

Ermittlung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Schornsteinen und Verbindungsstücken nach DIN 4705, Teil 1
- Bestimmung des Formbeiwertes –

T 2201

T 2201

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Institut für Bautechnik
- Forschungsbericht -

Ermittlung des
Wärmedurchlaßwiderstandes
von Schornsteinen
und Verbindungsstücken
nach DIN 4705, Teil 1

- Bestimmung des Formbeiwertes -

von

A. HöB

J. Steiglechner

Technischer Überwachungs-Verein Bayern e. V.
Fachbereich Wärmetechnik-Chemie-Umweltschutz
München

Fachbereichsleiter
Dr. Ing.
Jörg Hermann

Projektleiter
Obering. Dipl.-Ing.
Anton HöB

Dezember 1989

1. Aufgabenstellung

Bei der Berechnung von Schornsteinabmessungen nach DIN 4705, Teil 1 "Berechnung von Schornsteinabmessungen - Begriffe, ausführliches Berechnungsverfahren", Ausgabe September 1979 besteht die Möglichkeit, den Wärmedurchlaßwiderstand des Schornsteins rechnerisch zu ermitteln, "sofern keine gesicherten Angaben vom Hersteller vorliegen" (Zitat DIN 4705, Teil 1, Seite 6). Da diese Berechnung bei Schornsteinkonstruktionen mit geometrisch komplizierten Querschnittformen nur mit großem Aufwand möglich ist, wird in der DIN 4705, Teil 1 eine Näherungsgleichung für den Wärmedurchlaßwiderstand angegeben, die für ein- bzw. mehrschalige konzentrische Rohre mit kreisförmigem Querschnitt abgeleitet ist. Bei der Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes einer vom Kreisquerschnitt abweichenden Querschnittsgeometrie wird ein Formbeiwert berücksichtigt.

Die in DIN 4705, Teil 1 angegebenen Formbeiwerte wurden für verschiedene Geometrien im Rahmen dieses Forschungsvorhabens rechnerisch überprüft. Dazu wurden mit Hilfe der Finiten-Element-Methode die Temperaturen und die Wärmeströme in verschiedenen Schornsteingeometrien berechnet und daraus der dazugehörige Formbeiwert bestimmt.

In der Neubearbeitung der Norm sollen die ermittelten Formbeiwerte aufgenommen werden.

Das Forschungsvorhaben wurde vom Institut für Bautechnik, Berlin im Auftrage der Länder der Bundesrepublik Deutschland finanziert.

2. Grundlagen des Berechnungsverfahrens

2.1 Allgemein

Zur Bestimmung des Formbeiwertes einer bestimmten Geometrie wurde zuerst der Wärmestrom über die innere Schornsteinoberfläche mit Hilfe der Finiten-Element-Methode berechnet. Aus der Wärmetransportgleichung wurde dann der Wärmedurchgangskoeffizient bestimmt.

$$k_b = \frac{Q}{U * (T_A - T_L)} \quad (1)$$

mit	k_b	Wärmedurchgangskoeffizient in (W/m ² K)
	Q	Wärmestrom über die Schornsteininnenoberfläche je Meter Schornsteinlänge in (W/m)
	U	Umfang der Schornsteininnenoberfläche je Meter Schornsteinlänge in (m/m)
	T_A	Abgastemperatur in (K)
	T_L	Temperatur der Außenluft in (K)

Der Wärmedurchgangskoeffizient k_b ergibt sich nach DIN 4705, Teil 1, Gleichung 12 auch aus dem Kehrwert der Summe des Wärmedurchlaßwiderstands des Schornsteins und der Wärmeübergangswiderstände an den Schornsteinoberflächen (Pecletgleichung für die Reihenschaltung von Wärmedurchlaßwiderständen).

$$k_b = \left[\frac{1}{\alpha_i} + w_{dw} + \frac{D_{hi}}{D_{ha} * \alpha_a} \right]^{-1} \quad (2)$$

mit	α_i	Wärmeübergangskoeffizient an der Schornsteininnenfläche in (W/m ² K)
	w_{dw}	Wärmedurchlaßwiderstand des Schornsteins in (m ² K/W)
	α_a	Wärmeübergangskoeffizient an der Schornsteinaußenfläche in (W/m ² K)
	D_{hi}	hydraulischer Innendurchmesser des Schornsteins in (m)
	D_{ha}	hydraulischer Außendurchmesser des Schornsteins in (m)

2.2 Näherungsverfahren mit Formbeiwert

Der Wärmedurchlaßwiderstand kann nach DIN 4705, Teil 1, Gleichung 4 näherungsweise über das Produkt aus dem Formbeiwert y und dem Wärmedurchlaßwiderstand von konzentrischen Rohrschalen mit Kreisquerschnitt berechnet werden.

$$\text{wdw}_p = y * \sum_n \frac{D_{hi}}{2 * L_n} * \ln \left[\frac{D_{h,n+1}}{D_{h,n}} \right] \quad (3)$$

mit y Formbeiwert in (-)
 L_n Wärmeleitfähigkeit des Materials in der Schornsteinschale zwischen $D_{h,n}$ und $D_{h,n+1}$ in (W/mK)

Aus den Gleichungen (1) - (3) kann der Formbeiwert y als einzige unbekannte Größe bestimmt werden.

2.3 Verfahren nach der Finiten-Element-Methode

Die Berechnung der Temperaturverteilung und der Wärmeströme in einem ebenen Schornsteinquerschnitt erfolgte nach der Methode der finiten Elemente. Zur Erklärung der mathematischen Grundlagen der Finiten-Element-Methode wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Die Modellierung und Lösung des sich ergebenden Matrizen Gleichungssystems wurde mit Hilfe des Programms ANSYS-PC/THERMAL 4.3 durchgeführt.

3. Grundlagen der Berechnung

- Untersuchte Schornsteingeometrien, Modellierung, Randbedingungen -

3.1 Untersuchte Schornsteingeometrien

Die Berechnung der Formbeiwerte erfolgte an zweidimensionalen Schornsteinquerschnitten mit kreisförmigem, quadratischem und rechteckigem lichten Querschnitt. Es wurden einschalige und dreischalige Schornsteine sowie dreischalige Schornsteine mit zusätzlicher Außendämmung jeweils als Schornstein (einzügig) und als Schornsteingruppe bestehend aus zwei Schornsteinen (zweizügig) berücksichtigt. Im einzelnen wurden die Formbeiwerte für folgende Geometrien berechnet:

Bezeichnung	Form des lichten Querschnitts	Aufbau der Geometrie	lichte Querschnitte
KEE1, KEE2, KEE3	kreisförmig	einzügig einschalig	Ø 0,14 m, Ø 0,20 m, Ø 0,30 m
KZE1, KZE2, KZE3	kreisförmig	zweizügig einschalig	Ø 0,14 m, Ø 0,20 m, Ø 0,30 m
KED1, KED2, KED3	kreisförmig	einzügig dreischalig	Ø 0,14 m, Ø 0,20 m, Ø 0,30 m
KZD1, KZD2, KZD3	kreisförmig	zweizügig dreischalig	Ø 0,14 m, Ø 0,20 m, Ø 0,30 m
KEV1, KEV2, KEV3	kreisförmig	einzügig dreischalig mit Außendämmung	Ø 0,14 m, Ø 0,20 m, Ø 0,30 m
KZV1, KZV2, KZV3	kreisförmig	zweizügig dreischalig mit Außendämmung	Ø 0,14 m, Ø 0,20 m, Ø 0,30 m
QEE1, QEE2, QEE3	quadratisch	einzügig einschalig	0,14*0,14 m ² , 0,20*0,20 m ² , 0,30*0,30 m ²
QZE1, QZE2, QZE3	quadratisch	zweizügig einschalig	0,14*0,14 m ² , 0,20*0,20 m ² , 0,30*0,30 m ²
QED1, QED2, QED3	quadratisch	einzügig dreischalig	0,14*0,14 m ² , 0,20*0,20 m ² , 0,30*0,30 m ²
QZD1, QZD2, QZD3	quadratisch	zweizügig dreischalig	0,14*0,14 m ² , 0,20*0,20 m ² , 0,30*0,30 m ²
REE1, REE2, REE3	rechteckig	einzügig einschalig	0,14*0,20 m ² , 0,20*0,30 m ² , 0,30*0,45 m ²
RZE1, RZE2, RZE3	rechteckig	zweizügig einschalig	0,14*0,20 m ² , 0,20*0,30 m ² , 0,30*0,45 m ²
RED1, RED2, RED3	rechteckig	einzügig dreischalig	0,14*0,20 m ² , 0,20*0,30 m ² , 0,30*0,45 m ²
RZD1, RZD2, RZD3	rechteckig	zweizügig dreischalig	0,14*0,20 m ² , 0,20*0,30 m ² , 0,30*0,45 m ²

Die Kennwerte der verschiedenen Baumaterialien wurden vereinfachend als richtungs- und temperaturunabhängig angenommen.

Weitere Angaben zu den einzelnen Geometrien sowie die Angabe der Werkstoffkennwerte der Materialien sind in den Anlagen A1 bis A9 zusammengestellt.

3.2 Modellierung

Aufgrund die Symmetrieverhältnisse und aus Gründen der Rechenzeitverkürzung wurden bei den Geometrien KEE1, KEE2, KEE3, KED1, KED2, KED3, KEV1, KEV2, KEV3, QEE1, QEE2, QEE3, QED1, QED2 und QED3 nur ein Achtel des Schornsteinquerschnitts, bei den Geometrien REE1, REE2, REE3, RED1, RED2 und RED3 ein Viertel des Schornsteinquerschnitts berechnet. Bei allen zweizügigen Schornsteingeometrien wurde die Rechnung für den halben Schornsteinquerschnitt durchgeführt.

Bei den einzügigen Schornsteingeometrien wurde die Modellierung mit 20 Elementen in radialer Richtung vorgenommen. Bei den zweizügigen Schornsteingeometrien wurden aus Gründen der Rechenzeitverkürzung in radialer Richtung nur noch 5 Elemente verwendet, nachdem Vergleichsrechnungen zeigten, daß der Einfluß auf die Genauigkeit des Ergebnisses gegenüber einem Modell mit 20 Elementen in radialer Richtung vernachlässigbar ist. Zur Modellierung der äußeren Dämmschichten in den Geometrien KEV1, KEV2, KEV3, KZV1, KZV2 und KZV3 wurden weitere Elemente angefügt.

Als Elementtyp wurde grundsätzlich ein zweidimensionales Element mit 4 Knoten verwendet. Lagen aufgrund der Geometrieverhältnisse die Innenwinkel der Eckpunkte außerhalb des Bereichs von 45° bis 135° , wurde das Viereckelement durch die Diagonale in 2 Dreieckelemente aufgeteilt.

