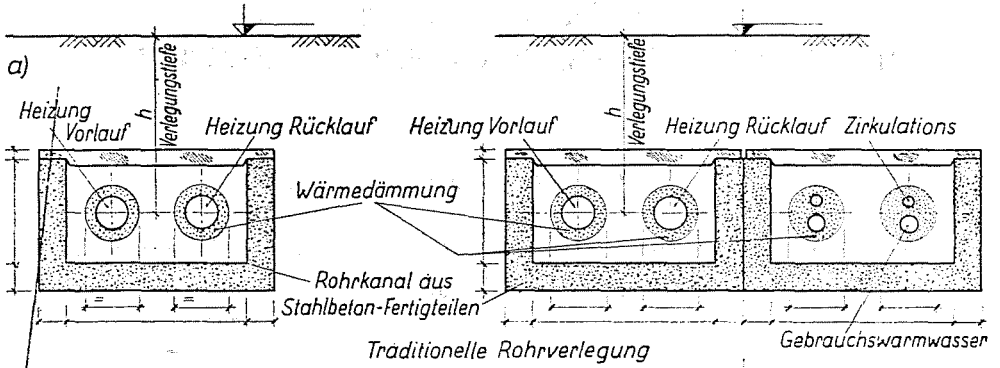


Abb. 1

Aus Abb. 1 ist zu erkennen, daß somit sämtliche gegenwärtig als zeitgemäß und üblich geltende Rohrverlegungsmethoden in die Untersuchung einbezogen wurden. Die ausführlichere Beschreibung der einzelnen Verfahren soll hier weggelassen und vielmehr auf die Meßergebnisse, auf die aus diesen gezogenen Schlüsse eingegangen werden, wobei wir einige Wärmeverlustberechnungsverfahren für die Zukunft empfehlen möchten.

2. Ermittlung des Wärmeverlustes einer Fernleitung nach dem klassischen Rechenverfahren [3]

Nach aus der Fachliteratur [2], [3], [4], [14] allgemein bekannten und gebräuchlichen Beziehungen wird

a) der Wärmeverlust der in einen Schutzkanal verlegten Rohrleitung aus der Gleichung des stationären Wärmedurchgangs berechnet. Nach dieser Berechnung ist der aus der Rohrleitung in den Rohrkanal gelangende Wärmefluß gleich dem aus diesem in das Erdreich entweichenden Wärmefluß.

Aus dieser Bedingung ergibt sich die Lufttemperatur im Rohrkanal zu

$$t_{cs} = \frac{\frac{t_e}{R_e} + \frac{t_v}{R_v} + \frac{t_f}{R}}{\frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

- t_e, t_v Vor- und Rücklaufwassertemperaturen
- R_e Wärmewiderstand zwischen dem Vorlaufwärmeträger und der Kanalluft (in m, $^\circ\text{C}/\text{W}$)
- R_v Wärmewiderstand zwischen dem Rücklaufwärmeträger und der Kanalluft (in m, $^\circ\text{C}/\text{W}$)
- R Wärmewiderstand von der Kanalluft bis zur Bodenoberfläche (in m, $^\circ\text{C}/\text{W}$).

In Kenntnis der berechneten Wärmewiderstände läßt sich die Kanallufttemperatur nach (1) bestimmen.

Ferner werden bestimmt: \dot{q}_e , \dot{q}_v und \dot{q}

$$\dot{q}_e = \frac{t_e - t_{cs}}{R_e} \text{ (W/m) der Vorlaufwärmeverlust je lfd. Meter}$$

$$\dot{q}_v = \frac{t_v - t_{cs}}{R_v} \text{ (W/m) der Rücklaufwärmeverlust je lfd. Meter}$$

der Gesamtwärmeverlust:

$$\dot{q} = \dot{q}_e + \dot{q}_v = \frac{t_e - t_{cs}}{R_e} + \frac{t_v - t_{cs}}{R_v} \quad (\text{W/m}) \quad (2)$$

b) Bei Rohrverlegung ohne Rohrkanal [2], [3], [4], [14]:
Wärmeverlust je lfd. Meter aus der Vorlaufleitung:

$$\dot{q}_1 = \frac{\Delta t_1 (R_{sz2} + R_{f2}) - \Delta t_2 R_x}{(R_{sz1} + R_{f1})(R_{sz2} + R_{f2}) - R_x^2} \quad (\text{W/m}) \quad (3)$$

\dot{q}_2 Wärmeverlust je lfd. Meter aus der Rücklaufleitung:

$$\dot{q}_2 = \frac{\Delta t_2 (R_{sz1} + R_{f1}) - \Delta t_1 R_x}{(R_{sz1} + R_{f1})(R_{sz2} + R_{f2}) - R_x^2} \quad (\text{W/m}) \quad (4)$$

wobei R_x den Wärmewiderstand der gegenseitigen Wirkung der beiden Rohre bedeutet:

$$R_x = \frac{1}{2\lambda_f} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{x}\right)^2 \left(\frac{m, \text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}\right)} \quad (5)$$

Das Wesen des Verfahrens besteht darin, daß die Wärmeabgabe durch die beiden Rohre unter stationären Bedingungen, bei Berücksichtigung ihrer Wechselwirkung, der Wärmewiderstände, der Wärmeisolierung und des Bodens ermittelt wird.

