

**BEW-Schriftenreihe**  
**Studie Nr. 58**

# **Wärmeabgabe von Heizungs- Rohrleitungen in Bau- konstruktionen**

**Berechnung stationärer, zweidimensionaler Wärmeströme  
mit Hilfe eines Finite-Differenzen-Programms**

ausgearbeitet durch

**Zentralschweizerisches Technikum Luzern (ZTL)**  
**Prüfstelle HLK**  
**Prof. F. Özvegyi, A. Odermatt**  
**CH-6048 Horw**

im Auftrag des  
**Bundesamtes für Energiewirtschaft**

Februar 1996

Schlussbericht

---

the 1990s, the number of people who have been employed in the public sector has increased in all countries. The increase in public sector employment has been particularly rapid in the United Kingdom, where the public sector has grown from 15.5% of the total workforce in 1980 to 22.5% in 1995. In the United States, the public sector has grown from 10.5% of the total workforce in 1980 to 15.5% in 1995.

The increase in public sector employment has been driven by a number of factors. One of the main factors is the increasing demand for public services. As the population ages, there is a growing need for social security, health care, and education. In addition, the demand for public services has increased in other areas, such as housing, transportation, and environmental protection. Another factor is the increasing size of the government. As the government has grown, it has created more jobs in the public sector.

The increase in public sector employment has also been driven by the increasing number of people who are employed in the public sector. In the United Kingdom, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. In the United States, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. The increase in public sector employment has been particularly rapid in the United Kingdom, where the public sector has grown from 15.5% of the total workforce in 1980 to 22.5% in 1995.

The increase in public sector employment has also been driven by the increasing number of people who are employed in the public sector. In the United Kingdom, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. In the United States, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. The increase in public sector employment has been particularly rapid in the United Kingdom, where the public sector has grown from 15.5% of the total workforce in 1980 to 22.5% in 1995.

The increase in public sector employment has also been driven by the increasing number of people who are employed in the public sector. In the United Kingdom, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. In the United States, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. The increase in public sector employment has been particularly rapid in the United Kingdom, where the public sector has grown from 15.5% of the total workforce in 1980 to 22.5% in 1995.

The increase in public sector employment has also been driven by the increasing number of people who are employed in the public sector. In the United Kingdom, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. In the United States, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. The increase in public sector employment has been particularly rapid in the United Kingdom, where the public sector has grown from 15.5% of the total workforce in 1980 to 22.5% in 1995.

The increase in public sector employment has also been driven by the increasing number of people who are employed in the public sector. In the United Kingdom, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. In the United States, the number of people employed in the public sector has increased from 1.5 million in 1980 to 2.5 million in 1995. The increase in public sector employment has been particularly rapid in the United Kingdom, where the public sector has grown from 15.5% of the total workforce in 1980 to 22.5% in 1995.

BEW-Schriftenreihe  
Studie Nr. 58

# Wärmeabgabe von Heizungs- Rohrleitungen in Bau- konstruktionen

Berechnung stationärer, zweidimensionaler Wärmeströme  
mit Hilfe eines Finite-Differenzen-Programms

ausgearbeitet durch

Zentralschweizerisches Technikum Luzern (ZTL)  
Prüfstelle HLK  
Prof. F. Özvegyi, A. Odematt  
CH-6048 Horw

im Auftrag des  
Bundesamtes für Energiewirtschaft

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft durchgeführt, das den Bericht zur Veröffentlichung freigibt, ohne sich abschliessend dazu zu äussern.

1996

Vertrieb: Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern

## 1 Einleitung

Auch ausländische Erfahrungen im Zusammenhang mit der verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung (VHKA) bestätigen, dass die Wärmeabgabe der mitheizenden Rohrleitungen in den meisten Fällen nicht vernachlässigbar ist.

Zur Weiterentwicklung des in der Schweiz angewandten Abrechnungsmodells [1] wurde die Prüfstelle HLK am Zentralschweizerischen Technikum Luzern (ZTL) mit der Erarbeitung ausführlicher technischer Unterlagen beauftragt. Nachfolgend werden die Resultate der  $k_r$ -Wert-Ermittlungen zusammengefasst.

Diese im Zusammenhang mit der Wärmeabgabe von Heizungsverteilungen und Fussbodenheizschlangen benötigten Wärmedurchgangskoeffizienten  $k_r$  wurden mit einem Finite-Differenzen Modell berechnet, da bis anhin keine vergleichbaren praktischen Unterlagen über die  $k_r$ -Werte von Rohrleitungen in Baukonstruktionen im In- und Ausland erhältlich waren.

Die folgenden Seiten erläutern deshalb die Theorie sowie die Modellannahmen, die für die Berechnungen getroffen wurden.

Im weiteren sind die ermittelten  $k_r$ -Werte mit den entsprechenden Bodenquerschnitten tabellarisch dargestellt.

## 2 Berechnung der mittleren Wärmeabgabe einer z. B. im Boden verlegten Verteilleitung

Die Wärmeabgabe einer im Boden verlegten Verteilleitung beträgt:

$$\dot{Q}_V = l [(k_{rN} \cdot (t_m - t_{mN}) + k_{rV} (t_m - t_{mV}))] \quad [W] \quad 1.)$$

wobei:

- $l$  die Länge der Verteilleitung in m,
- $k_{rN}$  und  $k_{rV}$  die Wärmedurchgangskoeffizienten zwischen dem Heizmedium und der Luft an den "Nutzer-Raum" bzw. an die "Verlust"-Seite in W/mK,
- $t_m$  die für Zwangswärmekonsum massgebende Jahresmittel- Temperatur des Heizmediums,
- $t_{mN}$  sowie  $t_{mV}$  die mittleren Raumlufttemperaturen sind.

## Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	4
2 Berechnung der mittleren Wärmeabgabe einer z. B. im Boden verlegten Verteilleitung .....	4
3 Berechnungsverfahren zur Ermittlung der $k_r$ -Werte .....	5
4 Beispiele zur $k_r$ -Wert Ermittlung .....	6
4.1 $k_r$ -Wert Ermittlung zur Bodenkonstruktionsvariante 6.1 .....	6
4.1.1 Bodenschnitt.....	6
4.1.2 Modellaufbau zur Ermittlung der Temperaturverteilung in der Bau-konstruktion.....	6
4.1.3 Berechnung des üblichen k-Wertes der ungestörten Baukonstruktion und der "Zwischentemperaturen" .....	8
4.1.4 Finite-Differenzen-Teilung des Bodens 6.1 .....	9
4.1.5 Eingabedaten zur Berechnung des Bodens 6.1 für das FD Programm in MATEMATICA .....	9
4.1.6 Visuelle Kontrollen der Kontinuität der Randbedingungen und der berücksichtigten Breite des Modells .....	12
4.1.7 Berechnung der Wärmeströme und der $k_r$ -Werte in der Nähe der Heizrohre .....	14
4.2 $k_r$ -Wert Ermittlung zur Bodenkonstruktionsvariante 6.2 .....	16
4.2.1 Bodenschnitt.....	16
4.2.2 Modellaufbau .....	17
4.2.3 Berechnung des k-Wertes der Baukonstruktion und der Zwischen-temperaturen .....	18
4.2.4 Finite-Differenzen-Teilung des Bodens 6.2 .....	19
4.2.5 Eingabedaten zur Berechnung des Bodens 6.2 für das FD Programm in MATEMATICA .....	19
4.2.6 Visuelle Kontrollen der Kontinuität der Randbedingungen und der berücksichtigten Breite des Modells .....	20
4.2.7 Berechnung der Wärmeströme und der $k_r$ -Werte .....	22
5 Darstellung der Resultate: $k_r$ - Werte für Rohre in Böden und Wänden .....	25
5.1 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte von Einzel-Rohren, in Böden auf Dämmung verlegt.....	25
5.2 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Rohr-Paare in Böden auf Dämmung verlegt .....	27
5.3 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Rohr-Serien (Rohre in Verteiler-Nähe, Rohrschlangen für Bodenheizungen) in Böden auf Dämmung verlegt.....	28
5.4 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Einzel-Rohre, mit Dämmung überdeckt, in Böden auf Beton verlegt .....	30
5.5 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Rohr-Paare mit Dämmung überdeckt, in Böden auf Beton verlegt .....	32
5.6 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Einzel-Rohre mit Dämmung überdeckt, in Böden auf Dämmung verlegt .....	33
5.7 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Rohr-Paare mit Dämmung überdeckt, in Böden auf Dämmung verlegt .....	34
5.8 $k_r$ -Werte für Einzel-Rohre in Innenwänden .....	35
5.9 $k_r$ -Werte für Rohr-Paare in Innenwänden.....	36
5.10 $k_r$ -Werte für Einzel-Rohre in Aussenwänden .....	37
5.11 $k_r$ -Werte für Rohr-Paare in Aussenwänden.....	38
6 Umrechnung der tabellierten $k_r$ -Werte bei merklicher Aenderung der Wärmeleitwiderstände bei den Rohren .....	40
6.1 Anwendungsbeispiele.....	40
7 Schlussbemerkungen.....	42
8 Literaturverzeichnis.....	42

### 3 Berechnungsverfahren zur Ermittlung der $k_r$ -Werte

Die bisher verwendete Tabelle über die Wärmeabgabe nicht wärmegeämmter Stahlrohre [1] konnte für unisolierte, sichtbar montierte Leitungen (Aufputz-Leitungen) mit ausreichender Genauigkeit benützt werden.

Eine Anwendung derselben für verdeckt montierte Leitungen (Unterputz-Leitungen) bietet lediglich eine zu grobe Näherungslösung.

Für in Böden verlegte Ringleitungen der Einrohrheizungen wurden solche  $k_r$ -Werte am ZTL seit 1984 eingesetzt, die aus einer Weiterführung der Kalous-Kollmar'schen-Rippentheorie für Flächenheizungen abgeleitet wurden. [2]

Das schuleigene Rechenprogramm "Mathematica" und die Initiative vom Studenten M. Koschütz, 5 HLK/1991/92, mit einer selbst eingebrachten Programmversion (FDIso 2) zur Berechnung der Temperaturverteilung bei stationären, zwei-dimensionalen Wärmeströmen in Baukonstruktionen mit dem Relaxations-Verfahren (mit Finite-Differenzen - Teilung) [3], ermöglichte uns die Weiterführung der Arbeit.

Es wurden solche  $k_r$ -Werte ermittelt, die die spezifischen Wärmeabgaben-Komponenten aus Rohrleitungen in Baukonstruktionen in die Räume der "Nutzer-Seite" oder der "Verlust-Seite" angeben.

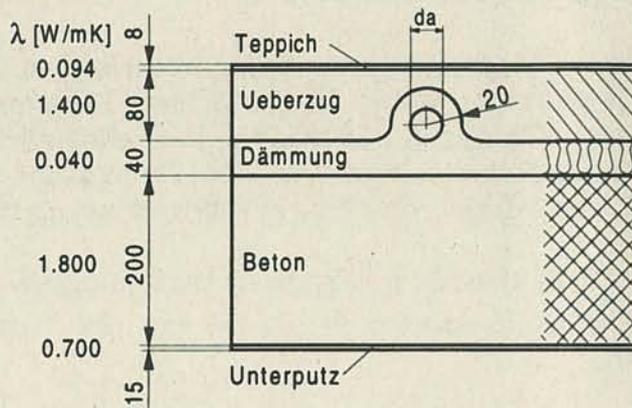
Die  $k_{rN}$  und  $k_{rV}$  Werte können auch dann verwendet werden, falls andauernd eine merklich tiefere Temperatur auf der "Verlustseite" herrscht als auf der "Nutzerseite". (Siehe die Berechnung z. B. für den Fall des Bodentyps 6.2 auf den Seiten 22 bis 24)

## 4 Beispiele zur $k_r$ -Wert Ermittlung

### 4.1 $k_r$ -Wert Ermittlung zur Bodenkonstruktionsvariante 6.1

#### 4.1.1 Bodenschnitt

Ausgangslage ist der Bodenschnitt, rechtwinklig zu der im Boden verlegten isolierten Einrohrheizungsleitung. Die Lufttemperatur der Nutzer- ( $t_{mN}$ ) wie der Verlustseite ( $t_{mV}$ ) beträgt  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . Als Jahresmitteltemperatur des Heizmediums wird generell  $40\text{ }^\circ\text{C}$  angenommen.



Figur 1

#### 4.1.2 Modellaufbau zur Ermittlung der Temperaturverteilung in der Baukonstruktion

Aus dem Bodenschnitt kann nun der Modellaufbau für diese Konstruktion erstellt werden. Als Rohrlänge wird eine Strecke von 1 m mit unveränderten thermischen Bedingungen vorausgesetzt. Im Modellaufbau sind die geometrischen Größen der Elemente, die Baustoffmaterialien, die Wärmedämmdicken, die Wärmeübergangs- und Wärmedurchgangskoeffizienten, die Raumtemperaturen und die sich aus den Kenndaten berechneten Größen in Tabellenform dargestellt.

Die in der Berechnung verwendeten Wärmeübergangskoeffizienten nach Glück [4], in Abhängigkeit der Uebertemperatur der Boden- bzw der Deckenoberfläche werden wie folgt berechnet:

$$\alpha_N(x) = 8.92 \cdot (t_{NOB(x)} - t_{mN})^{0.1} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad 2.)$$

$$\alpha_V(x) = 5.7 + 0.09 \cdot (t_{VOB(x)} - t_{mV}) \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad 3.)$$

$t_{NOB(x)}$  = Oberflächentemperatur des Bodens auf der Nutzerseite in Abhängigkeit der Breite (x)

$t_{VOB(x)}$  = Oberflächentemperatur des Bodens auf der Verlustseite in Abhängigkeit der Breite (x)

Dabei wurden je nach Einflussgrösse für jedes Element auf der Nutzerseite (Bodenoberseite) und der Verlustseite (Bodenunterseite) der Wärmedurchgangskoeffizient berechnet, oder es wurden für alle Elemente auf der Nutzerseite (Bodenoberseite) und Verlustseite (Bodenunterseite) konstante Wärmedurchgangskoeffizienten angenommen, sofern die  $\alpha$ -Werte in kleinen Grenzen schwankten.