In den Anlagen B1 bis B3 sind Beispiele für verschiedene Geometrien zusammengefaßt. Die in den Darstellungen eingetragenen Zahlen und die Graustufen geben Bereiche unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit wieder.

3.3 Randbedingungen

Die Abgastemperatur wurde für alle Berechnungen mit 55 °C angenommen, der Wärmeübergangskoeffizient an der Schornsteininnenoberfläche mit 10 W/m²K. Für die Berechnungen mit den dreischaligen Schornsteingeometrien mit Außendämmung wurde die Außentemperatur mit -15 °C angesetzt, für alle anderen Berechnungen mit 20 °C. Der äußere Wärmeübergangskoeffizient hatte stets den Wert von 8 W/m²K.

Bei den zweizügigen Geometrien wurde die Temperatur im zweiten Schacht mit 20 °C und der Wärmeübergangskoeffizient mit 8 W/m²K angesetzt.

Die Berechnungen erfolgten für stationäre Verhältnisse.

4. Ergebnisse der Berechnungen

4.1 Ergebnisse der Berechnungen des Formbeiwertes für kreisförmige lichte Schornsteinquerschnitte

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Anlagen C zusammengestellt.

Für ein- und dreischalige Schornsteingeometrien in ein- und zweizügiger Ausführung ergaben sich Formbeiwerte zwischen 0,99 und 1,10. Diese Werte korrespondieren gut mit dem in DIN 4705, Teil 1 angegebenen Formbeiwert von 1,0, siehe Anlagen C1 bis C4.

Bei dreischaligen einzügigen Geometrien mit Außendämmung zeigte sich, daß der Wärmedurchlaßwiderstand schlechter als bei konzentrischen Rohrschalen mit gleichem hydraulischen Durchmesser ist (Formbeiwert < 1). Der Grund hierfür liegt in der durch die quadratische Außengeometrie vergrößerten Oberfläche im Vergleich zu einer kreisförmigen Außengeometrie und dem hohen Anteil der Außendämmung am Wärmedurchlaßwiderstand des Schornsteins (relativ starker Temperaturgradient in der Außendämmung). Vergleichsrechnungen belegen, daß mit Erhöhung der Dicke der Außendämmung zwar der absolute Wärmestrom sinkt, die Vergrößerung der Außenfläche aber gleichzeitig zu einem Absinken des Formbeiwertes führt. Bei dreischaligen zweizügigen Geometrien mit

Außendämmung war der Wärmeverlust deshalb geringer als bei der vergleichbaren ein-zügigen Geometrie, da im zweiten Schacht eine Temperatur von 20 °C angesetzt wurde und nicht die Außenlufttemperatur von - 15 °C. Dieser Umstand führte zu einem Formbeiwert > 1 , da in den Berechnungen nach Gleichung (1) - (3) allseits eine konstante Außenlufttemperatur vorausgesetzt wird, siehe Anlagen C5 bis C7.

4.2 Ergebnisse der Berechnungen des Formbeiwertes für quadratische lichte Schornsteinquerschnitte

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Anlagen D zusammengestellt.

Für einschalige Schornsteingeometrien liegen die Formbeiwerte zwischen 1,14 und 1,25. Damit ist der in DIN 4705, Teil 1 angegebene Formbeiwert von 1,27 unterschritten, siehe Anlagen D1 bis D2.

Für dreischalige ein- und zweizügige Schornsteingeometrien ergeben sich Formbeiwerte zwischen 1,08 und 1,14. Der Grund für diese im Vergleich zu einschaligen Geometrien geringeren Formbeiwerte liegt darin, daß die Temperaturverteilung über den Umfang aufgrund der höheren Wärmedämmung gleichmäßiger als bei einschaligen Geometrien ist. Aus diesem Grund ist auch der Wärmeübergang über den Umfang gleichmäßiger verteilt. Ein "Eckeneinfluß" ist nur eingeschränkt zu beobachten, siehe Anlagen D3 bis D4.

4.3 Ergebnisse der Berechnungen des Formbeiwertes für rechteckige lichte Schornsteinquerschnitte

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Anlagen E zusammengestellt.

Für die berechneten Schornsteingeometrien gilt ähnliches wie unter 4.2 für quadratische lichte Schornsteinquerschnitte gesagt.

Für einschalige ein- und zweizügige Schornsteingeometrien liegen die Formbeiwerte zwischen 1,10 und 1,26. Diese Werte liegen unter dem in DIN 4705, Teil 1 angegebenen Formbeiwert von 1,30, siehe Anlagen E1 bis E2.

Für dreischalige ein- und zweizügige Geometrien ergeben sich Formbeiwerte zwischen 1,06 und 1,16. Wie schon unter 4.2 beschrieben liegt die Erklärung für diese im Vergleich zu einschaligen Schornsteingeometrien niedrigeren Formbeiwerte in der Tatsache, daß die Temperatur und damit auch der Wärmeübergang über den Umfang gleichmäßiger verteilt ist als bei einschaligen Geometrien, siehe Anlage E3 bis E4.

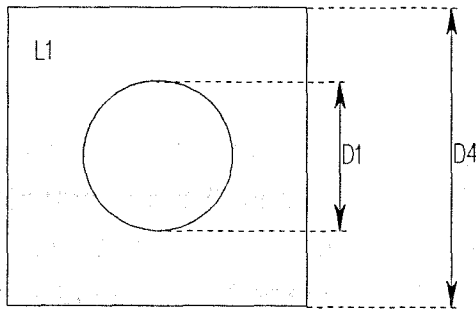
5. Zusammenfassung

Bei der rechnerischen Überprüfung der in DIN 4705, Teil 1 angegebenen Formbeiwerte für die Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstands von Schornsteinen ergab sich, daß für kreisförmige lichte Schornsteinquerschnitte ohne Außendämmung die Formbeiwerte über dem in DIN 4705, Teil 1 angegebenen Wert liegen. Für Schornsteingeometrien mit Außendämmung wurde dieser Wert unterschritten. Für quadratische und rechteckige lichte Schornsteinquerschnitte wurden die in DIN 4705, Teil 1 angegebenen Formbeiwerte für die jeweilige Schornsteingeometrie stets unterschritten.

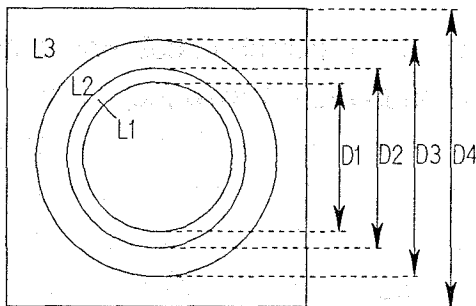
Eine Unterschreitung des in der DIN 4705, Teil 1 angegebenen Formbeiwertes bedeutet, daß der nach DIN 4705, Teil 1, Gleichung 4 berechnete Wärmedurchlaßwiderstand im Vergleich zum tatsächlich (rechnerisch ermittelten) Wärmedurchlaßwiderstand zu hoch angesetzt wird. Damit erfolgt die Berechnung der Temperaturverhältnisse im Schornstein und der Abkühlung über die Höhe bei zu günstigen Verhältnissen. Die Frage, inwieweit die rechnerisch ermittelten Wärmeübergangsverhältnisse mit den in der Praxis auftretenden Wärmeübergangsverhältnissen übereinstimmen, war nicht Aufgabe dieser Untersuchung.

Aufbau der Schornsteine mit kreisförmigem lichten Querschnitt, einzügig
(Schornsteinmodelle KEE1, KEE2, KEE3, KED1, KED2, KED3, KEV1, KEV2, KEV3)

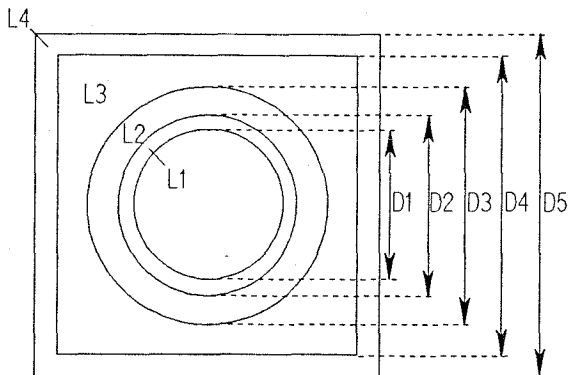
einschaliger Schornsteinaufbau



dreischaliger Schornsteinaufbau

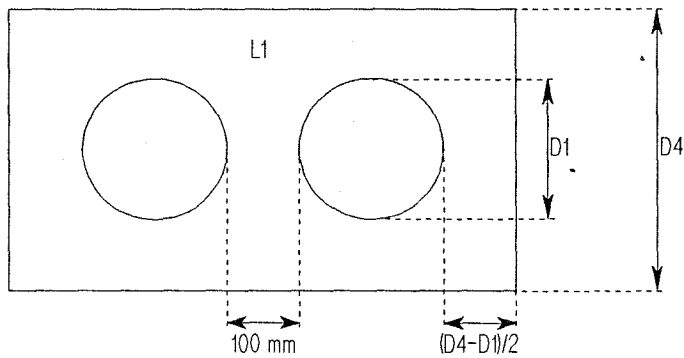


dreischaliger Schornsteinaufbau mit Außendämmung

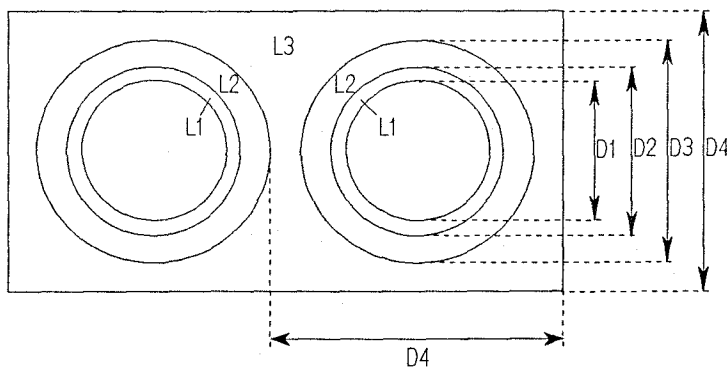


Aufbau der Schornsteine mit kreisförmigem lichten Querschnitt, zweizügig
(Schornsteinmodelle KZE1, KZE2, KZE3, KZD1, KZD2, KZD3, KZV1, KZV2, KZV3)