Die Kurzzeichen bedeuten:

λ_f	die Wärmeleitzahl des Bodens (W/m, °C)
h	Achsentiefe unter der Bodenoberfläche (in m)
x	Achsenabstand des Rohrpaars (in m) und
$\Delta t = t_i - t_f$ °C	Temperaturunterschied zwischen Medium und Boden
$\Delta t_1 = t_e - t_f$	Temperaturunterschied zwischen Vorlaufwasser und Boden (in °C)
$\Delta t_2 = t_v - t_f$	Temperaturunterschied zwischen Rücklaufwasser und Boden (in °C)
R_{sz1} und R_{sz2}	Widerstand der Leitungsisolierung (in °C, m/W)
R_{f1} und R_{f2}	Bodenwiderstand in der Leitungsumgebung (in °C, m/W) mit guter Näherung:

$$R_{sz1} = \frac{1}{(d_{1k} + \delta_1)} \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_{sz}} \cdot \frac{1}{\varphi_1}$$

$$R_{sz2} = \frac{1}{(d_{2k} + \delta_2)} \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_{sz}} \cdot \frac{1}{\varphi_2}$$

$d_{1k} - d_{2k}$ Außendurchmesser der Vorlauf- und Rücklaufleitung
(in m)

$$\varphi_1 = \varphi_2 = f \left(\frac{D}{d_k} \right) \text{ Korrekktionsfaktor}$$

d_k Außendurchmesser der Leitung (in m)

d_b Innendurchmesser der Leitung (in m)

δ_1 Dicke der Wärmedämmschicht (in m)

δ_2 Dicke der Wärmedämmschicht (in m)

λ_{sz} Wärmeleitzahl der Wärmedämmung (W/m, °C)

$$\left. \begin{aligned} R_{f1} &= \frac{1}{2\pi\lambda_f} \ln \frac{4h}{D_1} \\ R_{f2} &= \frac{1}{2\pi\lambda_f} \ln \frac{4h}{D_2} \end{aligned} \right\} \text{C}^\circ, \text{ mW}$$

$\left. \begin{aligned} D_1 \\ D_2 \end{aligned} \right\}$ Durchmesser der Leitungen mit Isolierung (in m).

Das zweite aus der Literatur [5] [11] bekannte Verfahren ist die Einbettung eines einzigen Rohres in einen Wärmedämmstoff; dabei ergibt sich der Wärmeverlust zu

$$\dot{q} = \lambda_f \cdot p \cdot \vartheta \text{ (W/m)}. \quad (6)$$

Hier ist

p die sog. Leitzahl, die in allgemeiner Form als der Reziprokwert des dimensionslosen Wärmeleitwiderstands gedeutet wird,

$$p = \frac{1}{R\lambda_f}. \quad (7)$$

Die Leitzahl ist in der Regel mit einem zweiziffrigen Index versehen. Leitzahlen mit Indizes aus zwei gleichen Ziffern werden als Hauptleitzahlen, jene mit Indizes aus zwei verschiedenen Ziffern als Nebenleitzahlen bezeichnet. Für Nebenleitzahlen gilt die Beziehung

$$p_{m.n} = p_{n.m} \text{ [11].}$$

Nach der Bezeichnung der Leitzahlen unterscheidet man

einen Hauptwärmeverlust (das ist der mit Hilfe der Hauptleitzahl berechnete Wärmeverlust)

eine Wärmeverlustkorrektur (diese Wärmeverlustkomponente wird mit Hilfe der Nebenleitzahl ermittelt).

Die Nebenleitzahlen haben stets ein negatives Vorzeichen

$\vartheta = \Delta t$ bedeutet die Übertemperatur zwischen Rohrwandung und Erdreich.

Im Falle von zwei Rohrleitungen gestaltet sich die Wärmeverlustberechnung wie folgt:

$$\dot{q}_e = \dot{q}_1 = \lambda_f(p_{11}\vartheta_1 + p_{12}\vartheta_2) \text{ (W/m)}. \quad (8)$$

Rücklaufwärmeverlust:

$$\dot{q}_c = \dot{q}_2 = \lambda_f(p_{22}\vartheta_2 + p_{12}\vartheta_1) \text{ (W/m)}. \quad (9)$$

Der Gesamtwärmeverlust ergibt sich als Summe der Wärmeverluste der beiden Leitungen:

$$\dot{q} = \dot{q}_1 + \dot{q}_2 \text{ (W/m)}. \quad (10)$$

Der Wärmeverlust kann auch bei vier Rohrleitungen bestimmt werden, wenn z. B. Vor- und Rücklaufleitung für die Heizung, Gebrauchswarmwasserleitung und Zirkulationsleitung in demselben Rohrkanal verlegt sind.