### Modellaufbau Boden 6.1

Figur 2

		Dämmung oben 40 mm		Lufttemperatur oben $t_{mN}$ 20 °C		Lufttemperatur unten $t_{mV}$ 20 °C		$t_m = 40$ °C															
$\Sigma$ mm	g <sub>s</sub>	A	B	C	D	E	F	E	D	C	B	A											
10.0	448.3	886.5	1036.5	1186.5	1291.5	1396.5	1421.5	1446.5	1471.5	1491.5	1508.5	1528.5	1553.5	1578.5	1603.5	1708.5	1813.5	1963.5	2113.5	2551.8	2990.0	3000.0	
h / b																							
mm		10.0	438.25	438.25	150.0	105.0	105.0	105.0	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	105.00	105.00	150.0	438.25	438.25
Element		A	B	C	D	E	E	E	E	F	E	E	E	E	E	D	D	D	C	C	B	B	A
h / b		10.0																					
mm		10.0																					
A	10.0	Luft oben																					
O	8.0	Teppich																					
Q	21.6	Ueberzug																					
Q	21.6	Ueberzug																					
S	20.0	Ueberzug/Dämmung																					
G	17.0	Ueberzug/Dämmung/Rohr																					
R	40.0	Dämmung																					
S	100	Stahlbeton																					
S	100	Stahlbeton																					
a	0.0	Dämmung																					
a	0.0	Dämmung																					
T	15.0	Unterputz																					
H	10.0	Luft unten																					
Element		H	I	I	J	J	K	K	K	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	H
$\alpha_s$																							

### 4.1.3 Berechnung des üblichen k-Wertes der ungestörten Baukonstruktion und der „Zwischentemperaturen“

Aufgrund der geometrischen Daten, der Materialien der Baustoffe und der Raum-Lufttemperaturen der Nutzer- und Verlustseite (oben) und (unten) können der k-Wert und die ungestörten Temperaturen in den einzelnen Schichten links und rechts in der Randzone des Modells berechnet werden. Sofern die Raum-Lufttemperaturen der Nutzer- und Verlustseite gleich sind, sind natürlich auch die Temperaturen in den verschiedenen Schichthöhen der Randzone gleich.

Diese Berechnungen werden mit Hilfe des Tabellenkalkulations-Programms EXCEL durchgeführt.

Figur 3

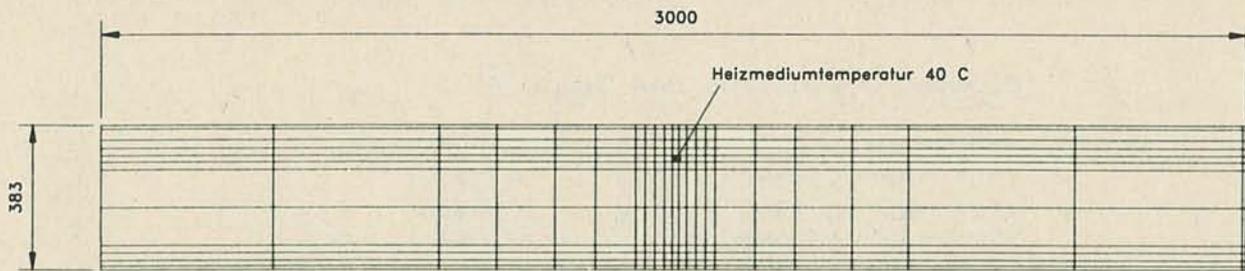
Element	Dicke d m	Material	$\lambda$ W/mK	$\alpha_{n,v}$ W/m <sup>2</sup> ·K	Lufttemperatur oben $t_{m,v}$ Lufttemperatur unten $t_{m,v}$		$1/\alpha_{n,v}$ oder $d/\lambda$	$1/\alpha_{n,v} + \sum d/\lambda_j$	$\Delta t$ °C	l °C	1 m Schicht °C
					20 °C	20 °C					
A	0.0100	Luft oben		7.10						20.00	
O	0.0080	Teppich	0.094		0.141		0.141	0.00	20.00	20.00	20.00
Q	0.0215	Ueberzug	1.400		0.085		0.226	0.00	20.00	20.00	20.00
Q	0.0215	Ueberzug	1.400		0.015		0.241	0.00	20.00	20.00	20.00
5	0.0200	Ueberzug	1.400		0.015		0.257	0.00	20.00	20.00	20.00
G	0.0170	Ueberzug	1.400		0.014		0.271	0.00	20.00	20.00	20.00
R	0.0400	Dämmung	0.040		0.012		0.283	0.00	20.00	20.00	20.00
S	0.1000	Stahlbeton	1.800		1.000		1.283	0.00	20.00	20.00	20.00
S	0.1000	Stahlbeton	1.800		0.056		1.339	0.00	20.00	20.00	20.00
a	0.0000	Dämmung	0.040		0.056		1.394	0.00	20.00	20.00	20.00
a	0.0000	Dämmung	0.040		0.000		1.394	0.00	20.00	20.00	20.00
T	0.0150	Unterputz	0.700		0.000		1.394	0.00	20.00	20.00	20.00
H	0.0100	Luft unten		5.71	0.021		1.416	0.00	20.00	20.00	20.00
					0.175		1.591	0.00	20.00	20.00	20.00

$\Delta t = 1/\alpha \cdot q$	k =	0.63	W/m <sup>2</sup> ·K
$\Delta t = 1/\alpha \cdot q$	q = k · (t <sub>m,v</sub> - t <sub>m,v</sub> )	0.00	W/m <sup>2</sup>

#### 4.1.4 Finite-Differenzen-Teilung des Bodens 6.1

Entsprechend dem Bodenschnitt und den zugehörigen Berechnungen lässt sich nun ein vernünftiger Aufbau der Finite-Differenzen-Teilung erstellen. Da die Anzahl der Elemente begrenzt ist, bildet man den Rohrquerschnitt vereinfacht als Quadrat ab.



Figur 4

#### 4.1.5 Eingabedaten zur Berechnung des Bodens 6.1 für das FD Programm in MATHEMATICA

Nachdem alle geometrischen sowie materialspezifischen Daten bestimmt und berechnet sind, wurden diese in einem Text Editor für die Berechnung des FD Iso 2 Programmes in MATHEMATICA aufbereitet.

```
auk = 188; [Anzahl Unbekannte]
arb = 60; [Anzahl Randbedingungen]
asrb= 1; [Anzahl Sonderrandbedingungen]
aep = 4; [Anzahl Eckpunkte]
xmax= 23; [Anzahl Elemente in x Richtung]
ymax= 11; [Anzahl Elemente in y Richtung]
```

[Finite-Differenzen-Teilung der Bodenkonstruktion]

```
arr=
{ {"ABBCCDDEEE*F*EEEDDCCBBA"},
  {"OUUVVWXXXçYçXXXWVVUUO"},
  {"Qgghhiijjj*k%jjjiihhggQ"},
  {"Qgghhiijjj*k%jjjiihhggQ"},
  {"5667788999üü9998877665"},
  {"GNNZZeeffféléfffeeZZNNG"},
  {"RmmnooppàöàpppoonmmR"},
  {"Sssttuuvvv$w$vvvuuttssS"},
  {"Sssttuuvvv$w$vvvuuttssS"},
  {"Tyyzz22333!4!33322zzyyT"},
  {"HIIJJKKLLL?M?LLLKKJJIIH"};}
```

[Element-Definition der Luftschicht oben]

```

symlis={
{"A", "ep", 0.01000, 0.010 ,20, 7.1, "f"},
{"B", "rb", 0.43825, 0.010 ,20, 7.1, "f"},
{"C", "rb", 0.15000, 0.010 ,20, 7.1, "f"},
{"D", "rb", 0.10500, 0.010 ,20, 7.1, "f"},
{"E", "rb", 0.02500, 0.010 ,20, 7.1, "f"},
{"*", "rb", 0.02000, 0.010 ,20, 7.1, "f"},
{"F", "rb", 0.01700, 0.010 ,20, 7.1, "f"},

```

[Element-Definition des Teppich]

```

{"O", "rb", 0.01000, 0.008 ,20, 0.094, "b"},
{"U", "uk", 0.43825, 0.008 ,0.094},
{"V", "uk", 0.15000, 0.008 ,0.094},
{"W", "uk", 0.10500, 0.008 ,0.094},
{"X", "uk", 0.02500, 0.008 ,0.094},
{"ç", "uk", 0.02000, 0.008 ,0.094},
{"Y", "uk", 0.01700, 0.008 ,0.094},

```

[Element-Definition des Ueberzuges]

```

{"Q", "rb", 0.01000, 0.02150 ,20, 1.400, "b"},
{"g", "uk", 0.43825, 0.02150 ,1.400},
{"h", "uk", 0.15000, 0.02150 ,1.400},
{"i", "uk", 0.10500, 0.02150 ,1.400},
{"j", "uk", 0.02500, 0.02150 ,1.400},
{"%", "uk", 0.02000, 0.02150 ,1.400},
{"k", "uk", 0.01700, 0.02150 ,1.400},

```

[Element-Definition des Ueberzuges und Dämmung]

```

{"5", "rb", 0.01000, 0.0200 ,20, 1.400, "b"},
{"6", "uk", 0.43825, 0.0200 ,1.400},
{"7", "uk", 0.15000, 0.0200 ,1.400},
{"8", "uk", 0.10500, 0.0200 ,1.400},
{"9", "uk", 0.02500, 0.0200 ,1.400},
{"ü", "uk", 0.02000, 0.0200 ,0.0400},
{"ä", "uk", 0.01700, 0.0200 ,0.0400},

```

[Element-Definition des Ueberzuges, Dämmung und Rohr]

```

{"G", "rb", 0.01000, 0.0170 ,20, 1.4000, "b"},
{"N", "uk", 0.43825, 0.0170 ,1.4000},
{"Z", "uk", 0.15000, 0.0170 ,1.4000},
{"e", "uk", 0.10500, 0.0170 ,1.4000},
{"f", "uk", 0.02500, 0.0170 ,1.4000},
{"é", "uk", 0.02000, 0.0170 ,0.0400},

```

[Element-Definition der Dämmung]

```

{"R", "rb", 0.01000, 0.0400 ,20, 0.040, "b"},

```

```
{"m", "uk", 0.43825, 0.0400 , 0.040},  
{"n", "uk", 0.15000, 0.0400 , 0.040},  
{"o", "uk", 0.10500, 0.0400 , 0.040},  
{"p", "uk", 0.02500, 0.0400 , 0.040},  
{"à", "uk", 0.02000, 0.0400 , 0.040},  
{"ö", "uk", 0.01700, 0.0400 , 0.040},
```

[Element-Definition des Stahlbeton]

```
{"S", "rb", 0.01000, 0.1000 , 20, 1.800, "b"},  
{"s", "uk", 0.43825, 0.1000 , 1.800},  
{"t", "uk", 0.15000, 0.1000 , 1.800},  
{"u", "uk", 0.10500, 0.1000 , 1.800},  
{"v", "uk", 0.02500, 0.1000 , 1.800},  
{"$", "uk", 0.02000, 0.1000 , 1.800},  
{"w", "uk", 0.01700, 0.1000 , 1.800},
```

[Element-Definition des Unterputz]

```
{"T", "rb", 0.01000, 0.0150 , 20, 0.700, "b"},  
{"y", "uk", 0.43825, 0.0150 , 0.700},  
{"z", "uk", 0.15000, 0.0150 , 0.700},  
{"2", "uk", 0.10500, 0.0150 , 0.700},  
{"3", "uk", 0.02500, 0.0150 , 0.700},  
{"!", "uk", 0.02000, 0.0150 , 0.700},  
{"4", "uk", 0.01700, 0.0150 , 0.700},
```

[Element-Definition der Luftschicht unten]

```
{"H", "ep", 0.01000, 0.0100 , 20, 5.71, "f"},  
{"I", "rb", 0.43825, 0.0100 , 20, 5.71, "f"},  
{"J", "rb", 0.15000, 0.0100 , 20, 5.71, "f"},  
{"K", "rb", 0.10500, 0.0100 , 20, 5.71, "f"},  
{"L", "rb", 0.02500, 0.0100 , 20, 5.71, "f"},  
{"?", "rb", 0.02000, 0.0100 , 20, 5.71, "f"},  
{"M", "rb", 0.01700, 0.0100 , 20, 5.71, "f"},
```

[Element-Definition der Rohre]

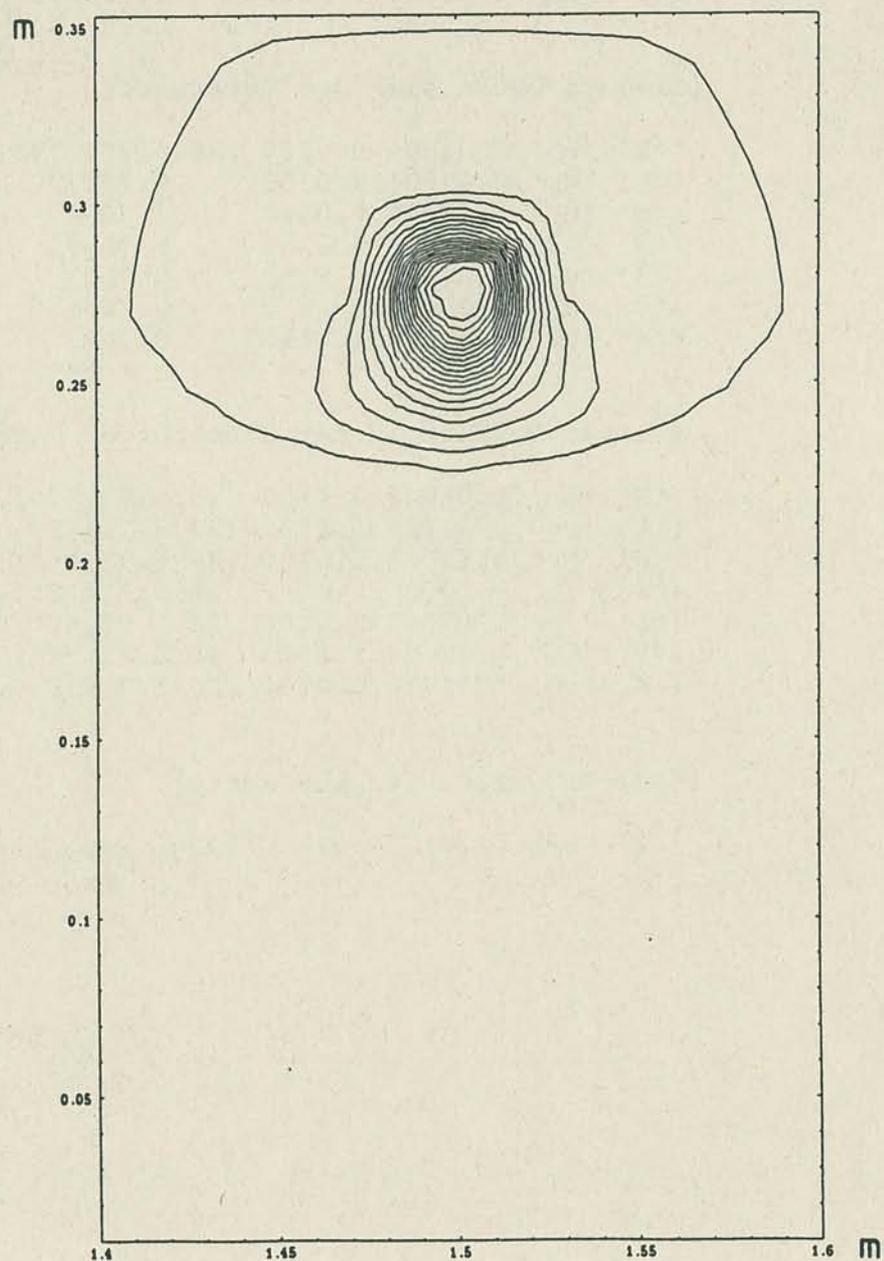
```
{"1", "srb", 0.017, 0.017 , 100000, 40, "f"};}
```

#### 4.1.6 Visuelle Kontrollen der Kontinuität der Randbedingungen und der berücksichtigten Breite des Modells

Nach der eigentlichen Berechnung im MATEMATICA stehen der Isothermenverlauf in der Bodenkonstruktion, der Temperatur-Oberflächenverlauf des Bodens oben und unten zur Verfügung.