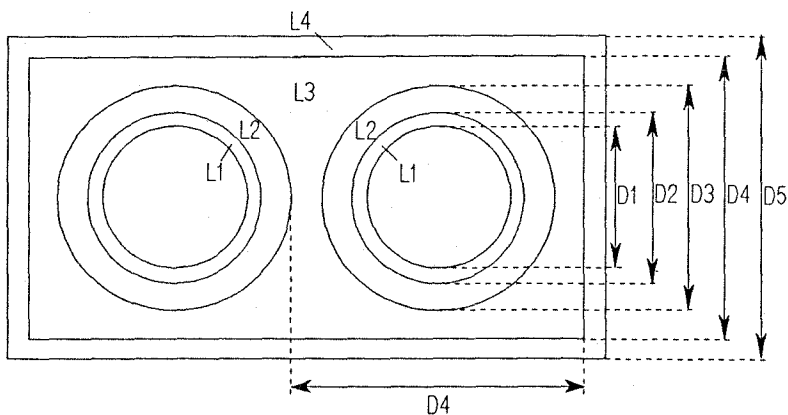
einschaliger Schornsteinaufbau



dreischaliger Schornsteinaufbau



dreischaliger Schornsteinaufbau mit Außendämmung

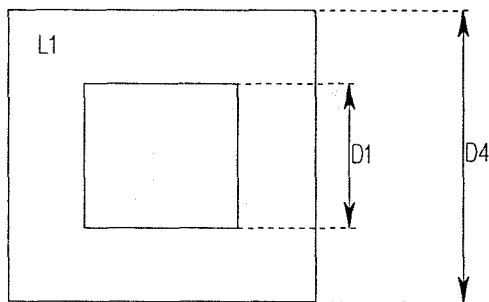


Abmessungen der Schornsteine mit kreisförmigem lichten Querschnitt

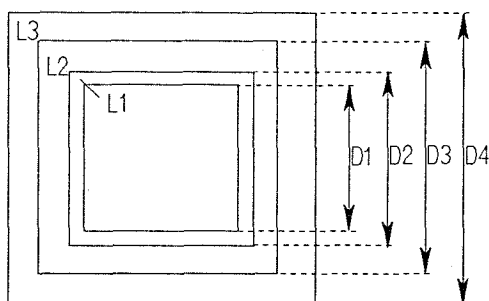
Bezeichnung	Aufbau	Durchmesser [m]					Wärmeleitfähigkeit [W/mK]			
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
KEE1a, KZE1a	einschalig	0,14			0,34		0,5			
KEE1b, KZE1b	einschalig	0,14			0,34		0,8			
KEE2a, KZE2a	einschalig	0,20			0,40		0,5			
KEE2b, KZE2b	einschalig	0,20			0,40		0,8			
KEE3a, KZE3a	einschalig	0,30			0,55		0,5			
KEE3b, KZE3b	einschalig	0,30			0,55		0,8			
KED1a, KZD1a	dreischalig	0,14	0,18	0,26	0,34		1,1	0,04	0,5	
KED1b, KZD1b	dreischalig	0,14	0,18	0,26	0,34		1,1	0,06	0,8	
KED2a, KZD2a	dreischalig	0,20	0,24	0,32	0,40		1,1	0,04	0,5	
KED2b, KZD2b	dreischalig	0,20	0,24	0,32	0,40		1,1	0,06	0,8	
KED3a, KZD3a	dreischalig	0,30	0,35	0,45	0,55		1,1	0,04	0,5	
KED3b, KZD3b	dreischalig	0,30	0,35	0,45	0,55		1,1	0,06	0,8	
KEV1a, KZV1a	dreischalig mit Außendäm.	0,14	0,18	0,26	0,34	0,40	1,1	0,04	0,5	0,04
KEV1b, KZV1b	dreischalig mit Außendäm.	0,14	0,18	0,26	0,34	0,40	1,1	0,06	0,8	0,04
KEV2a, KZV2a	dreischalig mit Außendäm.	0,20	0,24	0,32	0,40	0,46	1,1	0,04	0,5	0,04
KEV2b, KZV2b	dreischalig mit Außendäm.	0,20	0,24	0,32	0,40	0,46	1,1	0,06	0,8	0,04
KEV3a, KZV3a	dreischalig mit Außendäm.	0,30	0,35	0,45	0,55	0,61	1,1	0,04	0,5	0,04
KEV3b, KZV3b	dreischalig mit Außendäm.	0,30	0,35	0,45	0,55	0,61	1,1	0,06	0,8	0,04

**Aufbau der Schornsteine mit quadratischem lichten Querschnitt, einzügig
(Schornsteinmodelle QEE1, QEE2, QEE3, QED1, QED2, QED3)**

einschaliger Schornsteinaufbau

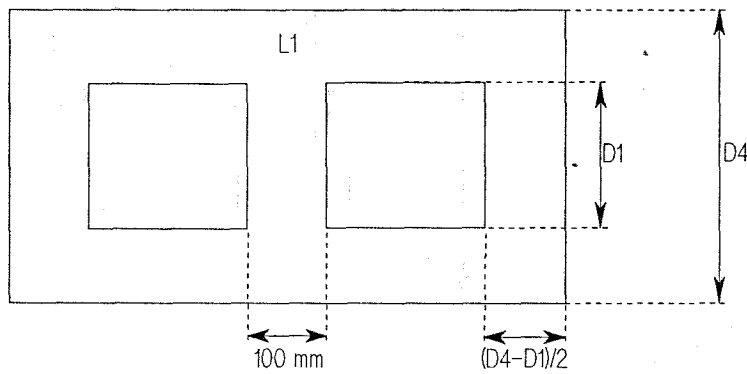


dreischaliger Schornsteinaufbau

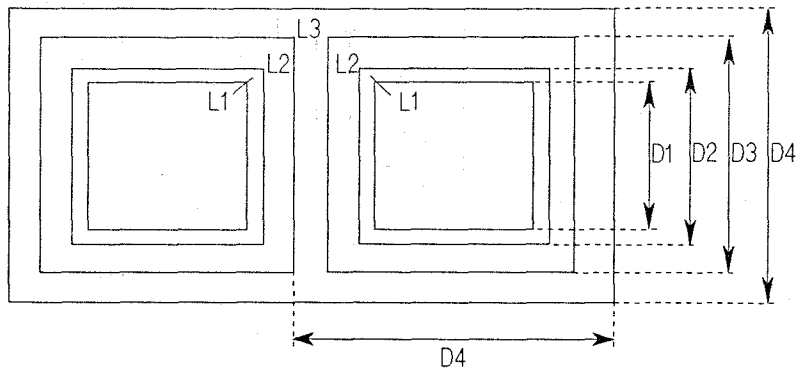


**Aufbau der Schornsteine mit quadratischem lichten Querschnitt, zweizügig
(Schornsteinmodelle QZE1, QZE2, QZE3, QZD1, QZD2, QZD3)**

einschaliger Schornsteinaufbau



dreischäliger Schornsteinaufbau

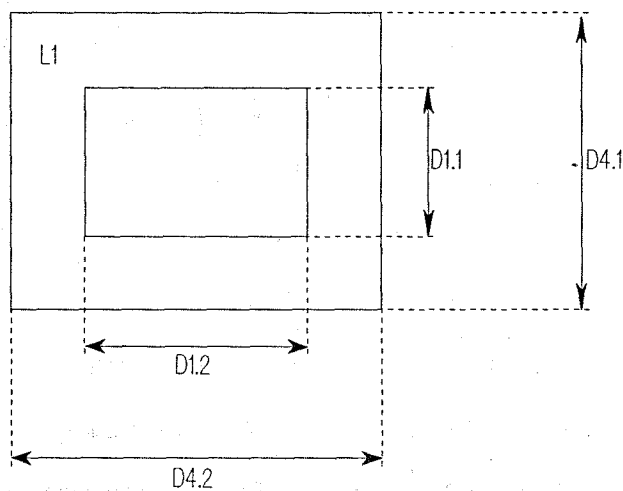


Abmessungen der Schornsteine mit quadratischem lichten Querschnitt

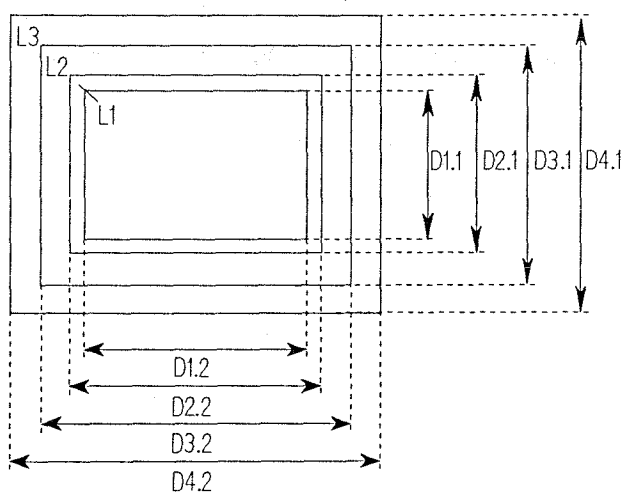
Bezeichnung	Aufbau	Durchmesser [m]					Wärmeleitfähigkeit [W/mK]			
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
QEE1a, QZE1a	einschalig	0,14			0,34		0,5			
QEE1b, QZE1b	einschalig	0,14			0,34		0,8			
QEE2a, QZE2a	einschalig	0,20			0,40		0,5			
QEE2b, QZE2b	einschalig	0,20			0,40		0,8			
QEE3a, QZE3a	einschalig	0,30			0,55		0,5			
QEE3b, QZE3b	einschalig	0,30			0,55		0,8			
QED1a, QZD1a	dreischalig	0,14	0,18	0,26	0,34		1,1	0,04	0,5	
QED1b, QZD1b	dreischalig	0,14	0,18	0,26	0,34		1,1	0,06	0,8	
QED2a, QZD2a	dreischalig	0,20	0,24	0,32	0,40		1,1	0,04	0,5	
QED2b, QZD2b	dreischalig	0,20	0,24	0,32	0,40		1,1	0,06	0,8	
QED3a, QZD3a	dreischalig	0,30	0,35	0,45	0,55		1,1	0,04	0,5	
QED3b, QZD3b	dreischalig	0,30	0,35	0,45	0,55		1,1	0,06	0,8	