Die aus der Fachliteratur bekannten und oft angewandten Berechnungsverfahren enthalten zahlreiche Unsicherheiten:

- diese Verfahren beruhen auf dem Stationaritätsprinzip, während der Prozeß — wie wir sehen werden — nicht immer stationär ist,
- es werden ständige Wärmeleitzahlen für den Wärmedämmstoff und den Boden angenommen, während gerade die Wärmeleitzahl des letzteren die Leitung entlang in Abhängigkeit von der Bodenart und Bodenfeuchte veränderlich ist,
- die von unzähligen Veränderlichen abhängige Wärmeübergangszahl zwischen der Rohrleitungsaußenfläche und der Kanalinnenfläche im Rohrkanal wird als bekannt angenommen,
- für die Vereinfachung der Berechnung werden mathematische Näherungen angewandt.

Um diese Unsicherheiten bei den tatsächlich vorgenommenen Rohrverlegverfahren zu beseitigen, wurden die bei den Verfahren in Bild 1 anfallenden Wärmeverluste gemessen.

3. Das Meßverfahren und die Auswertung der Messungen

In je einem ausgewählten Querschnitt aller nach den genannten Verfahren verlegten Fernleitungssysteme wurde während der Heizungsperiode die Isothermenschar um das System gemessen.

Als Beispiel werden einige derartige Messungen in der Bildreihe 2 gezeigt.

Aus diesen Meßreihen lassen sich sehr viele Schlüsse ziehen, von denen hier nur einige Fälle von besonderem Interesse gezeigt werden sollen.

a) In dem auf Bild 2a dargestellten Fall können z. B. die Wärmeverluste bei der Anwendung von wasserabweisendem Perlit und von Gilso-Therm-70 verglichen werden. Der auch durch Berechnungen nachgewiesene Unterschied von etwa 10% in den Wärmeverlusten ist im Bild gut zu erkennen: Unter tatsächlichen Betriebsbedingungen ist die Erdmasse um den Wärmedämmstoff ungarischer Herstellung »kälter«, das ist also der bessere Wärmedämmstoff.

b) Aus den Isothermen läßt sich der Wärmeverlust auch graphisch ermitteln [13]: Sind nämlich die Isothermen um eine Wärmequelle bekannt, dann ergibt sich der Wärmefluß je Flächeneinheit durch die Bestimmung der »grad t «-Vektoren zu

$$\dot{q}_i = -\lambda_f \text{ grad } t \text{ (W/m)}. \quad (11)$$

Bei einer linearen Wärmequelle sind die Flächen konstanter Temperatur Zylinderflächen, damit kann aus der Isothermenschar in einem Vertikalschnitt der Wärmefluß je lfd. Meter bestimmt werden.

Um die lineare Wärmequelle ist eine Kontrollfläche zu wählen, und die (grad t)-Verteilung die als ebener Schnitt dieser Kontrollfläche erhaltene Leitkurve entlang in möglichst vielen Punkten zu bestimmen (Bild 3).

»grad t « wird in einem Punkt bestimmt, indem man in einem auf die Tangente der Isothermen senkrechten Schnitt den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Entfernung der Wärmequelle darstellt.

Auf dieser Kurve wird — in dem der Kontrollfläche entsprechenden Punkt — der Wert der Richtungstangente bestimmt; das ist ($-\text{grad } t$); dann nimmt man deren auf die Kontrollfläche senkrechte Komponente, durch die der Wärmefluß determiniert wird.

Ist also die Funktion $-\text{grad } t = f(A)$ die Kontrollfläche A (m^2/m) entlang bekannt, ergeben sich der mittlere Wärmefluß je Kontrollflächeneinheit zu

$$\dot{q} = \frac{1}{A} \int_A (-\lambda \text{ grad } t) \cdot dA \text{ (W/m)} \quad (12)$$

und der Wärmefluß je Längeneinheit der Wärmequelle, also der Wärmeverlust zu

$$\dot{q} = \frac{1}{A} (-\overline{\text{grad } t}) = A \cdot \dot{q}_i \text{ (W/m)}. \quad (13)$$

Man kann auch zuerst den Mittelwert von ($-\text{grad } t$) bestimmen:

$$-\overline{\text{grad } t} = \frac{1}{A} \int_A \lambda_f (-\text{grad } t) dA \text{ (W/m)}, \quad (14)$$

daraus erhält man

$$\dot{q} = A \cdot \lambda_f (-\overline{\text{grad } t}) \text{ (W/m)}. \quad (15)$$