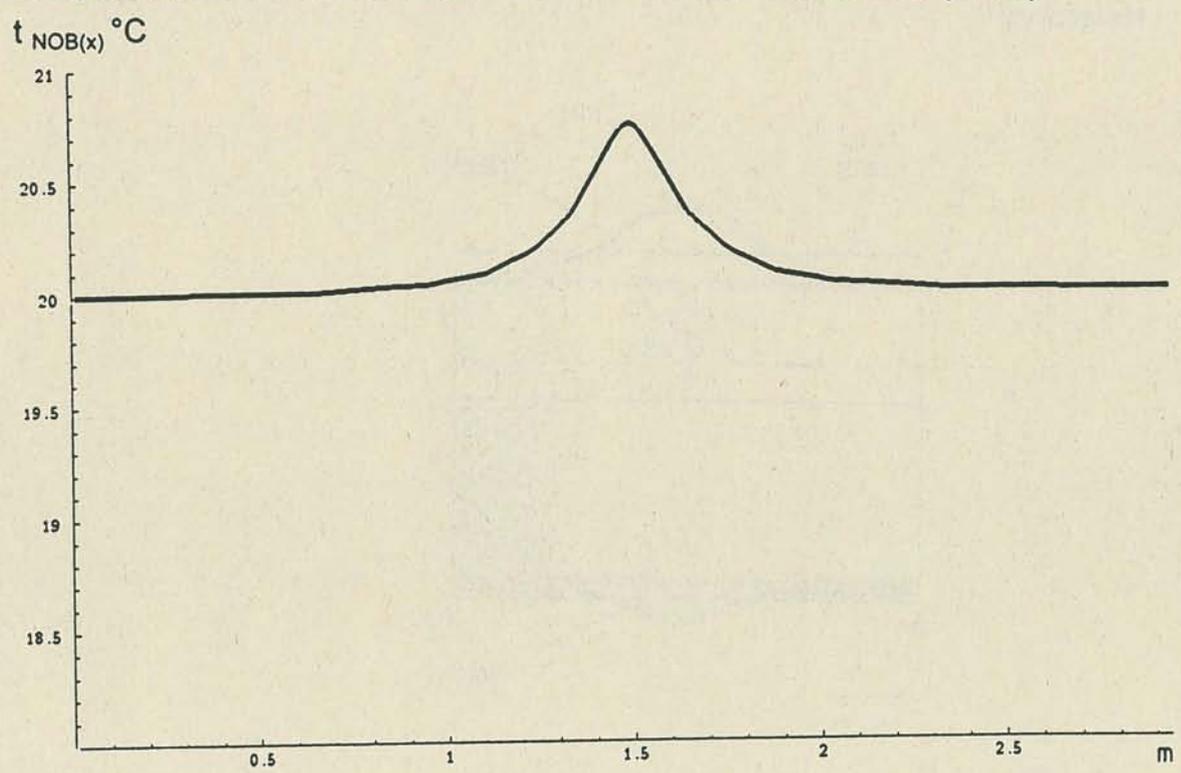
##### Isothermenverlauf in der Bodenkonstruktion

Ausschnitt aus dem Modell mit der Breite von 1.4 m bis 1.6 m, Höhe 0.353 m. Temperaturdifferenz zwischen den Isothermenlinien 1 K.



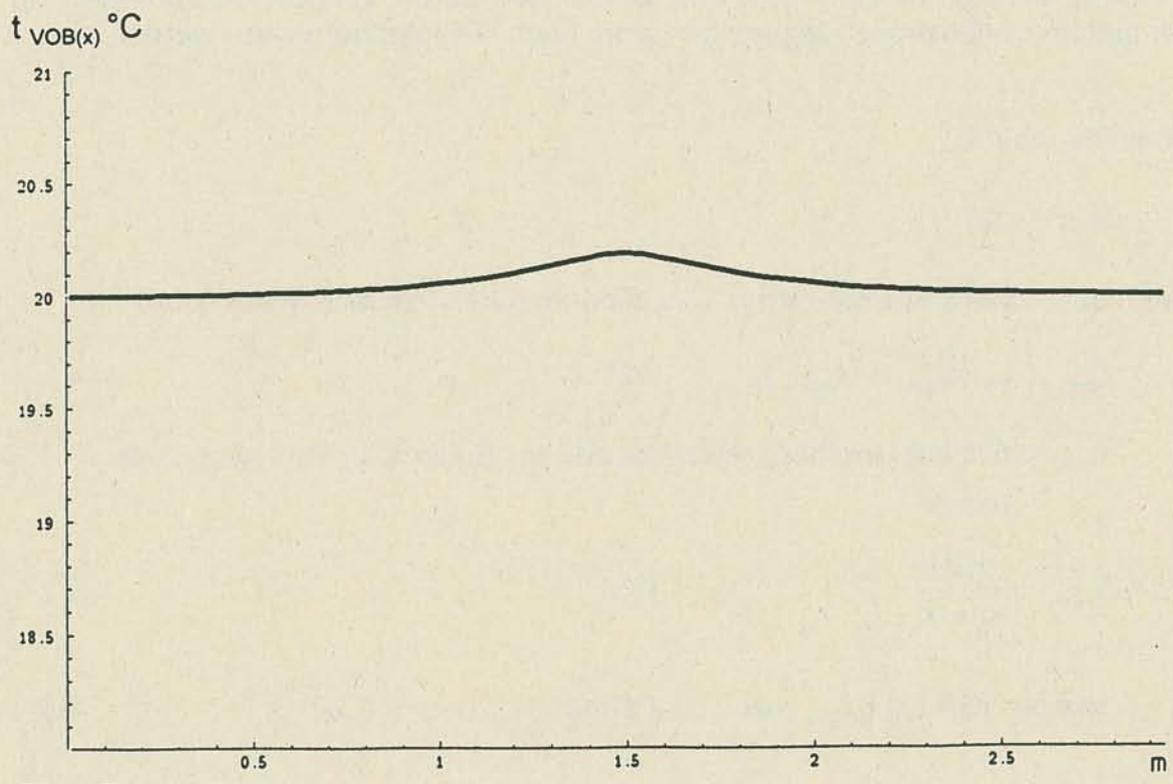
Figur 5

**Temperaturverlauf an der Boden-Oberfläche der Nutzerseite (oben)**



Figur 6

**Temperaturverlauf an der Boden-Oberfläche der Verlustseite (unten)**



Figur 7

#### 4.1.7 Berechnung der Wärmeströme und der $k_r$ -Werte in der Nähe der Heizrohre

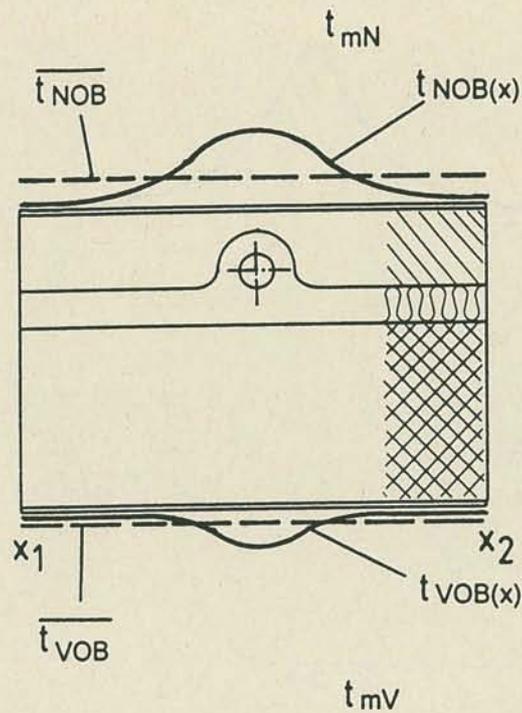


Fig 8

Bei gleicher Raumlufttemperatur  $t_{mV}$  und  $t_{mN}$  entstehen keine Transmissionswärmeverluste. (Vergleiche auch Kapitel 4.2.7 auf S.22)

Die Wärmeleistung, die vom Rohr über den Boden an die Umgebung auf einen ein Meter langen Bodenstreifen abgegeben wird, kann wie folgt berechnet werden.

Nutzerseite (oben):

$$q_N = q_{RN}$$

wobei:  $q_{RN}$  = Wärmestrom durch das Rohr in die Nutzerseite (nach oben)

$$q_{RN} = \alpha_N (\overline{t_{NOB}} - t_{mN}) \cdot b \quad [\text{W/m}] \quad 4.)$$

$\overline{t_{NOB}}$  = mittlere Oberflächentemperatur des Bodens an der Nutzerseite (oben)

$$\overline{t_{NOB}} = \frac{IGN}{x_2 - x_1} \quad [^\circ\text{C}] \quad 5.)$$

$$\text{wobei } IGN = \int_{x_1}^{x_2} t_{NOB(x)} \cdot dx \quad [^\circ\text{Cm}] \quad 6.)$$

$b = x_2 - x_1$  Breite des Streifens in m, über die sich die Mittelwertbildung erstreckt.

$t_{mN}$  = mittlere Raumlufthtemperatur in der Nutzerseite (oben)

Somit:  $k_{rN} = \frac{q_{RN}}{(t_m - t_{mN})}$  [W/mK] 7.)

Verlustseite (unten):

$q_V = q_{RV}$

wobei:  $q_{RV}$  = Wärmestrom durch das Rohr in die Verlustseite (nach unten)

$q_{RV} = \alpha_V (\overline{t_{VOB}} - t_{mV}) \cdot b$  [W/m] 8.)

$\overline{t_{VOB}}$  = mittlere Oberflächentemperatur des Bodens an der Verlustseite (unten)

$\overline{t_{VOB}} = \frac{IGV}{x_2 - x_1}$  [°C] 9.)

wobei  $IGV = \int_{x_1}^{x_2} t_{VOB(x)} \cdot dx$  [°Cm] 10.)

$b = x_2 - x_1$  Breite des Streifens, über die sich die Mittelwertbildung erstreckt.

$t_{mV}$  = mittlere Raumlufthtemperatur in der Verlustseite (unten)

Somit:  $k_{rV} = \frac{q_{RV}}{(t_m - t_{mV})}$  [W/m] 11.)

Für den Boden 6.1 sieht die Berechnung in Tabellenform folgendermassen aus.

**a.) Wärmedurchgangskoeffizient für die Nutzerseite (oben)**

$t_{mN}$	Integration zwischen		b	IGN		$\alpha_N$	$t_m$
°C	$x_1$ [m]	$x_2$ [m]	m	°Cm	°C	W/m <sup>2</sup> K	°C
20	0.5	2.5	2.0	40.2989	20.15	7.1	40

$q_{RN} = \alpha_N (\overline{t_{NOB}} - t_{mN}) \cdot b$ Heizstreifen mit Breite b
W/m
2.12

$k_{rN} = \frac{q_{RN}}{(t_m - t_{mN})}$ pro Meter Rohr
W/mK
0.106

**b.) Wärmedurchgangskoeffizient für die Verlustseite (unten)**

$t_{mv}$	Integration zwischen		b	IGV	$\overline{t_{vob}}$	$\alpha_v$	$t_m$
°C	$x_1$ [m]	$x_2$ [m]	m	°Cm	°C	W/m <sup>2</sup> K	°C
20	0.5	2.5	2.0	40.1431	20.07	5.71	40

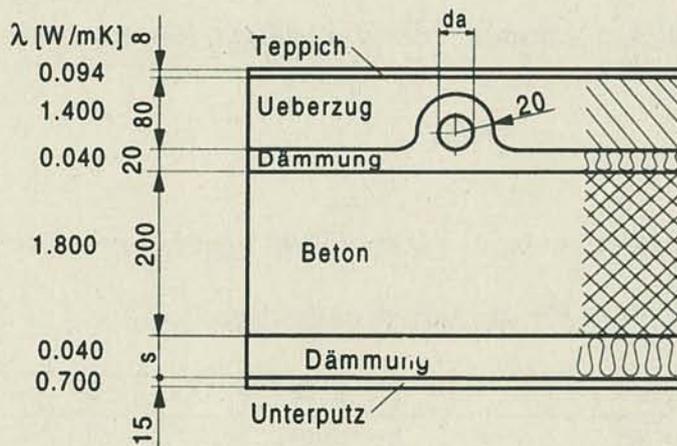
$q_{RV} = \alpha_v (\overline{t_{vob}} - t_{mv}) \cdot b$ Heizstreifen mit Breite b
W/m
0.82

$k_{rv} = \frac{q_{RV}}{(t_m - t_{mv})}$ pro Meter Rohr
W/mK
0.041

**4.2  $k_r$ -Wert Ermittlung zur Bodenkonstruktionsvariante 6.2**

**4.2.1 Bodenschnitt**

Auch hier ist die Ausgangslage der Bodenschnitt, rechtwinklig zu der im Boden verlegten isolierten Einrohrheizungsleitung. Die Lufttemperatur im „Nutzer-Raum“ ( $t_{mN}$ ) beträgt 20 °C und in der Umgebung der Verlustseite ( $t_{mv}$ ) 3 °C (mittlere Aussentemperatur in der Heizsaison).