Aufbau der Schornsteine mit rechteckigem lichten Querschnitt, einzügig
(Schornsteinmodelle REE1, REE2, REE3, RED1, RED2, RED3)

einschaliger Schornsteinaufbau

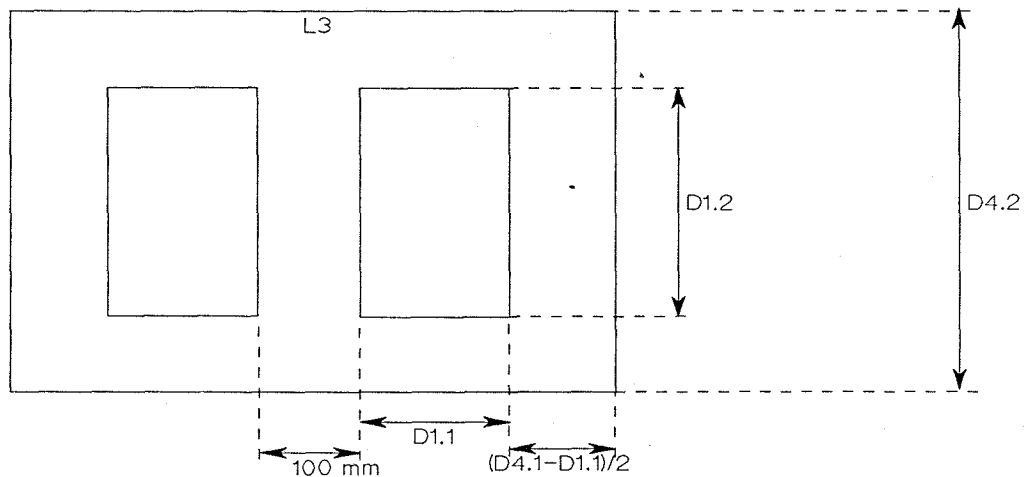


dreischaliger Schornsteinaufbau

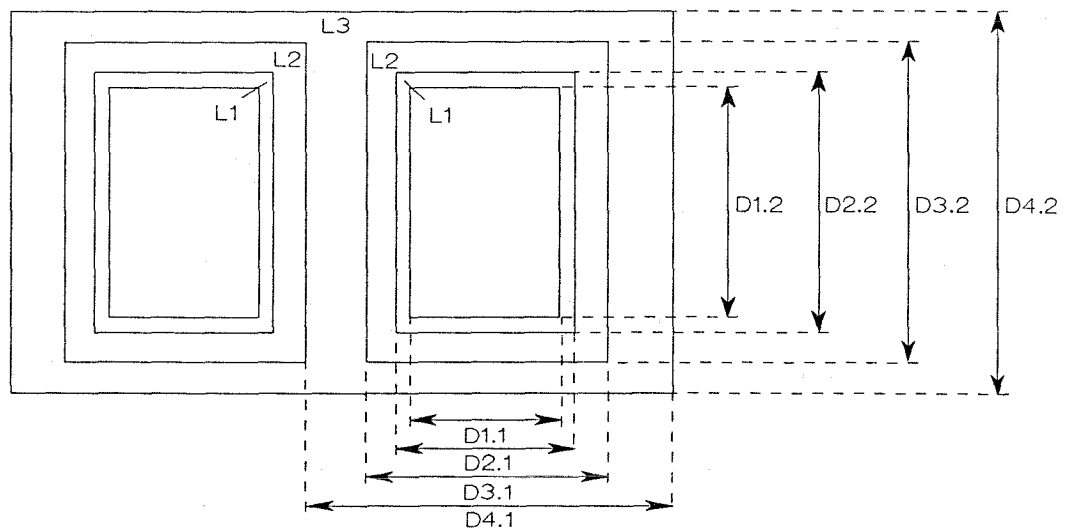


Aufbau der Schornsteine mit rechteckigem lichten Querschnitt, zweizügig
(Schornsteinmodelle RZE1, RZE2, RZE3, RZD1, RZD2, RZD3)

einschaliger Schornsteinaufbau



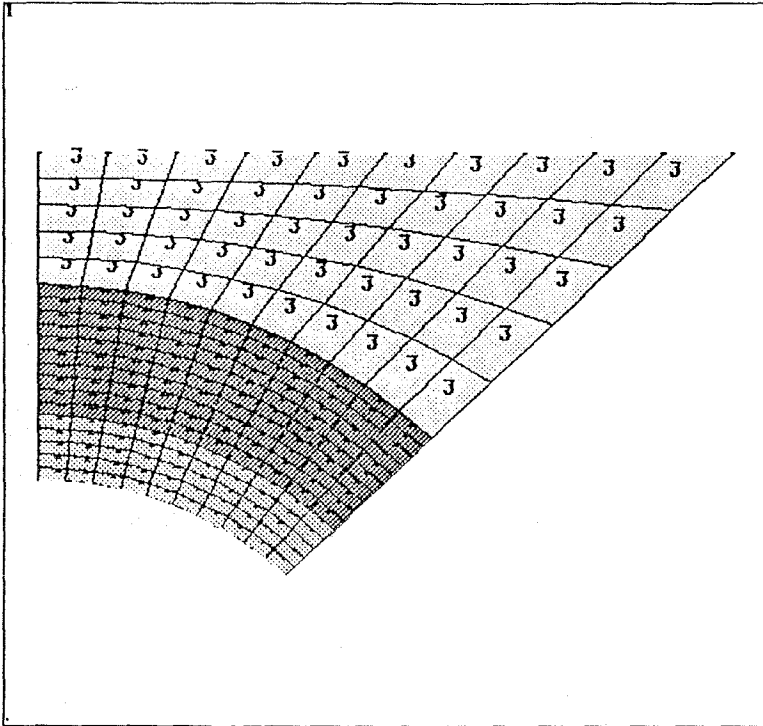
dreischaliger Schornsteinaufbau



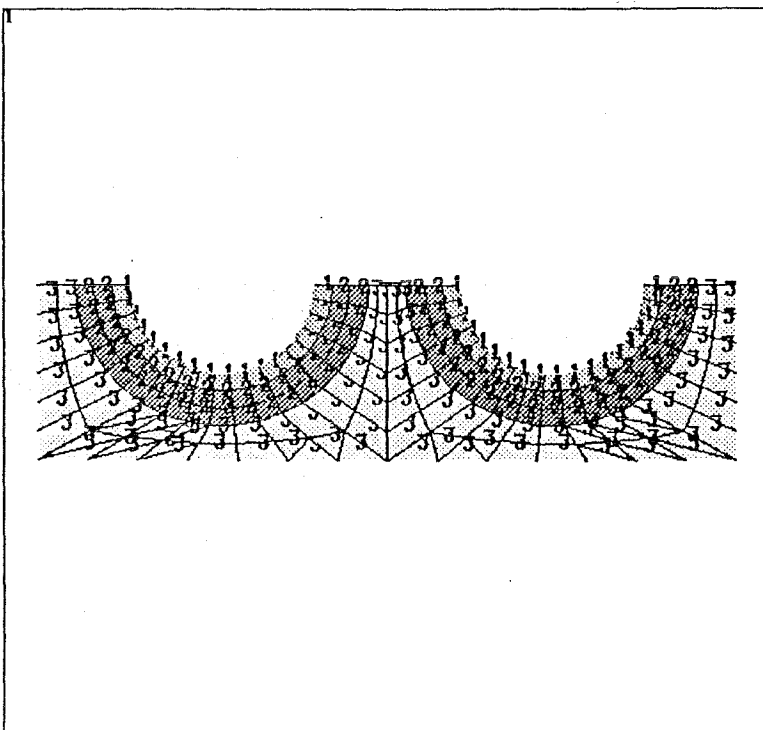
Abmessungen der Schornsteine mit rechteckigem lichten Querschnitt

Bezeichnung	Aufbau	Durchmesser [m]					Wärmeleitfähigkeit [W/mK]			
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
REE1a, RZE1a	einschalig	0,14/ 0,20			0,34/ 0,40		0,5			
REE1b, RZE1b	einschalig	0,14/ 0,20			0,34/ 0,40		0,8			
REE2a, RZE2a	einschalig	0,20/ 0,30			0,40/ 0,50		0,5			
REE2b, RZE2b	einschalig	0,20/ 0,30			0,40/ 0,50		0,8			
REE3a, RZE3a	einschalig	0,30/ 0,45			0,55/ 0,70		0,5			
REE3b, RZE3b	einschalig	0,30/ 0,45			0,55/ 0,70		0,8			
RED1a, RZD1a	dreischalig	0,14/ 0,20	0,18/ 0,24	0,26/ 0,32	0,34/ 0,40		1,1	0,04	0,5	
RED1b, RZD1b	dreischalig	0,14/ 0,20	0,18/ 0,24	0,26/ 0,32	0,34/ 0,40		1,1	0,06	0,8	
RED2a, RZD2a	dreischalig	0,20/ 0,30	0,24/ 0,34	0,32/ 0,42	0,40/ 0,50		1,1	0,04	0,5	
RED2b, RZD2b	dreischalig	0,20/ 0,30	0,24/ 0,34	0,32/ 0,42	0,40/ 0,50		1,1	0,06	0,8	
RED3a, RZD3a	dreischalig	0,30/ 0,45	0,35/ 0,50	0,45/ 0,60	0,55/ 0,70		1,1	0,04	0,5	
RED3b, RZD3b	dreischalig	0,30/ 0,45	0,35/ 0,50	0,45/ 0,60	0,55/ 0,70		1,1	0,06	0,8	

Beispiele für Finite-Element-Modelle von Schornsteinen mit kreisförmigem lichten Querschnitt