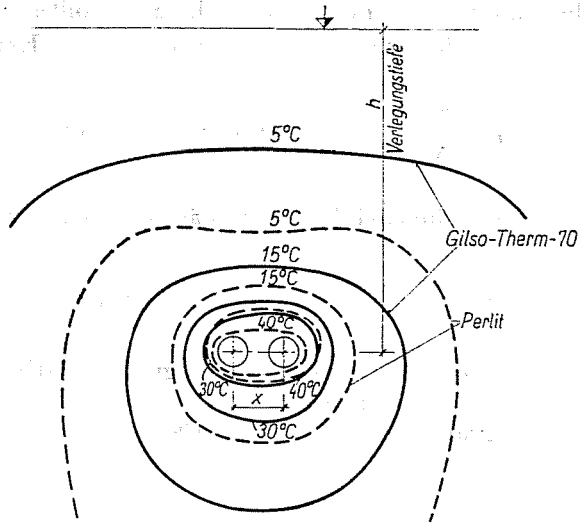
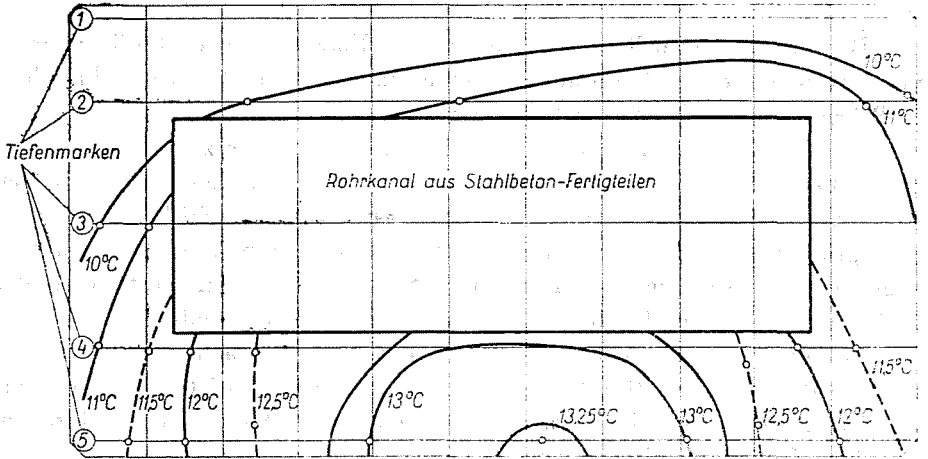
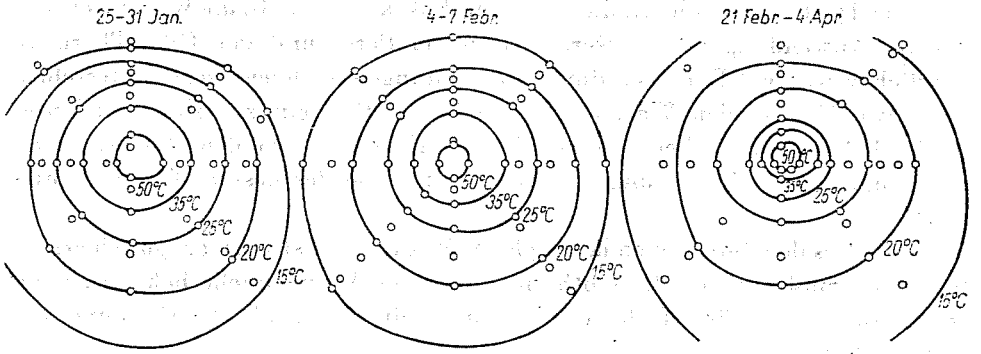