Figur 9

## 4.2.2 Modellaufbau

Siehe auch unter 4.1.2. (Seite 5)

### Modellaufbau Boden 6.2

Rohr 17 mm      Dämmung oben 20 mm      Lufttemperatur oben  $t_{mN}$  20 °C       $t_m = 40$  °C  
 Anzahl Rohre 1 -      Lufttemperatur unten  $t_{mV}$  3 °C  
 Dämmung unten 40 mm

$\alpha_w$	5.7																						
$\Sigma$ mm	10.0	448.3	886.5	1036.5	1186.5	1291.5	1396.5	1421.5	1446.5	1471.5	1491.5	1508.5	1528.5	1553.5	1578.5	1603.5	1708.5	1813.5	1963.5	2113.5	2551.8	2990.0	3000.0
Element	A	B	B	C	C	D	D	E	E	E	*	F	*	E	E	E	D	D	C	C	B	B	A
h / b mm	10.0	438.25	438.25	150.0	150.0	105.0	105.00	25.00	25.00	25.00	20.00	17.00	20.00	25.00	25.00	25.00	105.00	105.00	150.0	150.0	438.25	438.25	10.00
A 10.0	Luft oben																						
10.0																							
O 8.0	Teppich																						
18.0																							
Q 21.5	Ueberzug																						
39.5																							
Q 21.5	Ueberzug																						
61.0																							
6 20.0	Ueberzug/Dämmung																						
81.0																							
G 17.0	Ueberzug/Dämmung/Rohr																						
98.0																							
R 20.0	Dämmung																						
118.0																							
S 100	Stahlbeton																						
218.0																							
S 100	Stahlbeton																						
318.0																							
a 20.0	Dämmung																						
338.0																							
a 20.0	Dämmung																						
358.0																							
T 15.0	Unterputz																						
373.0																							
H 10.0	Luft unten																						
383.0																							
Element	H	I	I	J	J	K	K	L	L	L	?	M	?	L	L	L	K	K	J	J	I	I	H
$\alpha_v$	5.7																						

1500.0 mm  
283.5 mm      40 °C

Figur 10

### 4.2.3 Berechnung des k-Wertes der Baukonstruktion und der Zwischen-temperaturen

Aufgrund der geometrischen Daten, der Materialien der Baustoffe und der Raumlufttemperaturen „oben“ und „unten“ können der k-Wert und der „Transmissionswärmestrom“ an den „ungestörten“ Bodenstellen sowie die Temperaturen in den einzelnen Schichten links und rechts in der Randzone des Modells berechnet werden. Diese letzteren Daten werden für die Definition der Randbedingungen im FD Berechnungsprogramm benötigt.

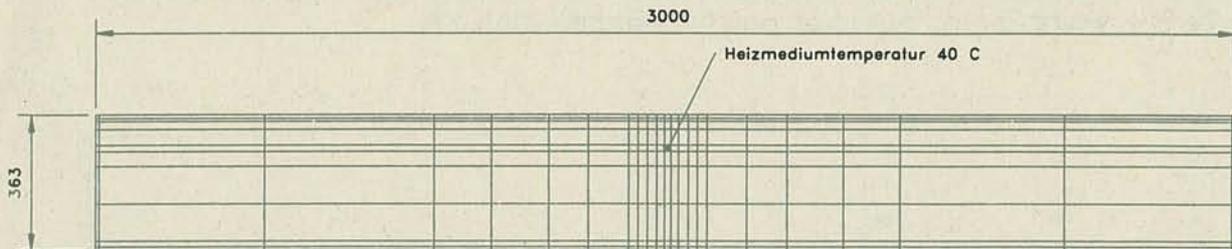
Element	Dicke d m	Material	$\lambda$ W/mK	$\alpha_{N,V}$ W/m <sup>2</sup> K	$1/\alpha_{N,V}$ oder $d_i/\lambda_i$	$1/\alpha_{N,V} + \sum d_i/\lambda_i$	$\Delta t$ °C	t °C	t m Schicht °C
A	0.0100	Luft oben		5.70	0.175		1.40	20.00	
O	0.0080	Teppich	0.094		0.085	0.175	0.68	18.60	18.26
Q	0.0215	Ueberzug	1.400		0.015	0.261	0.12	17.92	17.85
Q	0.0215	Ueberzug	1.400		0.015	0.276	0.12	17.79	17.73
S	0.0200	Ueberzug	1.400		0.014	0.291	0.11	17.67	17.61
G	0.0170	Ueberzug	1.400		0.012	0.306	0.10	17.56	17.51
R	0.0200	Dämmung	0.040		0.500	0.318	4.00	17.46	15.46
S	0.1000	Stahlbeton	1.800		0.056	0.818	0.44	13.46	13.24
S	0.1000	Stahlbeton	1.800		0.056	0.873	0.44	13.02	12.79
a	0.0200	Dämmung	0.040		0.500	0.929	4.00	12.57	10.57
a	0.0200	Dämmung	0.040		0.500	1.429	4.00	8.57	6.57
T	0.0150	Unterputz	0.700		0.021	1.929	0.17	4.57	4.49
H	0.0100	Luft unten		5.7	0.175	1.950	1.40	4.40	3.70
						2.126		3.00	

$\Delta t = 1/\alpha \cdot q$	k = 0.47	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta t = 1/\lambda \cdot q$	q = k · (t <sub>mN</sub> - t <sub>mV</sub> )	8.00 W/m <sup>2</sup>

Figur 11

#### 4.2.4 Finite-Differenzen-Teilung des Bodens 6.2

Entsprechend dem Bodenschnitt und den zugehörigen Berechnungen lässt sich nun eine hier vernünftige Finite-Differenzen-Teilung erstellen. Da die Anzahl der Elemente begrenzt ist, bildet man den Rohrquerschnitt vereinfacht als Quadrat ab.



Figur 12

#### 4.2.5 Eingabedaten zur Berechnung des Bodens 6.2 für das FD Programm in MATHEMATICA

Nachdem auch hier alle geometrischen sowie materialspezifischen Daten via eines Text Editors für die Berechnung des FDIso 2 Programmes in MATHEMATICA zusammengestellt wurden, ergaben sich die folgenden Randbedingungen:

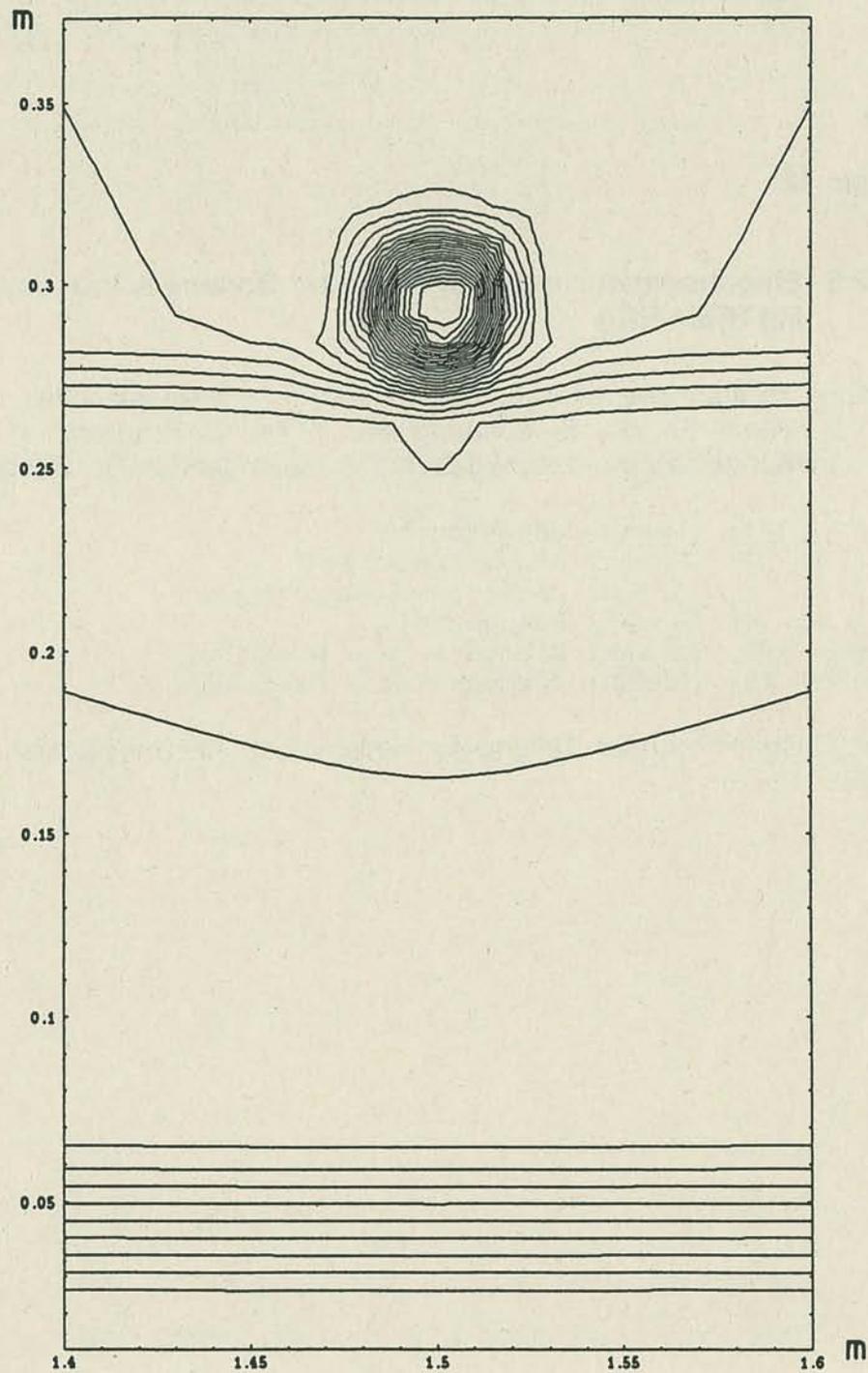
```
auk = 230; [Anzahl Unbekannte]
arb = 64; [Anzahl Randbedingungen]
asrb= 1; [Anzahl Sonderrandbedingungen]
aep = 4; [Anzahl Eckpunkte]
xmax= 23; [Anzahl Elemente in x Richtung]
ymax= 13; [Anzahl Elemente in y Richtung]
```

Die Finite-Differenzen-Teilung der Bodenkonstruktion ergibt sich ähnlich zu den Seiten 9 - 11.

#### 4.2.6 Visuelle Kontrollen der Kontinuität der Randbedingungen und der berücksichtigten Breite des Modells

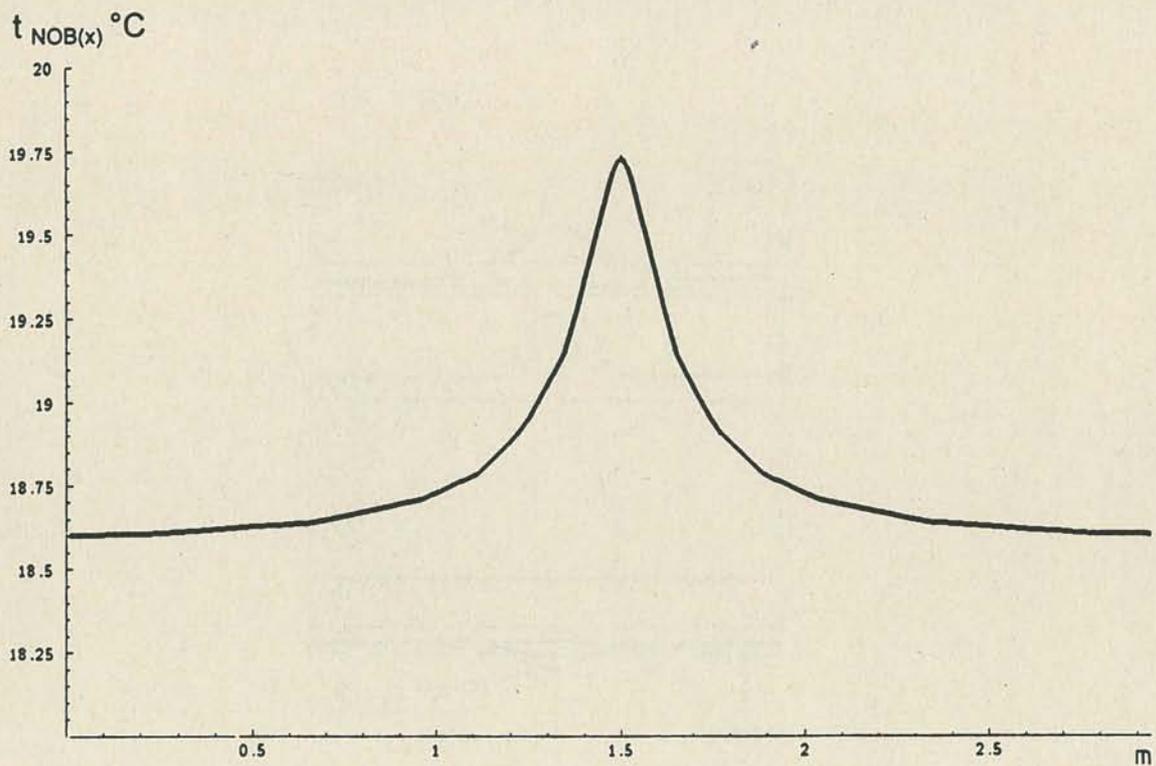
##### Isothermenverlauf in der Bodenkonstruktion

Ausschnitt aus dem Modell mit der Breite von 1.4 m bis 1.6 m, Höhe 0.383 m.  
Temperaturdifferenz zwischen den Isothermenlinien 1 K.