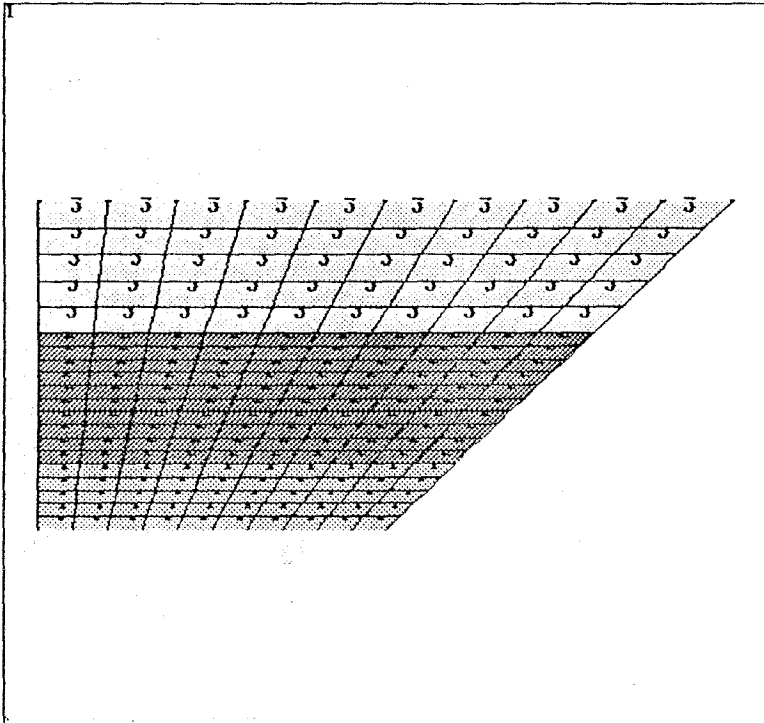


KED2

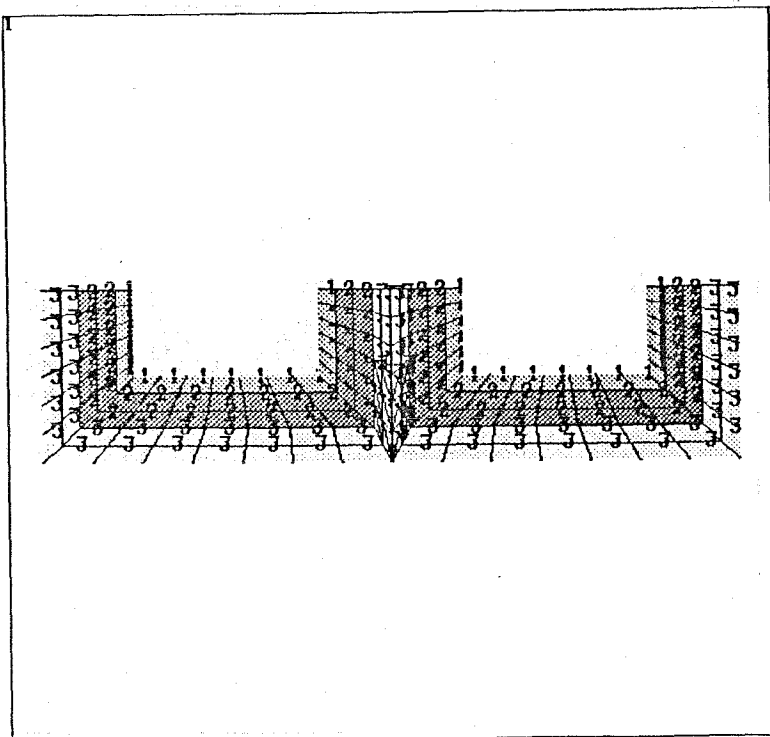


KZD2

**Beispiele für Finite-Element-Modelle von Schornsteinen mit
quadratischem lichten Querschnitt**

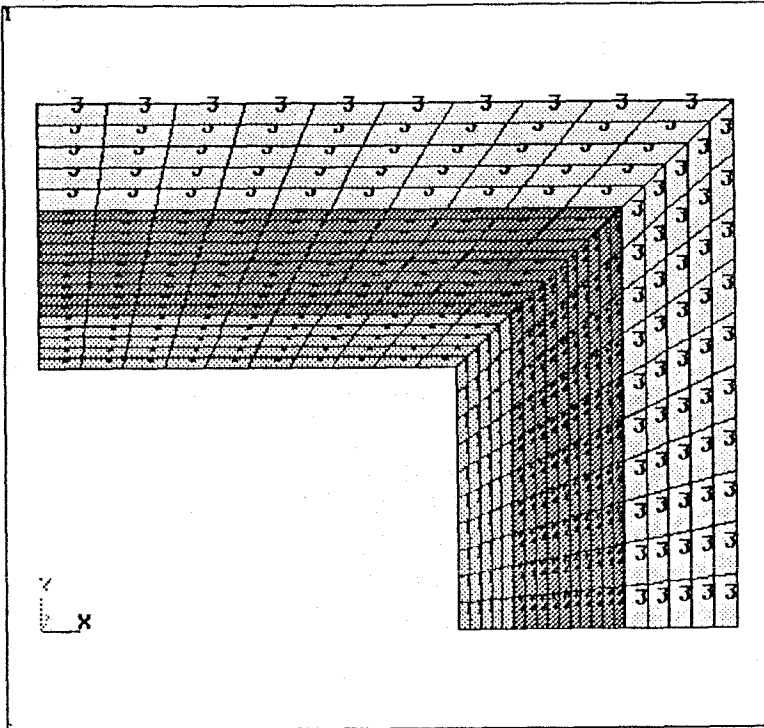


QED2

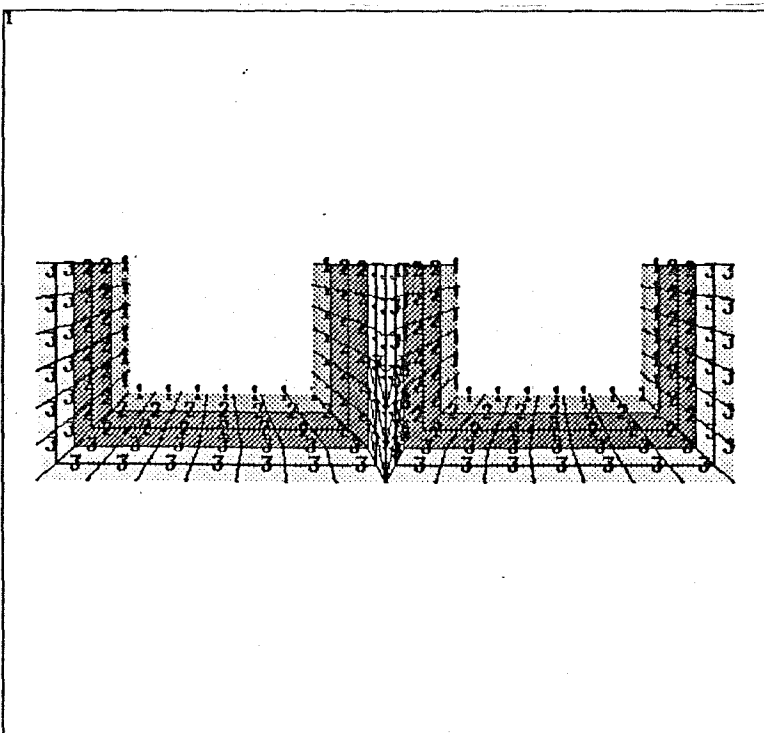


QZD2

Beispiele für Finite-Element-Modelle von Schornsteinen mit rechteckigem lichten Querschnitt

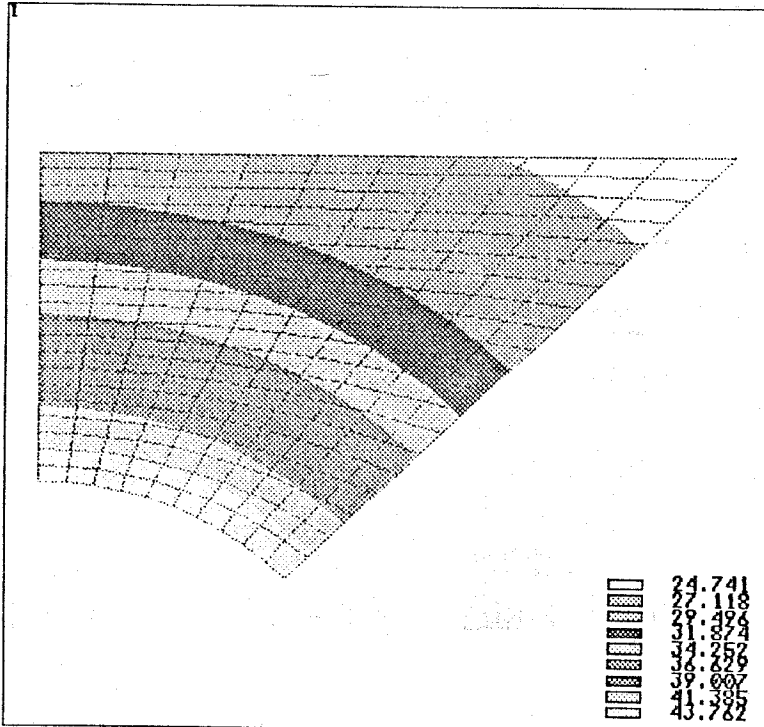


RED2

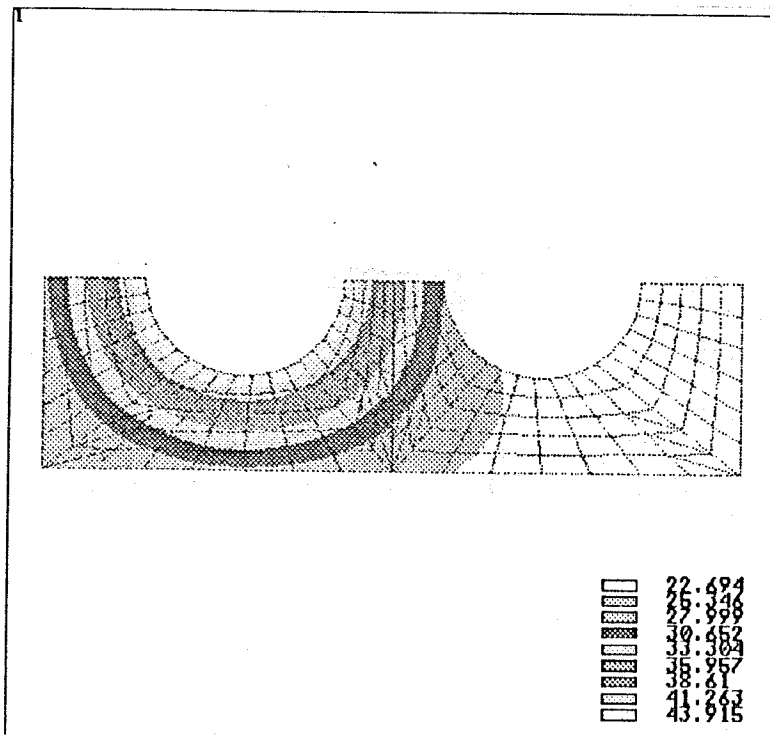


RZD2

Beispiele für die Temperaturverteilung bei einschaligen Schornsteinen mit kreisförmigem lichten Querschnitt