Abb. 2 a, b

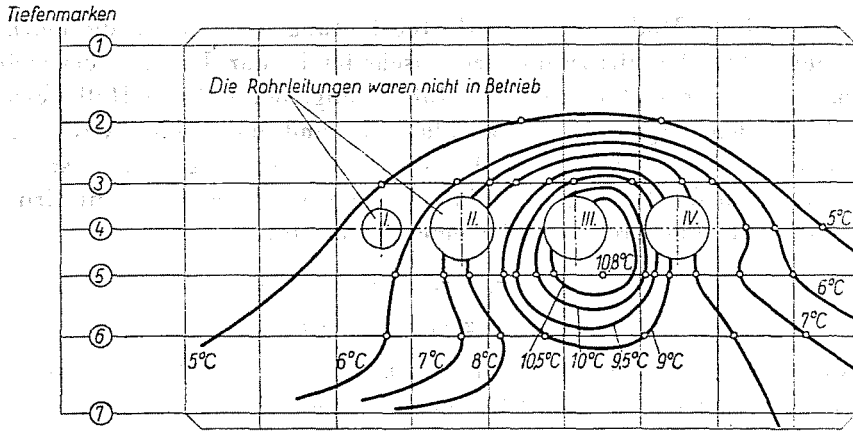


Abb. 2 c

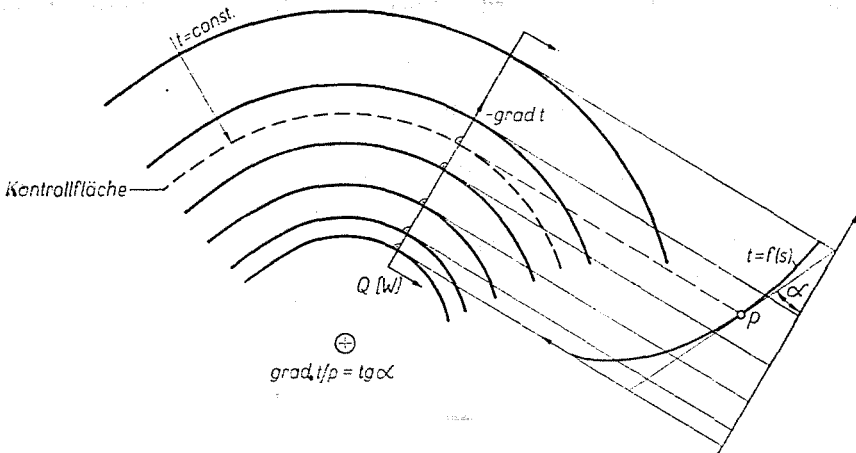


Abb. 3

Das graphische Verfahren hat den Vorteil, daß es auch für die Prüfung einer Verlegungsweise eingesetzt werden kann, für die kein Rechenverfahren vorhanden ist. Andererseits bildet dieses Verfahren die Ausgangsbasis für die rechnergestützte Wärmeverlustermittlung.

c) Die Messungen liefern auch die Grundlage für eine neuartige *exakte Berechnungsmethode*, deren Ziel ist, die richtige Gleichung der Isothermen aufzuschreiben.

Geht man aus der Form der um eine Leitung entstehenden Isotherme aus, läßt sich diese durch einen Kreis ersetzen, damit ist ihre Polarkoordinatenform

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} = 0. \tag{16}$$

Das physikalische Modell der erdverlegten Leitung stellt im auf die Leitungsachse senkrechten Schnitt zwei konzentrische Kreise dar. Dabei ist der kleinere Halbmesser r_1 der Halbmesser der Rohrleitung, der größere Halbmesser r_2 jener des Bodens ($r_2 \gg r_1$). In Wirklichkeit sind die beiden Kreise nicht konzentrisch; dieser Umstand wird dadurch berücksichtigt, daß man derart verfährt, als ob die Leitung im Winkelbereich, der sich näher zur Erdoberfläche befindet, eine größere Wärmemenge ausströme.

$$r = r_1 < \infty$$

$$(r_1, \varphi) = g(\varphi) = 1 + \sin \varphi. \quad (17)$$

Im Unendlichen ist die Übertemperatur gleich Null, d. h. die Temperatur um das Rohr ist im Unendlichen gleich der Umgebungstemperatur.

$$\lim (r, \varphi) = 0 \quad (18)$$

Die Lösung der Funktion (r, φ) wird in Form einer Produktenfunktion gesucht:

$$\vartheta(r, \varphi) = R(r) \Phi(\varphi). \quad (19)$$

Damit nimmt die Differentialgleichung folgende Form an:

$$R''\Phi + \frac{1}{r}R'\Phi + \frac{1}{r^2}R\Phi'' = 0. \quad (20)$$

Nach Durchführung der mathematischen Operationen ergibt sich die allgemeine Lösung der Isothermenfunktion zu:

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{r_1}{r} \right)^n \sin n\varphi. \quad (21)$$

Prüft man die Schnitte der Funktion, ist festzustellen, daß man in der Ebene $\vartheta - r$ bei $\varphi = \text{konst.}$ eine Hyperbelschar und in der Ebene $\vartheta - \varphi$ bei $r = \text{konst.}$ eine verschobene und verzerrte Sinusoidenschar erhält. Die durch diese Kurven begrenzten Flächen ergeben bei den Polarkoordinaten (r, φ) die Temperaturverteilung im Boden in der Umgebung einer einzigen Heizleitung.

Im Falle mehrerer Heizleitungen wird die Wärmeverteilungsgleichung des Bodens aus der beschriebenen Isothermengleichung um eine einzige Rohrleitung durch Weiterbildung bestimmt. Der Ausgang, die Randwerte sind die gleichen, es ist nur die gegenseitige Wirkung mehrerer Leitungen zu berücksichtigen.