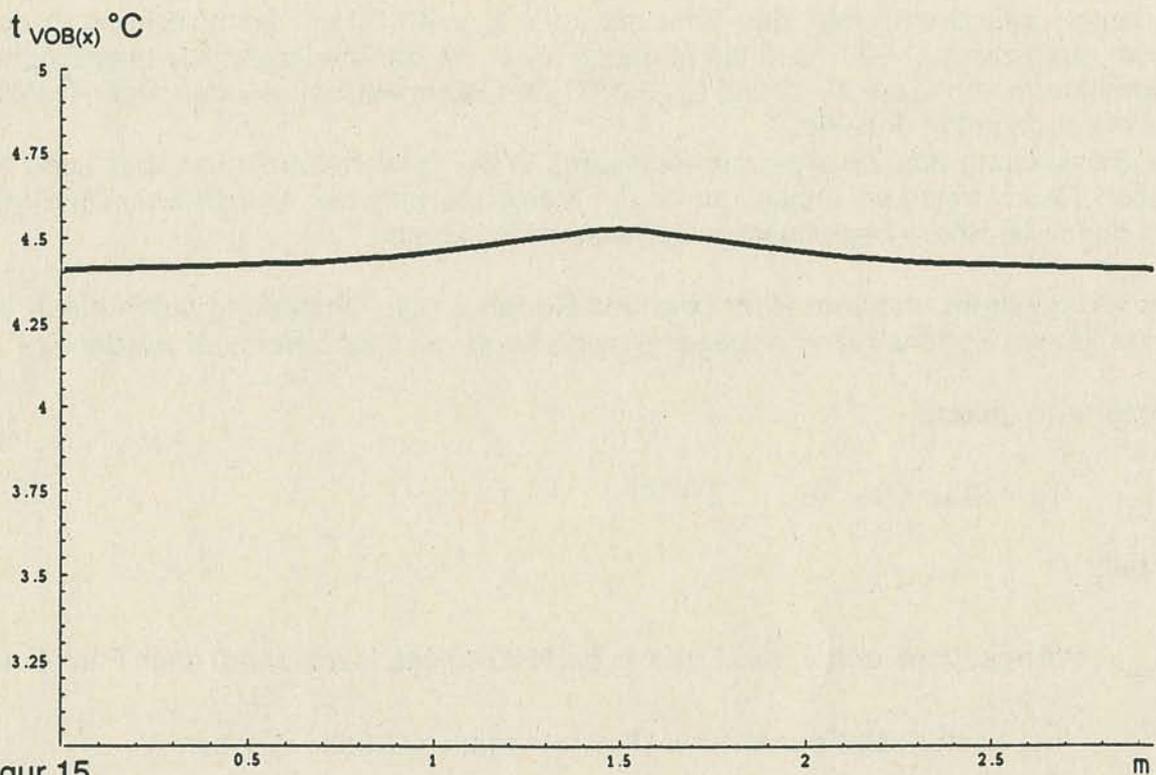
Figur 13

### Temperaturverlauf an der Boden-Oberfläche der Nutzerseite (oben)



Figur 14

### Temperaturverlauf an der Boden-Oberfläche der Verlustseite (unten)



Figur 15

#### 4.2.7 Berechnung der Wärmeströme und der $k_r$ -Werte

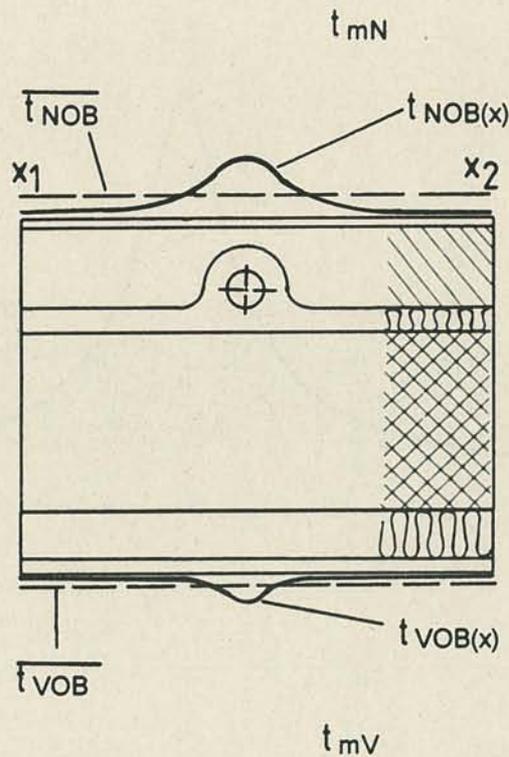


Fig 16

Bei verschiedenen Raumlufttemperaturen  $t_{mV}$  und  $t_{mN}$  muss auch der Transmissions-Wärmestrom berücksichtigt werden.

Es kann vorkommen, dass das Rohr mit z. B.  $t_m = 40^\circ\text{C}$  gar keine Wärme in den Raum oben von  $t_{mN} = 20^\circ\text{C}$  direkt abgeben kann, da der überlagerte Transmissions-Wärmestrom von  $t_{mN} = 20^\circ\text{C}$  auf  $t_{mV} = 3^\circ\text{C}$  den Wärmestrom aus der „Rohr-Quelle“ effektiv nach unten umlenkt.

Die Berechnung des Zwangswärmeconsums in der gewohnten Art ist aber auch für diesen Raum trotzdem richtig, da er die Verminderung der Transmissionsverluste des durch die Rohre beeinflussten Bodenstreifens angibt.

Der Wärmestrom, der vom Rohr über den Boden an die Umgebung durch einen ein Meter langen Bodenstreifen abgegeben wird, kann wie folgt berechnet werden.

Nutzerseite (oben):

$$q_N = q_{RN} + q_{Tr} \cdot b \quad [\text{W/m}] \quad 12.)$$

wobei:

$q_{RN}$  = Wärmestrom durch das Rohr in die Nutzerseite (nach oben) nach Formel 4.)

( $q_{RN}$  kann nach Formel 4.) u. U. eine negative Grösse ergeben !)

$q_{Tr}$  = der bei diesem Bodenstreifen fiktiven Transmissions – Wärmestrom durch den Boden

$$q_{Tr} = k (t_{mN} - t_{mV}) \quad [W/m^2] \quad 13.)$$

(entsprechend der untersten Zeile der Tabelle auf der Seite 18)

Somit:  $k_{rN} = \frac{q_N}{(t_m - t_{mN})}$

Verlustseite (unten):

$$q_V = q_{RV} - q_{Tr} \cdot b \quad [W/m] \quad 14.)$$

wobei:  $q_{RV}$  = Wärmestrom durch das Rohr in die Verlustseite (nach unten) gemäss Formel 8.)

$q_{Tr}$  = Transmissions – Wärmestrom durch den Boden gemäss Formel 13.)

Somit:  $k_{rV} = \frac{q_V}{(t_m - t_{mV})}$

Für den Boden 6.2 sieht die Berechnung in Tabellenform folgendermassen aus

**a.) Wärmedurchgangskoeffizient für die Nutzerseite (nach oben)**

$t_{mN}$	Integration zwischen		b	IGN	$\overline{t_{NOB}}$	$\alpha_N$	$t_m$
°C	$x_1$ [m]	$x_2$ [m]	m	°Cm	°C	W/m <sup>2</sup> K	°C
20	0.5	2.5	2.0	37.7152	18.86	5.7	40

$q_N = \alpha_N (\overline{t_{NOB}} - t_{mN}) \cdot b + q_{Tr} \cdot b$ Heizstreifen mit Breite b	$q_{Tr}$ W/m <sup>2</sup>
W/m	8.00
2.97	

$k_{rN} = \frac{q_N}{(t_m - t_{mN})}$ pro Meter Rohr
W/mK
0.149

**b.) Wärmedurchgangskoeffizient für die Verlustseite (nach unten)**

$t_{mV}$	Integration zwischen		b	IGV	$\overline{t_{VOB}}$	$\alpha_V$	$t_m$
°C	$x_1$ [m]	$x_2$ [m]	m	°Cm	°C	W/m <sup>2</sup> K	°C
3	0.5	2.5	2.0	8.9282	4.46	5.70	40

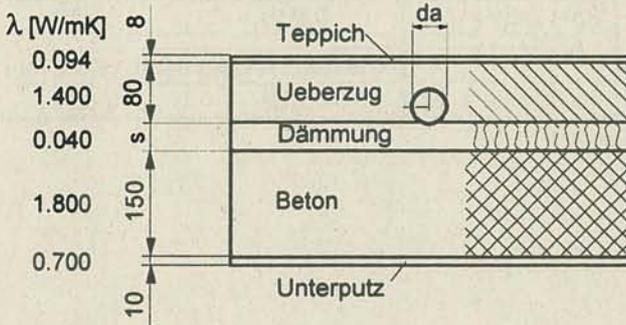
$q_V = \alpha_V (\overline{t_{VOB}} - t_{mV}) \cdot b - q_{Tr} \cdot b$ Heizstreifen mit Breite b	$q_{Tr}$ W/m <sup>2</sup>
W/m	8.00
0.70	

$k_{rV} = \frac{q_V}{(t_m - t_{mV})}$ pro Meter Rohr
W/mK
0.0191

## 5 Darstellung der Resultate: $k_r$ - Werte für Rohre in Böden und Wänden

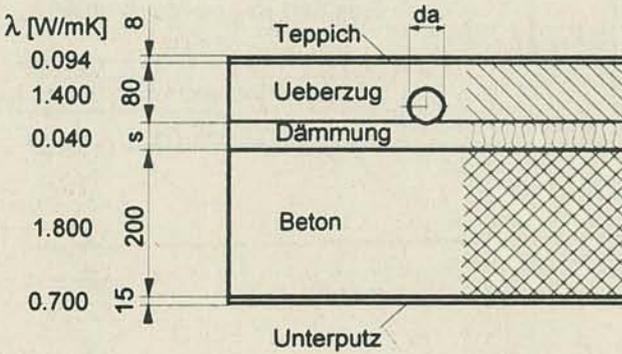
### 5.1 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte von Einzel-Rohren, in Böden auf Dämmung verlegt

#### Boden 1.1.



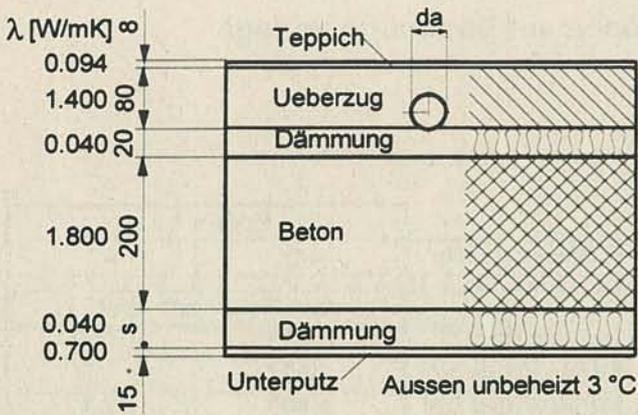
Boden 1.1.		
Dämmung s mm	20	40
Aus dem Rohr nach oben, $k_{rN}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.833	0.877
Rohr $\phi$ da = 17	0.907	
Rohr $\phi$ da = 22	0.993	1.037
Aus dem Rohr nach unten, $k_{rV}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.270	0.171
Rohr $\phi$ da = 17	0.289	
Rohr $\phi$ da = 22	0.314	0.197

#### Boden 1.2.



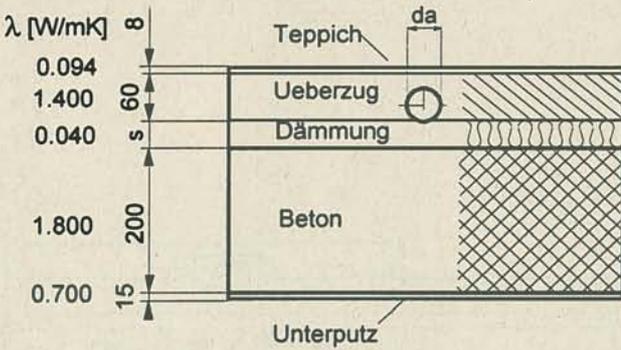
Boden 1.2.	
Dämmung s mm	20
Aus dem Rohr nach oben, $k_{rN}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.906
Aus dem Rohr nach unten, $k_{rV}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.274

### Boden 1.3.



Boden 1.3.		
Dämmung s mm	40	80
	Aus den Rohren nach oben, $k_{rN}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.935	0.958
	Aus den Rohren nach unten, $k_{rU}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.090	0.054

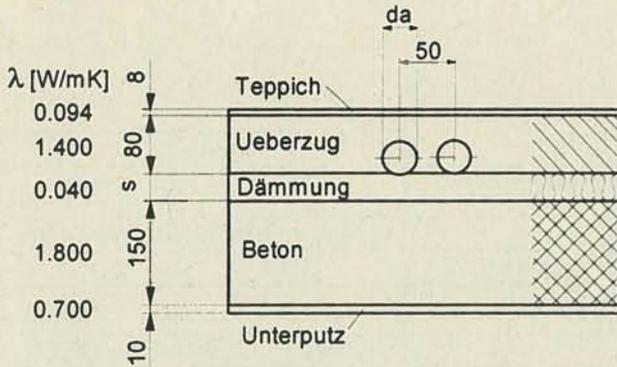
### Boden 1.4.