KEE2

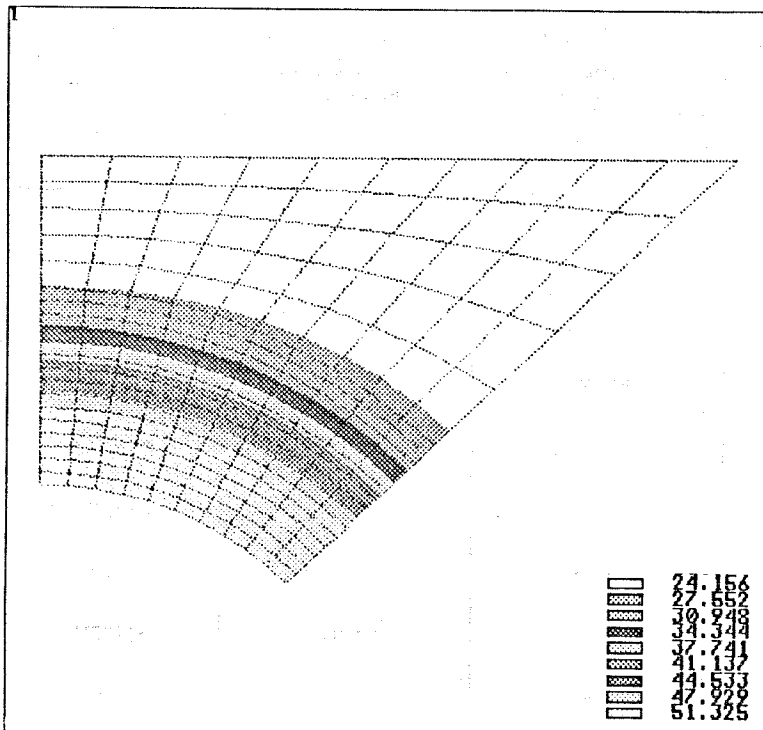


KZE2

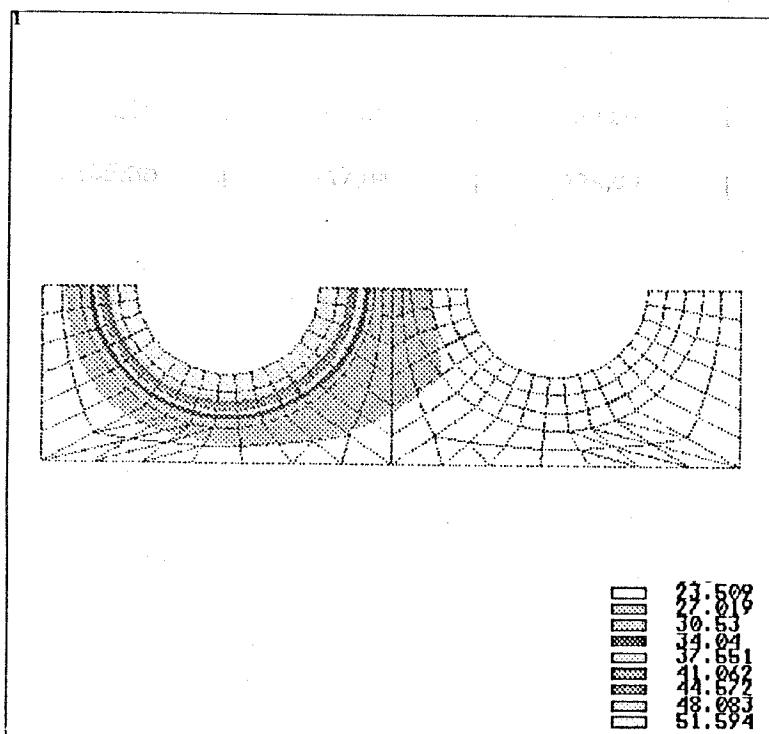
Ergebnisse der Finiten-Element-Berechnungen an einschaligen Schornsteinen mit kreisförmigem lichten Querschnitt

Bezeichnung	Wärmestrom nach DIN 4705 mit $\gamma = 1$ (W/m)	Wärmestrom aus FE-Berechnung (W/m)	Wärmedurchgangs- koeffizient aus FE-Berechnung (W/m ² K)	Formbeiwert aus FE-Berechnung (-)
KEE1a	55,84	54,76	3,557	1,04
KEE1b	67,19	67,13	4,361	1,00
KEE2a	73,03	70,81	3,220	1,07
KEE2b	88,27	87,49	3,978	1,03
KEE3a	94,24	89,73	2,720	1,10
KEE3b	117,04	114,03	3,458	1,07
KZE1a	55,84	54,64	3,550	1,05
KZE1b	67,19	67,41	4,379	0,99
KZE2a	73,03	70,46	3,204	1,08
KZE2b	88,27	87,61	3,984	1,02
KZE3a	94,24	90,20	2,734	1,09
KZE3b	117,04	114,80	3,480	1,05

Beispiele für die Temperaturverteilung bei dreischaligen Schornsteinen mit kreisförmigem lichten Querschnitt



KED2

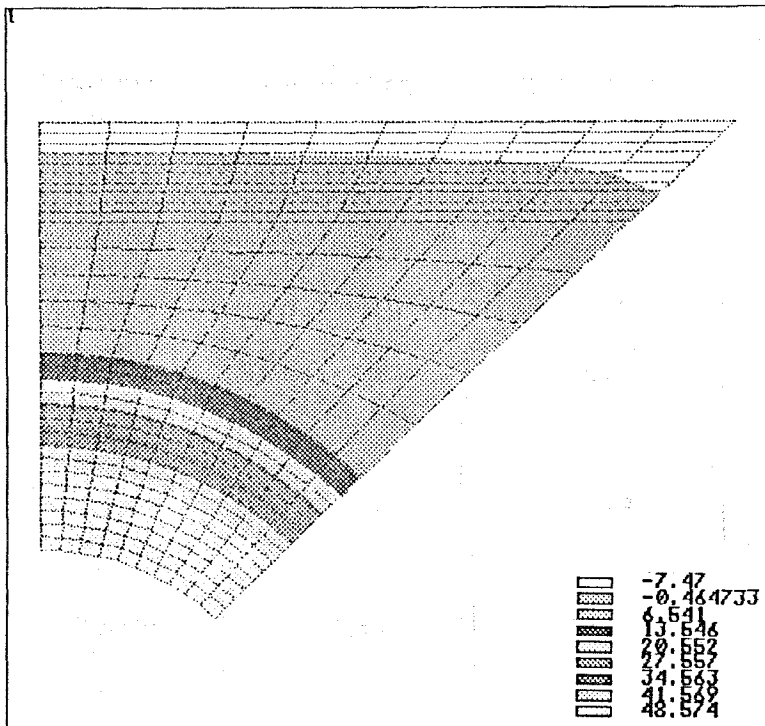


KZD2

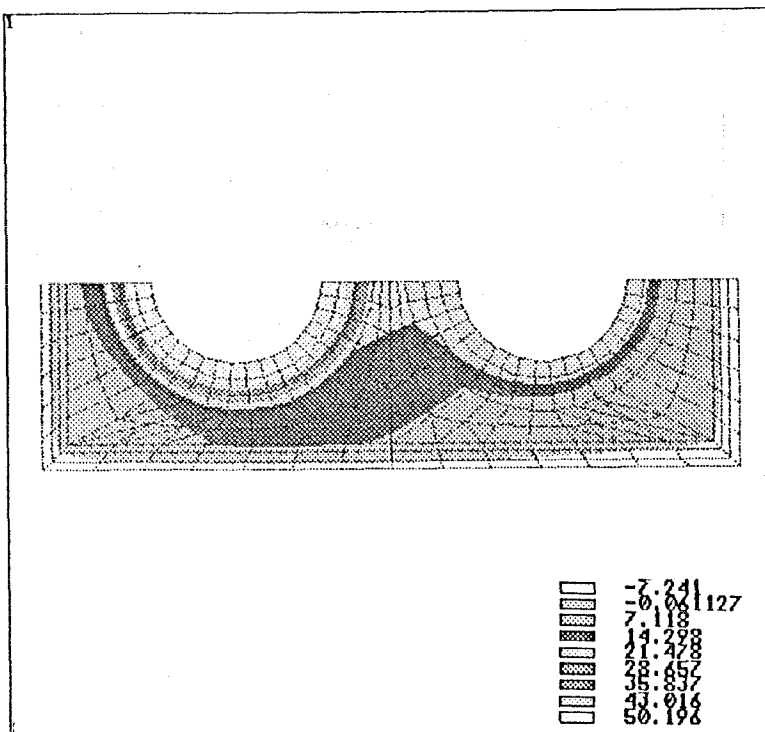
Ergebnisse der Finiten-Element-Berechnungen an dreischaligen Schornsteinen mit kreisförmigem lichten Querschnitt

Bezeichnung	Wärmestrom nach DIN 4705 mit $\gamma = 1$ (W/m)	Wärmestrom aus FE-Berechnung (W/m)	Wärmedurchgangs- koeffizient aus FE-Berechnung (W/m ² K)	Formbeiwert aus FE-Berechnung (-)
KED1a	18,14	18,03	1,171	1,01
KED1b	24,83	24,83	1,613	1,00
KED2a	23,32	23,10	1,050	1,01
KED2b	32,04	31,95	1,453	1,00
KED3a	27,68	27,28	0,827	1,02
KED3b	38,58	38,26	1,160	1,01
KZD1a	18,14	17,75	1,153	1,03
KZD1b	24,83	24,50	1,592	1,02
KZD2a	23,32	22,57	1,027	1,04
KZD2b	32,04	31,31	1,424	1,03
KZD3a	27,68	26,55	0,805	1,05
KZD3b	38,58	37,33	1,132	1,04

**Beispiele für die Temperaturverteilung bei dreischaligen Schornsteinen mit
kreisförmigem lichten Querschnitt und Außendämmung**



KEV2



KZV2

Ergebnisse der Finiten-Element-Berechnungen an dreischaligen Schornsteinen mit kreisförmigem lichten Querschnitt und Außendämmung

Bezeichnung	Wärmestrom nach DIN 4705 mit $\gamma = 1$ (W/m)	Wärmestrom aus FE-Berechnung (W/m)	Wärmedurchgangskoeffizient aus FE-Berechnung (W/m^2K)	Formbeiwert aus FE-Berechnung (-)
KEV1a	27,36	28,27	0,918	0,96
KEV1b	34,34	36,15	1,174	0,94
KEV2a	34,25	35,41	0,805	0,96
KEV2b	42,80	45,19	1,028	0,94
KEV3a	41,93	43,02	0,652	0,97
KEV3b	53,35	55,91	0,848	0,95
KZV1a	27,36	26,74	0,868	1,03
KZV1b	34,34	34,53	1,122	0,99
KZV2a	34,25	33,31	0,757	1,03
KZV2b	42,80	42,83	0,974	1,00
KZV3a	41,93	40,12	0,608	1,05
KZV3b	53,35	52,51	0,796	1,02