* Mathematische Methode von Andreas Hoffmann [14].

Auch die Funktion $\sum_{i=1}^n \left(\frac{r_1}{r} \right) \sin \varphi$ kann nur nach Messungen angeschrieben werden.

d) Unsere Messungen ermöglichen noch weitere Erkenntnisse. Aus der in Bild 4 dargestellten Meßreihe können Folgerungen von großem Interesse gezogen werden. Im Fachschrifttum über die Wärmeverluste von erdreich-verlegten Rohrleitungen wird von sämtlichen Verfassern ein Temperaturfeld angenommen, in dem die wärmste Ebene in der Mittellinie des Rohrleitungs-paares liegt [1], [2], [3], [4], [5]. Alle diese Theorien gehen also davon aus, daß die Bodentemperatur in der Tiefe gleichmäßig verteilt ist bzw., daß die betreffende Rohrleitung in einer Tiefe verlegt ist, wo sich die Bodentemperatur nicht mehr ändert. (Abb. 4/a)

Bei der Ausgestaltung des als »klassisch« geltenden Bildes wird weiterhin angenommen, daß das Heizwasser viel wärmer als der Boden ist und somit in der Herausbildung der Isothermen lediglich die Heizwassertemperatur und die Rohrleitungsanordnung eine Rolle spielen, ferner daß stationäre Verhältnisse herrschen. (Abb. 4/b)

Unsere Messungen zeigen, daß die Situation bei weitem nicht so einfach ist. Der Boden als Masse mit großer Wärmeträgheit kühlt sich nämlich nur langsam ab, so daß nach Bild 5 Anfang Dezember in der Verlegungstiefe die Bodentemperatur die Temperatur auf der Bodenoberfläche sogar um 12 °C übersteigen kann [12].

Das heißt, daß sich die verschiedenen Bodenschichten im Vergleich zueinander mit Verzögerung und Dämpfung abkühlen würden, wenn man durch die inzwischen in Betrieb gesetzte Fernwärmeversorgung nicht auch die Erdmassen aufheizen würde. In einer gewissen Schichttiefe wird also die Heizung begonnen, jedoch einstweilen nur mit Heizwasser sehr niedriger Temperatur (etwa 60 °C), damit machen sich die Kühlwirkung der Oberfläche und die Heizwirkung der Fernleitung gleichzeitig geltend. Dieses Problem zeichnet sich mit besonderer Schärfe in einem milden Winter ab.

Alle bis jetzt angenommenen, »klassischen« Verfahren zur Wärmeverlustberechnung haben also stark näherungsweise Charakter, da die Bodentemperatur als zeitlich und räumlich beständig betrachtet wird. Das besondere Interesse dieser Frage wird dann klar, wenn man bedenkt, daß sich der aus Energiewirtschaftsrücksichten so wichtige jährliche Wärmeverlust ganz anders gestaltet, als wenn man die Berechnung für stationäre Verhältnisse durchführt. Nicht nur der Umstand verdient nämlich Interesse, mit welcher Temperatur das Heizwasser bei der Bemessungsaußentemperatur und bei maximaler Vorlaufwassertemperatur zum Verbraucher gelangt — diese zu bestimmen, war der Zweck der bisherigen Berechnungsverfahren —, sondern selbstverständlich auch die Frage, welche Energiemenge jährlich verlorengeht, die auf das Aufheizen der Erdmassen verwendet wird.