Boden 1.4.		
Dämmung s mm	20	
	Aus den Rohren nach oben, $k_{rN}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.904	
	Aus den Rohren nach unten, $k_{rU}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.258	

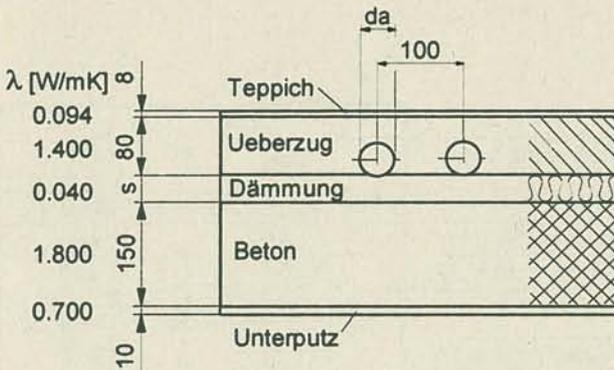
## 5.2 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Rohr-Paare in Böden auf Dämmung verlegt

### Boden 2.1.



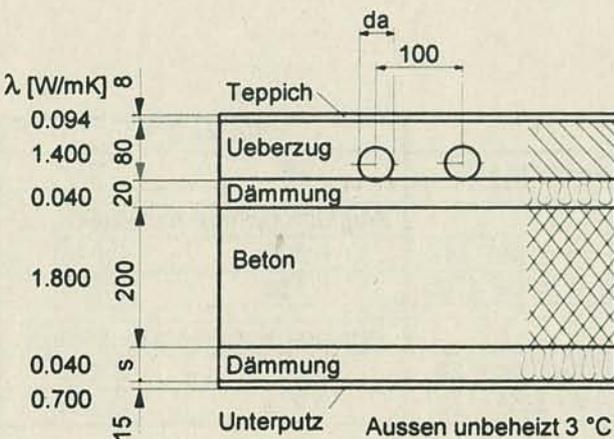
Boden 2.1.		
Dämmung s mm	20	40
Aus den Rohren nach oben, $k_{rN}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.536	0.552
Rohr $\phi$ da = 22	0.614	0.633
Aus den Rohren nach unten, $k_{rV}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.174	0.106
Rohr $\phi$ da = 22	0.195	0.121

### Boden 2.2.



Boden 2.2.		
Dämmung s mm	20	40
Aus den Rohren nach oben, $k_{rN}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.612	0.635
Rohr $\phi$ da = 22	0.710	0.730
Aus den Rohren nach unten, $k_{rV}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.198	0.125
Rohr $\phi$ da = 22	0.222	0.138

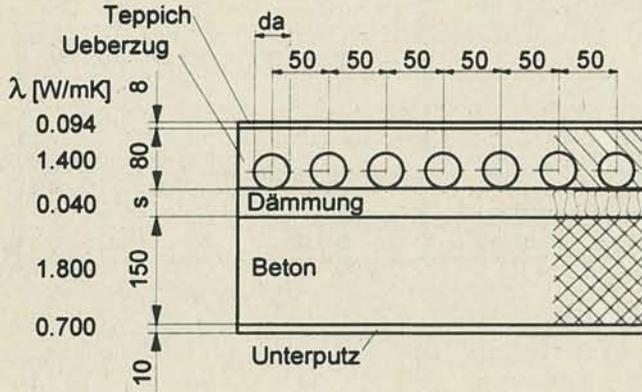
### Boden 2.3.



Boden 2.3.	
Dämmung s mm	40
Aus den Rohren nach oben, $k_{rN}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.867
Aus den Rohren nach unten, $k_{rV}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.058

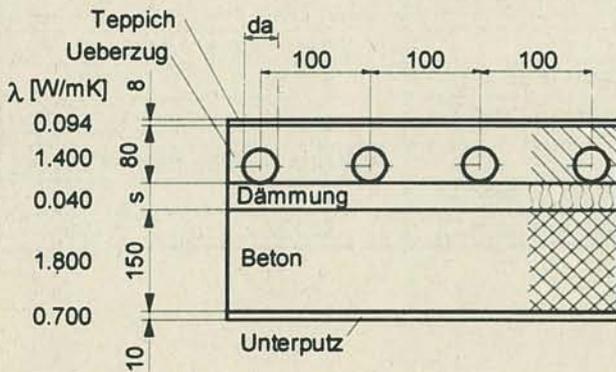
### 5.3 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Rohr-Serien (Rohre in Verteiler-Nähe, Rohrschlangen für Bodenheizungen) in Böden auf Dämmung verlegt

#### Boden 3.1.



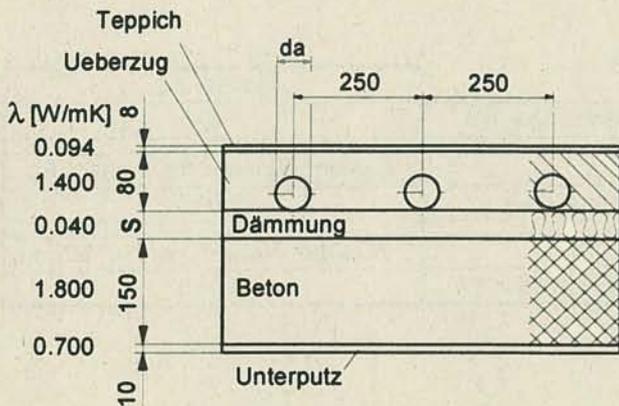
Boden 3.1.		
Dämmung s mm	20	40
Aus den Rohren nach oben, $k_{rN}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.212	0.212
Rohr $\phi$ da = 22	0.222	0.222
Aus den Rohren nach unten, $k_{rV}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.062	0.037
Rohr $\phi$ da = 22	0.064	0.038

#### Boden 3.2.



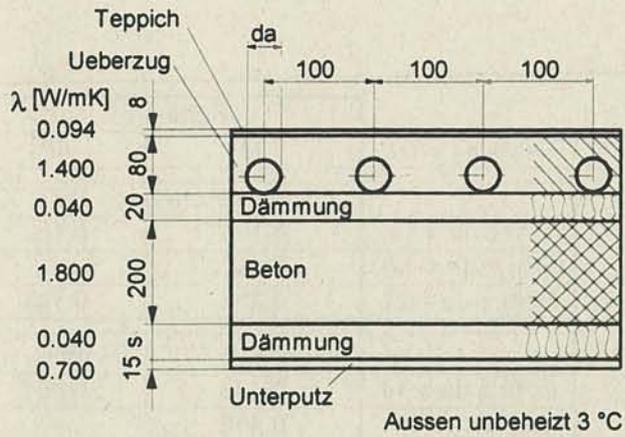
Boden 3.2.		
Dämmung s mm	20	40
Aus den Rohren nach oben, $k_{rN}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.380	0.390
Rohr $\phi$ da = 22	0.419	0.424
Aus den Rohren nach unten, $k_{rV}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.110	0.067
Rohr $\phi$ da = 22	0.118	0.073

#### Boden 3.3.



Boden 3.3.		
Dämmung s mm	20	40
Aus den Rohren nach oben, $k_{rN}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.620	0.645
Rohr $\phi$ da = 22	0.760	0.789
Aus den Rohren nach unten, $k_{rV}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.182	0.115
Rohr $\phi$ da = 22	0.213	0.133

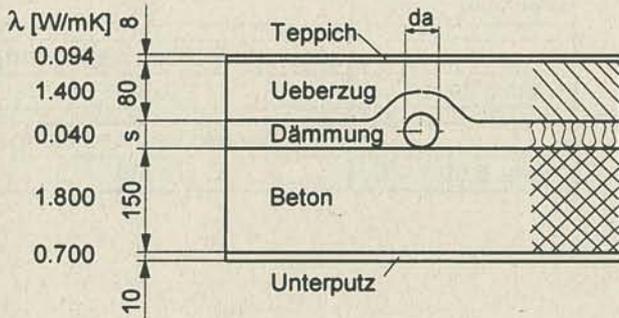
### Boden 3.4.



Boden 3.4.	
Dämmung s mm	40
	Aus den Rohren nach oben, $k_{rN}$
Rohr $\phi$ $d_a = 17$	0.444
	Aus den Rohren nach unten, $k_{rV}$
Rohr $\phi$ $d_a = 17$	0.031

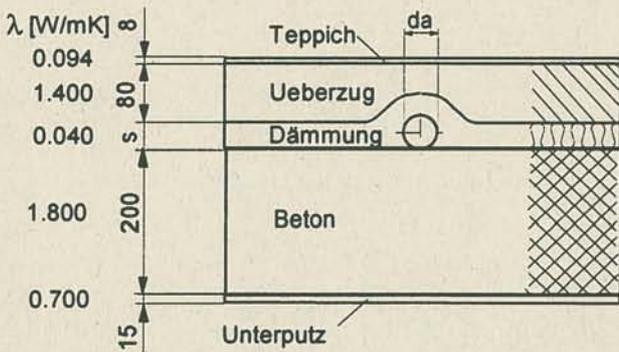
## 5.4 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Einzel-Rohre, mit Dämmung überdeckt, in Böden auf Beton verlegt

### Boden 4.1.



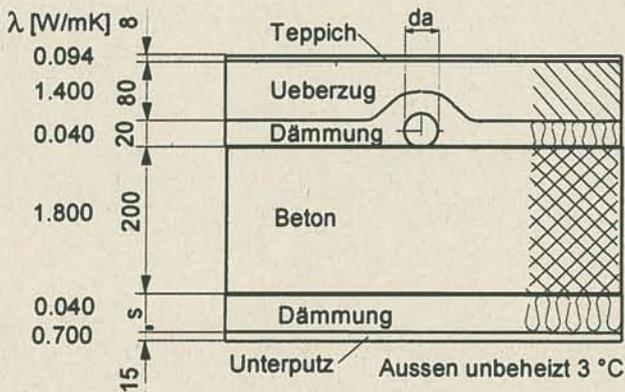
Boden 4.1.		
Dämmung s mm	20	40
Aus dem Rohr nach oben, $k_{rN}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.160	0.102
Rohr $\phi$ da = 17	0.187	
Rohr $\phi$ da = 22	0.223	0.136
Aus dem Rohr nach unten, $k_{rV}$		
Rohr $\phi$ da = 14	0.433	0.467
Rohr $\phi$ da = 17	0.495	
Rohr $\phi$ da = 22	0.582	0.611

### Boden 4.2.



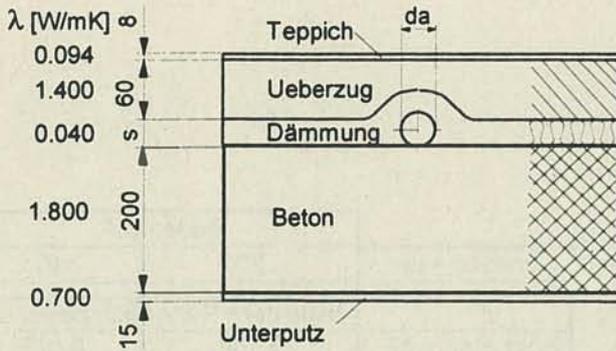
Boden 4.2		
Dämmung s mm	20	40
Aus dem Rohr nach oben, $k_{rN}$		
Rohr $\phi$ da = 17	0.180	0.117
Aus dem Rohr nach unten, $k_{rV}$		
Rohr $\phi$ da = 17	0.408	0.442

### Boden 4.3.



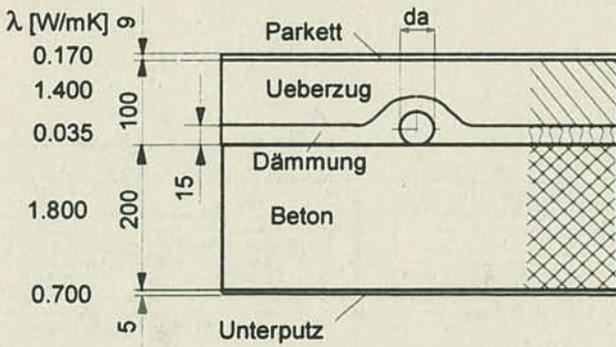
Boden 4.3.		
Dämmung s mm	40	80
Aus dem Rohr nach oben, $k_{rN}$		
Rohr $\phi$ da = 17	0.395	0.405
Aus dem Rohr nach unten, $k_{rV}$		
Rohr $\phi$ da = 17	0.156	0.091

### Boden 4.4.



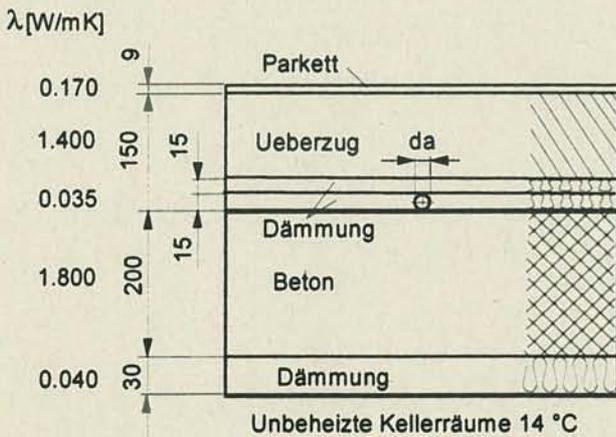
Boden 4.4.	
Dämmung s mm	10
	Aus dem Rohr nach oben, $k_{VN}$
Rohr $\phi$ da = 17	0.276
	Aus dem Rohr nach unten, $k_{VU}$
Rohr $\phi$ da = 17	0.391

### Boden 4.5



Boden 4.5.	
Dämmung s mm	1 x 15
	Aus dem Rohr nach oben, $k_{VN}$
Rohr $\phi$ da = 14	0.154
	Aus dem Rohr nach unten, $k_{VU}$
Rohr $\phi$ da = 14	0.348

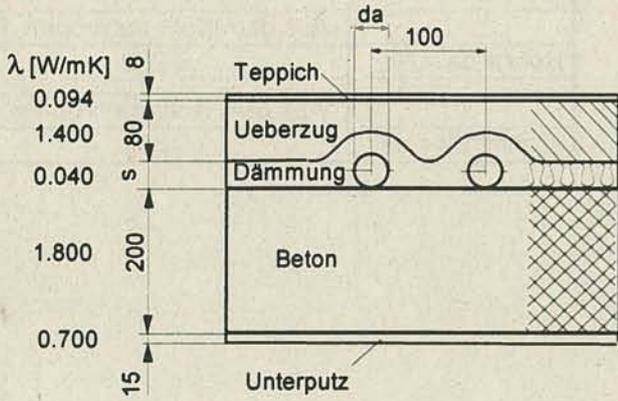
### Boden 4.6



Boden 4.6.	
Dämmung s mm	2 x 15 / 30
	Aus dem Rohr nach oben, $k_{VN}$
Rohr $\phi$ da = 14	0.234
	Aus dem Rohr nach unten, $k_{VU}$
Rohr $\phi$ da = 14	0.172