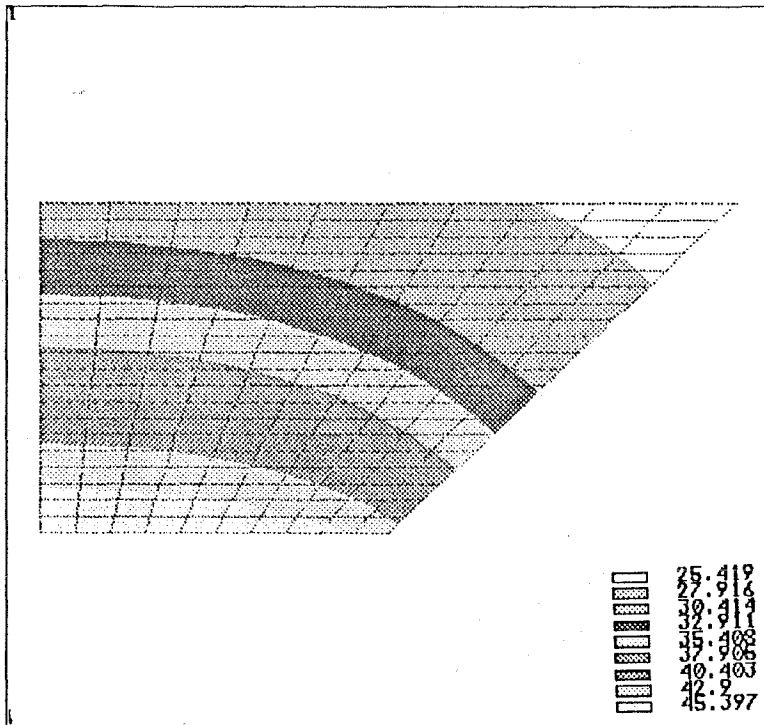
**Ergebnisse der Finiten-Element-Berechnungen an dreischaligen Schornsteinen mit kreisförmigem lichten Querschnitt und Außendämmung
 - Variation der Dicke der Außendämmung -**

Die Berechnungen wurden mit der Geometrie des Schornsteinmodells KEV1 durchgeführt, wobei die Dicke der äußeren Dämmschicht (Durchmesser D_4) variiert wurde. Die Stoffdaten der Materialien wurden wie bei der Berechnung KEV1a gewählt.

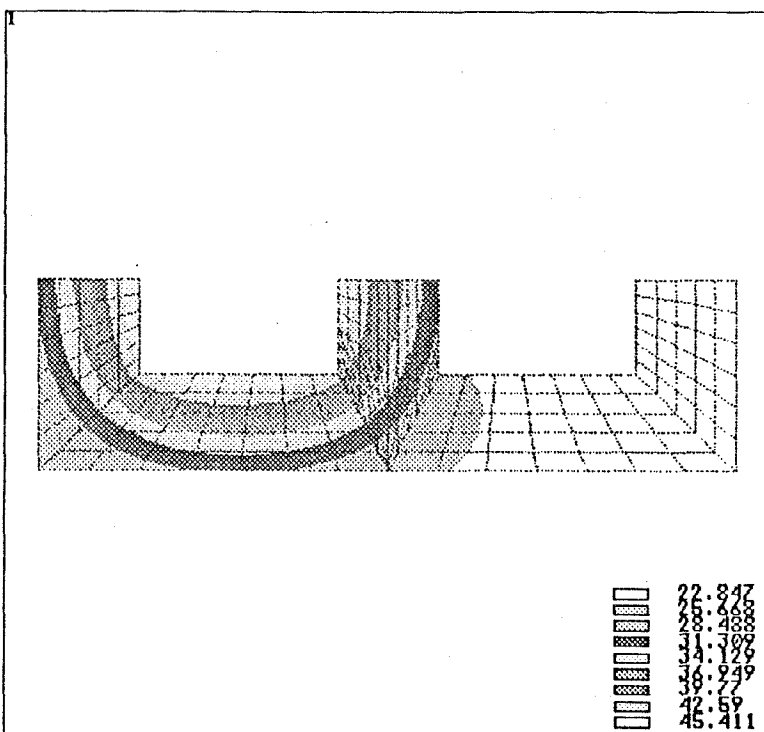
Dicke der äußeren Dämmschicht (m)	Wärmestrom nach DIN 4705 mit $\gamma = 1$ (W/m)	Wärmestrom aus FE-Berechnung (W/m)	Wärmedurchgangskoeffizient aus FE-Berechnung (W/m ² K)	Formbeiwert aus FE-Berechnung (-)
0,00	36,28	36,07	1,172	1,01
0,01	32,56	32,89	1,068	0,99
0,02	29,67	30,36	0,986	0,97
0,03 *	27,36	28,27	0,918	0,96
0,04	25,48	26,50	0,861	0,96
0,05	23,90	24,99	0,817	0,95

* Die Dämmschichtdicke von 0,03 m entspricht der Geometrie des Schornsteinmodells KEV1, das Ergebnis dem Ergebnis der Berechnung KEV1a.

Beispiele für die Temperaturverteilung bei einschaligen Schornsteinen mit quadratischem lichten Querschnitt



QEE2

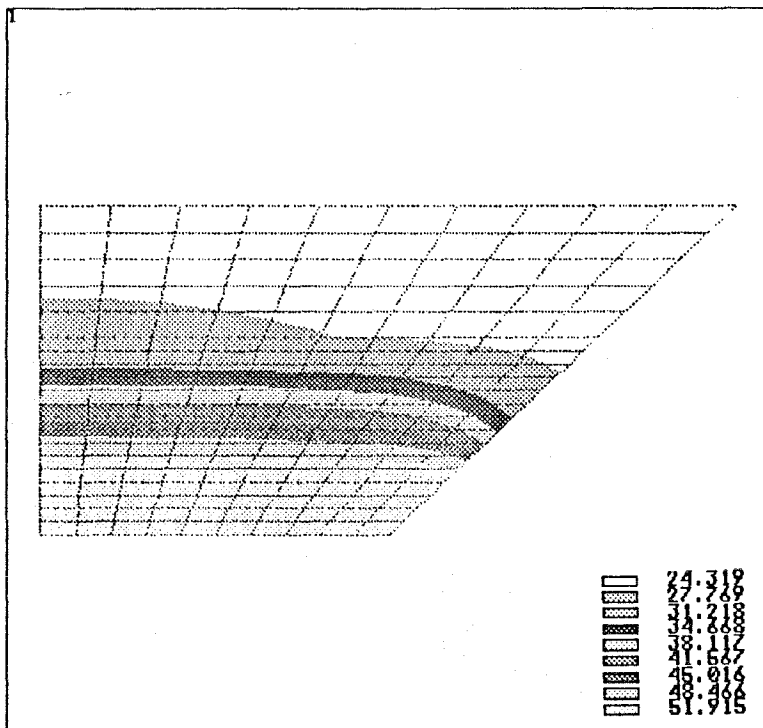


QZE2

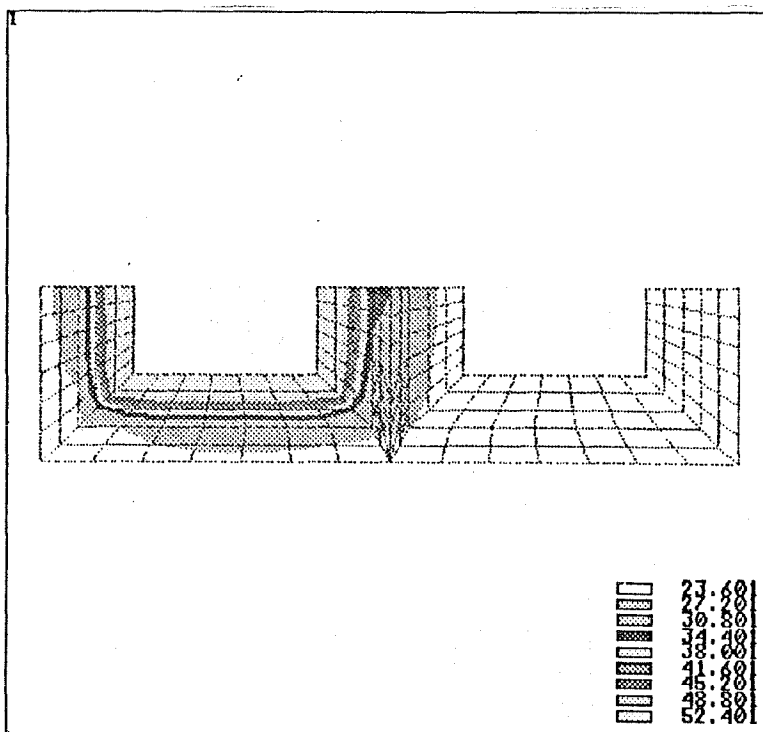
Ergebnisse der Finiten-Element-Berechnungen an einschaligen Schornsteinen mit quadratischem lichten Querschnitt

Bezeichnung	Wärmestrom nach DIN 4705 mit $\gamma = 1,27$ (W/m)	Wärmestrom aus FE-Berechnung (W/m)	Wärmedurchgangs- koeffizient aus FE-Berechnung (W/m ² K)	Formbeiwert aus FE-Berechnung (-)
QEE1a	63,38	64,48	3,290	1,22
QEE1b	78,38	79,00	4,031	1,25
QEE2a	82,70	84,84	3,030	1,21
QEE2b	102,74	104,09	3,717	1,23
QEE3a	105,23	109,42	2,605	1,19
QEE3b	134,39	137,50	3,274	1,21
QZE1a	63,38	64,92	3,313	1,21
QZE1b	78,38	79,96	4,080	1,21
QZE2a	82,70	85,48	3,053	1,19
QZE2b	102,74	105,27	3,760	1,20
QZE3a	105,23	111,89	2,664	1,14
QZE3b	134,39	139,87	3,330	1,16

Beispiele für Temperaturverteilung bei dreischaligen Schornsteinen mit quadratischem lichten Querschnitt