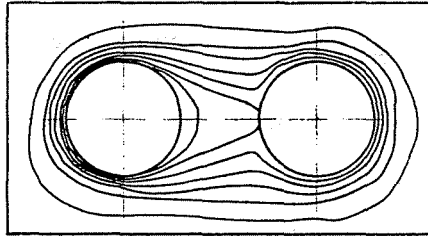


Abb. 4/a

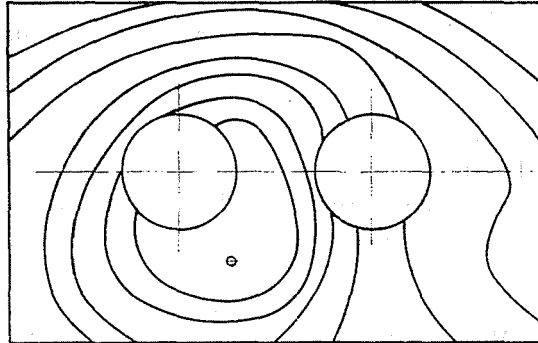


Abb. 4/b

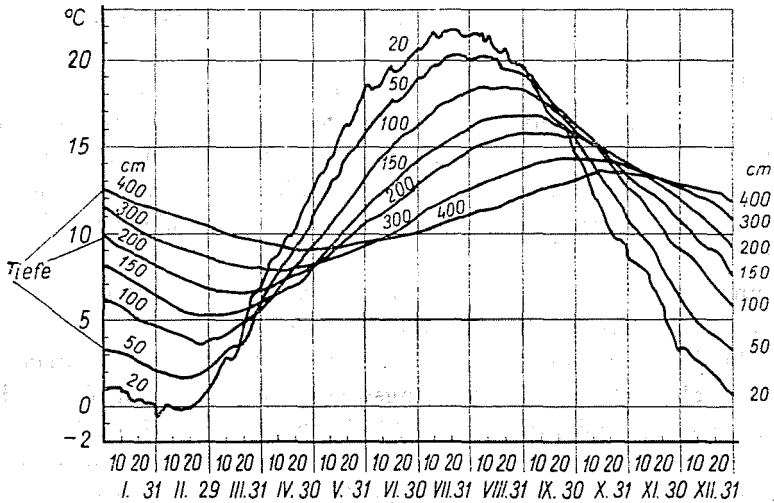


Abb. 5

Um die Frage auch zahlenmäßig zu prüfen, ermittelten wir den jährlichen Wärmeverlust eines vorhandenen Netzes unter Berücksichtigung der veränderlichen Bodentemperaturen.

Es sei bemerkt, daß die Rohrdurchmesser für das geprüfte Netz (Fernleitungnetz in "Zugló") mit einem Optimierungsverfahren festgelegt wurden. Die Ausgangsbedingung der Rohrnetz bemessung war also, die einmaligen

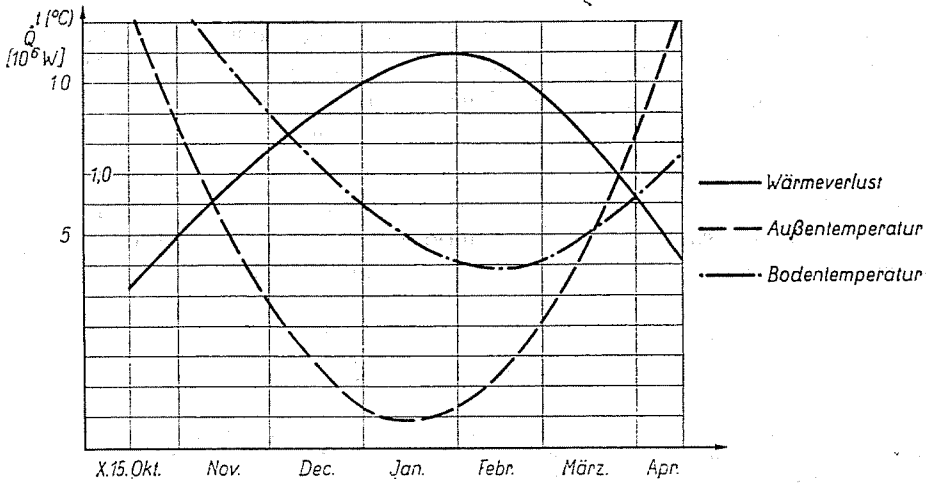


Abb. 6

Kosten für die Rohrverlegung und die laufenden Kosten des Pumpbetriebs zu minimalisieren.

Bei der Berechnung des jährlichen Wärmeverlustes berücksichtigen wir die zu den Außentemperaturen gehörenden, veränderlichen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen des Heißwassers sowie die Veränderung der Bodentemperatur während der Heizperiode in der Verlegungstiefe. Die Berechnung ist in Bild 6 zusammengefaßt. Der Merkwürdigkeit halber sei z. B. erwähnt, daß die Spitzenwerte des Wärmeverlustes nicht in dem in Ungarn kältesten Monat Januar, sondern im Februar auftreten, wo die Bodentemperatur am niedrigsten ist.

Tabelle 1

	\dot{q} = Wärmeverlust des Vorlauf-Rücklauf-Rohr-paares, W/m	Fiktive Wärmedurch-gangszahl, $k = \frac{\dot{q}}{\Delta t}$ Δt = inneres Mittel — Erdoberfl.	%
Rohrkanal aus Stahlbeton-Fertigteilen 1974/75	50,0	0,81	140
KELIT Leitung 1974/75	34,7	0,66 (als Grundwert)	100
Wasserabweisender Perlit 1972/73	53,2	0,65	112
GILSO-THERM-70 1972/73	57,7	0,69	118

Damit wurde *einerseits* bewiesen, daß die bisherigen Bemessungsverfahren, die ausschließlich die Frage zu beantworten suchten, in welchem Maße sich das Wasser von maximaler Vorlauftemperatur bei der (minimalen) Bemessungsaußentemperatur abkühlt, unrichtig und ungenau sind. *Andererseits* wurde ermittelt, daß im vorliegenden Fall die Kosten der jährlichen Wärmeverluste 31% der jährlichen Kosten für Pumparbeit betragen. Zur Zeit des sparsamen Umgangs mit der Energie und der Energiekrise ist also unbedingt die Optimierung auch der jährlichen Wärmeverluste anzustreben!