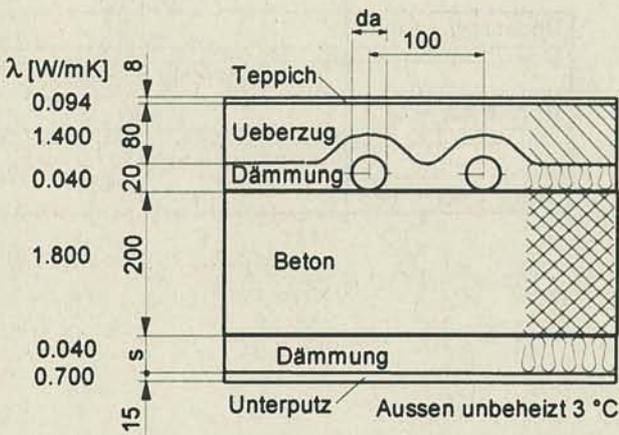
## 5.5 $k_{TN}$ und $k_{TV}$ Werte für Rohr-Paare mit Dämmung überdeckt, in Böden auf Beton verlegt

### Boden 5.1



Boden 5.1.		
Dämmung s mm	20	40
	Aus dem Rohr nach oben, $k_{TN}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.154	0.097
	Aus dem Rohr nach unten, $k_{TV}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.361	0.389

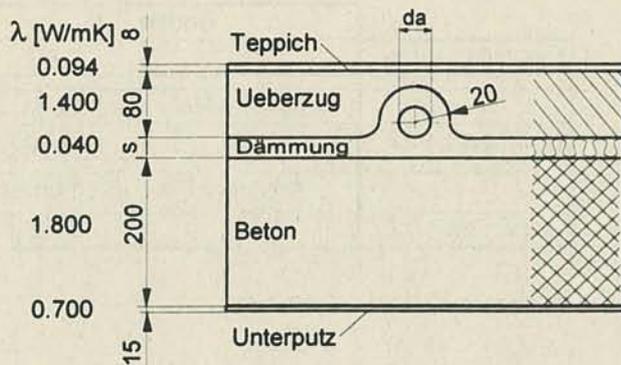
### Boden 5.2.



Boden 5.2.		
Dämmung s mm	40	80
	Aus dem Rohr nach oben, $k_{TN}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.307	0.298
	Aus dem Rohr nach unten, $k_{TV}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.102	0.060

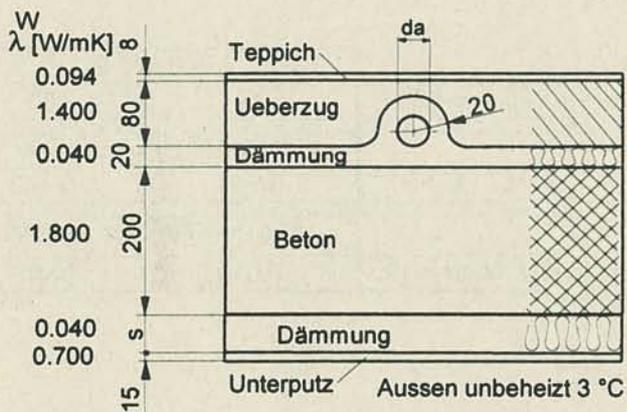
## 5.6 $k_{rN}$ und $k_{rV}$ Werte für Einzel-Rohre mit Dämmung überdeckt, in Böden auf Dämmung verlegt

### Boden 6.1.



Boden 6.1.		
Dämmung s mm	20	40
	Aus dem Rohr nach oben, $k_{rN}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.102	0.106
	Aus dem Rohr nach unten, $k_{rV}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.063	0.041

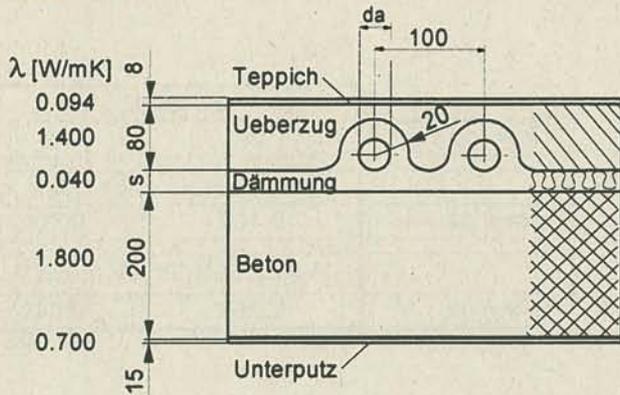
### Boden 6.2.



Boden 6.2.		
Dämmung s mm	40	80
	Aus dem Rohr nach oben, $k_{rN}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.149	0.149
	Aus dem Rohr nach unten, $k_{rV}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.019	0.012

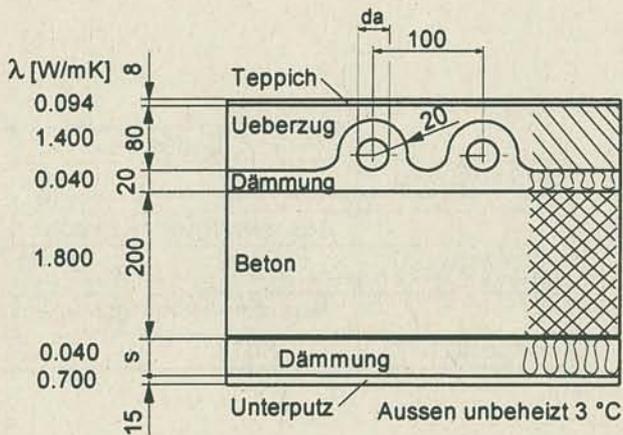
## 5.7 $k_{TN}$ und $k_{TV}$ Werte für Rohr-Paare mit Dämmung überdeckt, in Böden auf Dämmung verlegt

### Boden 7.1.



Boden 7.1.		
Dämmung s mm	20	40
Aus dem Rohr nach oben, $k_{TN}$		
Rohr $\phi$ da = 17	0.101	0.105
Aus dem Rohr nach unten, $k_{TV}$		
Rohr $\phi$ da = 17	0.061	0.039

### Boden 7.2.

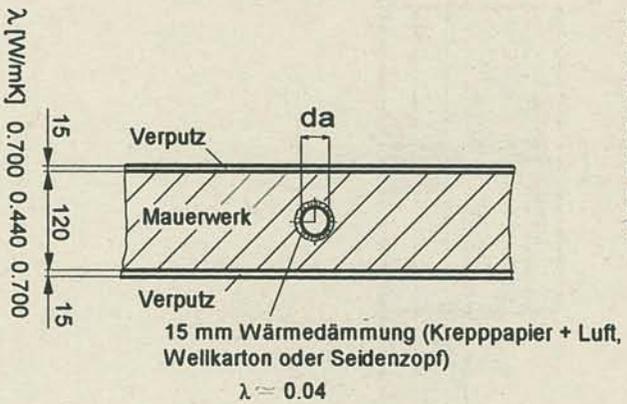


Boden 7.2.		
Dämmung s mm	40	80
Aus dem Rohr nach oben, $k_{TN}$		
Rohr $\phi$ da = 17	0.144	0.143
Aus dem Rohr nach unten, $k_{TV}$		
Rohr $\phi$ da = 17	0.018	0.011

### 5.8 k<sub>r</sub>-Werte für Einzel-Rohre in Innenwänden

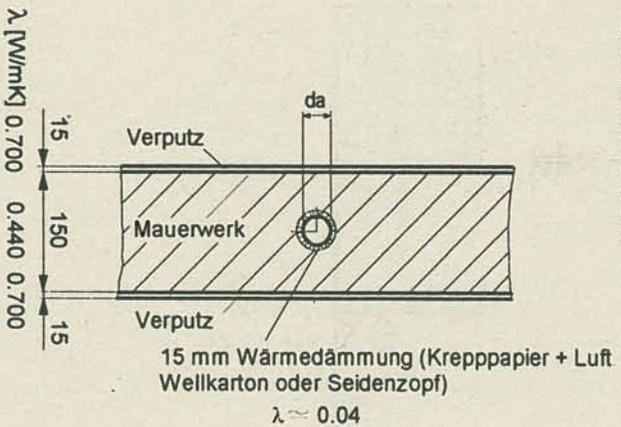
$k_{r/2}$  ist die Wärmedurchgangszahl aus dem Heizmedium in die Umgebungsluft der einen Seite der Innenwand, bezogen auf die Rohrlänge, [W/mK]. Die Lufttemperatur auf beiden Seiten beträgt 20 °C.

#### Innenwand 8.1.



Innenwand 8.1.	
Aus dem Rohr nach der einen Seite, $k_{r/2}$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.092
Rohr $\phi$ da = 34	0.152
Rohr $\phi$ da = 57	0.217

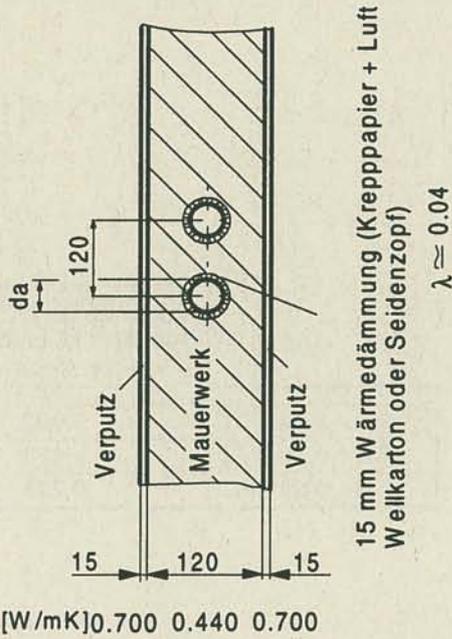
#### Innenwand 8.2.



Innenwand 8.2.	
Aus dem Rohr nach der einen Seite, $k_{r/2}$	
Rohr $\phi$ da = 34	0.149

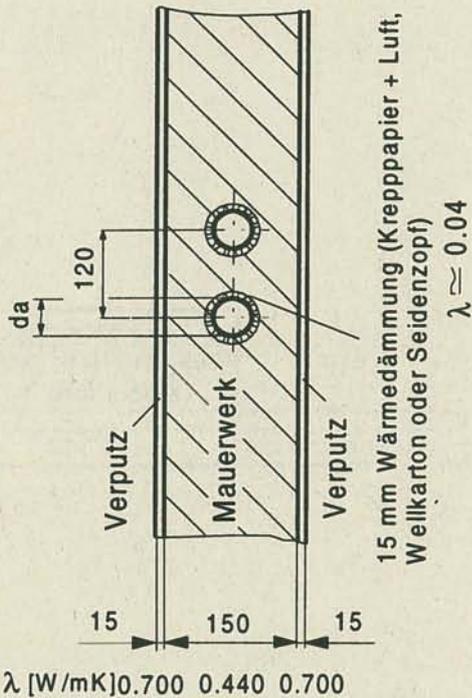
## 5.9 $k_r$ -Werte für Rohr-Paare in Innenwänden

### Innenwand 9.1.



Innenwand 9.1.	
Aus dem Rohr nach der einen Seite, $kr/2$	
Rohr $\phi$ da = 17	0.090
Rohr $\phi$ da = 34	0.145

### Innenwand 9.2.



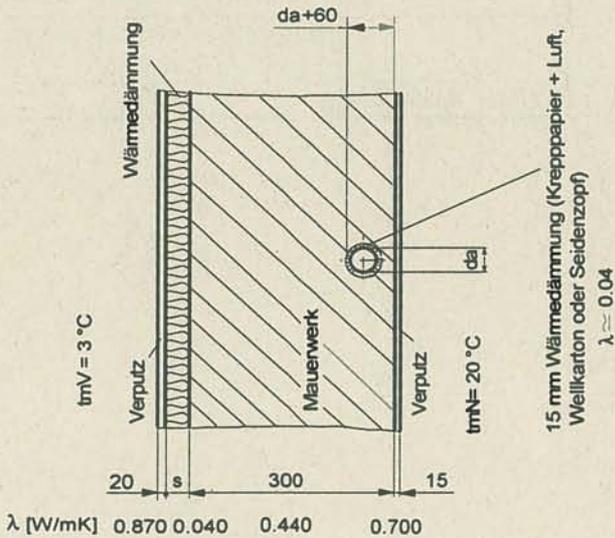
Innenwand 9.2	
Aus dem Rohr nach der einen Seite, $kr/2$	
Rohr $\phi$ da = 34	0.141

## 5.10 $k_v$ -Werte für Einzel-Rohre in Aussenwänden

$k_{rN}$  ist der Wärmedurchgangskoeffizient aus dem Heizmedium in die Raumlufte der Nutzer-Seite, [W/mK].