QED2

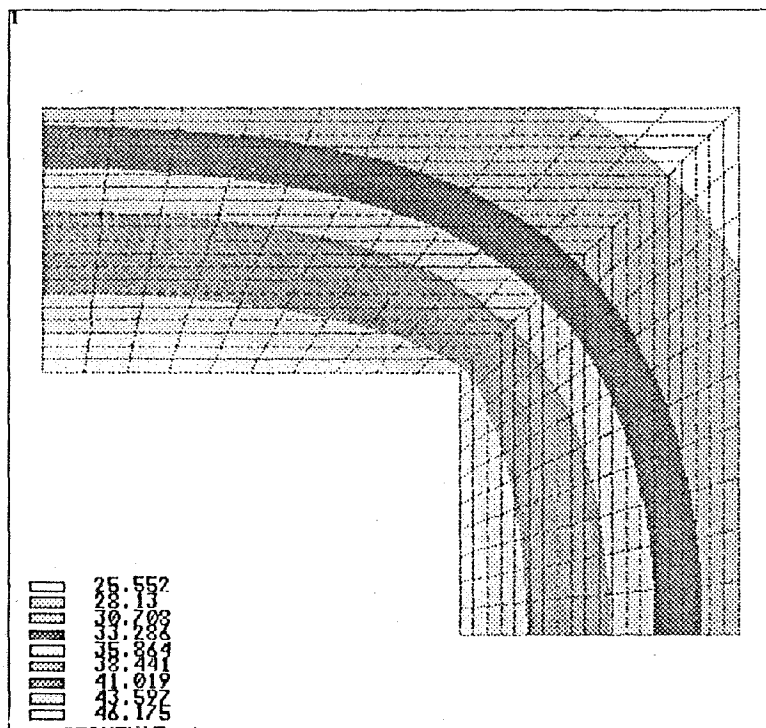


QZD2

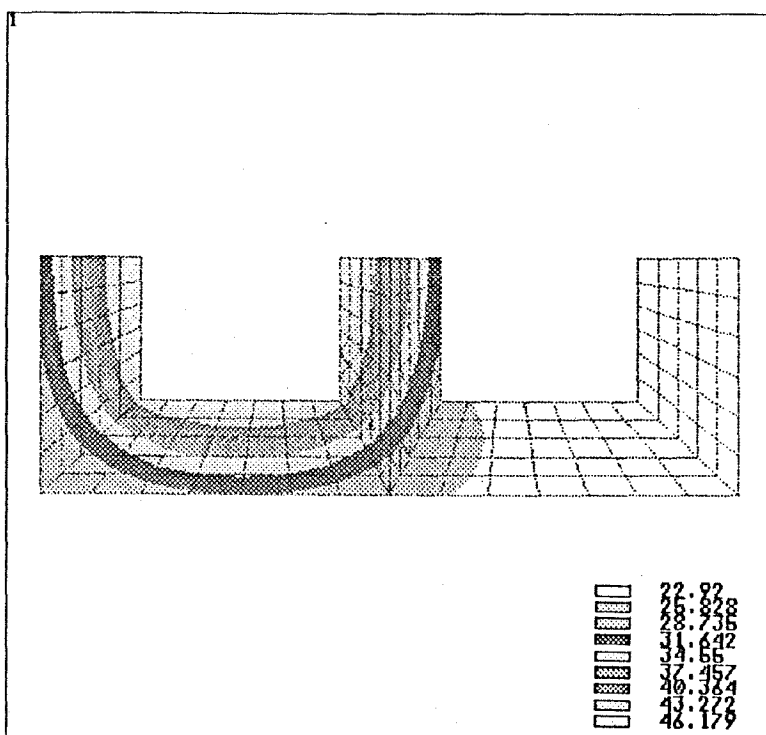
Ergebnisse der Finiten-Element-Berechnungen an dreischaligen Schornsteinen mit quadratischem lichten Querschnitt

Bezeichnung	Wärmestrom nach DIN 4705 mit $\gamma = 1,27$ (W/m)	Wärmestrom aus FE-Berechnung (W/m)	Wärmedurchgangs- koeffizient aus FE-Berechnung (W/m ² K)	Formbeiwert aus FE-Berechnung (-)
QED1a	18,91	21,28	1,086	1,10
QED1b	26,26	29,15	1,488	1,11
QED2a	24,27	27,70	0,989	1,09
QED2b	33,82	38,03	1,358	1,10
QED3a	28,61	33,07	0,787	1,08
QED3b	40,36	46,02	1,096	1,08
QZD1a	18,91	20,83	1,063	1,13
QZD1b	26,26	28,60	1,459	1,14
QZD2a	24,27	26,77	0,956	1,13
QZD2b	33,82	36,88	1,317	1,14
QZD3a	28,61	31,71	0,755	1,13
QZD3b	40,36	44,26	1,054	1,14

Beispiele für die Temperaturverteilung bei einschaligen Schornsteinen mit rechteckigem lichten Querschnitt



REE2

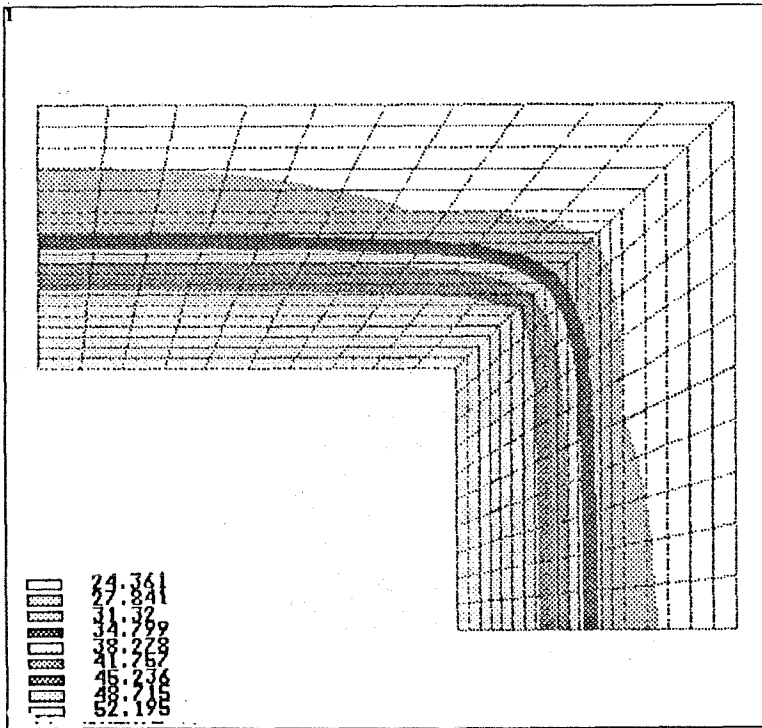


RZE2

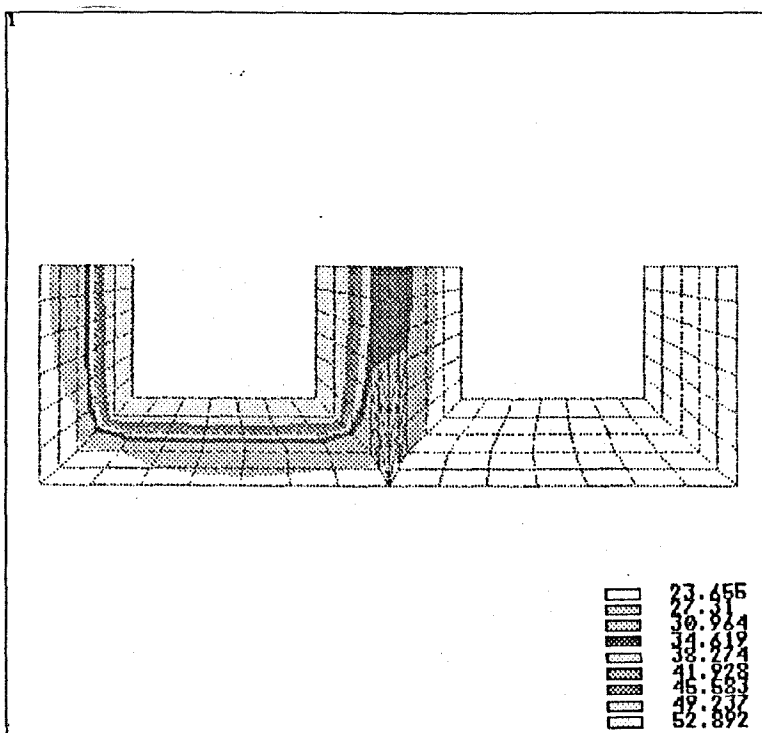
Ergebnisse der Finiten-Element-Berechnungen an einschaligen Schornsteinen mit rechteckigem lichten Querschnitt

Bezeichnung	Wärmestrom nach DIN 4705 mit $\gamma = 1,3$ (W/m)	Wärmestrom aus FE-Berechnung (W/m)	Wärmedurchgangs- koeffizient aus FE-Berechnung (W/m ² K)	Formbeiwert aus FE-Berechnung (-)
REE1a	72,58	74,67	3,137	1,23
REE1b	90,34	91,56	3,847	1,26
REE2a	97,29	101,47	2,899	1,20
REE2b	121,67	124,41	3,555	1,23
REE3a	123,69	131,63	2,507	1,17
REE3b	159,01	165,24	3,148	1,20
RZE1a	72,58	75,17	3,158	1,22
RZE1b	90,34	92,62	3,892	1,22
RZE2a	97,29	102,02	2,915	1,19
RZE2b	121,67	125,60	3,589	1,21
RZE3a	123,69	135,90	2,589	1,10
RZE3b	159,01	169,72	3,233	1,13

Beispiele für Temperaturverteilung bei dreischaligen Schornsteinen mit rechteckigem lichten Querschnitt



RED2



RZD2

Ergebnisse der Finiten-Element-Berechnungen an dreischaligen Schornsteinen mit rechteckigem lichten Querschnitt

Bezeichnung	Wärmestrom nach DIN 4705 mit $\gamma = 1,3$ (W/m)	Wärmestrom aus FE-Berechnung (W/m)	Wärmedurchgangskoeffizient aus FE-Berechnung (W/m ² K)	Formbeiwert aus FE-Berechnung (-)
RED1a	21,23	24,49	1,029	1,10
RED1b	29,59	33,59	1,412	1,11
RED2a	28,02	33,02	0,943	1,07
RED2b	39,18	45,37	1,296	1,08
RED3a	33,09	39,68	0,756	1,06
RED3b	46,81	45,27	1,052	1,07
RZD1a	21,23	23,54	0,989	1,15
RZD1b	29,59	32,41	1,362	1,16
RZD2a	28,02	31,12	0,889	1,15
RZD2b	39,18	42,98	1,228	1,16
RZD3a	33,09	37,01	0,705	1,15
RZD3b	46,81	51,77	0,986	1,15

Kurzfassung zum Forschungsvorhaben "Ermittlung des Formbeiwertes zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Schornsteinen und Verbindungsstücken" in englischer Sprache

Calculation of the geometric coefficient for determination of the thermal resistance of chimneys and connecting pieces

Within the framework of the revision of DIN 4705, Part 1 the geometric coefficient used for the determination of the thermal resistance of chimneys and connecting pieces should be examined arithmetically.

To this end the heat flow over the inner surface of the chimney was calculated with the aid of the finite element method for various chimney geometries and from this the geometric coefficient was determined. The calculation took single-shell chimneys, triple-shell chimneys and triple-shell chimneys with external insulation into account, which had a circular, a square or a rectangular internal cross-section, and were arranged as individual chimneys or as a group of chimneys, made up of two chimneys.

The calculations revealed that the values of the geometric coefficient and thus the thermal resistance of chimneys with a square and rectangular internal cross-section are calculated at too high a level in the existing DIN 4705, Part 1, while the values of the geometric coefficient of chimneys with a circular internal cross-section were in part above the value given in DIN 4705 Part 1.