Zusammenfassung

Im Vortrag wurden einige in den letzten Jahren erhaltene Teilergebnisse unserer Untersuchungen über die Ermittlung der Wärmeverluste von Fernleitungen gezeigt.

Es darf festgestellt werden, daß

- sich die Ungenauigkeit der bisher üblichen Verfahren nachweisen läßt,
- es möglich ist, sowohl auf graphischem als auch auf rechnerischem Weg neue, genauere Verfahren zu entwickeln,
- die Wärmeverluste bei den gegenwärtig am häufigsten angewandten Verlegverfahren aufgrund der Messungen miteinander verglichen werden können (z. B. Tabelle 1),
- ein Bemessungsverfahren aufgrund der *Optimierung* der jährlichen Wärmeverluste unbedingt einzuführen wäre!

Literatur

1. JAKOB, M.: Heat Transfer. John Wiley and Sons Inc. London Chapman and Hall, 1953
2. KOPEW, Sz.: Teplosnabhenie Gosudarstwennoe Isdatelstwo. Moskau, 1953.
3. ÓRY, R.: Vegyipari csővezetékek. Dr. BARCS VILMOS: Hőszigetelő anyagok és a hőszigetelés technológiája. Műszaki Kiadó, Budapest, 1972.
4. KOŁODZIEJCZYK, L., MALICKI, M., WASILEWSKI, W., ZAJACZKOWSKI, J.: Ogrzewanie i Wentylacja. Poradnik. Arkady, Warszawa, 1966.
5. BREUER, F.: Berechnung der Wärmeverluste von erdreichverlegten Rohrleitungen. Energie, Jahrg. 15. H. 9. p. 354—359.
6. BME. I. Épületgépészeti Tanszék. Tanszékvezető: Dr. Menyhárt József: Közvetlenül földbe fektetett távvezetékek hidrofób szigetelésének vizsgálata, 1973, 1975.
7. JÁSZAY, T.: Műszaki Hőtan. Hőközlés. Mérnöktovábbképző Intézet G-81, 1966.
8. MIHEJEV, M. A.: A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. Tankönyvkiadó, 1963.
9. RAZNJEVIC, J. M.: Hőtechnikai számítások. Műszaki Könyvkiadó, 1970.
10. KELIT-Verisolierter Rohre. Grundlegende Gedanken zur Anwendung von KELIT. Kundeninformation. Wien, 1974.
11. VIDAL, F. M.: Diagrams for the Calculation of Heat Losses in Buried Pipes. Edition SIC Bruxelles, 1969.
12. BACSÓ, N.: Bevezetés az agrometeorológiába. Műszaki Könyvkiadó, 1973. Budapest.
13. LITVAI, E.: Előadássorozat a „Légtechnika” szakmérnöki szak tanfolyamán. 1972—1974 BME I. Épületgépészeti Tanszék.
14. MOHÁCSI, K.: Földbe fektetett csővezetékek hővesztése. Diplomamunka I. Épületgépészeti Tanszék. Konzulens: Homonnay Györgyné—Hoffmann Andor.
15. HOMONNAY, G.—TEMESI, M.: Közvetlen földbe fektetett távvezetékek hővesztése. Épületgépészet, 1975. 1. szám.
16. BRUN, H.: Vergleich der Bauweisen von Fernheizung. Energie, Jahrg. 17 (1965) H. 11.
17. CAMMERER, J. S.: Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie. Springer Verlag. Berlin 1962.
18. SCHWAIGERER, S.: Rohrleitungen. Theorie und Praxis. Wärme- und Kälteschutz von Rohrleitungen. Springer Verlag. Berlin. 1967.
19. MENYHÁRT, J.: Melegvízfűtések. Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.

20. PETRI, H.: Die Wärmeverluste von Rohrleitungen im Erdreich. Dissertation, Dresden, 1931.
21. CLAESSON, J.: Beräkning av temperaturfördelning och tjälned trängning undar ett hus. Tekniska Högskolan i lund. 1968. 4. sz.
22. LIKOW, A. W.: Teoria Teploprovodnosti. Gosudarstvennoe Izdatelstwo Moskau, 1962.
23. HOMONNAY, G.—HOFFMANN, A.: Forróvíz távvezetékek hővesztesége periódikus hőmérsékletváltozás esetén. Épületgépészet, 1970. 3. sz.
24. HOMONNAY, G.: Távfűtések. Tankönyvkiadó, Budapest 1975.

D^r József MENYHÁRT }
D^r Gabriella HOMONNAY } H—1521 Budapest