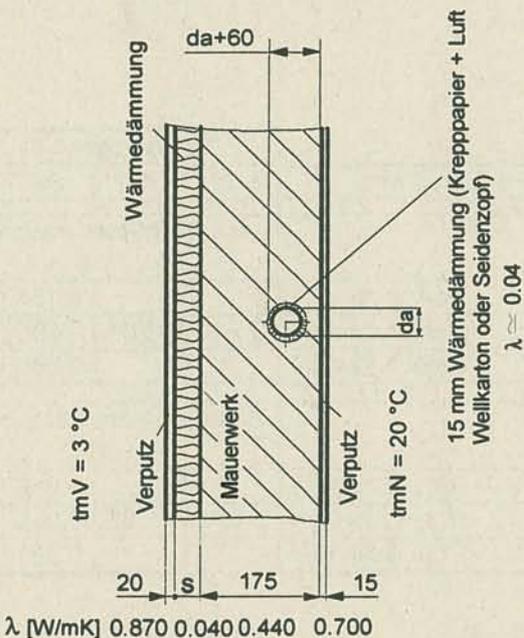
$k_{rV}$  ist der Wärmedurchgangskoeffizient aus dem Heizmedium nach aussen, auf der Verlustseite, [W/mK]

### Aussenwand 10.1.



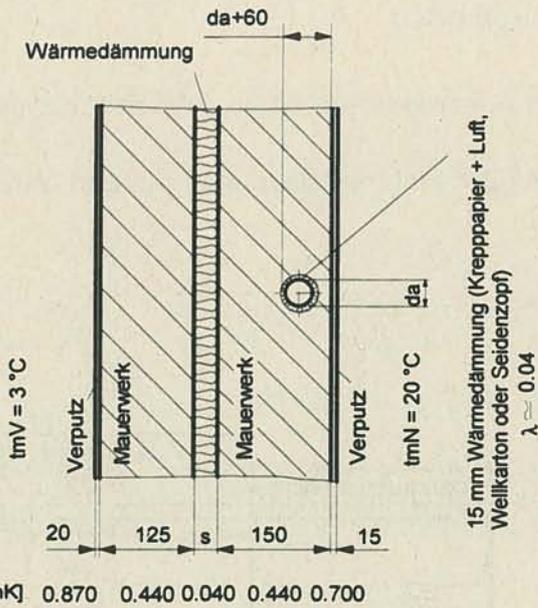
Aussenwand 10.1.	
Dämmung s [mm]	80
	Aus dem Rohr nach innen, $k_{rN}$
Rohr $\phi$ da = 34	0.323
	Aus dem Rohr nach aussen, $k_{rV}$
Rohr $\phi$ da = 34	0.022

### Aussenwand 10.2.



Aussenwand 10.2.	
Dämmung s [mm]	80
	Aus dem Rohr nach innen, $k_{rN}$
Rohr $\phi$ da = 34	0.322
	Aus dem Rohr nach aussen, $k_{rV}$
Rohr $\phi$ da = 34	0.023

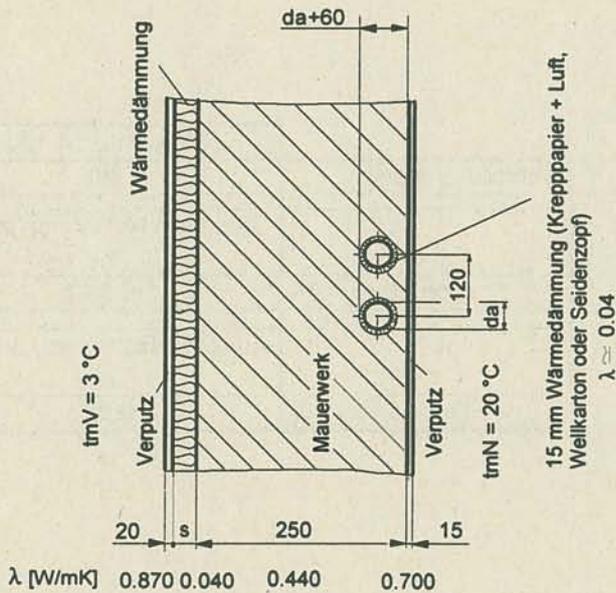
### Aussenwand 10.3.



Aussenwand 10.3.	
Dämmung s mm	80
Aus dem Rohr nach innen, $k_{rN}$	
Rohr $\phi$ da = 34	0.318
Aus dem Rohr nach aussen, $k_{rV}$	
Rohr $\phi$ da = 34	0.022

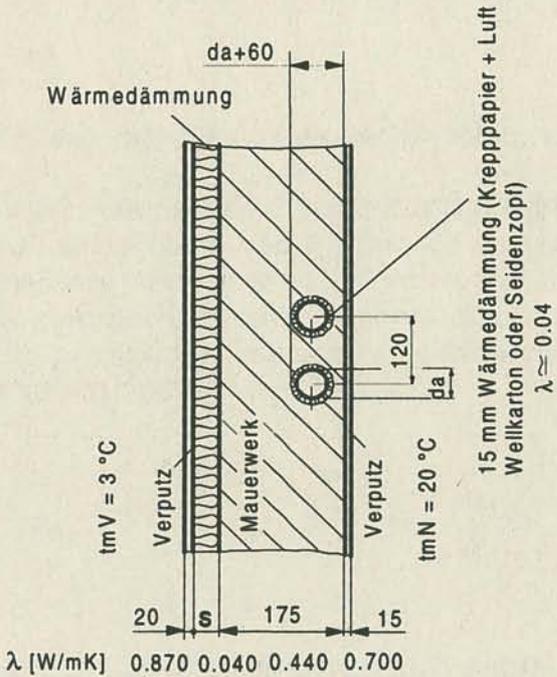
### 5.11 $k_r$ -Werte für Rohr-Paare in Aussenwänden

#### Aussenwand 11.1.



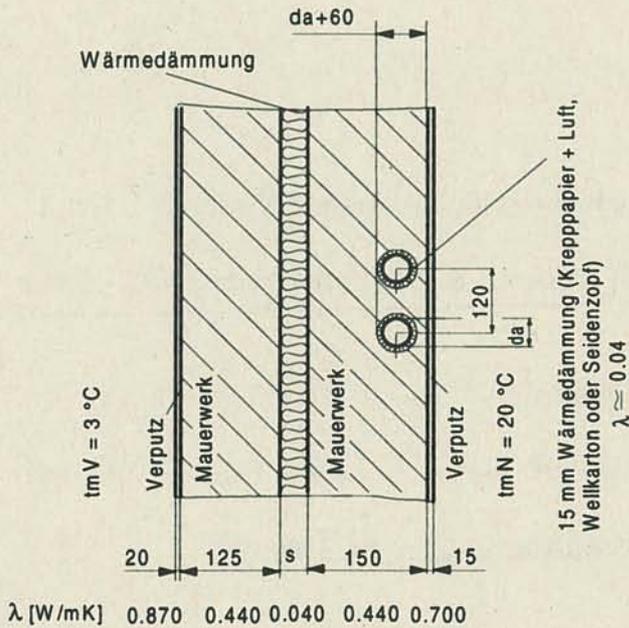
Aussenwand 11.1.				
Dämmung s mm	0	40	80	120
Aus dem Rohr nach innen, $k_{rN}$				
Rohr $\phi$ da = 17			0.184	
Rohr $\phi$ da = 34	0.272	0.284	0.286	0.287
Rohr $\phi$ da = 57			0.385	
Aus dem Rohr nach aussen, $k_{rV}$				
Rohr $\phi$ da = 17			0.012	
Rohr $\phi$ da = 34	0.074	0.032	0.020	0.015
Rohr $\phi$ da = 57			0.031	

### Aussenwand 11.2.



Aussenwand 11.2.	
Dämmung s [mm]	80
Aus dem Rohr nach innen, $k_{rN}$	
Rohr $\phi$ da = 34	0.282
Aus dem Rohr nach aussen, $k_{rV}$	
Rohr $\phi$ da = 34	0.021

### Aussenwand 11.3.



Bei Dämmung 0 ist eine Luftschicht von 30 mm mit einem gleichwertigen  $\lambda = 0.15$  W/mK angenommen

Aussenwand 11.3.				
Dämmung s mm	0	40	80	120
Aus dem Rohr nach innen, $k_{rN}$				
Rohr $\phi$ da = 17			0.180	
Rohr $\phi$ da = 34	0.275	0.276	0.276	0.277
Rohr $\phi$ da = 57			0.361	
Aus dem Rohr nach aussen, $k_{rV}$				
Rohr $\phi$ da = 17			0.012	
Rohr $\phi$ da = 34	0.056	0.031	0.020	0.015
Rohr $\phi$ da = 57			0.030	

## 6 Umrechnung der tabellierten $k_r$ -Werte bei merklicher Aenderung der Wärmeleitwiderstände bei den Rohren

Alle im Kapitel 5 tabellierten  $k_r$ -Werte wurden unter Annahme von Rohren aus gut wärmeleitendem Stahl ermittelt.

Bei den Rohren in Wandkonstruktionen (s. Abschnitte 5.8 bis 5.11) wurden Rohrwicklungen mit einer Wärmedämmungs-Dicke von 15 mm bei den entsprechenden Modellen berücksichtigt. Sollten mit Sicherheit Kunststoff-Rohre verwendet werden, oder weist die Wicklung der Rohre in Wänden eine merklich andere Dicke auf, so können die tabellierten  $k_r$ -Werte unter Berücksichtigung der Serie-Schaltung der Wärmeleit-Widerstände, d. h. singemäss mit der Formel 15.) näherungsweise umgerechnet werden.

$$\frac{1}{k_r} = \frac{1}{2\pi} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_1 \cdot r_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{\alpha_n \cdot r_n} \right) \quad \left[ \frac{\text{mK}}{\text{W}} \right] \quad 15.)$$

Unter Annahme, dass die Aenderung der rohrnahen Wärmeleitwiderstände lediglich den mittleren Teil der Formel 15.) beeinflussen, kann geschrieben werden:

$$\left( \frac{1}{k_r} \right)_{\text{neu}} = \left( \frac{1}{k_r} \right)_{\text{tabelliert}} + \frac{1}{2\pi} \cdot \left[ \left( \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} \right)_{\text{neu}} - \left( \frac{1}{\lambda_{\text{tab}}} \cdot \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} \right)_{\text{tabelliert}} \right] \quad 16.)$$

### 6.1 Anwendungsbeispiele

#### Beispiel 1

Gegeben: Eine Bodenkonstruktion, ähnlich wie die vorstehende Variante 1.1, mit Wärmedämmung  $s = 20$  mm.

Anstelle von Weichstahlrohren  $\varnothing 22 \times 1.5$  mm werden Kunststoff-Rohre  $\varnothing 20 \times 2$  eingesetzt.

Gesucht: Wie hoch sind die "neuen"  $k_r$ -Werte ?

Die  $k_r$ -Werte für Stahlrohre ( $\lambda_{\text{tabelliert}} = 59$  W/mK) sind auf S. 25 mit  $k_{rN} = 0.993$  und  $k_{rV} = 0.314$  angegeben.

Die Wärmeleitfähigkeit der Kunststoff-Rohrwände:  $\lambda_{\text{neu}} = 0.22$  W/mK.

Mit der Formel 16.)

$$\left(\frac{1}{k_{rN}}\right)_{\text{neu}} = \left(\frac{1}{0.993}\right) + \frac{1}{2\pi} \cdot \left[ \left(\frac{1}{0.22} \cdot \ln \frac{10}{8}\right) - \left(\frac{1}{59} \cdot \ln \frac{11}{9.5}\right) \right] = 1.168$$

Somit

$k_{rN \text{ neu}} = 0.856 \text{ W/mK}$  ist, und gleichsinnig berechnet

$k_{rV \text{ neu}} = 0.299 \text{ W/mK}$ .

### Beispiel 2

Gegeben: Im Zweischalen-Mauerwerk wie Konstruktions-Variante 11.3,  $s = 0$  werden beide Rohre 1" mit einer Rohr-Wärmedämmung von 30 mm Dicke,  $\lambda = 0.04$  montiert.

Gesucht: Wie ändern sich die auf S. 39 tabellierten  $k_r$ -Werte 0.275 und 0.056 ?

$$\left(\frac{1}{k_{rN}}\right)_{\text{neu}} = \left(\frac{1}{0.275}\right) + \frac{1}{2\pi} \cdot \left[ \left(\frac{1}{0.04} \cdot \ln \frac{47}{17}\right) - \left(\frac{1}{0.04} \cdot \ln \frac{32}{17}\right) \right] = 5.166$$

Somit

$k_{rN \text{ neu}} = 0.194 \text{ W/mK}$  ist, und gleichsinnig berechnet

$k_{rV \text{ neu}} = 0.051 \text{ W/mK}$ .

## 7 Schlussbemerkungen

Die vorstehend behandelten Boden- und Wandkonstruktionen wurden entsprechend der schweizerischen Baupraxis ausgewählt. [5] Es sind jene Konstruktionen berücksichtigt, die statistisch am meisten vorkommen.

Aufgrund der Wärme- und Trittschalldämmeigenschaften sind die Konstruktionen der Bodengruppen 6 und 7 zu bevorzugen. Die Bodengruppen 4 und 5 weisen gute Trittschalldämmung auf, führen aber grosse Wärmemengen in die Verlustseite (unten) ab. Die Bodengruppen 1 bis 3 können zu Trittschallproblemen führen.

Die Berechnungen zeigen erwartungsgemäss deutlich den starken Einfluss der Anordnung und der Dicke der Wärmedämmung auf die  $k_r$  - Werte.

Die u. U. variablen Dimensionen der Baustoffe im Wohnungsbau mit den höheren spezifischen Wärmeleitfähigkeiten (Beton, Mauerwerk, Ueberzug) haben geringere Auswirkungen auf diese  $k_r$  - Werte. (Vergleiche z. B. Boden 1.1 mit 1.2)

Zur Berücksichtigung einer merklichen Änderung der Wärmeleitwiderstände bei den Rohren wird die Näherungsmethode des Kapitel 6 empfohlen.

Aufgrund der ersten Vorberechnungen hat sich eine Modellbreitenannahme von 3m bei den Simulationsrechnungen als sinnvoll ergeben, obwohl die Auswirkungen der verlegten Rohre auf die Temperatur in den Randzonen sehr klein sind. (Siehe z. B. Seite 13)

Von der Finite-Differenzen Modellierung stösst man nämlich mit diesem Programm aufgrund der beschränkten Anzahl Elemente und der vorhandenen Rechenleistung an Grenzen. Andererseits kann festgehalten werden, dass die Genauigkeit des Berechnungsmodells die vorliegende Anwendung befriedigen sollte, da Toleranzen der Baukonstruktionen und die Teppiche sowie Möbel die Wärmeabgabe der Rohre ebenfalls mitbeeinflussen.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Abrechnungsmodell zur Verbrauchsabhängigen Heizkosten - Abrechnung (VHKA), BEW, Bern 1985 und 1992
- [2] Auszug aus der ZTL - Heizungstechnik - Vorlesung von Prof. F. Özvegyi, Herbst 1992, (S. 7 / 39e-g + Beilage 1 und Beilage 2)
- [3] Gröber-Erk-Grigull: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, Springer, Berlin 1963
- [4] B. Glück: Wärmeübertragung; Wärmeabgabe von Raumheizungen und Rohren, Verl. für Bauwesen, Berlin 1989
- [5]  $k$  - Wert - Berechnung und Bauteilkatalog-BEW, Bern 1988